



Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej
Państwowy Instytut Badawczy
ul. Podleśna 61 01-673 Warszawa
NIP: 525-000-88-09

UWARUNKOWANIA KLIMATYCZNE I HYDROLOGICZNE PLANOWANEGO PRZEDSIĘWZIĘCIA KONTYNUACJI EKSPLOATACJI ZŁOŻA WĘGLA BRUNATNEGO „TURÓW”

Wrocław, 5.06.2020

Spis treści

1. WPROWADZENIE	3
2. CHARAKTERYSTYKA OBSZARU KOPALNI WĘGLA BRUNATNEGO TURÓW	5
2.1 Lokalizacja KWB Turów	5
2.2 Warunki geologiczne i hydrogeologiczne	6
2.3 Użytkowanie terenu	7
2.4 Charakterystyka klimatyczna obszaru KWB Turów	8
2.5 Charakterystyka hydrograficzna i hydrologiczna	9
3. ANALIZA TRENDÓW OBSERWOWANYCH OPADÓW I PRZEPIYWÓW	12
3.1 Analiza dobowych sum opadów	13
3.2 Analiza przepływów codziennych	19
4. OCENA SUSZ HISTORYCZNYCH ZA POMOCĄ WARTOŚCI WSKAŹNIKOWYCH	29
4.1 Metodyka badań	29
4.2 Ocena susz meteorologicznych	30
4.3 Ocena susz hydrologicznych	33
4.4 Częstotliwość susz meteorologicznych	40
4.5 Częstotliwość susz hydrologicznych	43
4.6 Koincydencja warunków wilgotnościowych w rejonie KWB Turów	46
5. Podsumowanie	47
BIBLIOGRAFIA	49

Wykonawcy opracowania:

dr hab. Inż. Tamara Tokarczyk, prof. IMGW PIB

dr inż. Wiwiana Szalińska

dr inż. Mariusz Adynkiewicz-Piragas

dr Maurycy Ciupak

dr Bartłomiej Miszuk

mgr Jolanta Malicka

inż. Piotr Dżaków

1. WPROWADZENIE

Pierwsza dekada XXI w. charakteryzowała się częstym występowaniem suszy zarówno w Polsce jak i w Europie. Ogólne pojęcie suszy rozumiane jest jako zauważalny brak wody, który powoduje szkody w środowisku i gospodarce, a także wyraźną uciążliwość lub nawet zagrożenie dla ludności. Znajomość czynników warunkujących występowanie suszy jest niezbędna do oceny zjawiska. Przyczyny występowania suszy należy upatrywać nie tylko w zmienności cyrkulacji atmosferycznej, ale również we współczesnym ociepleniu się klimatu. Susze są cechą klimatu Polski i mają charakter rozwijającego się procesu. Największa częstotliwość występowania układów wyżowych w Polsce przypada na marzec, maj, czerwiec i październik (Baranowski 2001) co sprzyja pojawianiu się susz na początku okresu wegetacyjnego oraz jesienią. W formowaniu się susz w okresie letnim ważną rolę odgrywa wysoka temperatura powietrza oraz dodatkowo czynnik solarny związany z małym zachmurzeniem. Wysokiej temperaturze powietrza występującej w tym okresie sprzyja cyrkulacja południowo-wschodnia i wschodnia oraz centralna. Kształtowaniu się warunków suszy towarzyszy dodatkowo niska wilgotność powietrza, duża prędkość wiatru oraz brak lub niewielka ilość opadów.

Przebieg warunków pogodowych, którym towarzyszy deficyt lub brak opadów, wysoka temperatura powietrza powoduje wystąpienie pierwszej fazy suszy, którą jest susza meteorologiczna. Przedłużający się niedobór opadów oraz wzrost parowania i transpiracji zwiastuje suszę glebową. W kolejnej fazie następuje wyczerpywanie retencji wód podziemnych, zmniejszanie się przepływów w rzekach, która nazywana jest fazą suszy hydrologicznej.

Jeśli rozpatrujemy naturalne przyczyny występowania susz, globalne procesy klimatotwórcze należą do głównych. Duże znaczenie mają także czynniki fizjogeograficzne modyfikujące obieg energii i wody w skali regionalnej i lokalnej. O występowaniu suszy na danym obszarze decyduje zespół wzajemnie współzależnych czynników obejmujący m.in.: czynniki klimatyczne, fizycznogeograficzne zlewni, warunki geologiczne i hydrogeologiczne, użytkowanie terenu.

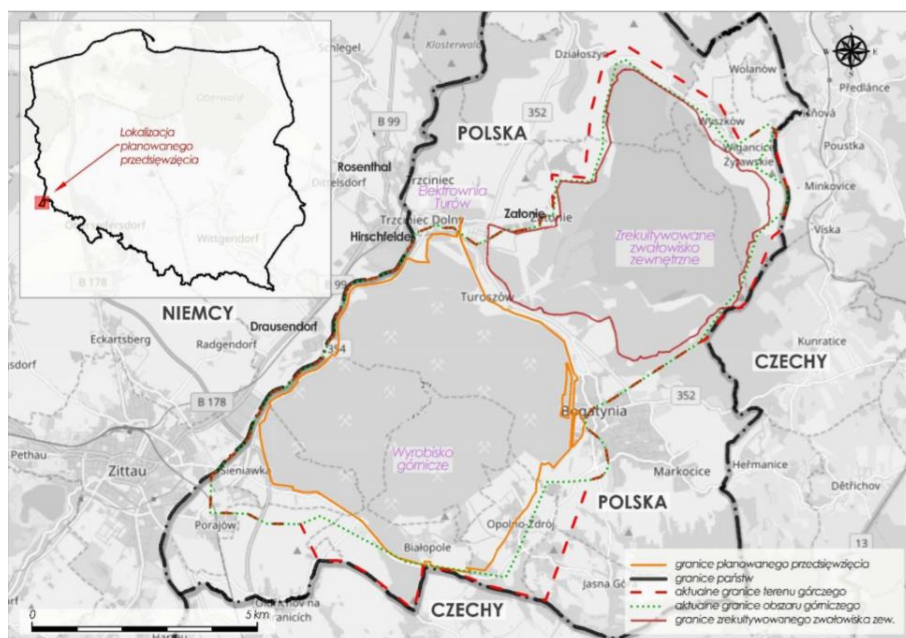
Oprócz przyczyn i uwarunkowań naturalnych, na występowanie i rozwój suszy duży wpływ mają antropogeniczne przekształcenia w środowisku naturalnym. Działalność człowieka poprzez eksploatację zasobów wodnych, zmianę zagospodarowania terenu wpływa na zdolność retencjonowania wody, zmiany w strukturze bilansu cieplnego i wodnego, czego skutkiem są znaczące zmiany procesów hydrologicznych zachodzących w zlewni. Działalność człowieka może zarówno potęgować jak i łagodzić intensywność suszy w poszczególnych stadiach jej rozwoju. Naturalnie występujące okresy niżówkowe spowodowane zmniejszonym zasilaniem mogą ulec pogłębieniu w wyniku poboru wody z rzeki w okresie trwającej niżówki, a z drugiej strony zwiększone zasilanie rzeki wskutek prowadzenia gospodarki wodnej może efekt suszy złagodzić (Tokarczyk i in. 2017).

Celem opracowania jest analiza uwarunkowań meteorologicznych i hydrologicznych obszaru kopalni węgla brunatnego Turów pod kątem występowania susz, która pozwoli na ocenę

naturalnych przyczyn pojawiających się susz oraz ich skutków w postaci reżimu odpływu ostatnich lat na tle wielolecia.

Kopalnia węgla brunatnego Turów leży w obszarze, gdzie wydobycie węgla brunatnego w okolicach Bogatyni, Zittau i Hirschfelde zapoczątkowano pod koniec XVIII wieku, a regularna eksploatacja rozpoczęła się w 1770 r i trwa do dziś. Dotychczas PGE Górnictwo i Energetyka Konwencjonalna S.A. posiadało koncesję na eksploatację złoża wydaną przez Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa decyzją nr 65/94 z dnia 27.04.1994 r. wraz z późniejszymi zmianami określonymi decyzją MOŚZNIŁ nr BK/PK/555/96 z dnia 21.03.1996 r., której ważność upłynęła 30.04.2020 r. Zgodnie z tą koncesją eksploatacja prowadzona była w obrębie obszaru górniczego „Turoszów-Bogatynia” oraz terenu górniczego „Turoszów-Bogatynia I” (Kontynuacja eksploatacji złoża węgla brunatnego Turów – raport o oddziaływaniu na środowisko, Bogatynia, maj 2018).

Aktualnie, PGE Górnictwo i Energetyka Konwencjonalna Spółka Akcyjna – Oddział Kopalnia Węgla Brunatnego Turów decyzją RDOŚ we Wrocławiu dnia 23.01.2020 otrzymało postanowienie kontynuacji eksploatacji złoża węgla brunatnego „Turów” realizowanego w gminie Bogatynia. Kontynuacja wydobycia prowadzona będzie w przestrzeni obecnego obszaru górniczego, zlokalizowanego w południowo-zachodniej części Polski, przy granicy z Republiką Federalną Niemiec i Republiką Czeską. Obszar ten znany jest pod nazwą „worka Turoszowskiego”. Kontynuowana powierzchnia obszaru górniczego będzie zmniejszona o ok. 3 000 ha w stosunku do obecnej. Obszar redukcji obejmuje część północno-wschodnią, w związku z zakończeniem rekultywacji zwaliska zewnętrznego 01.01.2017 r. oraz południowo-zachodnią w rejonie miejscowości Sieniawka, Rys. 1.



Rysunek 1 Lokalizacja obszaru planowanego przedsięwzięcia kontynuacji eksploatacji węgla brunatnego w KWB TURÓW.
Źródło: Raport o oddziaływaniu na środowisko, 2018.

Granice kontynuowanej eksploatacji zostały zaprojektowane wzdłuż granic bilansowych złoża z uwzględnieniem przebiegu koryta potoku Biedrzychówka, drogi Sieniawka – Opolno Zdrój oraz granicy państwa z Czechami. W projektowanym docelowym zasięgu eksploatacji

zlokalizowane są miejscowości Opolno Zdrój i Białopole. Wyrobisko odkrywkowe wraz ze zwałowiskiem wewnętrznym zajmuje aktualnie powierzchnię około 26 km². Docelowo powierzchnia przekształcona robotami odkrywkowymi wyniesie około 30 km² (Kontynuacja eksploatacji złoża węgla brunatnego Turów – raport o oddziaływaniu na środowisko, Bogatynia, maj 2018).

Na potrzeby realizacji niniejszego opracowania wykorzystano następujące materiały i dane:

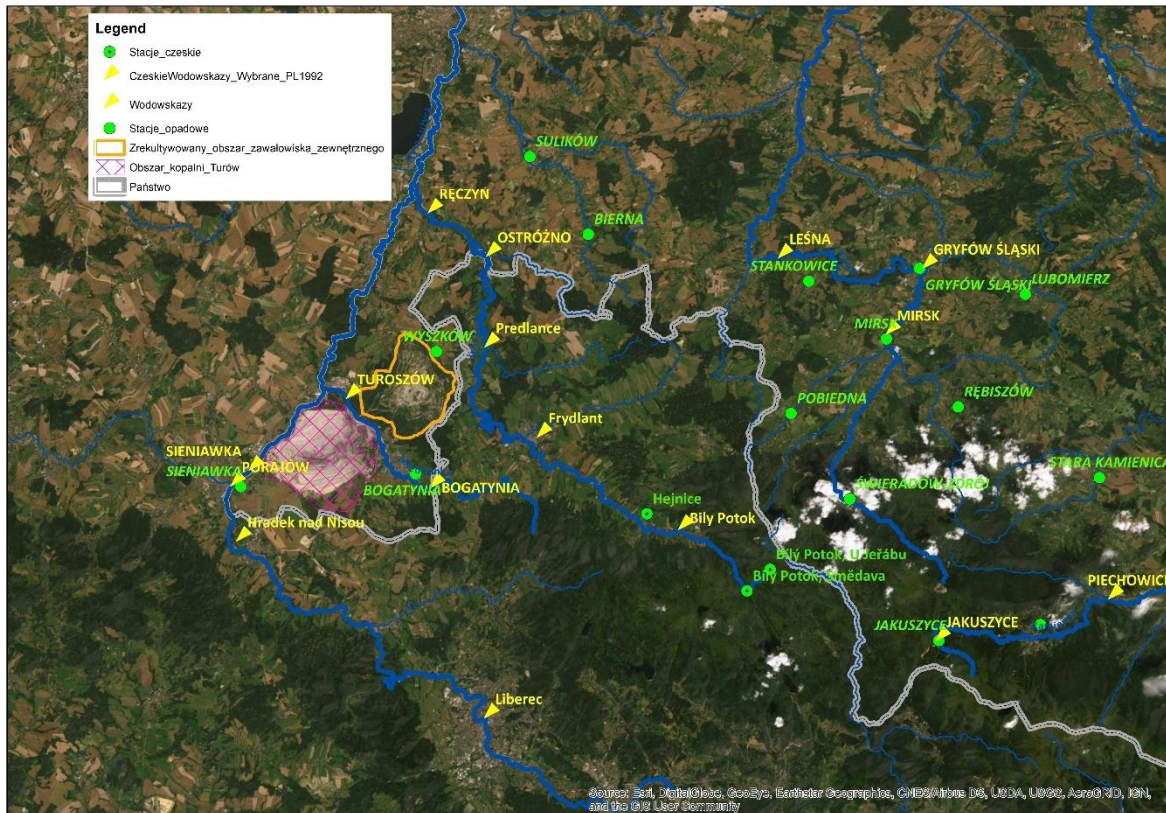
1. Kontynuacja eksploatacji złoża węgla brunatnego Turów – raport o oddziaływaniu na środowisko, Bogatynia, maj 2018.
2. Kompleksowa ocena wpływu odwodnienia odkrywki PGE GiEK S.A. Oddział KWB Turów na cieki powierzchniowe, dokumentacja. Wyk. IMGW PIB Oddział we Wrocławiu, Wrocław, listopad 2016.
3. Dane hydrologiczne z wielolecia z Centralnej Bazy Danych Hydrologicznych (CBDH) bazy danych historycznych IMGW PIB
4. Dane hydrologiczne z okresu 2020 z Systemu Hydrologii (SH) bazy danych operacyjnych IMGW PIB
5. Dane meteorologiczne z wielolecia z Centralnej Bazy Danych Meteorologicznych (CBDM) bazy danych historycznych IMGW PIB .
6. Dane meteorologiczne z okresu 2020 z Systemu Hydrologii (SH) bazy danych operacyjnych IMGW PIB.
7. Dane hydrologiczne i opadowe ze stacji monitoringu zlokalizowanych w Czeskiej Republice

2. CHARAKTERYSTYKA OBSZARU KOPALNI WĘGLA BRUNATNEGO TURÓW

2.1 Lokalizacja KWB Turów

Kopalnia Węgla Brunatnego Turów zlokalizowana jest w południowo-zachodniej części województwa dolnośląskiego, w powiecie zgorzeleckim, na terenie gminy Bogatynia, przy granicy państwowej z Republiką Federalną Niemiec od zachodu i Republiką Czeską od południa i wschodu. Zgodnie z podziałem fizyczno-geograficznym Kondrackiego (2002) leży w Kotlinie Turoszowskiej, stanowiącej część Obniżenia Żytawsko-Zgorzeleckiego (Kotliny Żytawskiej), która rozciąga się wzdłuż Nysy Łużyckiej między Pogórzem Wschodnio Łużyckim w Niemczech, a Pogórzem Izerskim w Polsce. Jest to zapadlisko tektoniczne składające się z Kotlin Turoszowskiej i Zgorzeleckiej, przedzielonych granitowym zrębem Działoszyna. W obrębie Kotliny Turoszowskiej znajdują się trzeciorzędowe osady zawierające pokłady węgla brunatnego. Zachodnią część omawianego mezoregionu stanowi dolina Nysy Łużyckiej, która tworzy dolinę przetomową w zrębie Działoszyna (Szulc, Cieszyńska 2011). Teren ten jest lekko pofalowany o rzędnych w granicach 220 - 320 m n.p.m. W części południowej i południowo-wschodniej znajdują się wzniesienia o wysokości 332 – 616 m n.p.m. (Guślica, Guślan, Graniczny Wierch, Świniec). W części północno-wschodniej znaczącym elementem krajobrazowym jest byłe zwałowisko zewnętrzne o wysokości 245 m n.p.m. Działania

rekultywacyjne (zalesianie) w jego obrębie zakończono w 2008 r. (Mrówczyńska, Jakubowska, Gola-Kozak 2009).



Rysunek 2 Lokalizacja KWB TURÓW wraz z hydrografią oraz lokalizacja stacji opadowych i wodowskazowych zlokalizowanych w Polsce i Czeskiej Republice. Źródło: opracowanie własne IMGW PIB.

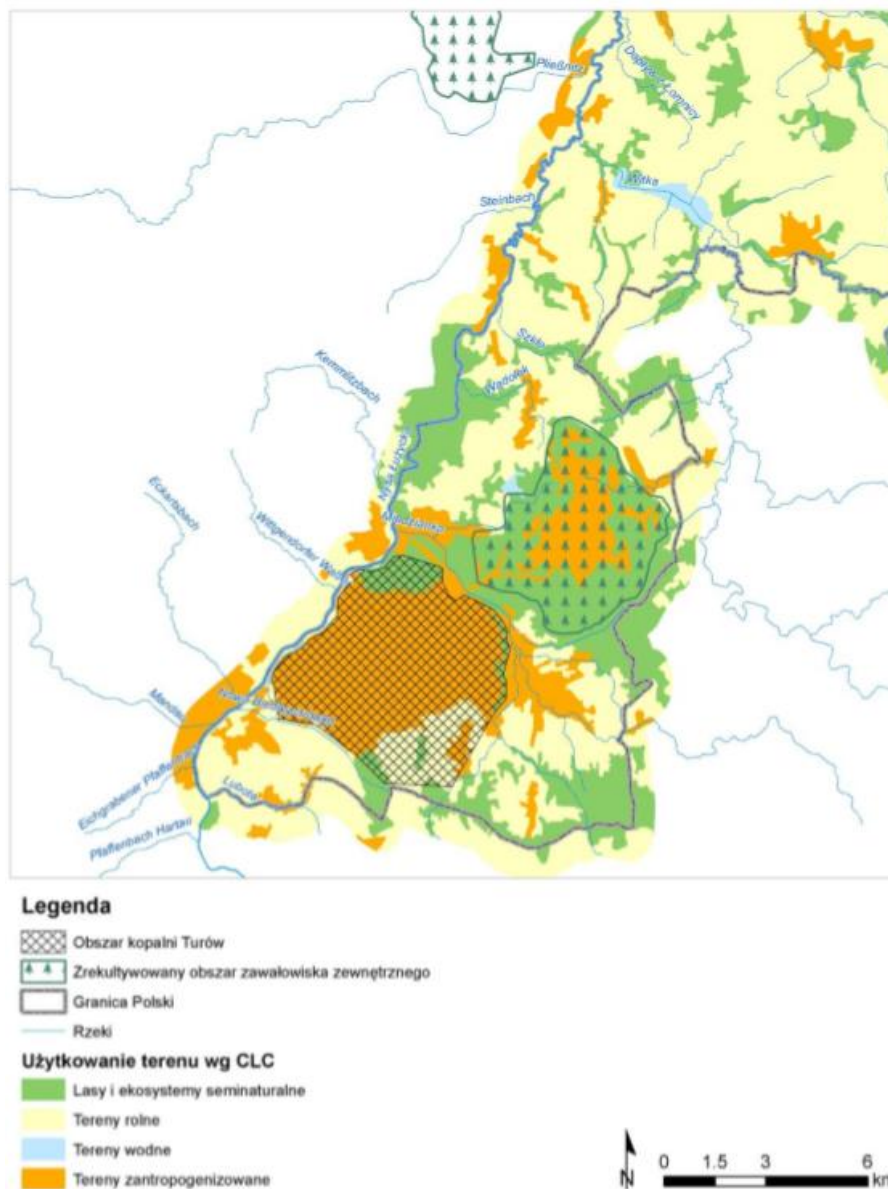
2.2 Warunki geologiczne i hydrogeologiczne

Obszar kopalni znajduje się w regionie wodnym sudeckim obejmującym swym zasięgiem południową część zlewni Nysy łużyckiej w jej górnym biegu od źródeł do południowej krawędzi pradoliny wrocławsko – magdeburgskiej w subregionie żytawsko-węglinieckim. Obszar gminy Bogatynia, zgodnie z opublikowaną w 1990 r. mapą rozmieszczenia głównych zbiorników wód podziemnych w Polsce (GZWP) w skali 1 : 500 000 (Kleczkowski i in. 1990), leży poza zasięgiem występowania Głównych Zbiorników Wód Podziemnych (GZWP). Zasoby wód użytkowych czerpane są z Lokalnych Zbiorników Wód Podziemnych (LZWP) (Szulc, Cieszyńska 2011). Miąższość warstw wodonośnych (zwykle w postaci niewielkich zbiorników wód podziemnych) nie przekracza 10 m (Malinowski i in. 1991). W obszarze kopalni wyróżnić można dwa kompleksy wodonośne: czwartorzędowy, występujący w osadach rzecznych Nysy łużyckiej i Miedzianki oraz trzeciorzędowy w piaszczysto-żwirowych przewarstwieniach iłów i węgla lignitowych pomiędzy poszczególnymi pokładami węgla brunatnego. Poziom holoceni występuje na głębokości 0-2 m ppt w piaszczystych deluwiach oraz utworach na zboczach i dnach dolin. Zwierciadło wody ma charakter swobodny. Trzeciorzędowe piętro wodonośne podzielono na trzy zasadnicze poziomy – nadwęglowy, międzywęglowy i podwęglowy (Wilk 2003). Zasilanie wyżej wymienionych poziomów wodonośnych odbywa się w wyniku infiltracji opadów atmosferycznych na całej powierzchni niecki żytawskiej, lecz głównie w strefie ich

wychodni. Swój udział w tym zasilaniu mają z pewnością również ciekі powierzchniowe (Nysa łużycka, Miedzianka), lecz jego wielkość nie jest określona (Wilk 2003). W celu ograniczenia przenikania wód powierzchniowych do systemów odwadniających odkrywki (Turów oraz byłej Berzdorf) wzdłuż Nysy łużyckiej wybudowano ścianki szczelne na prawym (3,6 km długości, 65 m głębokości) i lewym brzegu (5,5 km długości, 68 m głębokości) (Polsko-Niemiecka Komisja...1995).

2.3 Użytkowanie terenu

Obszar KWB Turów stanowi krajobraz przekształcony antropogenicznie. Jednak już od lat 60-tych XX w. podejmowane są czynności zmierzające do nadania nowych funkcji tym terenom, m.in. w wyniku działań rekultywacyjnych. Zalesiony obszar byłego zwałowiska zewnętrznego to obecnie duży kompleks leśny o powierzchni ok. 22 km² o strukturze wiekowej typowej dla lasów młodych.

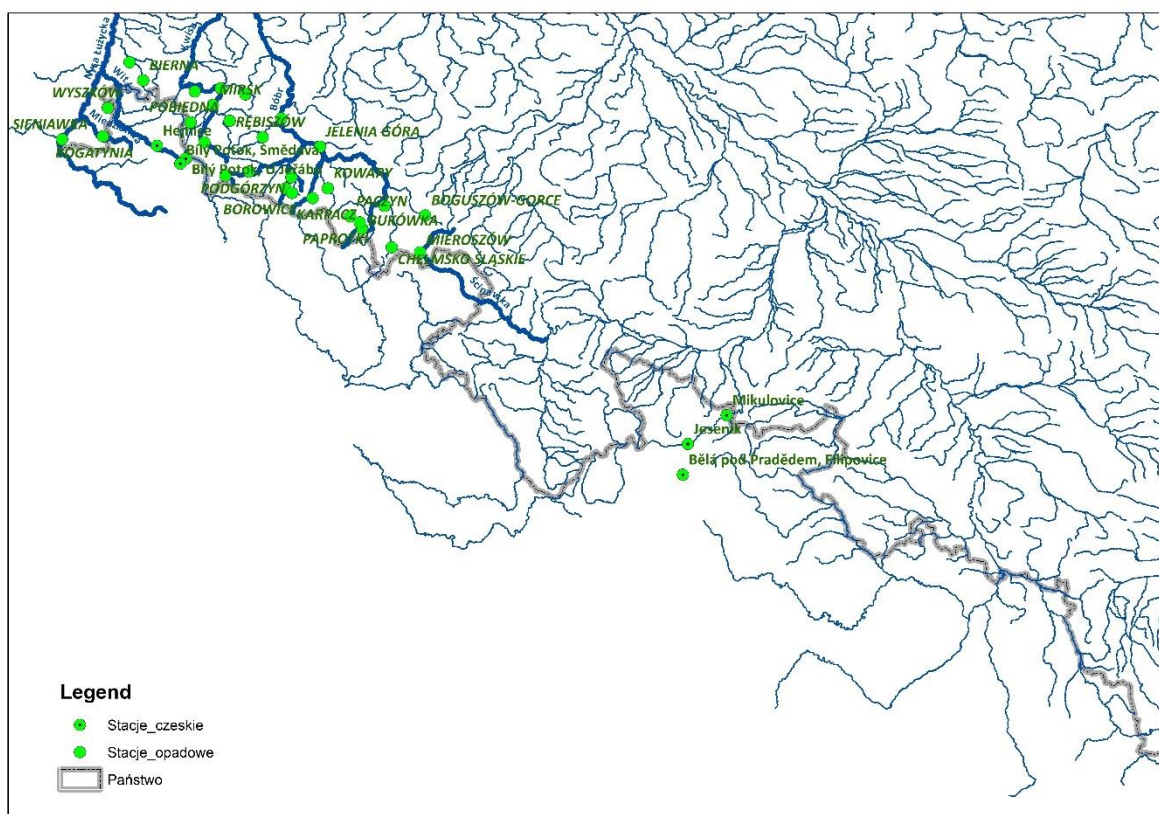


Rysunek 3 Użytkowanie terenu KWB Turów wg CLC. Źródło: Kompleksowa ocena wpływu odwodnienia odkrywki PGE GiEK Oddział KWB Turów na ciekі powierzchniowe, 2016.

2.4 Charakterystyka klimatyczna obszaru KWB Turów

Klimat zlewni Nysy Łużyckiej i jej otoczenia zaliczany jest do klimatu umiarkowanego o cechach przejściowych między klimatem morskim i kontynentalnym. Według klasyfikacji Köppena, obszar ten położony jest w strefie klimatów umiarkowanych ciepłych. Najważniejszymi czynnikami geograficznymi, które determinują zróżnicowanie klimatu w zlewni Nysy Łużyckiej i jej otoczeniu są: wysokość bezwzględna oraz rzeźba terenu. Stacje opadowe zlokalizowane w obszarze KWB Turów oraz jej sąsiedztwie reprezentują różne pietra wysokościowe, Rys. 4.

Średnia roczna temperatura powietrza w rejonie kopalni Turów dla okresu 30-letniego 1981-2010 wynosi ok. 8,5°C. Na stacjach Legnica i Zielona Góra położonych w części nizinnej Polski południowo-zachodniej średnia temperatura roczna jest o ok. 0,5°C wyższa w porównaniu do obszaru w otoczeniu kopalni. W przebiegu rocznym najcieplejszym miesiącem jest lipiec, którego średnia dobowa temperatura powietrza w Bogatyni wynosi 18,2°C. Najniższe wartości obserwowane są w styczniu, kiedy średnia temperatura wynosi od (-1,2)°C w Bogatyni do (-0,7)°C w Zgorzelcu.



Rysunek 4 Lokalizacja stacji opadowych monitoringu IMGW PIB w obszarze KWB Turów oraz jej sąsiedztwie. Źródło: opracowanie własne IMGW PIB.

Stacje przygraniczne Bedrichov i Zinnwald na terenie Czech i Niemiec położone w wyższych piętrach gór odznaczają się niższą temperaturą powietrza w ciągu roku. Średnia roczna temperatura wynosi odpowiednio 5,0°C i 4,7°C, natomiast średnia dla stycznia około (-4)°C, a dla lipca 14,1°C i 13,6°C. W polskiej części terenu pogranicza polsko-czesko-niemieckiego, w Kotlinie Turoszowskiej, średnia temperatura sezonu letniego od czerwca do sierpnia wynosi

17,2°C, wiosną (marzec-maj) i jesienią (wrzesień-listopad) średnie wartości temperatury powietrza wynoszą odpowiednio 8,2°C oraz 8,6°C. Natomiast zimą (grudzień - luty) osiągają średnio (-0,4)°C. Na stacjach Bedrichov, Zinnwald reprezentujących górskie regiony czeskie i niemieckie, średnia temperatura w zimie wynosi (-3,3)°C, a w lecie różnicuje się od 12,9 do 13,4°C.

Opady atmosferyczne charakteryzują się bardzo dużym zróżnicowaniem czasowym i przestrzennym. Najważniejszym czynnikiem oddziałujących na wielkość sum opadów jest wysokość bezwzględna, a także rzeźba terenu i ekspozycja względem dominującego wiatru z sektora zachodniego. W całym obszarze pogranicza polsko-czesko-niemieckiego średnia roczna suma opadów w poszczególnych piętrach wysokościowych waha się od 608 mm (do 150 m n.p.m.) i 701 mm (151-350 m n.p.m.) do 861 mm (351-560 m n.p.m.) i 1183 mm (powyżej 650 m n.p.m.). W półroczu letnim różnicują się one od 350 do 634 mm, a w półroczu chłodnym od 258 do 548 mm (Nysa Łużycka – Klimat i charakterystyka regionu, 2014). Średnie roczne sumy opadów na obszarze Obniżenia Żytawsko-Zgorzeleckiego wynoszą 616-740 mm. W przebiegu rocznym najwyższe sumy opadów notowane są w miesiącach letnich, w lipcu lub sierpniu. Najniższe opady występują w lutym. Ekstremalne opady w rejonie kopalni Turów wystąpiły w sierpniu 2010 r. W Bogatyni odnotowano wówczas rekordowy opad atmosferyczny o sumie dobowej przekraczającej 160 mm. Oprócz wysokości opadów ważną charakterystyką jest częstość występowania opadów. W rejonie kopalni Turów średnia roczna liczba dni z opadem wynosi 171-175. Opady atmosferyczne najczęściej obserwowane są w miesiącach zimowych. Liczba dni z opadem w okresie listopad - luty stanowi ponad 50% ogólnej liczby dni w tym miesiącu.

Struktura czasowo-przestrzenna temperatury powietrza oraz opadów atmosferycznych w regionie kopalni Turów, uwarunkowana jest przede wszystkim wysokością i rzeźbą terenu. Nieznaczny wpływ mają warunki lokalne wklęśła forma terenu sprzyja niższym opadom.

2.5 Charakterystyka hydrograficzna i hydrologiczna

Obszar KWB Turów leży w całości w zlewni Nysy Łużyckiej. Rzeka stanowi centralną oś hydrograficzną Niecki Żytawskiej. Wody z odwodnienia odkrywki KWB Turów potencjalnie mogą oddziaływać na ciekі powierzchniowe czterech jednolitych części wód:

- Nysa Łużycka od Mandau do Miedzianki (kod PLRW60008 174159) wraz z ciekіem Nowa Biedrzychówka;
- Nysa Łużycka od Miedzianki do Pliessnitz (kod PLRW60001017431);
- Dopływ z wyrobiska Turossów (kod PLRW60000174156);
- Miedzianka od granicy Państwa do Nysy Łużyckiej (kod PLRW60004174169), z następującymi ciekami: Jaśnica (Ślad); Dopływ spod Markocic (prawostronny dopływ Miedzianki); Wądolno (prawy dopływ Jasienicy); Potok Czerwienka (Czerwienica, prawostronny dopływ Miedzianki); Zatonka (Rybi Potok, prawostronny dopływ Miedzianki).

Nysa Łużycka o długości 246,09 km i powierzchni zlewni $A = 4395 \text{ km}^2$ bierze początek w Górach Izerskich po stronie czeskiej. Na terytorium Czech leży 9% powierzchni zlewni, w Polsce 58%, a na terenie Niemiec 33%. Od zachodu zlewnia Nysy Łużyckiej ograniczona jest

wododziałem zlewni Łaby i Odry, od wschodu wododziałem Bobru, a od południa Górami Łużyckimi. Nysa Łużycka wkracza na teren Polski na wysokości 235 m n.p.m. w odległości około 70 km od swoich źródeł. Trudno-przepuszczalne podłoże, duże ilości opadów w strefie górskiej (rzędu 1500 mm) w dużej mierze decydują o zmienności stanów wody i przepływów w ciągu roku. Maksymalne przepływy obserwuje się w marcu i we wrześniu. Związane są z wiosennym tajaniem śniegu oraz z deszczami letnimi.

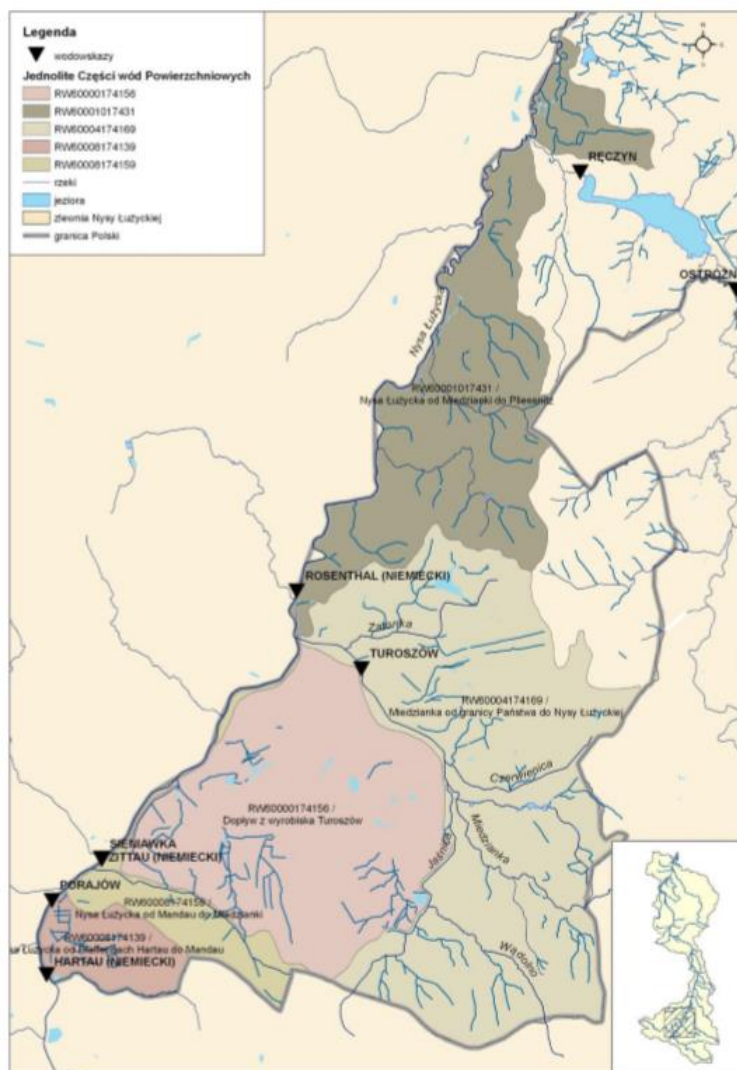
Biedrzychówka odwadnia teren kopalni, wody ze stacji pomp odwadniających złoża węgla odprowadzane są do rzeki. Powierzchnia zlewni wynosi 17 km². Koryto Biedrzychówki zostało przebudowane i przełożone wskutek postępu robót górniczych.

Miedzianka płynie przez Kotlinę Turoszowską, gdzie jej powierzchnia wynosi 61,2 km². Całkowita powierzchnia zlewni wynosi 96,9 km², z czego 35,7 km² znajduje się na terenie Czech. Przepływając przez miasto Bogatynia, Miedzianka przyjmuje lewobrzeżny dopływ potok Ślad (Jaśnica), wypływający z Czech. W dolnym biegu Miedzianka przyjmuje dwa prawobrzeżne dopływy: Czerwienicę odwadniającą południową część zwału zewnętrznego KWB Turów oraz Ochotę odwadniającą północno - zachodnią część zwału zewnętrznego.

Krzywa Struga odwadnia od północy zrehabilitowane zwałowisko zewnętrzne. Potok uchodzi do Nysy Łużyckiej na terenie Niecki Zgorzeleckiej.

Okleśna i Minkowski Potok odwadniają zwałowisko zewnętrzne od północnego - wschodu i wschodu. Oba potoki uchodzą do rzeki Smedy (Witki) na terenie Czech.

Na polskim obszarze Niecki Żytawskiej znajdują się również zbiorniki wód powierzchniowych. Na obszarze Polski największym z nich jest zbiornik Zatonie na Zatonce (dopływie Miedzianki), gromadzący wodę pitną dla Bogatyni i innych miejscowości. Na przedpolu południowym odkrywki znajduje się zbiornik retencyjny „A” stanowiący element odwadniania powierzchniowego kopalni oraz stawy rybne usytuowane w pobliżu potoku Ślad. Wokół zrehabilitowanego zwałowiska zewnętrznego istnieje szereg zbiorników wodnych, stanowiących osadniki dla wód spływających ze zwału zewnętrznego.



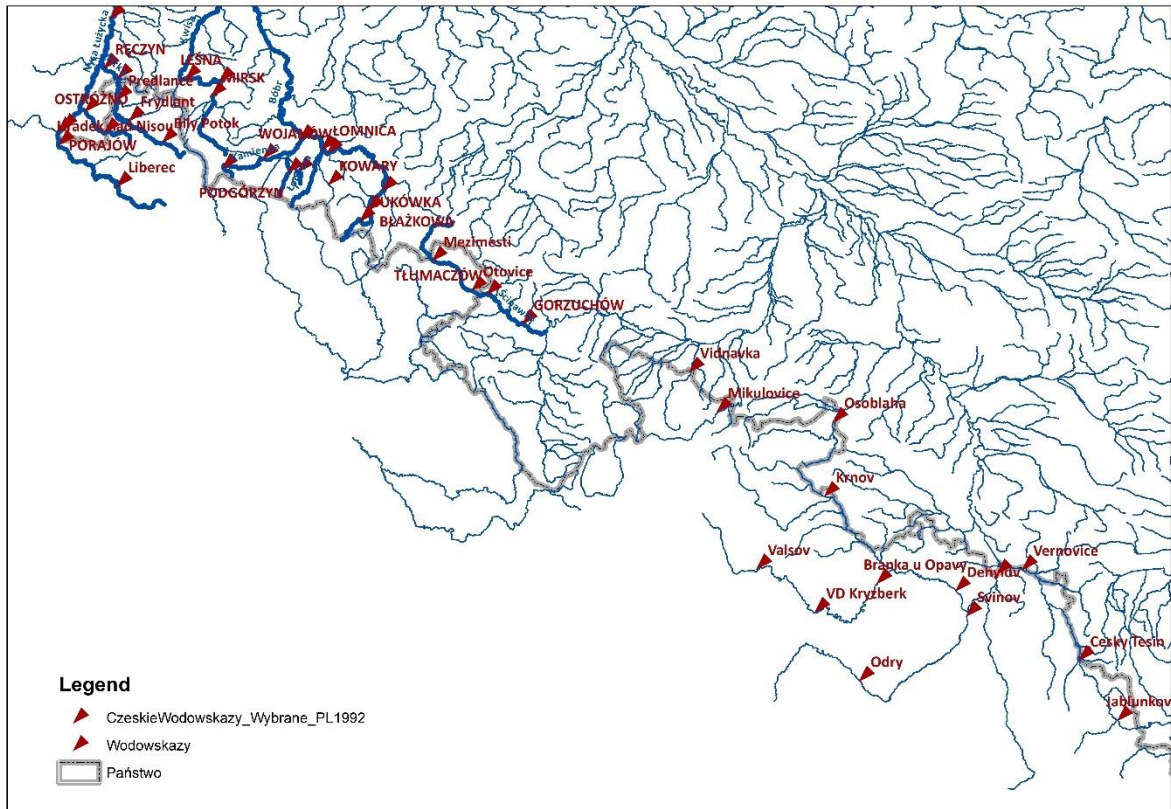
Rysunek 5 Hydrografia obszaru KWB Turów wraz z jednolitymi częściami wód powierzchniowych oraz wodowskazami (czarne trójkąty).

W obszarze KWB Turów zlokalizowane są 2 stacje wodowskazowe monitoringu hydrologicznego IMGW PIB, tj. Sieniawka na Nysie Łużyckiej zlokalizowany w kilometrze 194,2 i zamykający zlewnię o powierzchni 693 km², oraz Turoszów na Miedziance, zlokalizowany w kilometrze 1,8 i zamykający zlewnię o powierzchni 72 km². Przepływy charakterystyczne dla tych stacji zestawiono w Tab. 1.

Tabela 1 Przepływy charakterystyczne

Rzeka	Wodowskaz	Lata	SNQ	SSQ	SWQ
			m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
Nysa Łużycka	Sieniawka	1966-2015	2,04	9,02	131
Miedzianka	Turoszów	1975-2015	0,15	0,85	14,4

Do analiz wykorzystano również dane ze stacji wodowskazowych zlokalizowanych w Republice Czeskiej: Liberec i Hradec na rzece Nysa Łużycka oraz stacje Bily Potok i Frydlant zlokalizowane na rzece Smeda (Witka) znajdujących się w sąsiedztwie obszaru KWB Turów, Rys. 7.



Rysunek 6 Lokalizacja polskich i czeskich stacji wodowskazowych w sąsiedztwie obszaru KWB Turów. Źródło: opracowanie własne IMGW PIB

3. ANALIZA TRENDÓW OBSERWOWANYCH OPADÓW I PRZEPŁYWÓW

Opady atmosferyczne oraz przepływy charakteryzują się dużą zmiennością czasową i przestrzenną. Badanie zmienności tych charakterystyk jest szczególnie aktualne w świetle zmian klimatu, potwierdzonym empirycznie również w Polsce, jakim jest postępujące ocieplenie. Ociepleniu, które najsilniej zaznacza się w okresie wiosennym, nie towarzyszą jednak istotne statystycznie zmiany ilości opadów atmosferycznych (Zawora, Ziernicka 2003; Żmudzka 2009), a zmiana struktury sezonowej. W ujęciu sezonowym, w minionym półwieczu, niewielki wzrost sum opadów zaznaczył się wiosną i jesienią, a spadek latem i zimą (Żmudzka 2002). Zmianom opadów towarzyszą zazwyczaj zmiany odpływów w rzekach. Nie bez znaczenia są czynniki związane z działalnością antropogeniczną. Analiza trendów stanowi odpowiednie narzędzie do wnioskowania o zmienności ciągów czasowych charakterystyk meteorologicznych oraz hydrologicznych.

W niniejszym opracowaniu analiza trendów ciągów opadów została przeprowadzona dla stacji zlokalizowanych w sąsiedztwie kopalni, na terenie Polski i Republiki Czeskiej tj.: Sieniawka, Bogatynia, Wyszków, Bierna i Sulików oraz Liberec, Bedrichov oraz Hejnice.

Analizę trendów przepływów codziennych przeprowadzono dla stacji wodowskazowej Turossów na Miedziance, zlokalizowanej w obszarze KWB Turów oraz stacji wodowskazowych

zlokalizowanych w sąsiedztwie kopalni na terenie Polski i Republiki Czeskiej, tj.: Porajów, Sieniawka, Zgorzelec oraz Liberec i Hradec na Nysie łużyckiej a także Bily Potok i Frydlant na Smeda (Witka).

Analiza została przeprowadzona w następujących krokach:

- 1) Wyznaczenie charakterystyk rozkładu prawdopodobieństwa - dla każdej zmiennej losowej określono następujące charakterystyki: asymetrii, koncentracji, rozproszenia i położenia.
- 2) Identyfikacja trendu oraz ocena postaci funkcji trendu została przeprowadzona w dwóch etapach: (i) określenie korelacji między przepływami a zmienną określającą czas z wykorzystaniem nieparametrycznego testu korelacji rang Spearmana, Kendalla i parametrycznego test współczynnika korelacji liniowej Pearsona oraz (ii) analiza trendu za pomocą nieparametrycznego testu Manna-Kendalla.

Istotna tendencja malejącą lub rosnącą występuje na poziomie istotności powyżej 95% (p wartość < 0.05). Tendencję blisko istotności przyjęto na poziomie 90-95% (0.05-0.10), tendencję do zmian przyjęto poziom istotności 75-90% (0.10 – 0.25), natomiast zmiany na poziomie istotności poniżej 75% (p wartość > 0.25) uznano za nieistotne, bez określonego kierunku.

- 3) Identyfikacja występowania i wpływu wahań okresowych na zmienność badanych miesięcznych charakterystyk przepływu za pomocą funkcji autokorelacji.
- 4) Ocena jakościowa i ilościowa trendu przepływów z wykorzystaniem modelu hybrydowego analizy falkowej i liniowej regresji (WAV-LM)

3.1 Analiza dobowych sum opadów

Analiza sum opadów

Analiza dobowych sum opadów dla stacji opadowych Sieniawka, Bogatynia, Wyszków, Bierna i Sulików zlokalizowanych na terenie Polski została przeprowadzona dla okresu od 1 stycznia 1975 do 28 maja 2020 o liczebności $n = 16585$ oraz stacji opadowych na terenie Republiki Czeskiej: Liberec, Bedrichov, Hejnice w okresie od 1 stycznia 1975 do 31 grudnia 2019 o liczebności $n = 16436$. W pierwszym etapie dokonano badania ciągów sum dobowych opadów dla każdej ze stacji. Ciągi dobowych sum opadów mają charakter dyskretny. Wyniki analizy ciągów przedstawiają Tab. 2 oraz Tab. 3.

Tabela 2 Charakterystyki rozkładu prawdopodobieństwa sum dobowych opadów dla stacji Sieniawka, Bogatynia, Wyszków, Bierna i Sulików. Źródło: opracowanie własne IMGW PIB

Zmienna losowa	P (mm) – codzienne obserwacje opadów				
Stacja	$P_{SIENIAWKA}$	$P_{BOGATYNIA}$	$P_{WYSZKÓW}$	P_{BIERNA}	$P_{SULIKÓW}$
Miara asymetrii rozkładu					
Współczynnik skośności	6.71	7.16	5.47	5.79	5.94
Miara koncentracji rozkładu					
Współczynnik spłaszczenia (kurtoza)	92.17	112.19	52.63	57.19	60.01
Miary rozproszenia rozkładu					
Odchylenie standardowe	4.24	4.86	4.77	4.89	4.51
Wariancja	18.01	23.66	22.75	23.90	20.42
Miary położenia rozkładu					
Minimum	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Zmienna losowa	P (mm) – codzienne obserwacje opadów				
Stacja	P _{SIENIAWKA}	P _{BOGATYNIA}	P _{WYSZKÓW}	P _{BIERNA}	P _{SULIKÓW}
Kwantyl rzędu 0.25	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Mediana	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Kwantyl rzędu 0.75	1.5	1.8	2.0	1.9	1.7
Maksimum	111.5	160.2	96.0	93.1	88.1
Średnia arytmetyczna	1.68	1.92	2.02	2.02	1.83

Tabela 3 Charakterystyki rozkładu prawdopodobieństwa sum dobowych opadów. Źródło: opracowanie własne IMGW PIB

Zmienna losowa	P (mm) – codzienne obserwacje opadów		
Stacja	P _{LIBEREC}	P _{BEDRICHOV}	P _{HEJNICE}
Miara asymetrii rozkładu			
Współczynnik skośności	5.71	5.58	6.86
Miara koncentracji rozkładu			
Współczynnik spłaszczenia (kurtoza)	64.29	63.70	97.90
Miary rozproszenia rozkładu			
Odchylenie standardowe	5.09	6.93	6.27
Wariancja	25.99	48.15	39.36
Miary położenia rozkładu			
Minimum	0.0	0.0	0.0
Kwantyl rzędu 0.25	0.0	0.0	0.0
Mediana	0.1	0.3	0.1
Kwantyl rzędu 0.75	2.4	4.0	2.7
Maksimum	122.2	169.5	179.0
Średnia arytmetyczna	2.27	3.32	2.66

W całym okresie obserwacji we wszystkich stacjach występowały dni bez opadu, w związku z tym, minimalna wartość w ciągu, niskie kwantyle i mediana równe są zeru. W okresie obserwacji występowały nieliczne sumy dobowe bliskie i wyższe od 100 mm. Wszystkie badane ciągi mają dodatnią skośność, co oznacza prawostronną asymetrię.

Wartości współczynników korelacji między sumami dobowymi opadu, a zmienną określającą czas oraz wyniki nieparametrycznego testu Manna-Kendalla dla analizowanych stacji zestawiono w Tab. 4 i Tab.5.

Tabela 4 Charakterystyki korelacji oraz testu Manna-Kendalla dla stacji Sieniawka, Bogatynia, Wyszków, Bierna i Sulików. Źródło: opracowanie własne IMGW PIB

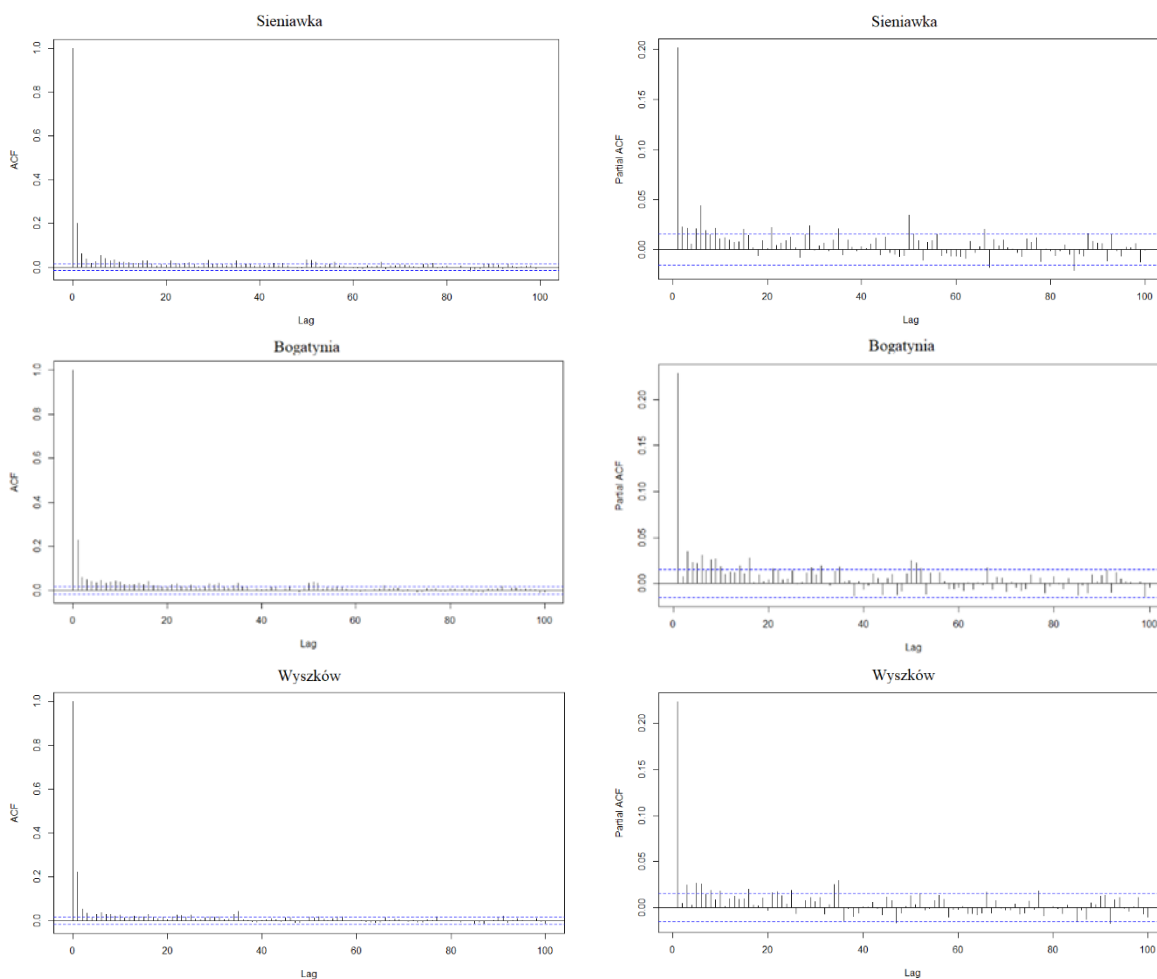
Zmienna losowa	P (mm) – codzienne obserwacje opadów				
Stacja	P _{SIENIAWKA}	P _{BOGATYNIA}	P _{WYSZKÓW}	P _{BIERNA}	P _{SULIKÓW}
Nieparametryczne i parametryczne współczynniki korelacji					
Współczynnik korelacji Spearmana	-0.0352	0.0052	-0.0169	0.0345	0.0069
Współczynnik korelacji Kendalla	-0.0254	0.0380	-0.0122	0.0251	0.0052
Współczynnik korelacji Pearsona	0.0109	0.0095	0.0179	0.0196	0.0060
Cechy trendu					
Mann-Kendall	-0.0254	0.00383	-0.0122	0.0251	0.0052
p - wartość	7.43e-06	0.4981	0.0316	8.637e-06	0.35559
nachylenie liniowe p=0,05	0	0	0	0	0
górnny przedział ufności	0	0	0	0	0
dolny przedział ufności	0	0	0	0	0
punkt zmiany trendu	1989-01-08	1980-06-14	2011-01-27	1993-06-10	1992-10-20

Tabela 5 Charakterystyki korelacji oraz testu Manna-Kendalla dla stacji Liberec, Bedrichov oraz Hejnice. Źródło: opracowanie własne IMGW PIB

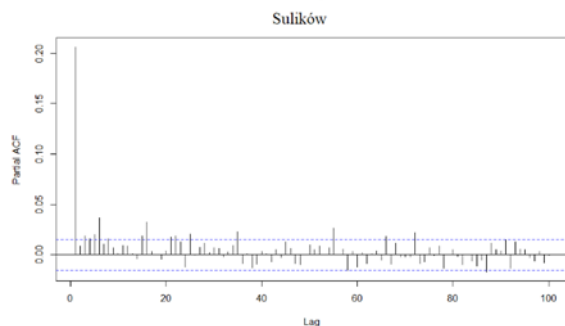
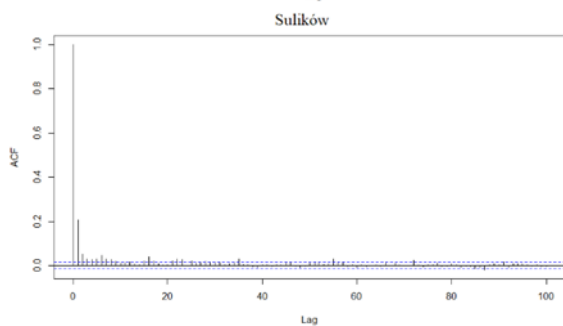
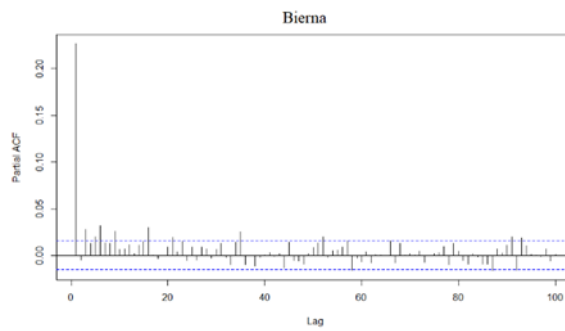
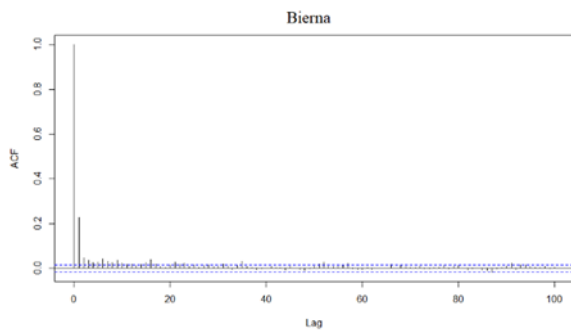
Zmienna losowa	P (mm) – codzienne obserwacje opadów		
Stacja	P_{LIBEREC}	$P_{\text{BEDRICHOV}}$	P_{HEJNICE}
Nieparametryczne i parametryczne współczynniki korelacji			
Współczynnik korelacji Spearmana	0.0058	-0.0215	-0.0172
Współczynnik korelacji Kendalla	0.0041	-0.0153	-0.0123
Współczynnik korelacji Pearsona	0.0093	-0.0133	-0.0080
Cechy trendu			
Mann-Kendall	0.0041	-0.0154	-0.0123
p wartość	0.4571	0.0054	0.0268
nachylenie liniowe $p=0,05$	0	0	0
górnny przedział ufności	0	0	0
dolny przedział ufności	0	0	0
punkt zmiany trendu	1993-06-10	2011-01-26	2011-01-27

W przypadku stacji Bedrichov i Hejnice, na podstawie testu Manna-Kendalla należy uznać, że w okresie od 1 stycznia 1975 do 31 grudnia 2019 występowała niewielka tendencja spadkowa. W pozostałych stacjach obliczony trend był nieistotny statystycznie przy założonym w badaniu poziomie istotności $p < 0.05$. Nachylenie liniowe we wszystkich przypadkach było równe zero.

Następnie zbadano autokorelację dobowych sum opadu dla opóźnienia 100 dni we wszystkich badanych stacjach opadowych, Rys. 6 oraz Rys. 7.



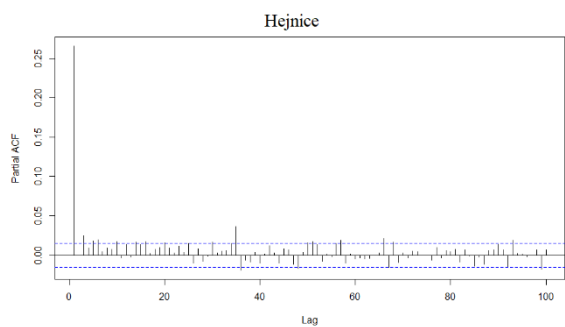
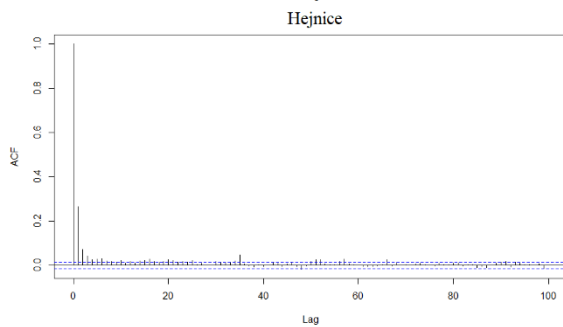
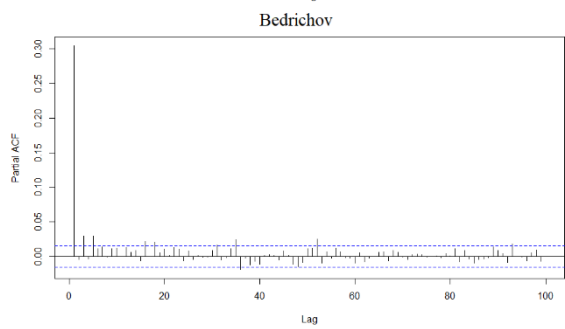
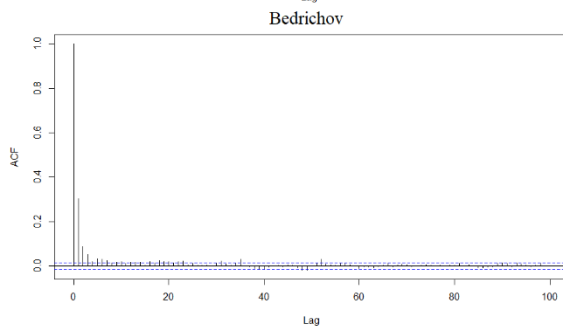
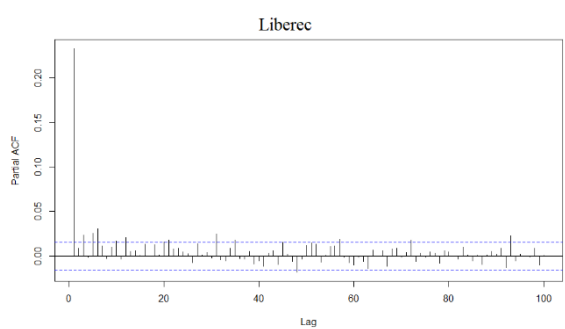
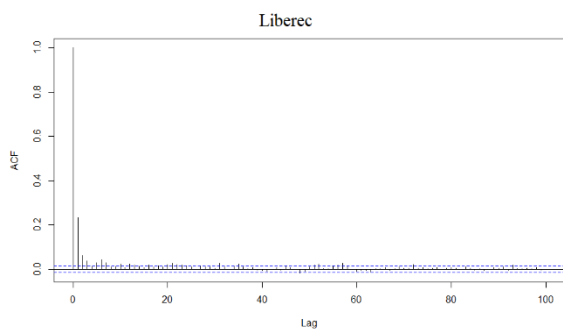
Wyszków



Funkcja autokorelacji ACF

Funkcja autokorelacji PACF

Rysunek 6 Funkcja autokorelacji ACF i PACF zmiennej losowej sumy dobowej opadów dla opóźnienia 100 miesięcy z zaznaczonymi współczynnikami autokorelacji i poziomem ufności $p < 0.05$ (pozioma przerywana linia) dla stacji Sieniawka, Bogatynia, Wyszków, Bierna oraz Sulików. Źródło: opracowanie własne IMGW PIB



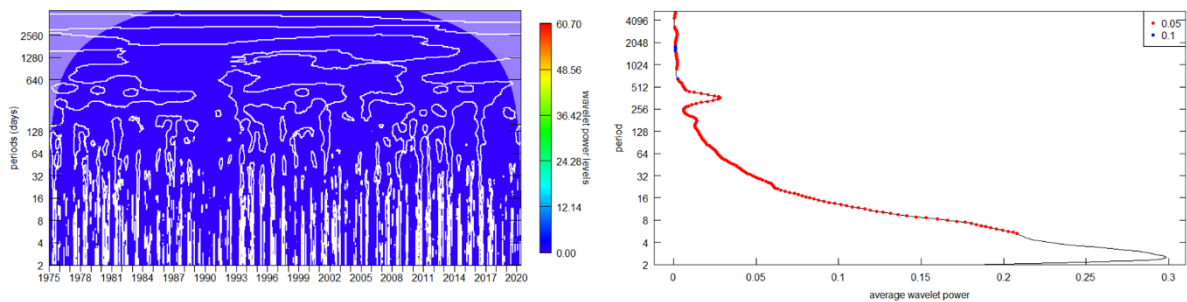
Funkcja autokorelacji ACF

Funkcja autokorelacji PACF

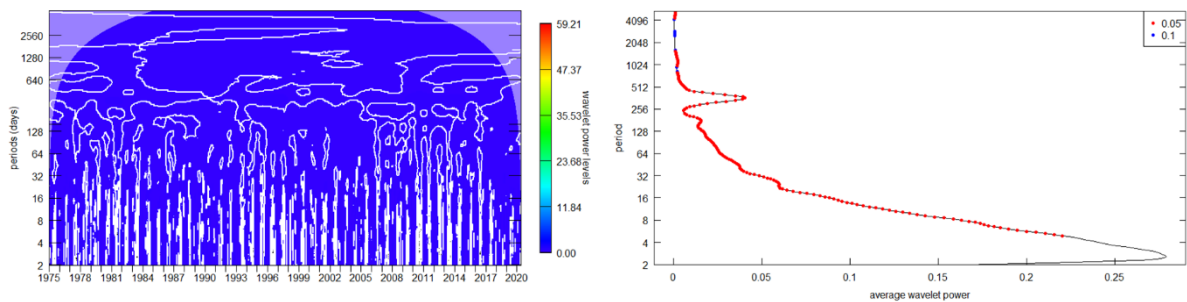
Rysunek 7 Funkcja autokorelacji ACF i PACF zmiennej losowej sumy dobowej opadów dla opóźnienia 100 miesięcy z zaznaczonymi współczynnikami autokorelacji i poziomem ufności $p < 0.05$ (pozioma przerywana linia) dla stacji Liberec, Bedrichov, Hejnice. Źródło: opracowanie własne IMGW PIB

Na wykresach widoczna jest niewielka korelacja między kolejnymi obserwacjami, co oznacza, że występuje niezależność obserwacji. Większość współczynników autokorelacji, ACF i PACF mieści się wewnątrz przedziału ufności przy poziomie istotności $p < 0.05$. Nie wykryto wahań okresowych, sezonowych.

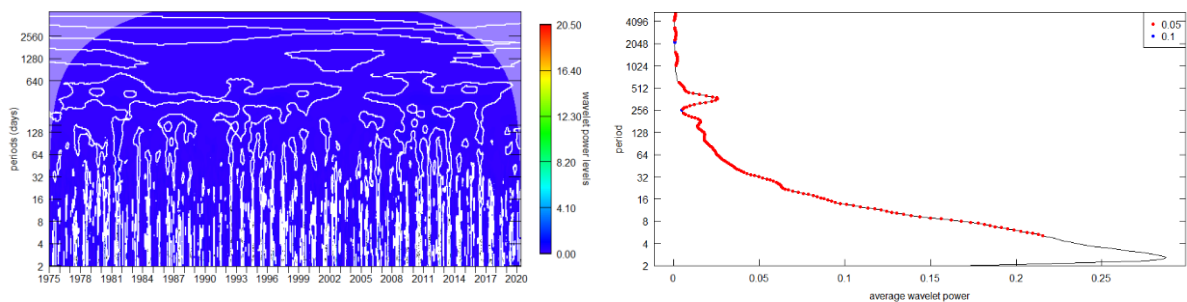
Ocenę jakościową i ilościową trendu sum dobowych opadów rejestrowanych na analizowanych stacjach opadowych dokonano modelem hybrydowym analizy falkowej oraz liniowej regresji (WAV-LM). Wyniki analizy falkowej przedstawia Rys. 8 oraz Rys. 9.



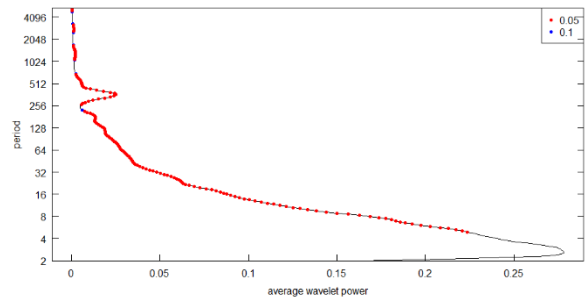
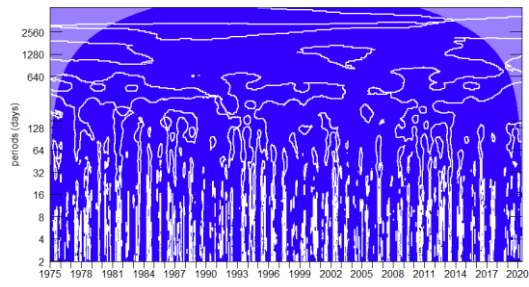
Sieniawka



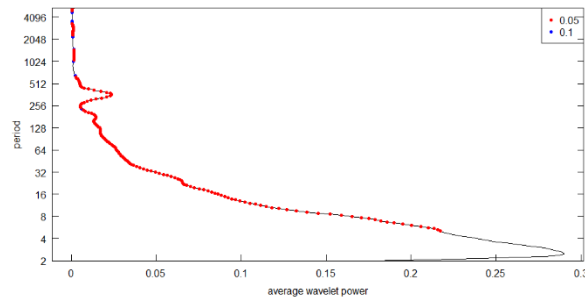
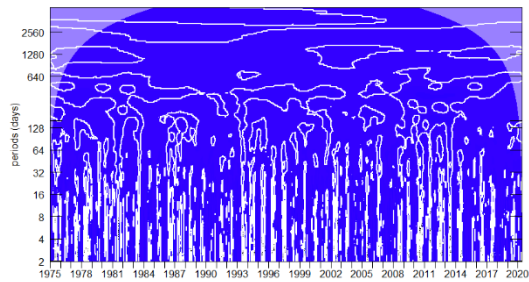
Bogatynia



Wyszaków

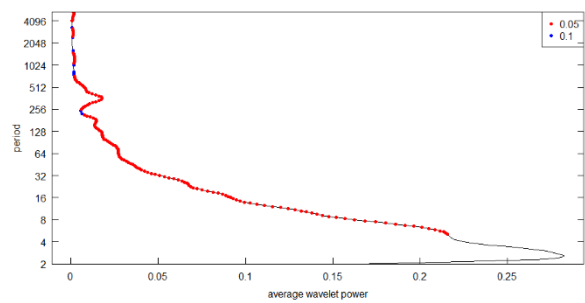
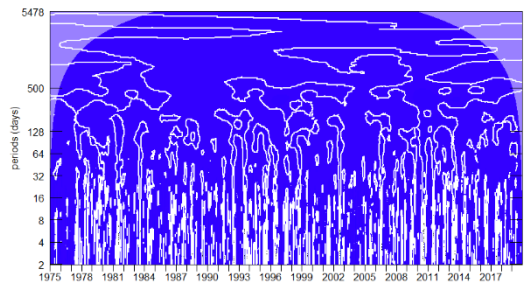


Bierna

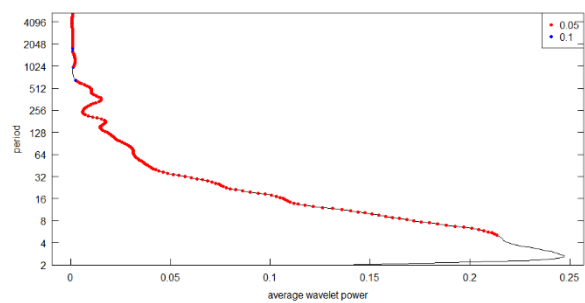
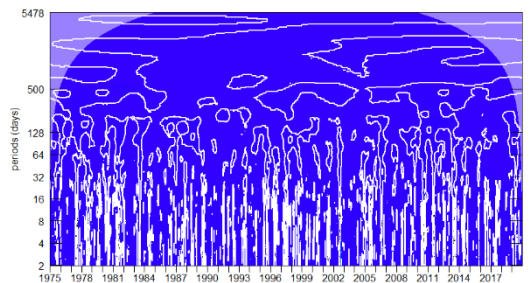


Sulikow

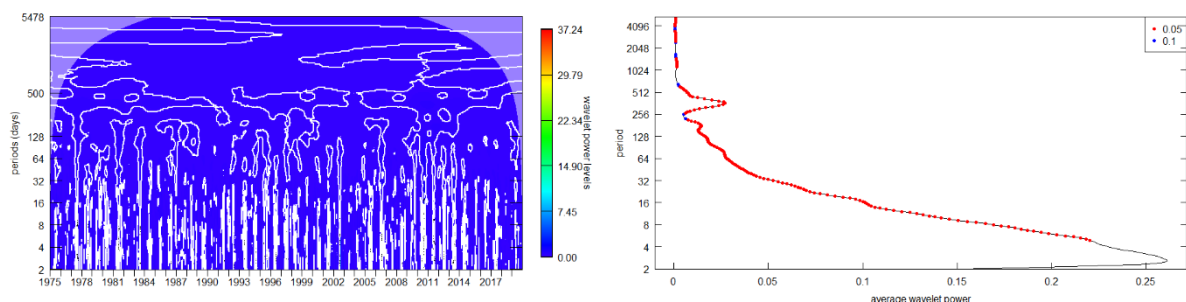
Rysunek 8 Analiza czasowo-częstotliwościowa niestacjonarnych szeregów sum dobowych opadu dla stacji opadowych (wykresy z lewej strony) oraz przebieg uśrednionej energii falkowej w odniesieniu do okresu (wykresy po prawej strony) dla stacji Sieniawka, Bogatynia, Wyszków, Bierna, Sulikow. Źródło: opracowanie własne IMGW PIB.



Liberec



Bedrichov



Hejnice

Rysunek 9 Analiza czasowo-częstotliwościowa niestacjonarnych szeregów sum dobowych opadu dla stacji opadowych (wykresy z lewej strony) oraz przebieg uśrednionej energii falkowej w odniesieniu do okresu (wykresy po prawej strony) dla stacji Liberec, Bedrichov, Hejnice. Źródło: opracowanie własne IMGW PIB.

Analiza wyników wskazuje, że we wszystkich analizowanych stacjach opadowych najwyższe opady występują co 500-600 dni, obrazuje to najwyższa energia falkowa na wykresie prawym oznaczona niebieskim kolorem. Znaczna liczba istotnych opadów występuje co 2 do 16 dni.

Przeprowadzona analiza ilościowo-jakościowa trendu dla stacji opadowych Sieniawka, Bogatynia, Wyszków, Bierna, Sulików oraz Liberec, Bedrichov i Hejnice wskazuje na niezależność danych. Podczas analiz nie wykryto sezonowych i okresowych wahań i nie stwierdzono cykliczności ciągów. Test Manna-Kendalla wykrył niewielki trend spadkowy dla ciągów dobowych sum opadowych w stacjach Sieniawka i Wyszków Bedrichov i Hejnice oraz nieznaczną tendencją wzrostową w stacji Bierna. W pozostałych przypadkach obliczony trend jest nieistotny dla przyjętego w badaniu poziomu istotności $p < 0.05$. Analiza spektralna energii falkowej wszystkich badanych ciągów dobowych sum opadów pozwala na stwierdzenie reprezentują one jedną populację. We wszystkich stacjach najwyższe opady występują co 500-600 dni, natomiast średnie i najczęściej występujące od 2 do 16 dni. Analiza regresji liniowej wykluczyła istnienie trendu liniowego we wszystkich analizowanych stacjach opadowych.

3.2 Analiza przepływów codziennych

Analizę trendów ciągu przepływów codziennych przeprowadzono dla stacji wodowskazowej Turoszów na Miedziance, dla dwóch wielolecia obserwacji: od 1.11.1974 do 31.05.1992 oraz od 1.11.1998 do 30.04.2020. Uwzględnienie dwóch okresów spowodowane jest brakiem codziennych przepływów dla lat od 1.06.1992 do 30.10.1998, odpowiednio o liczebności $n = 6252$ i 7670 . Analiza danych przeprowadzono również dla stacji zlokalizowanych w sąsiedztwie kopalni na terenie Polski, tj.: Porajów, Sieniawka i Zgorzelec na Nysie Łużyckiej dla okresu od 1 listopada 1965 do 30 kwietnia 2020 o liczebności $n = 19905$, a także Billy-Potok, Frydlant w okresie od 1 stycznia 1987 do 31 sierpnia 2016 o liczebności $n = 10836$ oraz Hradec i Liberec w okresie od 1 stycznia 1987 do 31 grudnia 2017 o liczebności $n = 11323$. Wyniki zestawiono odpowiednio w Tab. 6, Tab. 7, Tab. 8.

Tabela 6. Charakterystyki rozkładu prawdopodobieństwa zmiennych obserwowanych w stacji wodowskazowej Turoszów na Miedziance. Źródło: opracowanie własne IMGW PIB.

Zmienna losowa	Q_{TUR} (m^3s^{-1}) – obserwacje codzienne	
Wielolecie	1 listopad 1974 – 31 maj 1992	1 listopad 1998 – 30 kwiecień 2020
Miara asymetrii rozkładu		

Zmienna losowa	Q_{TUR} (m^3s^{-1}) – obserwacje codzienne	
Wielolecie	1 listopad 1974 – 31 maj 1992	1 listopad 1998 – 30 kwiecień 2020
Współczynnik skośności	8.70	13.77
Miara koncentracji rozkładu		
Współczynnik spłaszczenia (kurtoza)	199.13	336.50
Miary rozproszenia rozkładu		
Odchylenie standardowe (m^3s^{-1})	0.83	1.31
Wariancja [$(m^3s^{-1})^2$]	0.69	1.74
Miary położenia rozkładu		
Minimum (m^3s^{-1})	0.03	0.05
Kwantyl rzędu 0.25 (m^3s^{-1})	0.42	0.30
Mediana	0.64 (m^3s^{-1})	0.48 (m^3s^{-1})
Kwantyl rzędu 0.75	0.89 (m^3s^{-1})	0.88 (m^3s^{-1})
Maksimum	28.00 (m^3s^{-1})	45.50 (m^3s^{-1})
Średnia arytmetyczna	0.82 (m^3s^{-1})	0.80 (m^3s^{-1})

Tabela 7. Charakterystyki rozkładu prawdopodobieństwa zmiennych obserwowanych w stacjach wodowskazowych Porajów, Sieniawka i Zgorzelec na Nysie Łużyckiej. Źródło: opracowanie własne IMGW PIB.

Zmienna losowa	Q (m^3s^{-1}) – obserwacje codzienne		
Stacja wodowskazowa	PORAJÓW	SIENIAWKA	ZGORZELEC
Miara asymetrii rozkładu			
Współczynnik skośności	5.01	7.62	9.48
Miara koncentracji rozkładu			
Współczynnik spłaszczenia (kurtoza)	58.89	125.98	257.57
Miary rozproszenia rozkładu			
Odchylenie standardowe	5.55	9.95	16.87
Wariancja	30.85	99.10	284.74
Miary położenia rozkładu			
Minimum	0.87	1.16	2.31
Kwantyl rzędu 0.25	2.8	3.87	6.93
Mediana	4.26	6.02	11.2
Kwantyl rzędu 0.75	7.11	10.4	18.9
Maksimum	137.0	292.0	750.0
Średnia arytmetyczna	5.93	8.84	15.75

Tabela 8 Charakterystyki rozkładu prawdopodobieństwa zmiennych obserwowanych w stacjach wodowskazowych Bily Potok i Frydlant na Smedzie oraz Liberec i Hradek na Nysie Łużyckiej. Źródło: opracowanie własne IMGW PIB.

Zmienna losowa	Q (m^3s^{-1}) – codzienne obserwacje przepływów			
Stacja wodowskazowa	$Q_{BILLY-POTOK}$	$Q_{FRYDLANT}$	Q_{HRADEC}	$Q_{LIBEREC}$
Miara asymetrii rozkładu				
Współczynnik skośności	7.9848	10.0984	6.9856	3.4995
Miara koncentracji rozkładu				
Współczynnik spłaszczenia (kurtoza)	141.9923	202.2954	120.7795	25.3496
Miary rozproszenia rozkładu				
Odchylenie standardowe	1.36	3.83	5.43	1.74
Wariancja	1.87	14.67	29.50	3.03
Miary położenia rozkładu				
Minimum	0.04	0.2	0.75	0.17
Kwantyl rzędu 0.25	0.31	1.12	2.64	0.92
Mediana	0.51	1.80	3.86	1.41
Kwantyl rzędu 0.75	1.01	3.30	6.25	2.29
Maksimum	40.5	121.0	173.0	26.5
Średnia arytmetyczna	0.94	2.85	5.41	1.94

W przypadku stacji wodowskazowej Turoszów na Miedziance dodatnia skośność obu ciągów przepływów wskazuje na prawostronną asymetrię. Skośność w zakresie $>+1.5$ wskazuje, że ich rozkłady posiadają prawostronną asymetrię. Rozkłady obu porównywanych okresów charakteryzują się zbliżonymi własnościami statystycznymi. W pierwszym analizowanym okresie zaobserwowano nieco niższe wartości w strefie niskich przepływów (minimum, kwantyl 0.25), zbliżone w strefie średnich (mediana, średnia arytmetyczna i kwantyl 0.75) i wyższe w strefie wysokich przepływów (maksimum). W pozostałych analizowanych stacjach wodowskazowych ciągi posiadają dodatnią skośność, co wskazuje na prawostronną asymetrię. Ponadto rozkłady charakteryzują się cechami charakterystycznymi dla kolejnych przekrojów obliczeniowych tego samego ciekłu położonych wzdłuż przrastającej powierzchni zlewni.

Wartości współczynników korelacji oraz cech trendu dla przepływów codziennych w stacji wodowskazowej Turoszów na Miedziance oraz Porajów, Sieniawka i Zgorzelec na Nysie Łużyckiej zestawiono odpowiednio w Tab. 9, Tab. 10, Tab. 11.

Tabela 9 Korelacje między zaobserwowanym codziennym przepływem a zmienną określającą czas w stacji wodowskazowej Turoszów na Miedziance oraz wyniki nieparametrycznego testu Manna-Kendalla. Źródło: opracowanie własne IMGW PIB.

Zmienna losowa	Q_{TUR} (m^3s^{-1}) – obserwacje codzienne	
	1 listopad 1974 – 31 maj 1992	1 listopad 1998 – 30 kwiecień 2020
Nieparametryczne i parametryczne współczynniki korelacji		
Współczynnik korelacji Spearmana	-0.1143	-0.1058
Współczynnik korelacji Kendalla	-0.0793	-0.0727
Współczynnik korelacji Pearsona	-0.0767	-0.0494
Cechy trendu		
Test Mann-Kendall	-0,0796	-0,7272
<i>p</i> wartość	0,00001	0,00001
nachylenie liniowe dla poziomu istotności $\alpha= 0.95$.	-0,0000219	-0,0000152
górnny przedział ufności	-0,0000268	-0,0000184
dolny przedział ufności	-0,0000170	-0,0000192
punkt zmiany trendu	1982-02-12	2013-12-27

Test Manna-Kendalla wskazał na istnienie tendencji malejącej ($p<0.05$) obu okresach.

Tabela 10 Korelacje między zaobserwowanym codziennym przepływem a zmienną określającą czas w stacjach wodowskazowych Porajów, Sieniawka i Zgorzelec na Nysie Łużyckiej oraz wyniki nieparametrycznego testu Manna-Kendalla. Źródło: opracowanie własne IMGW PIB.

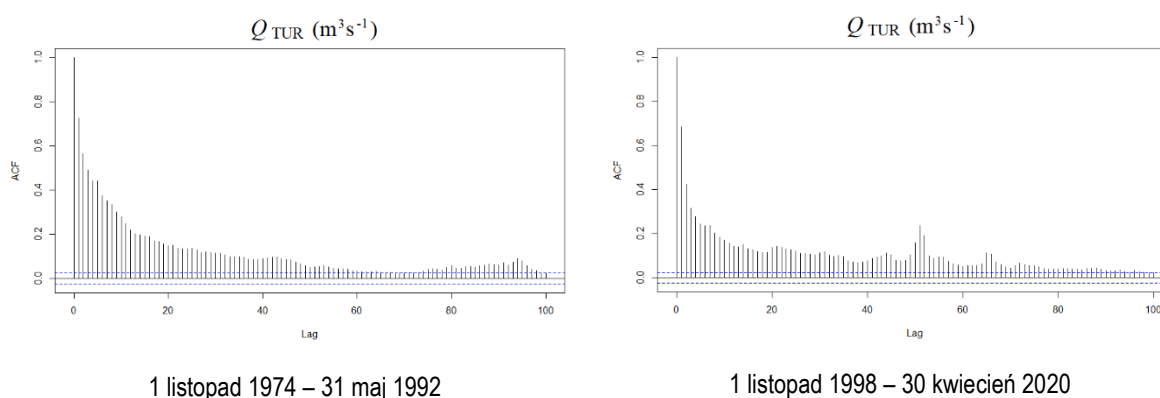
Zmienna losowa	Q (m^3s^{-1}) – obserwacje codzienne		
	PORAJÓW	SIENIAWKA	ZGORZELEC
Nieparametryczne i parametryczne współczynniki korelacji			
Współczynnik korelacji Spearmana	-0.0898	-0.0518	-0.1371
Współczynnik korelacji Kendalla	-0.0617	-0.0361	-0.0931
Współczynnik korelacji Pearsona	-0.0562	-0.0342	-0.0827
Cechy trendu			
Mann-Kendall	-0.0617	-0.0361	-0.0931
<i>p</i> wartość	$\leq 2.22e-16$	$2.198e-14$	$\leq 2.22e-16$
nachylenie liniowe dla poziomu istotności $\alpha= 0.95$.	0.0000402	-0.0000334	-0.000167
górnny przedział ufności	0.0000464	-0.0000246	-0.000150
dolny przedział ufności	0.0000341	-0.0000423	-0.000183
punkt zmiany trendu	1999-05-15	1999-05-16	1982-05-26

Tabela 11 Korelacje między zaobserwowanym codziennym przepływem a zmienną określającą czas w stacjach wodowskazowych Bily Potok i Frydlant na Smedzie oraz Liberec i Hradek na Nysie łżyckiej, a także wyniki nieparametrycznego testu Manna-Kendalla. Źródło: opracowanie własne IMGW PIB.

Zmienna losowa	Q (m ³ s ⁻¹) – codzienne obserwacje przepływów			
	BILLY-POTOK	FRYDLANT	HRADEC	LIBEREC
Nieparametryczne i parametryczne współczynniki korelacji				
Współczynnik korelacji Spearmana	-0.0686	-0.1395	-0.0947	-0.1981
Współczynnik korelacji Kendalla	-0.0461	-0.0945	-0.0649	-0.1341
Współczynnik korelacji Pearsona	-0.0073	-0.0480	-0.0330	-0.0983
Cechy trendu				
Mann-Kendall	-0.0461	-0.0945	-0.0650	-0.1340
p wartość	7.822e-13	<=2.222e-16	<=2.222e-16	<=2.222e-16
nachylenie liniowe	-6.784e-06	-5.095e-05	-6.223e-05	-5.095e-05
górnny przedział ufności	-4.939e-06	-4.422e-05	-5.054e-05	-4.642e-05
dolny przedział ufności	-8.674e06	-5.781e-05	-7.388e-05	-5.548e-05
punkt zmiany trendu	2005-09-02	1999-07-17	1999-05-04	1999-05-04

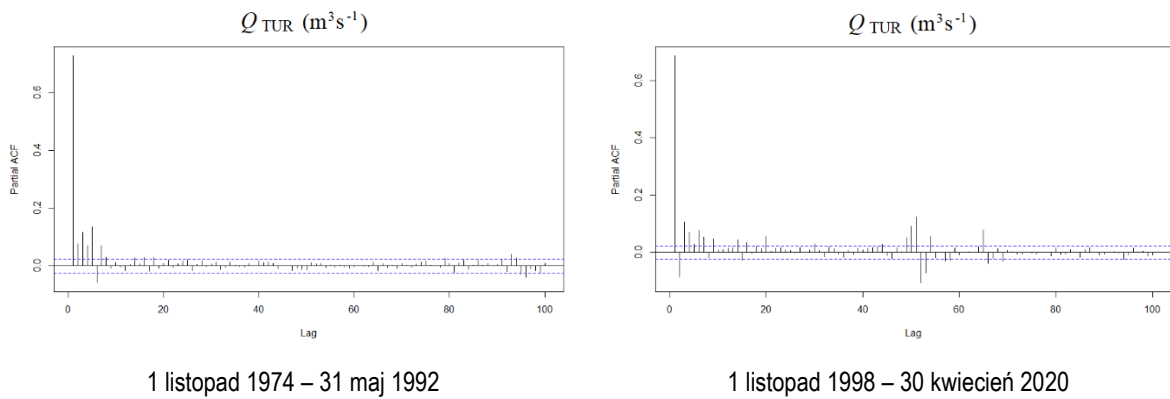
Przeprowadzone analizy między badanymi zmiennymi losowymi przepływów codziennych a zmienną określającą czas, wskazują na występowanie nieistotnej statystycznie ujemnej korelacji. Wskazują na to wyniki testów korelacji Spearman, Kendall i Pearsona. Test Manna-Kendalla wskazał na istnienie niewielkiej tendencji rosnącej w przekroju obliczeniowym Porajów oraz niewielkiej tendencji malejącej w przekrojach Sieniawka i Zgorzelec. Najbardziej prawdopodobnym punktem na osi czasu zmiany trendu w przekroju Porajów był 15 maja 1999 a w Sieniawce 16 maja 1999. W dolnym przekroju badanego odcinka rzeki Nysy łżyckiej, tj. w Zgorzelcu wyraźna zmiana trendu wystąpiła już 26 maja 1982 r. W przypadku przepływów rejestrowanych na czeskich wodowskazach w analizowanych okresach wszystkie ciągi wykazywały niewielkie, statystycznie istotne tendencje spadkowe dla poziomu istotności $p < 0.05$. W każdym przekroju nachylenie liniowe osiągnęło niewielkie wartości ujemne.

Zbadano autokorelację ciągów przepływów codziennych. Analizę wykonano dla opóźnienia 100 dni. Wykresy wskazują na bardzo silny związek między bieżącą realizacją badanej zmiennej losowej a jego wartością do kilku dni wcześniej (współczynnik autokorelacji powyżej 0.50). Wyniki dla stacji Turoszów na Miedziance zestawiono na Rys. 10 i Rys. 11.



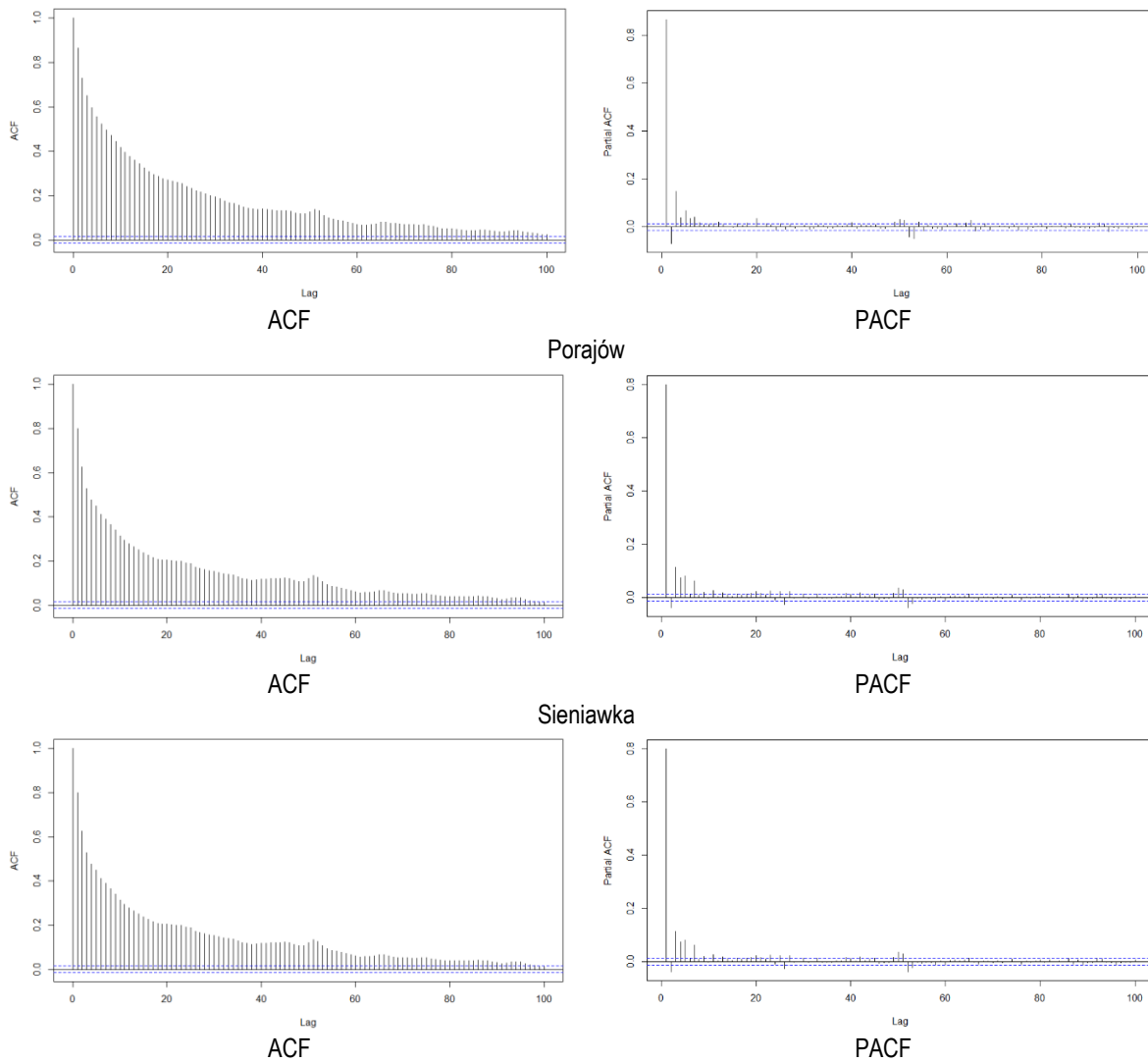
Rysunek 10 Funkcja autokorelacji (ACF) przepływów codziennych dla opóźnienia 100 dni z zaznaczonymi współczynnikami autokorelacji i poziomem ufności $p < 0.05$ (pozioma przerywana linia).

Funkcję autokorelacji cząstkowej (PACF) przy przesunięciu 100 dni zastosowano do wykrycia wahań okresowych, sezonowych. Analiza wyników nie wykazuje takich wahań, Rys. 11



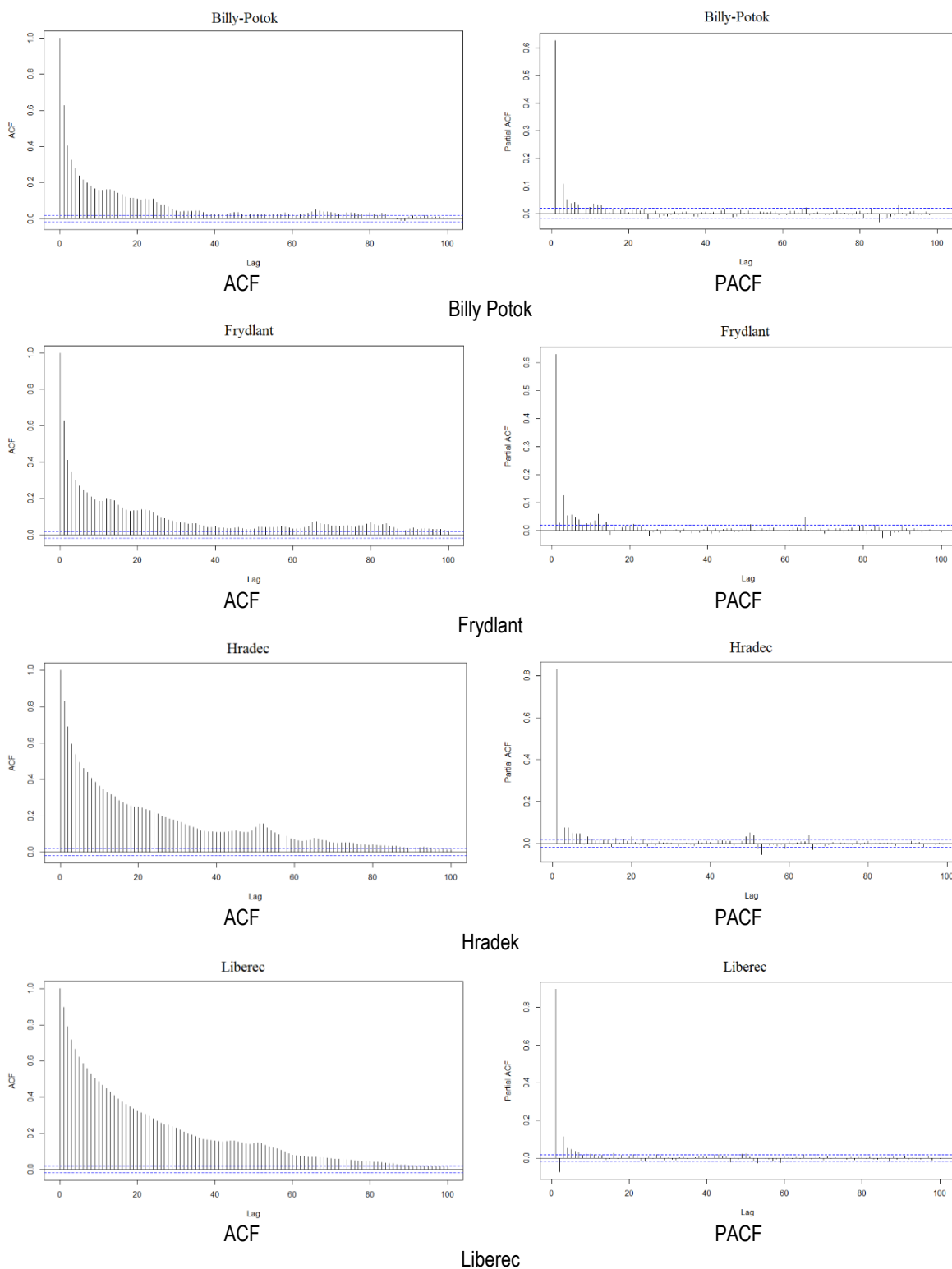
Rysunek 11 Funkcja autokorelacji wewnętrznej (PACF) przepływów dla opóźnienia 100 dni z zaznaczonymi współczynnikami autokorelacji i poziomem ufności $p < 0.05$ (pozioma przerywana linia). Źródło: opracowanie własne IMGW PIB.

Wyniki dla pozostałych analizowanych stacji wodowskazowych przedstawiają Rys. 12 i Rys. 13.



Zgorzelec

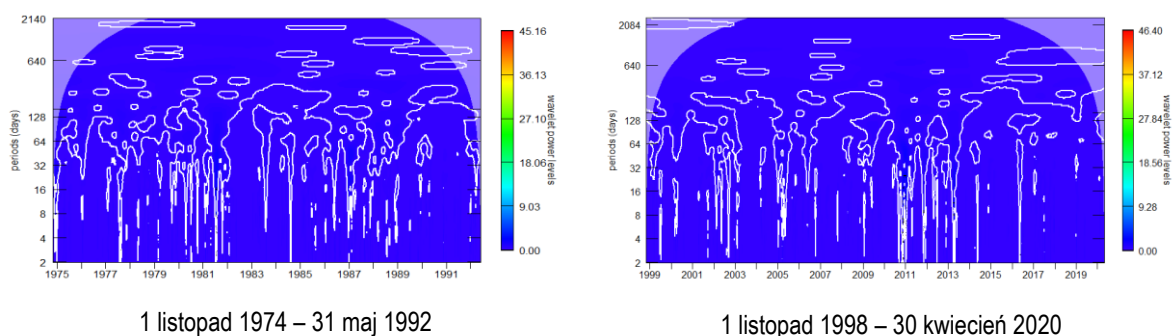
Rysunek 12 Funkcja autokorelacji wewnętrznej (PACF) przepływów codziennych dla opóźnienia 100 dni z zaznaczonymi współczynnikami autokorelacji i poziomem ufności $p < 0.05$ (pozioma przerywana linia) dla stacji wodowskazowych Sieniawka, Porajów, Zgorzelec na Nysie Łużyckiej. Źródło: opracowanie własne IMGW PIB.



Rysunek 13 Funkcja autokorelacji wewnętrznej (PACF) przepływów codziennych dla opóźnienia 100 dni z zaznaczonymi współczynnikami autokorelacji i poziomem ufności $p < 0.05$ (pozioma przerywana linia) dla stacji wodowskazowych Billy Potok i Frdlant na Smedzie oraz Liberec i Hradec na Nysie Łużyckiej. Źródło: opracowanie własne IMGW PIB.

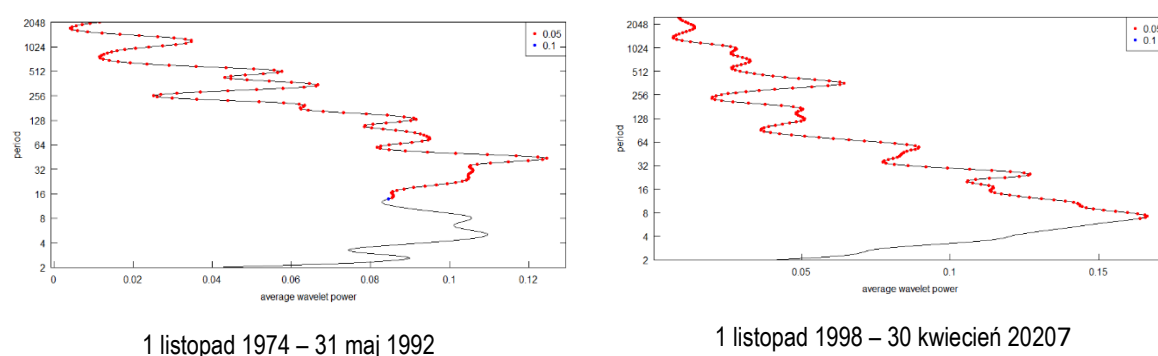
We wszystkich analizowanych ciągach wyraźnie widoczna jest korelacja między pierwszymi kilkudziesięcioma obserwacjami. Nie wykryto wahań okresowych (sezonowych).

Ocenę jakościową i ilościową trendu codziennych przepływów dokonano modelem hybrydowym analizy falkowej oraz liniowej regresji (WAV-LM). Do oceny jakości modelu zastosowano następujące miary statystyczne: średni błąd absolutny, (MAE mean absolute error), pierwiastek błędu średniokwadratowego, (RMSE root mean square error), współczynnik skuteczności Nasha i Sutcliffe'a, (NSE Nash-Sutcliffe efficiency). Wyniki analizy falkowej przepływów codziennych w stacji wodowskazowej Turoszów na Miedziance przedstawia Rys. 14.



Rysunek 14 Analiza niestacjonarnych ciągów przepływów codziennych zmian częstotliwości (okresu) w dziedzinie czasu. Źródło: opracowanie własne IMGW PIB.

Zmiany częstotliwości (okresu) w czasie obrazuje energia fali, której poziom przedstawia skala kolorystyczna po prawej stronie wykresów. Okres fali (częstość) zmienia się w przedziale od 2 do 2140 dni. Najwyższa energia fali w obu wieloleciach występuje dla okresu od 32 do 64 dni, co oznacza, że wzrost przepływów następuje co 1-2 miesiące. Przeprowadzono również analizę uśrednionej energii fali falkowej w odniesieniu do okresu, Rys. 15.



Rysunek 15 Analiza uśrednionej energii fali falkowej. Źródło: opracowanie własne IMGW PIB.

Dla obu badanych wieloleci zidentyfikowano wielomodalność uśrednionej energii falkowej (czerwone punkty przy poziomie istotności $p=0.05$).

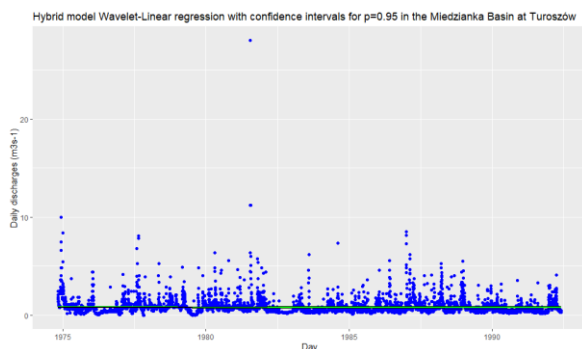
Poprawność modelu prezentują wartości zastosowanych miar statystycznych Tab. 12.

Tabela 12 Wyniki sprawdzenia poprawności modelu hybrydowego WAV-LM dla stacji wodowskazowej Turoszów na Miedziance. Źródło: opracowanie własne IMGW PIB.

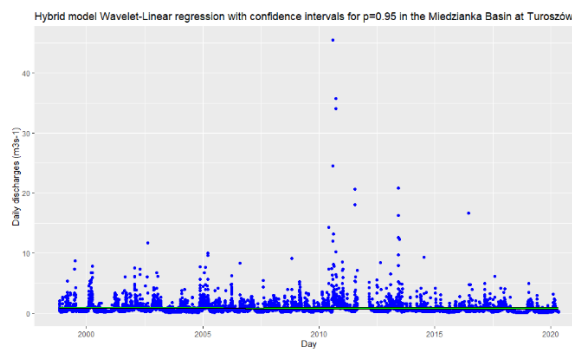
Zmienna losowa	Q_{TUR} (m^3s^{-1}) – obserwacje codzienne	
wielolecie	01 listopada 1974 – 31 maja 1992	01 listopada 1998 – 30 kwietnia 2020

Miary jakości modelu		
MAE	0.4434	0.5853
RMSE	0,8325	1.3174
NSE	0.0058	0.00244

Zbadano również trend w obu wieloletniach, Rys. 16 oraz Rys. 17.



Rysunek 16 Wyniki modelu hybrydowego WAV-LM z parametrami: $\beta=-9.054e-06$, $\sigma_{\beta}=5.631e-06$, $p=0.108$, $r^2=0.0004$, $F(1,6420)=2.585$. Zielona ciągła linia – trend liniowy. Wielolecie 1 listopad 1974 – 31 maj 1992. Źródło: opracowanie własne IMGW PIB.



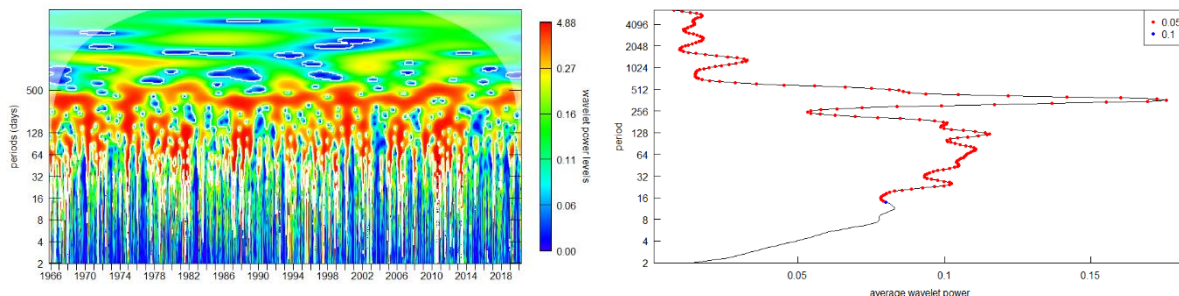
Rysunek 8 Wyniki modelu hybrydowego WAV-LM z parametrami: $\beta=-3.405e-06$, $\sigma_{\beta}=6.803e-06$, $p=0.6168$, $r^2=3.266e-05$, $F(1,7668)=0.2504$. Zielona ciągła linia – trend liniowy. Wielolecie 1 listopad 1998 – 30 kwiecień 2020. Źródło: opracowanie własne IMGW PIB.

Przeprowadzona analiza jakościowa i ilościowa trendu przepływów codziennych w stacji wodowskazowej Turoszów na Miedziance dla dwóch okresów tj.: od 1 listopada 1974 do 31 maja 1992 oraz od 1 listopada 1998 do 30 kwietnia 2020 wskazuje na istotne podobieństwo własności losowych obu ciągów pomiarowych. Ciągi uzyskały dodatnią skośność co wskazuje na prawostronną asymetrię. W latach 1974-1992 zaobserwowano nieco wyższe wartości przepływów w strefie przepływów niskich, zbliżone w strefie przepływów średnich oraz niższe w strefie wody wysokiej. Identyfikacja trendu za pomocą testu Manna-Kendalla potwierdziła istnienie w obu okresach porównawczych tendencji malejących z nieznacznym liniowym nachyleniem, przy czym tendencję przyjęto na poziomie istotności powyżej 95%, tj. dla $p < 0.05$. Analiza zawierała również autokorelację i identyfikację występowania wahań okresowych za pomocą testu ACF do badania autokorelacji i PACF do autokorelacji wewnętrznej. Autokorelacja wykazała w obu ciągach silny związek między bieżącą realizacją zmiennej losowej a jej wartością do kilku dób wcześniej. Oba analizowane ciągi są zależne. Autokorelacja wewnętrzna nie wykazała stałego cyklu, tj. sezonowych wahań okresowych.

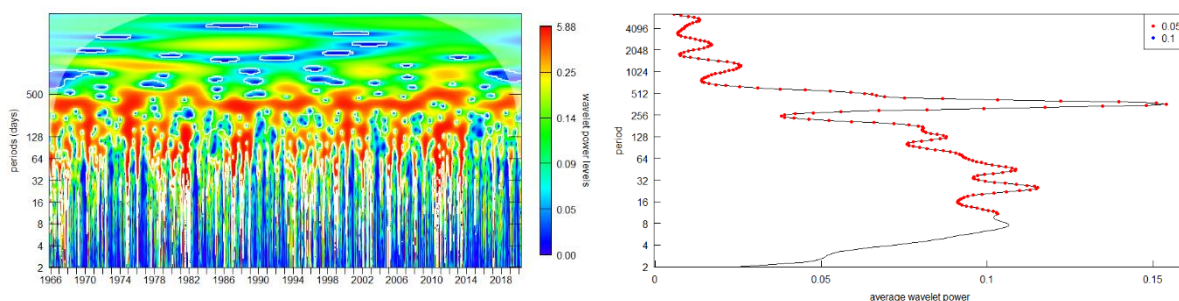
Przeprowadzona analiza czasowo-częstotliwościowa niestacjonarnych ciągów pomiarowych za pomocą narzędzi fali falkowej w postaci spektrum mocy energii oraz uśrednionej energii fali falkowej wykazała duże podobieństwa w obu ciągach. Najwyższą energię zaobserwowano w przedziale okresu od 32 do 64 dni. Uśredniona energia fali falkowej ma charakter wielomodalny, największa moc występuje w zbliżonych okresach. Badanie przeprowadzono przy poziomie istotności $p < 0.05$.

Analiza regresji potwierdziła występowanie w ciągach 1974-1992 niewielkiego trendu o charakterze malejącym z prawdopodobieństwem około 90%, tj. z $p \sim 0.10$, natomiast niewielki trend malejący zaobserwowany w latach 1998-2020 został uznany za nieistotny. Oba badane ciągi są bez trendu.

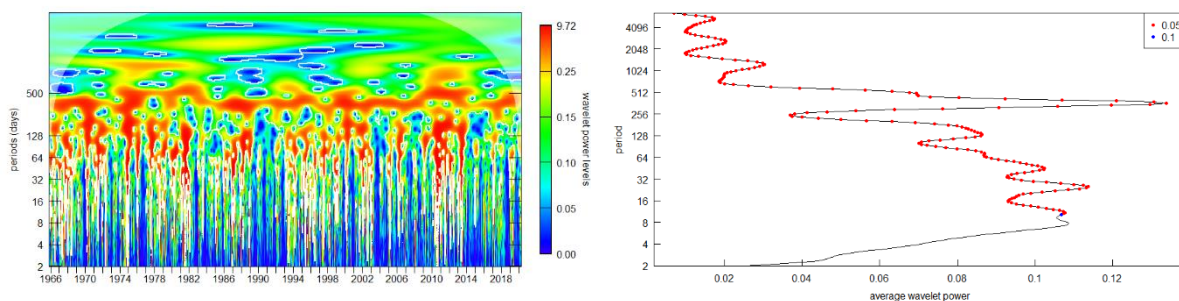
Podobną analizę przeprowadzono dla ciągów rejestrowanych na pozostałych stacjach wodowskazowych tj.: Liberec, Hradek, Sieniawka, Porajów i Zgorzelec na Nysie Łużyckiej oraz Billy Potok i Frydlant na Smedzie. Wyniki przedstawiono na wykresach, Rys. 18 oraz Rys. 19.



Porajów



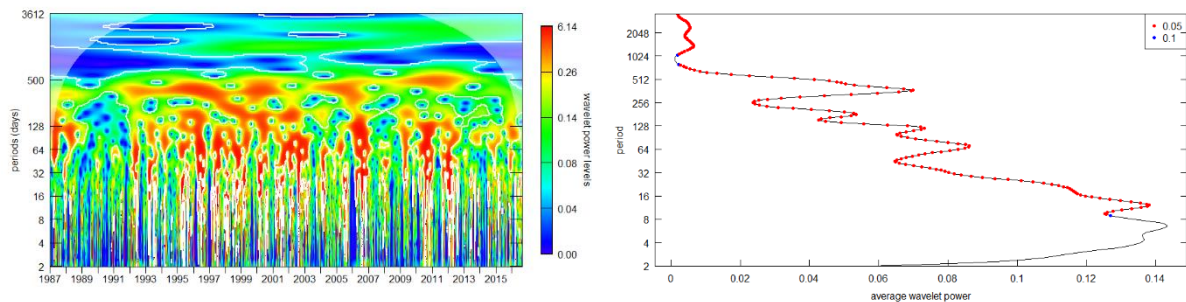
Sieniawka



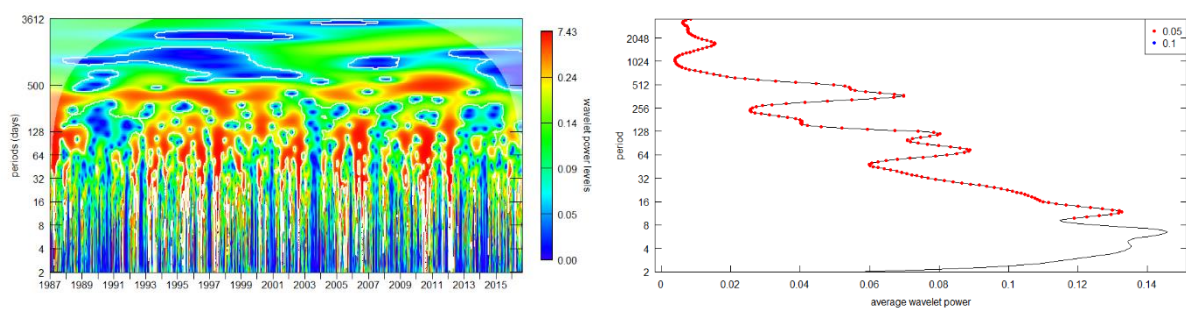
Zgorzelec

Rysunek 18 Analiza czasowo-częstotliwościowa niestacjonarnych szeregów przepływów codziennych dla stacji wodowskazowych Porajów, Sieniawka i Zgorzelec na Nysie Łużyckiej (wykresy z lewej strony) oraz przebieg uśrednionej energii falkowej w odniesieniu do okresu (wykresy po prawej stronie). Źródło: opracowanie własne IMGW PIB.

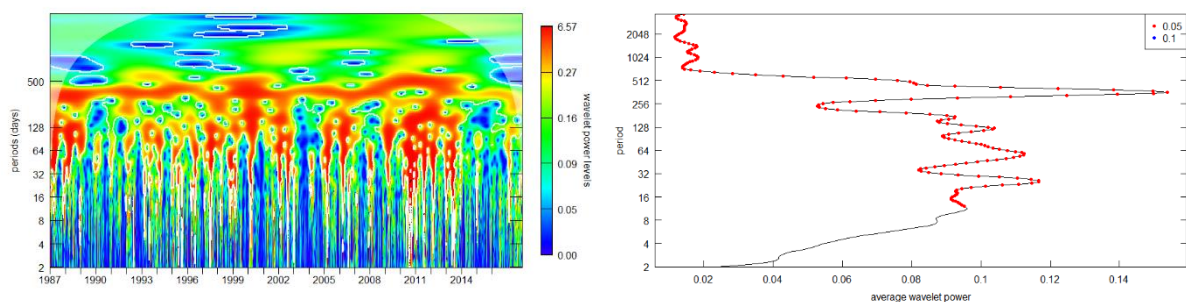
Analiza częstotliwości przepływów codziennych w stacjach wodowskazowych Porajów, Sieniawka i Zgorzelec na Nysie Łużyckiej pozwoliła na stwierdzenie, że znaczące przepływy pojawiają się średnio co 32 dni, natomiast wysokie przepływy co 500 dni.



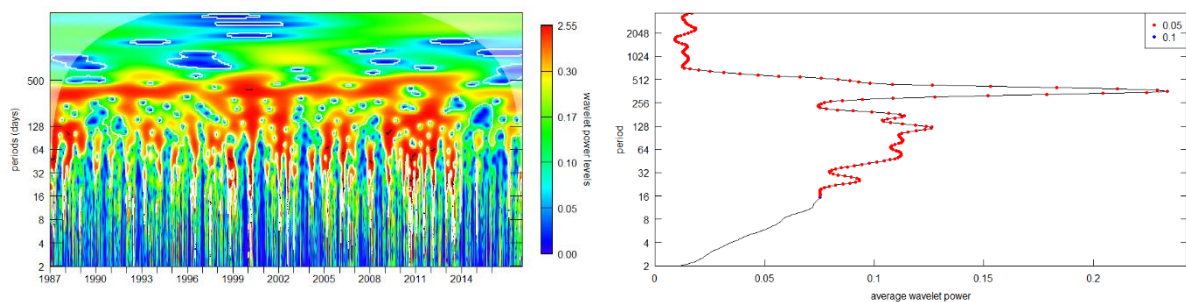
Billy Potok



Frydlant



Hradec



Liberec

Rysunek 19 Analiza czasowo-częstotliwościowa niestacjonarnych szeregów przepływów codziennych dla stacji wodowskazowych Billy Potok i frydlant na Smedzie oraz hradek i Liberec na Nysie łużyckiej (wykresy z lewej strony) oraz przebieg uśrednionej energii falkowej w odniesieniu do okresu (wykresy po prawej strony). Źródło: opracowanie własne IMGW PIB.

Przeprowadzona analiza czasowo-częstotliwościowa nie wykazała istotnych różnic w analizie ciągów przepływów rejestrowanych na stacjach wodowskazowych Billy-Potok i Frydlant oraz Hradec i Liberec. W przypadku wodowskazów Billy-Potok i Frydlant na Smedzie znaczące przepływy pojawiają się średnio co 16 dni, natomiast w stacjach wodowskazowych Hradec i Liberec średnio od 30 do 60 dni.

Wysokie przepływy występując średnio co 450 dni. Wynika stąd wniosek, że przepływy na stacjach wodowskazowych Billy-Potoku i Frydlant oraz w Hradcu i Libercu stanowią dwa różniące się hydrologicznie systemy, co potwierdza podział hydrograficzny. Billy Potok i Frydlant zlokalizowane są na Witce, dopływie Nysy Łużyckiej, natomiast Liberec i Hradec na Nysie Łużyckiej.

4. OCENA SUSZ HISTORYCZNYCH ZA POMOCĄ WARTOŚCI WSKAŹNIKOWYCH

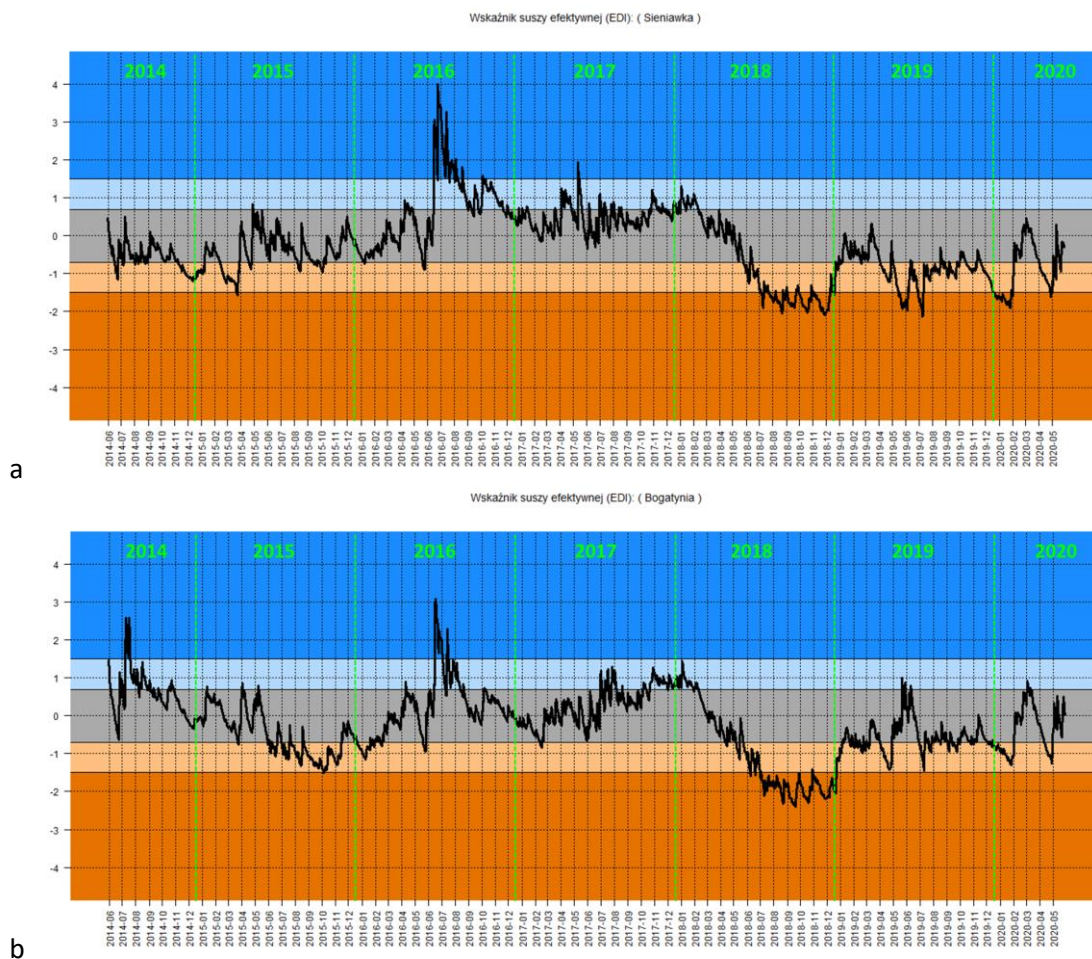
4.1 Metodyka badań

Formowanie się suszy następuje powoli jednak jej charakter jest dynamiczny o określonym cyklu rozwoju, przejawiającym się zmiennym w czasie i przestrzeni wzrostem różnicy pomiędzy dostępnymi zasobami wodnymi a potrzebami społeczeństwa, środowiska i gospodarki. W pierwszej fazie suszy, określanej mianem meteorologicznej, obserwowane są trwające nawet do kilku tygodni warunki braku opadów lub ich śladowa ilość. Ta faza suszy jest dość łatwo odwracalna pod kątem wilgotnościowym. Kilka dni z opadem zazwyczaj powoduje powrót do warunków normalnych. W przypadku dalszego utrzymywanie się stanu niedoboru opadów, któremu dodatkowo towarzyszyć może wysoka temperatura i zwiększona ewapotranspiracja, dochodzi do wyczerpywania wody glebowej wywołując tzw. suszą glebową. Stan zasobów wilgoci glebowej ma z kolei sprzężony wpływ na intensywność parowania wpływając jednocześnie na zasilanie wód podziemnych a w konsekwencji na odpływ rzeczny. Okres przedłużającego się deficytu opadów może prowadzić do kolejnego etapu, jakim jest susza hydrologiczna. Następuje wtedy zmniejszanie zasobów wód powierzchniowych i podziemnych. Ten etap suszy jest już trudno odwracalny ze względu na czas potrzebny do odnowienia zasobów wód (Tokarczyk i in. 2017).

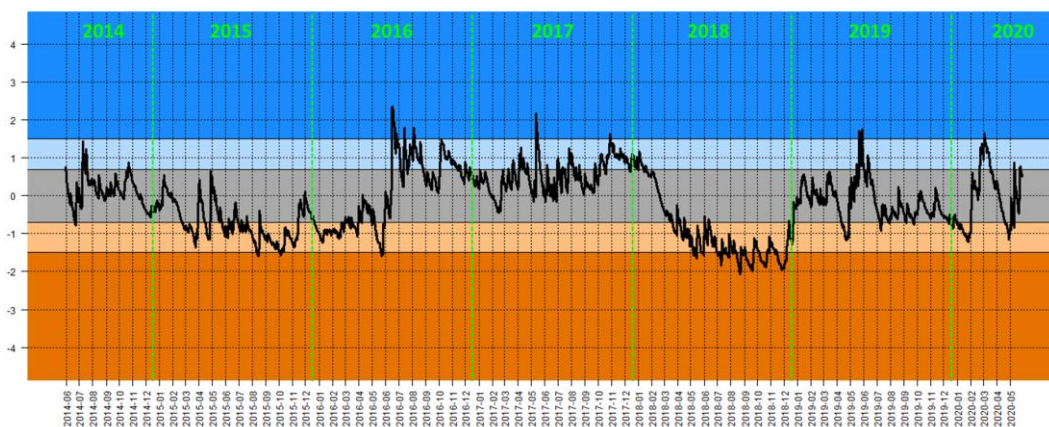
Jedną z powszechniej stosowanych metod ilościowej oceny suszy w poszczególnych jej fazach, jest ocena wskaźnikowa wyrażająca intensywność suszy w wartościach bezwzględnych odnoszących się do stopnia odchylenia aktualnych warunków wilgotnościowych od przyjętej długookresowej normy. Do oceny suszy meteorologicznej i hydrologicznej najczęściej wykorzystywane są wskaźniki obliczane na podstawie parametrów meteorologicznych (w szczególności opadu) oraz hydrologicznych (przepływu). Wśród wskaźników wykorzystywanych do operacyjnego monitorowania suszy w ramach IMGW-PIB wyróżnić należy wskaźniki wyznaczone na podstawie charakterystyk dobowych, pozwalające na określenie początku i końca suszy i określenie zmian intensywności suszy w czasie. Wartości wskaźnikowe wyznaczone dla dłuższych horyzontów czasowych (1 miesiąc, 3 miesiące, 6 miesięcy, rok) odzwierciedlają zróżnicowany wpływ suszy na dostępność różnych zasobów wodnych w cyklu hydrologicznym np. wskaźnik obliczony dla 1 miesiąca pozwala na detekcję krótkotrwałych susz meteorologicznych o zasięgu lokalnym, wskaźnik wyznaczony dla okresów 3-6 miesięcy wskazuje obszary zagrożenia suszą glebową o zasięgu regionalnym, okres uśredniania wskaźnika 6-12 miesięcy pozwala na wyznaczenie obszarów objętych suszą hydrologiczną w skali ponadregionalnej [źródło: Światowa Organizacja Meteorologiczna].

4.2 Ocena susz meteorologicznych

Do operacyjnej oceny susz meteorologicznych wykorzystywany jest wskaźnik suszy efektywnej (Effective Drought Index EDI). Wartości wskaźnika wyznaczana jest w formie znormalizowanego odchylenia kumulowanej, ważonej sumy opadów uprzednich i stanowi miarę aktualnych zasobów wodnych. Przebiegi wskaźnika EDI wyznaczone na podstawie poszczególnych stacji pomiarowych w rejonie KWB Turów: Sieniawka, Bogatynia, Wyszków, Bierna i Sulików w okresie od czerwca 2014 do maja 2020 przedstawiają wykresy a-e na Rys. 1. Warunki suche odpowiadają występowaniu wartości wskaźnika poniżej progu -0.7 (jasno pomarańczowy kolor), wartości bardzo suche odpowiadają występowaniu wskaźnika poniżej progu -1.5 (ciemno pomarańczowy kolor). Na ich podstawie można wyznaczyć okresy występowania zagrożenia suszą meteorologiczną. W tym okresie najniższe wartości odpowiadające największemu zagrożeniu suszą wystąpiły od lipca do grudnia 2018 roku. Przedłużający się stan warunków suchych widoczny jest również dla roku 2015, gdzie od czerwca do końca roku panowały suche warunki meteorologiczne. Również od początku roku 2019 obserwowane były okresy suszy meteorologicznej, szczególnie w południowej części regionu na stacjach Sieniawka i Bogatynia. W roku 2020 wyodrębnić można 2 epizody nasilenia suszy trwającej od roku 2018 do końca stycznia 2020 oraz między kwietniem i majem.

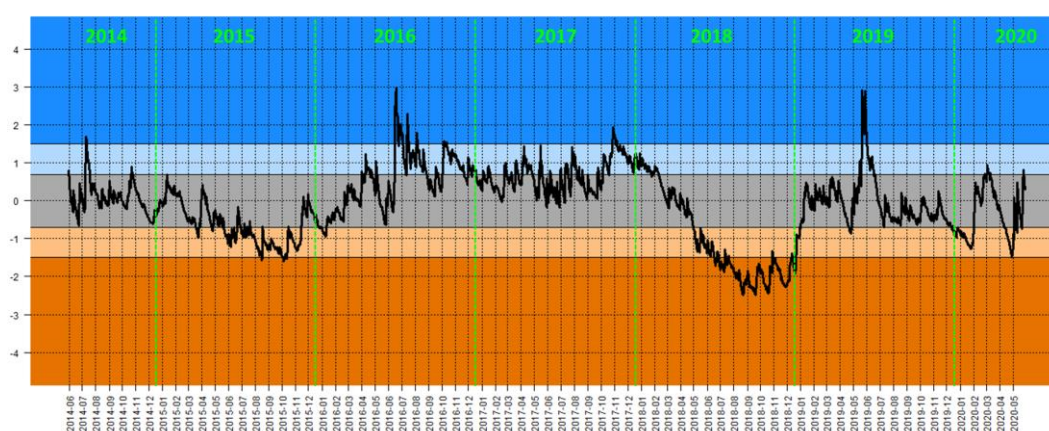


Wskaźnik suszy efektywnej (EDI): (Wyszków)



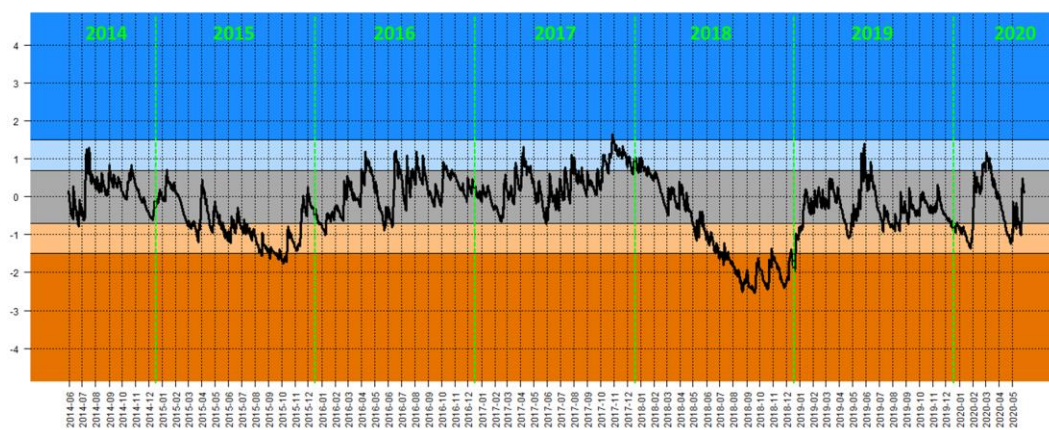
c

Wskaźnik suszy efektywnej (EDI): (Bierna)



d

Wskaźnik suszy efektywnej (EDI): (Sulików)

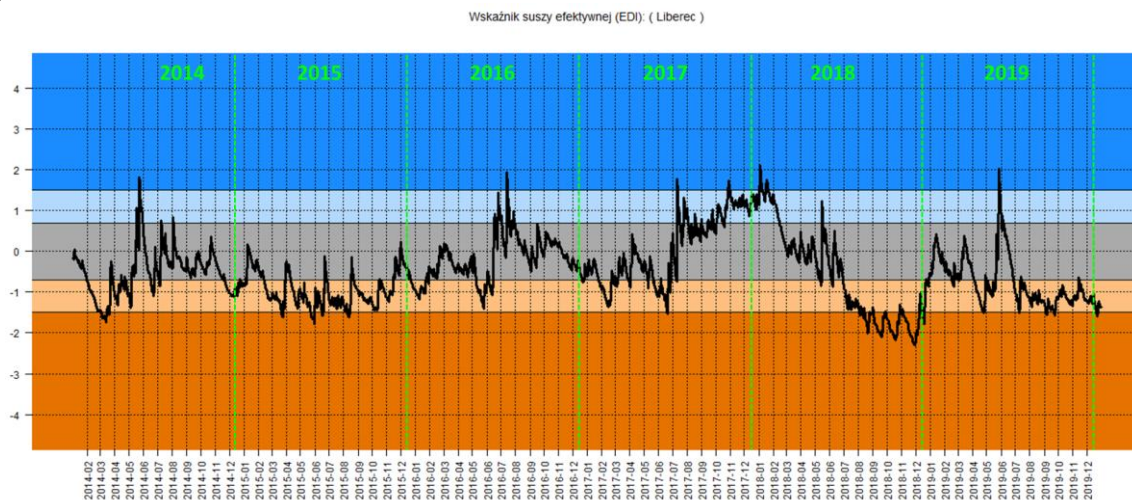


e

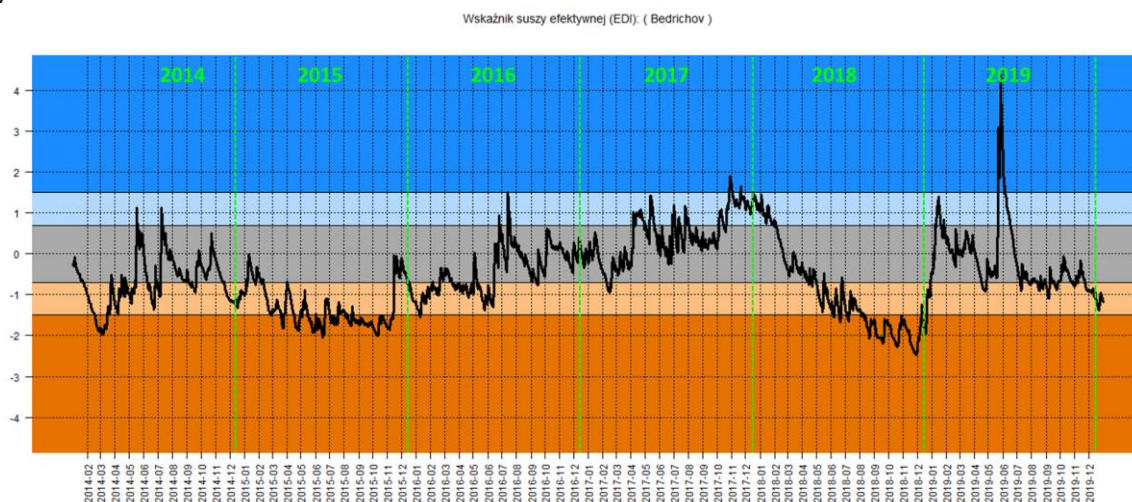
Rysunek 20 Zmienność wskaźnika EDI w latach 2014-2020 na stacjach opadowych w rejonie KWB turów: a) Sieniawka, b) Bogatynia, c) Wyszków, d) Bierna, e) Sulików. Źródło: opracowanie własne IMGW PIB.

Podobną wskaźnikową ocenę susz obserwowanych w ciągu ostatnich 6 lat przeprowadzono również dla stacji opadowych znajdujących się w sąsiedztwie KWB Turów położonych na terenie Republiki Czeskiej. Analizy przeprowadzono dla stacji synoptycznej Liberec oraz stacji opadowych Bedrichov i Hejnice.

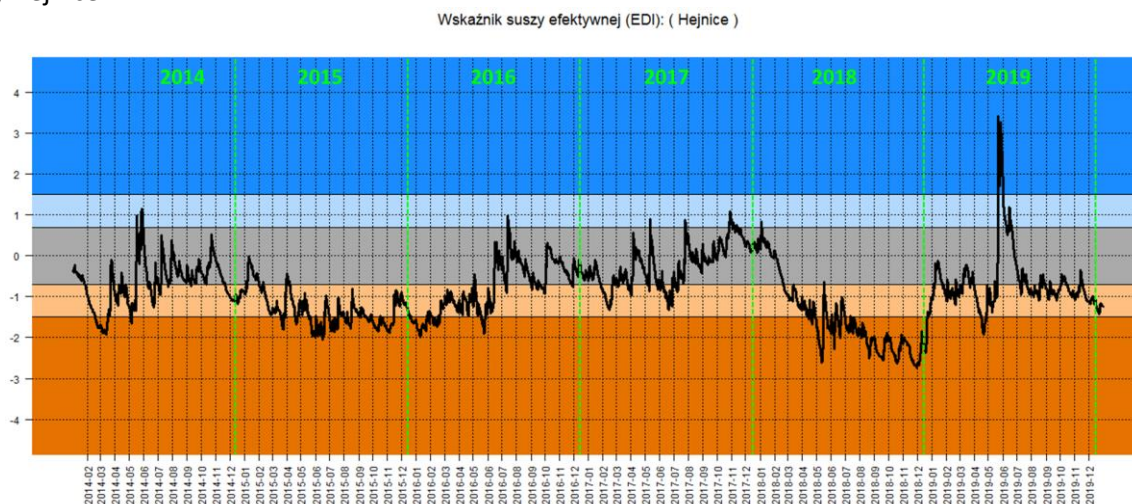
a) Liberec



b) Bedrichov



c) Hejnice



Rysunek 21 Zmienność wskaźnika EDI w latach 2014-2019 na stacjach opadowych w rejonie KWB turów: a) Liberec, b) Bedrichov, c) Hejnice. Źródło: opracowanie własne IMGW PIB.

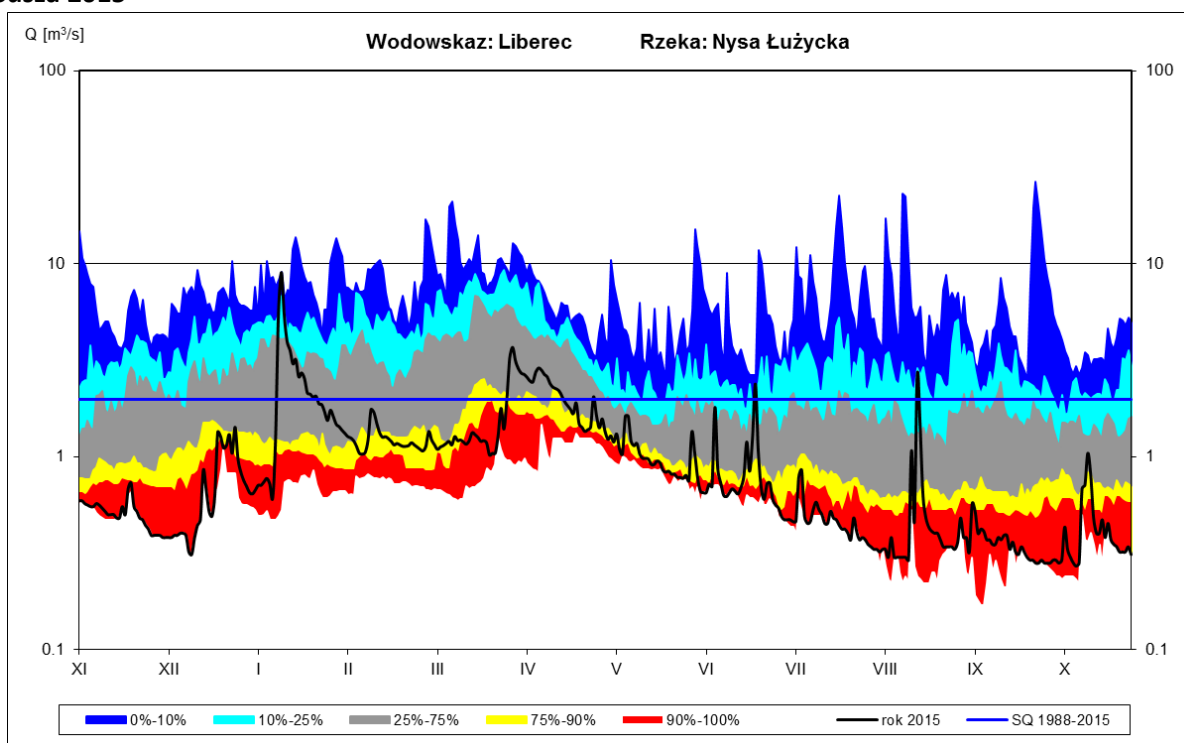
4.3 Ocena susz hydrologicznych

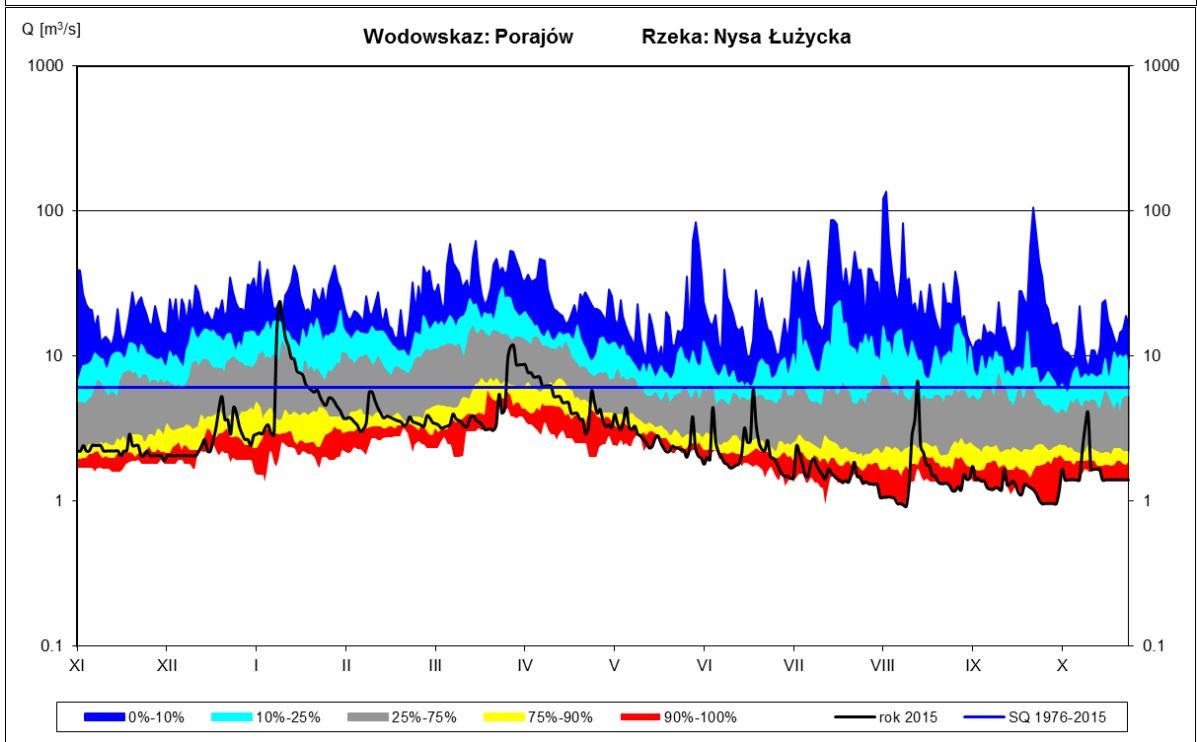
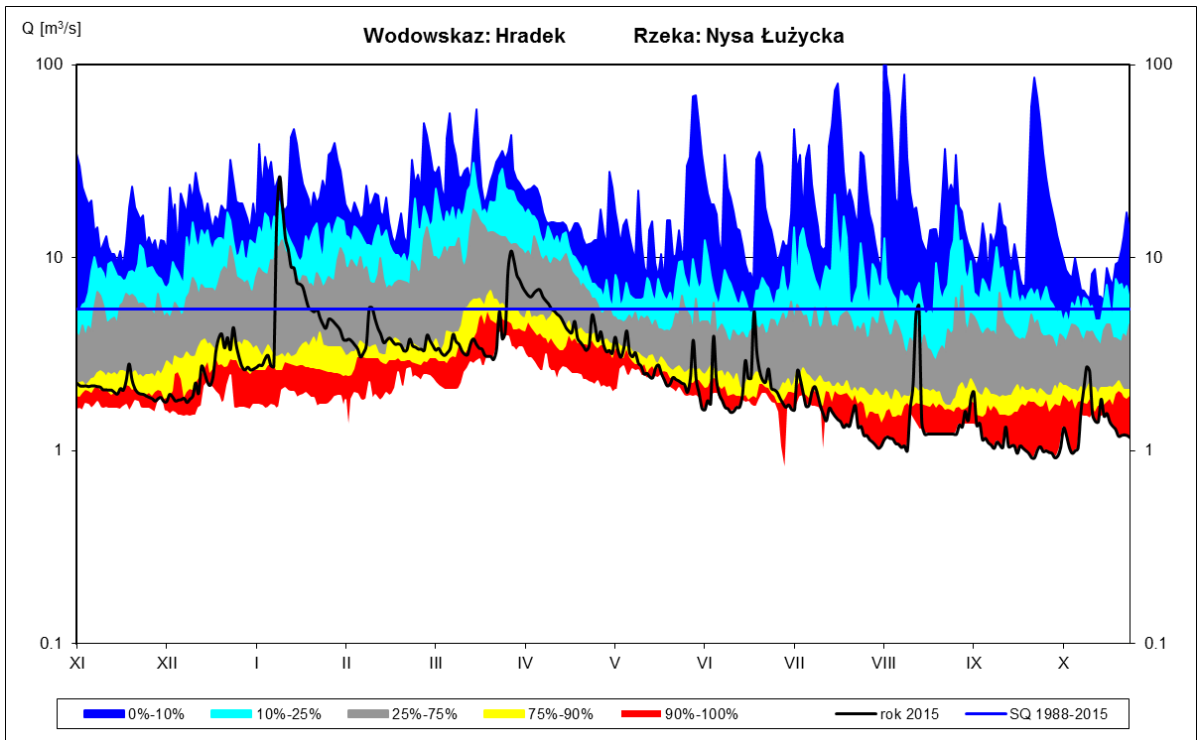
Konsekwencją przedłużającej się suszy meteorologicznej jest spadek zasilania zlewni i obniżenie poziomu wód powierzchniowych. Wskaźnikowa ocena poziomu zagrożenia suszą hydrologiczną realizowana jest za pomocą wskaźnika przepływu (Flow Index FI).

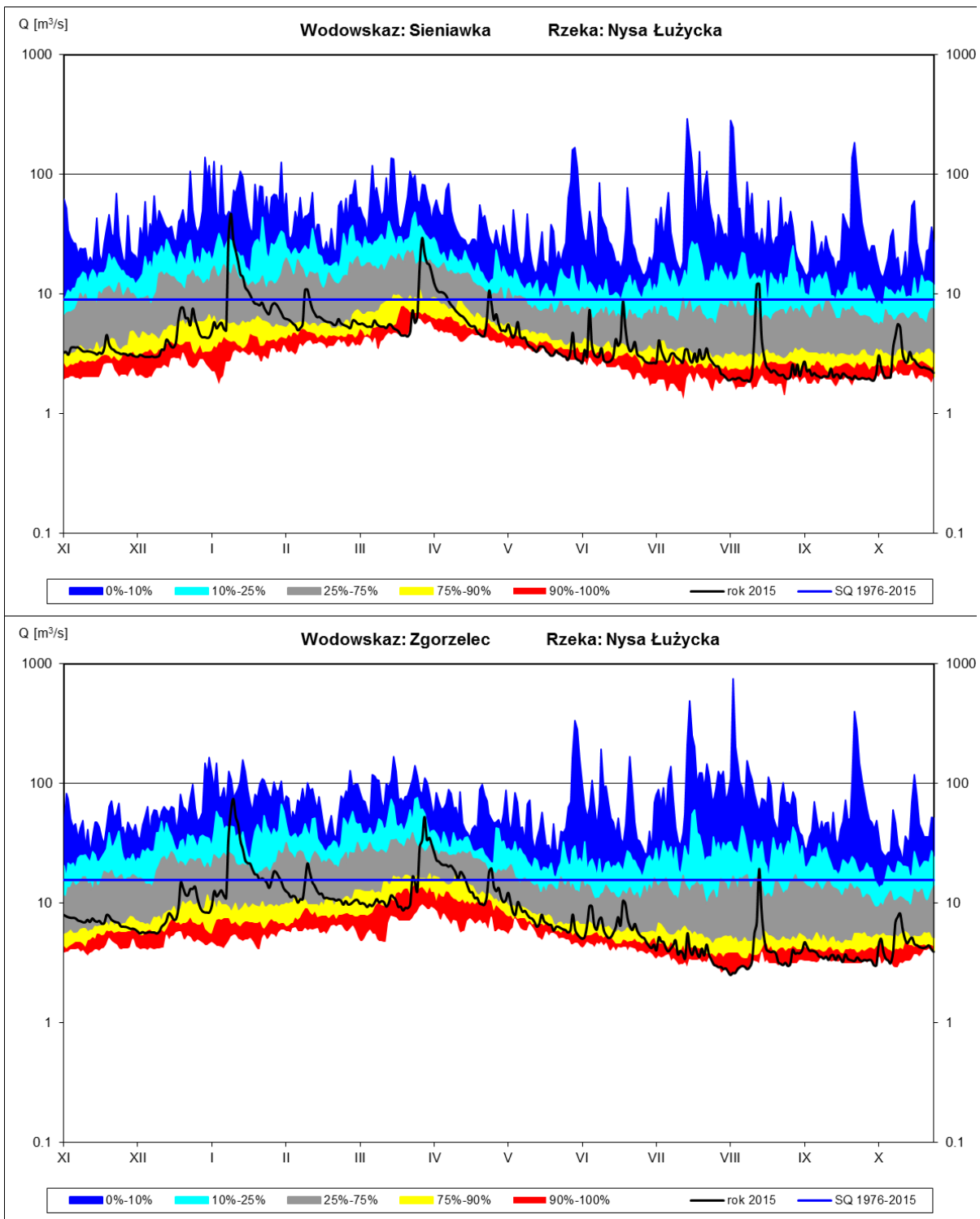
Wskaźnik umożliwia odniesienie wartości aktualnego przepływu dobowego do prawdopodobieństwa wystąpienia tej wartości w danym dniu kalendarzowym z uwzględnieniem wieloletnich serii pomiarowych. Rozkład prawdopodobieństwa wystąpienia danej wartości przepływu w przyjętym okresie referencyjnym (1975-2015) dla wodowskazów Porajów, Sieniawka i Zgorzelec zlokalizowanych na Nysie łużyckiej uzyskany na podstawie krzywych sum czasów trwania przepływu przedstawiają wykresy na Rys. 22-25. Na przebieg reżimu hydrologicznego rzeki nałożone zostały wartości przepływu obserwowane na odpowiednich stacjach w roku 2015 (Rys. 22), w roku 2018 (Rys. 23), w roku 2019 (Rys. 24) oraz w roku 2020 (Rys. 25). Występowanie warunków suchych identyfikowane jest dla okresów, kiedy wartość przepływu aktualnego pokrywa się z żółtym obszarem oznaczającym co najmniej 75% prawdopodobieństwo przewyższenia tej wartości przepływu w danym dniu kalendarzowym oraz obszarem czerwonym oznaczającym co najmniej 90% prawdopodobieństwo przewyższenia tej wartości.

Obserwacje znajdujące się poza zakresem wyznaczonych przedziałów przedstawiają wartości wykraczające poza zakres danych referencyjnych. Jest to widoczne na wykresach dla roku 2018 i 2019 co oznacza, że wartości przepływów obserwowane w tych latach były niższe od wartości obserwowanych pomiędzy 1975 i 2015 rokiem. Okresy występowania zagrożenia suszą hydrologiczną odpowiadają okresom występowania suszy meteorologicznej, w szczególności druga połowa roku 2015, druga połowa roku 2018 oraz okresowo rok 2019.

Susza 2015

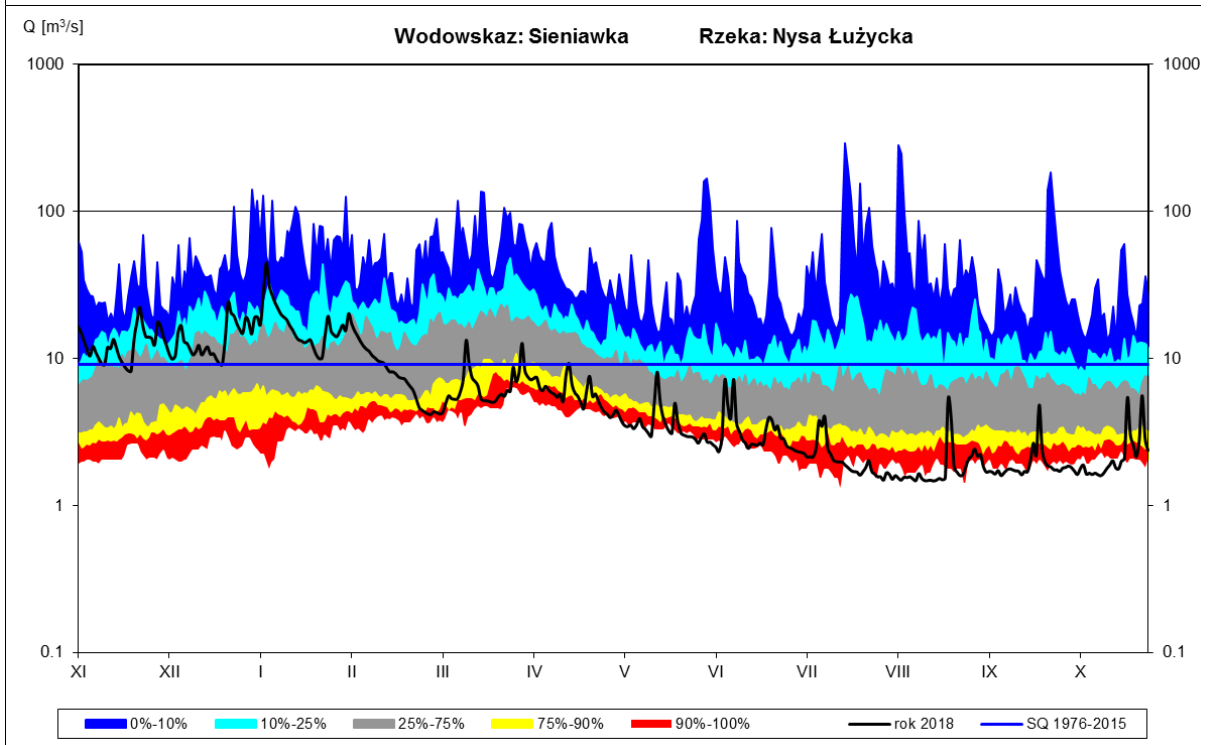
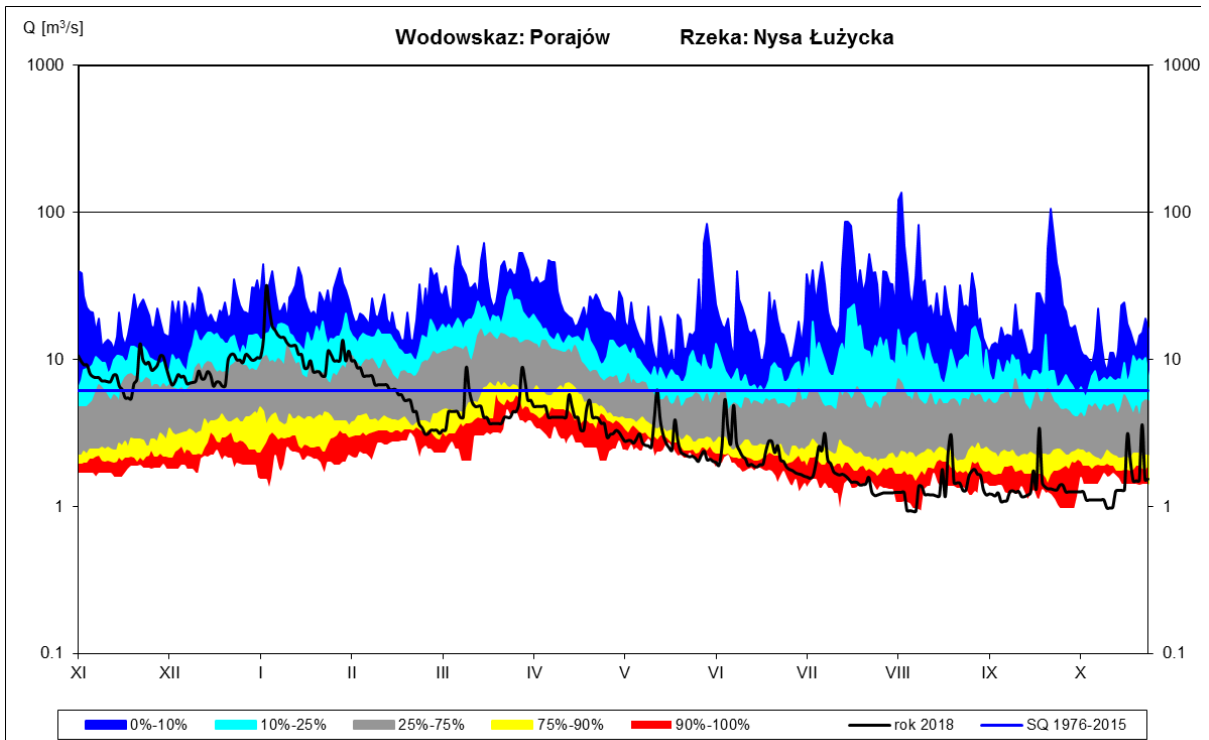


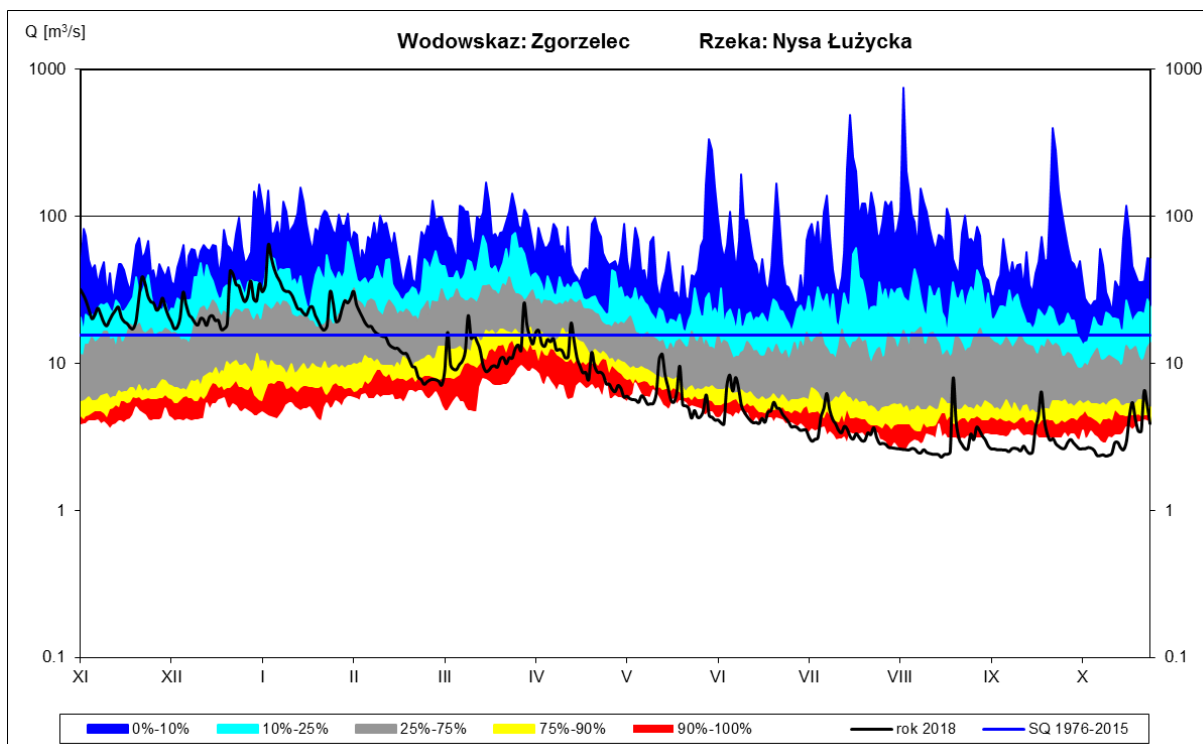




Rysunek 22 Wartości wskaźnika FI dla przepływów w roku 2015 obserwowanych na wybranych stacjach wodowskazowych na Nysie Łużyckiej: Liberec (CZ), Hradec (CZ), Porajów, Sieniawka, Zgorzelec. Źródło: opracowanie własne IMGW PIB.

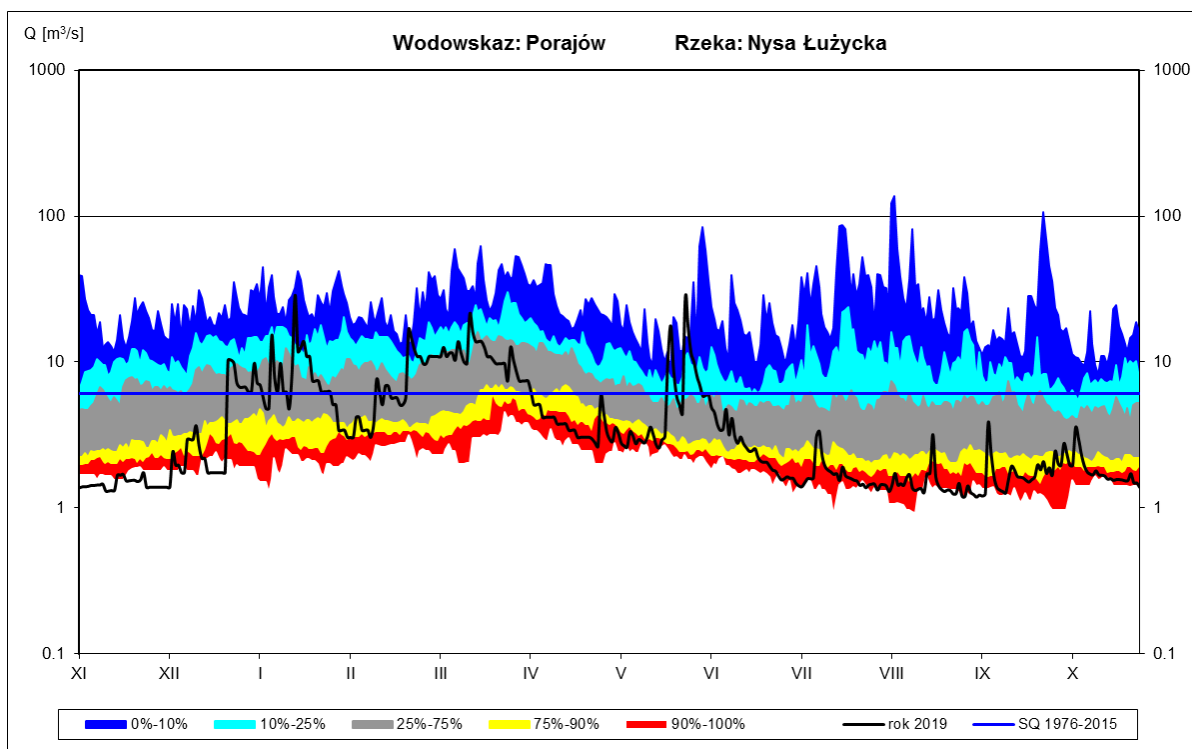
Susza 2018

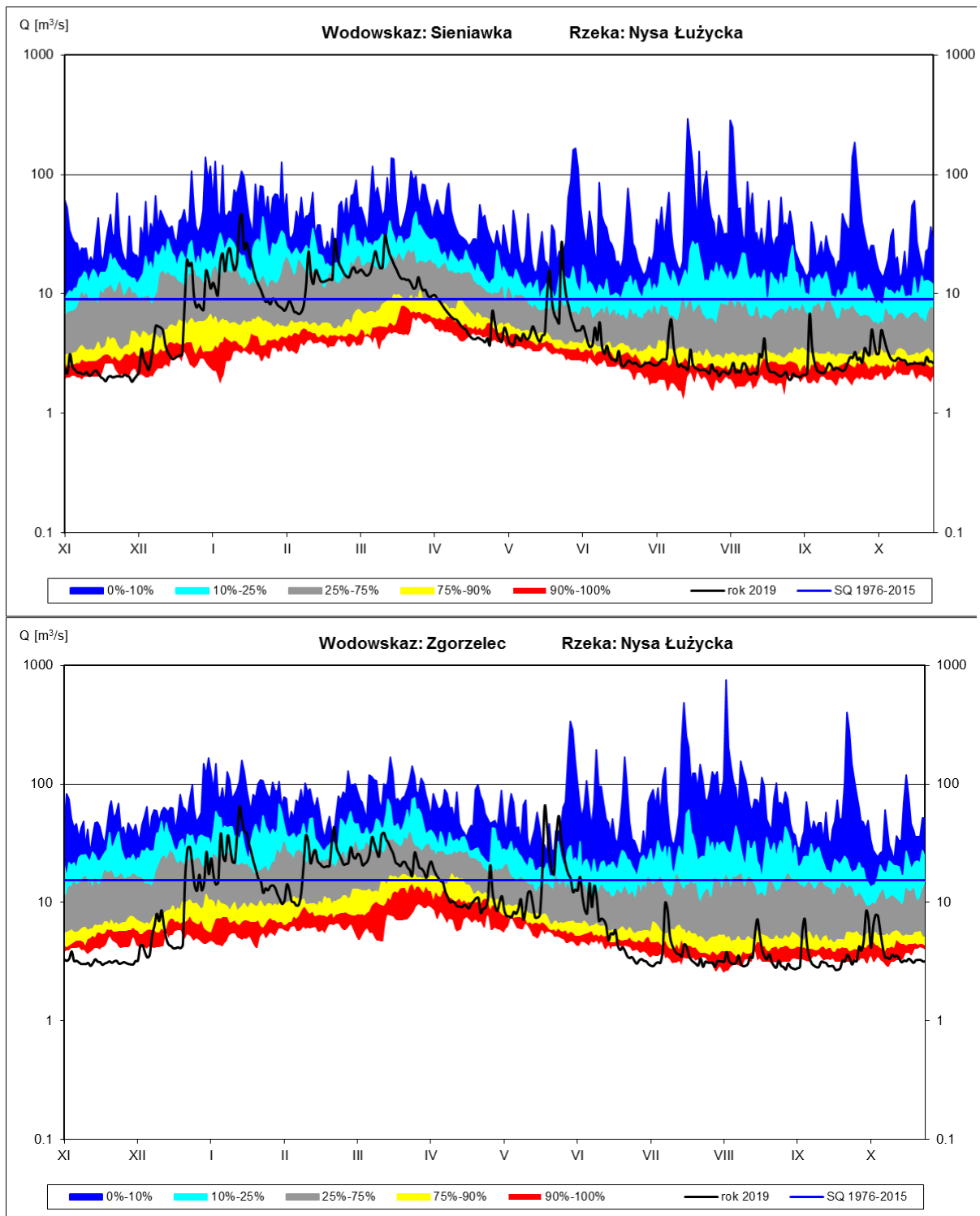




Rysunek 23 Wartości wskaźnika FI dla przepływów w roku 2018 obserwowanych na wybranych stacjach wodowskazowych na Nysie Łużyckiej: Porajów, Sieniawka, Zgorzelec. Źródło: opracowanie własne IMGW PIB.

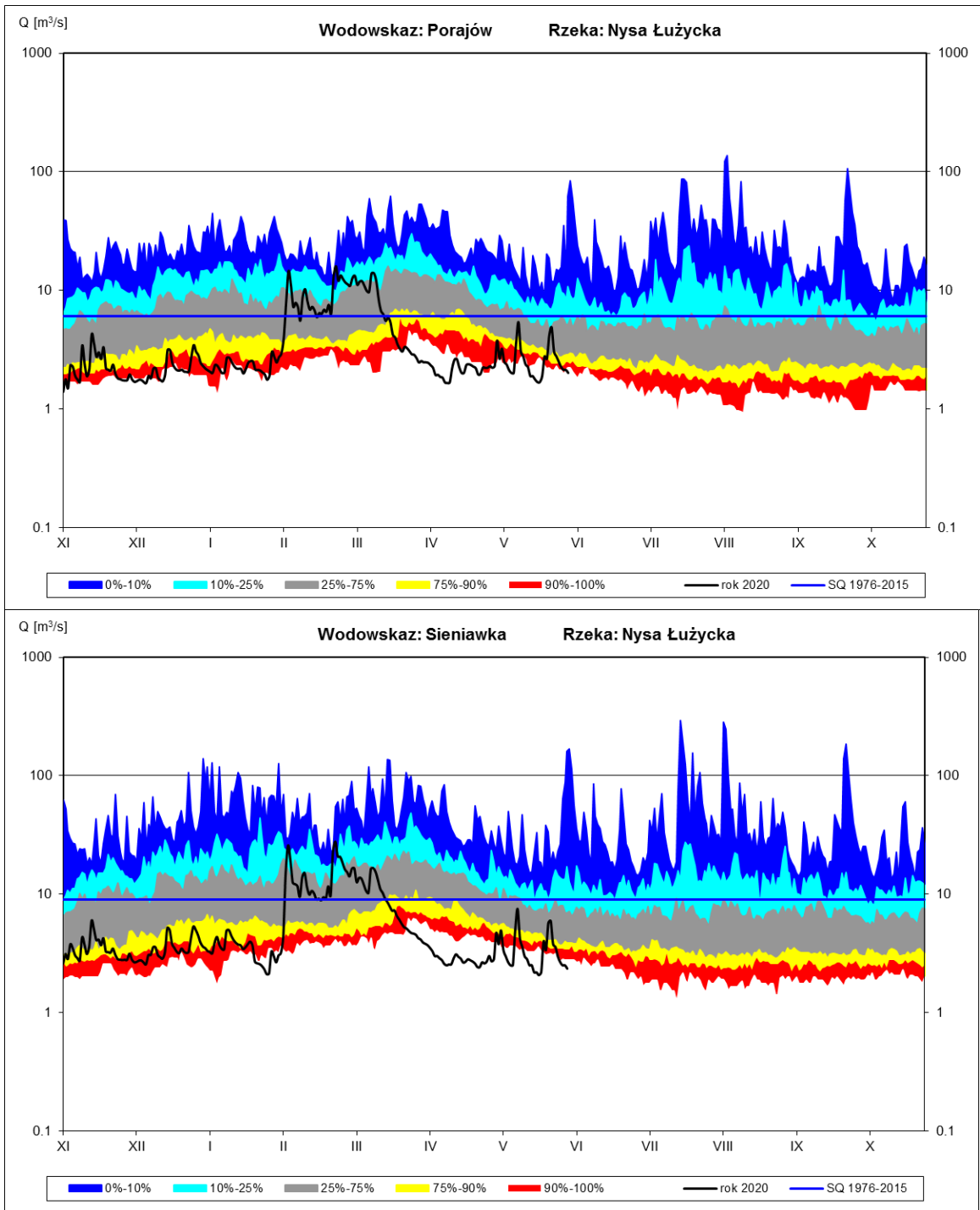
Susza 2019

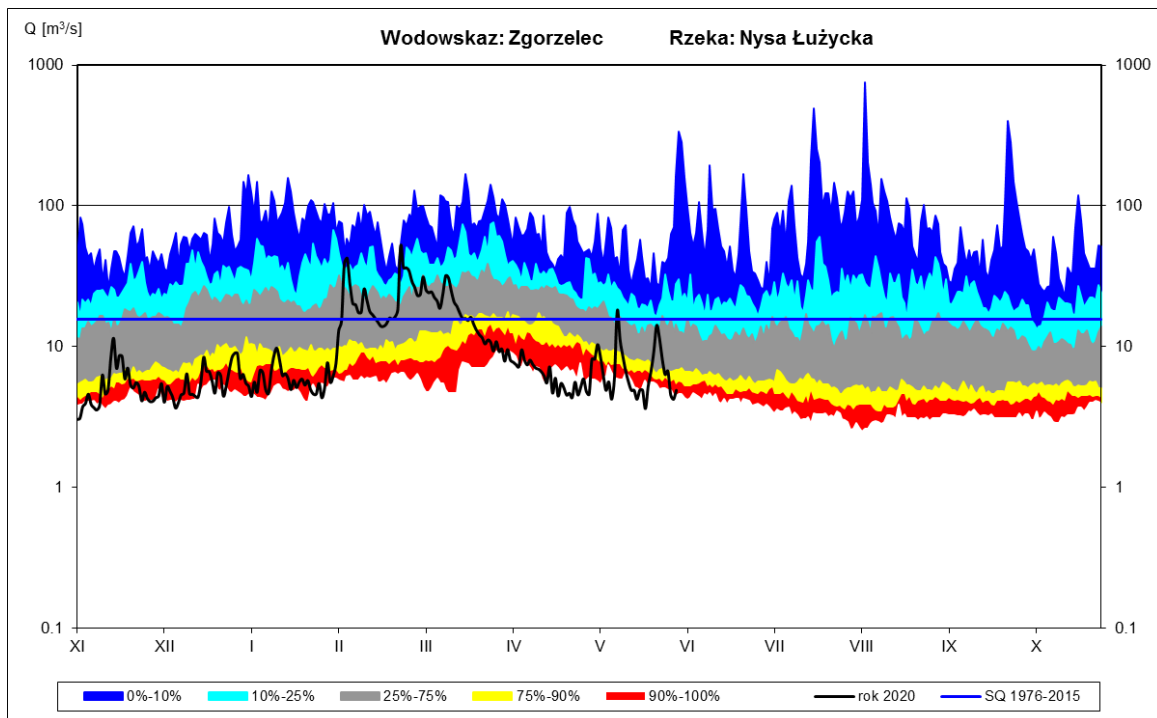




Rysunek 24 Wartości wskaźnika FI dla przepływów w roku 2019 obserwowanych na wybranych stacjach wodowskazowych na Nysie Łużyckiej: Porajów, Sieniawka, Zgorzelec. Źródło: opracowanie własne IMGW PIB.

Susza 2020



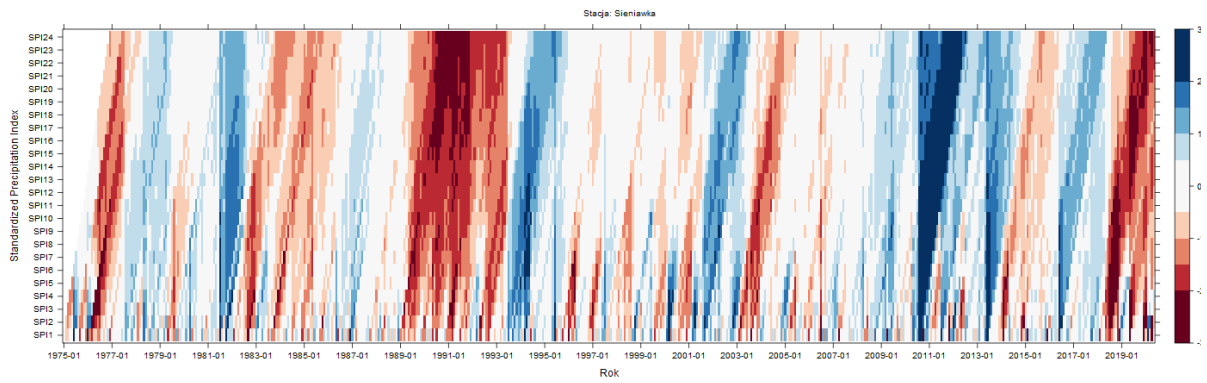


Rysunek 25 Wartości wskaźnika FI dla przepływów w roku 2020 obserwowanych na wybranych stacjach wodowskazowych na Nysie Łużyckiej: Porajów, Sieniawka, Zgorzelec. Źródło: opracowanie własne IMGW PIB.

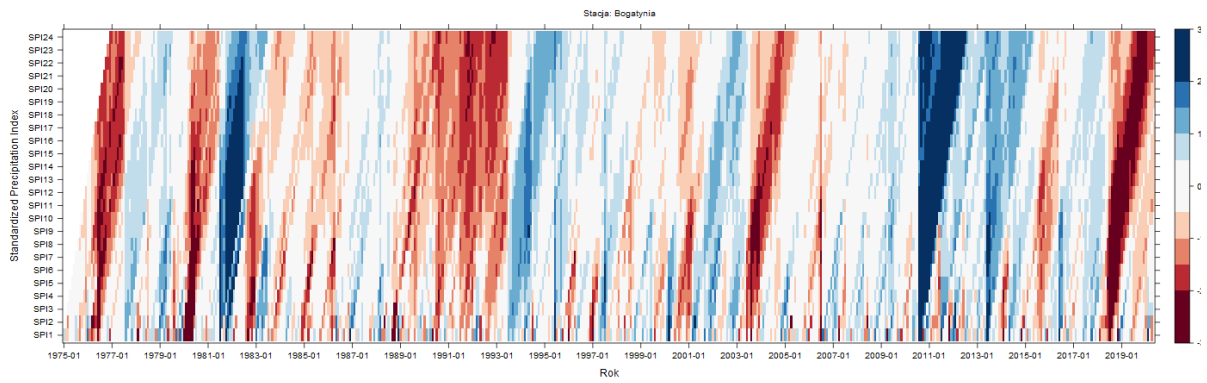
4.4 Częstotliwość susz meteorologicznych

Jednym z szeroko stosowanych wskaźników suszy jest standaryzowany wskaźnik opadu (SPI Standardized Precipitation Index). Wskaźnik SPI reprezentuje ilościową ocenę deficytu opadu w różnej skali czasowej i umożliwia porównywanie intensywności suszy w różnych regionach. Wskaźnik SPI w postaci map jest używany operacyjnie do monitorowania warunków suszy. Każdej pojawiającej się suszy odpowiada ujemna wartość wskaźnika SPI, która wynosi -0.5 lub mniej. Koniec suszy określa się w momencie, gdy wskaźnik przyjmuje wartość dodatnią. Wskaźnik SPI wykorzystano do przedstawienia charakterystyki zmian intensywności susz w wieloleciu (1975-2020) dla analizowanych stacji opadowych w rejonie KWB Turów: Sieniawka, Bogatynia, Wyszków, Bierna i Sulików. Dla lokalizacji wybranych stacji opadowych zaprezentowano szeregi czasowe wskaźnika SPI uzyskane dla wzrastających okresów agregacji informacji tj. dla SPI od 1 miesiąca (dół wykresu) do 24 miesięcy (górną część wykresu). Im dłuższy czas uśredniania informacji tym większa możliwość detekcji długookresowych zmian i tendencji. Natężenie koloru czerwonego wskazują stopień intensywności warunków suchych, natężenie niebieskiego – warunków mokrych. Na przedstawionych wykresach wyraźnie zarysowuje się ekstremalnie suchy okres drugiej połowie lat 70., w pierwszej połowie lat 80. oraz wyjątkowo długotrwały i intensywny okres od 1989 do 1993 roku ubiegłego wieku, a także susza w roku 2003, 2015 oraz obecnie przedłużający się stan suszy trwający od roku 2018. Trendy widoczne na wykresach mogą wskazywać na dalszy rozwój niekorzystnej sytuacji wilgotnościowej w ciągu najbliższych miesięcy, Rys. 26.

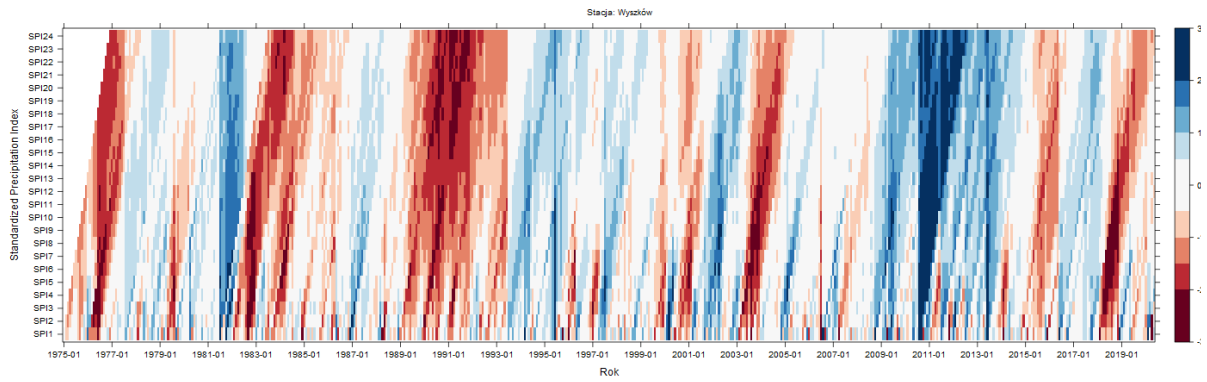
a) Sieniawka



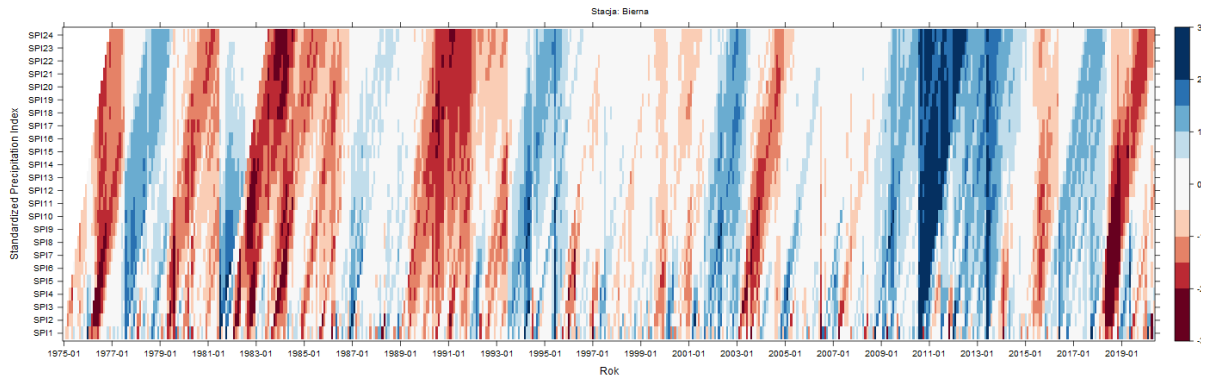
b) Bogatynia



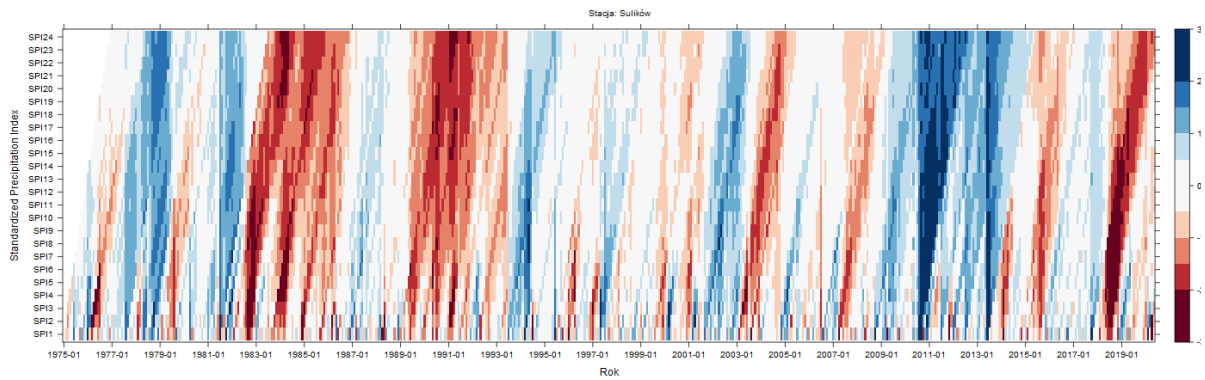
c) Wyszków



d) Bierna

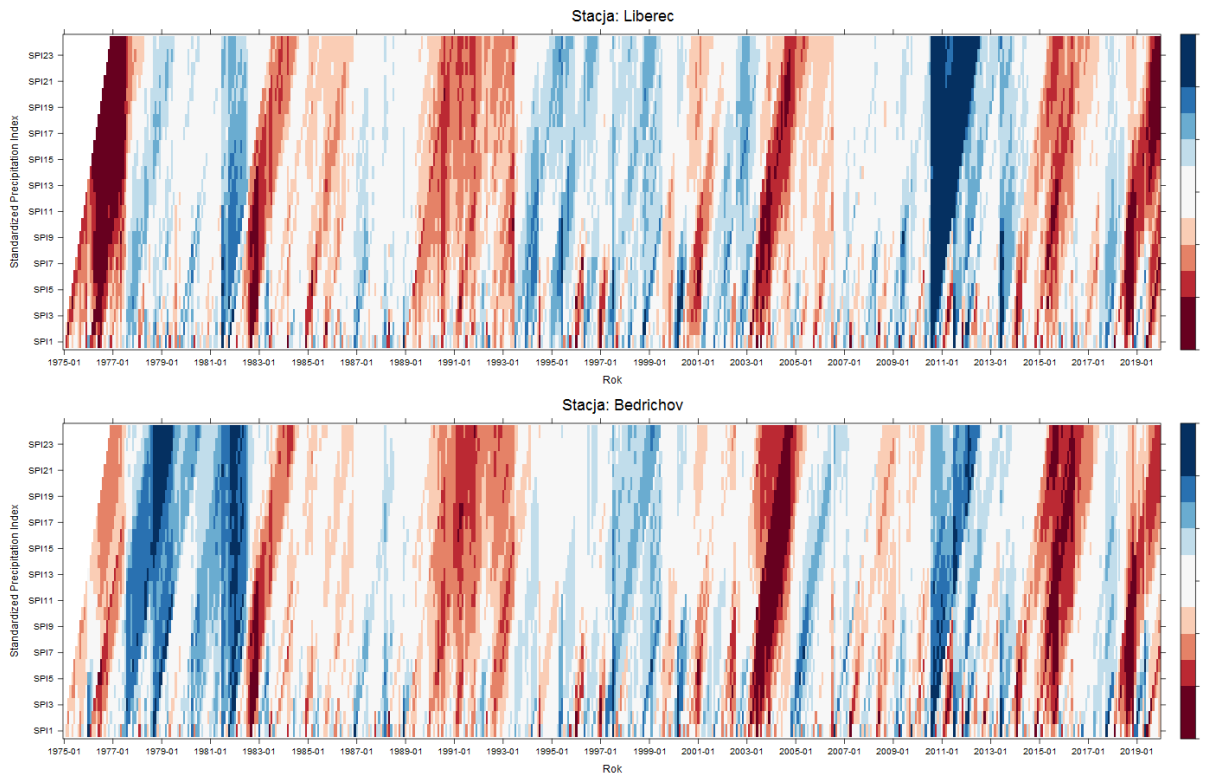


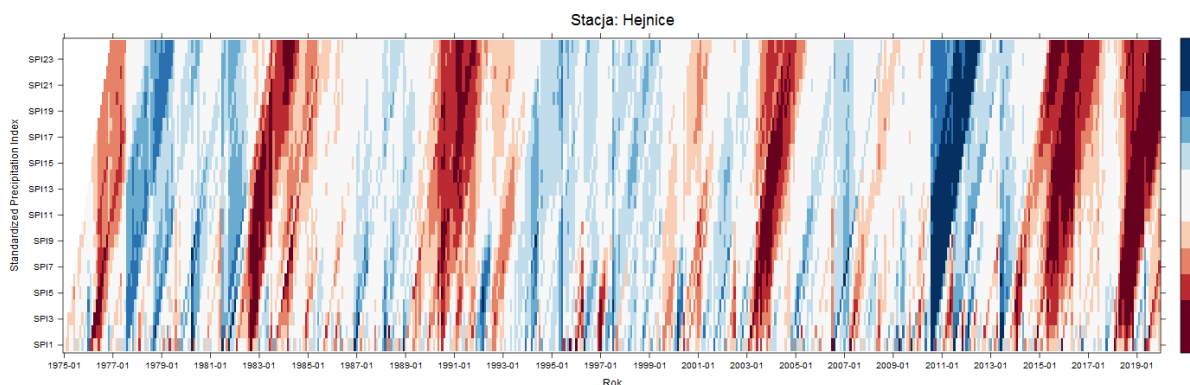
e) Sulików



Rysunek 26 Częstotliwość występowania suszy meteorologicznych w okresie 1975-2020 dla różnych kroków czasowych na podstawie wskaźnika SPI dla stacji a) Sieniawka, b) Bogatynia, c) Wyszaków, d) Bierna, e) Sulików. Źródło: opracowanie własne IMGW PIB.

Zbliżoną charakterystykę częstości występowania okresów suchych uzyskano stosując powyższe postępowanie w analizie danych pomiarowych pochodzących z posterunków opadowych znajdujących się w sąsiedztwie KWB Turów położonych po stronie Republiki Czeskiej: dla stacji synoptycznej Liberec oraz stacji opadowych Bedrichov i Hejnice, Rys. 27.





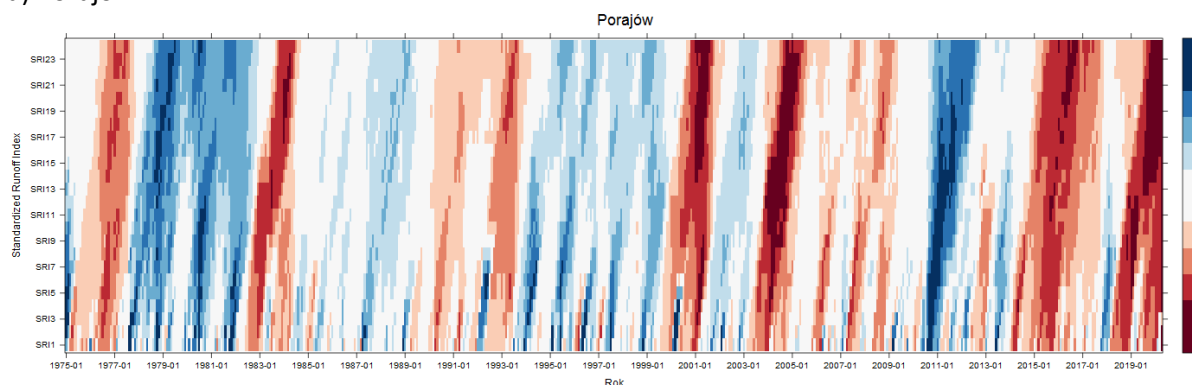
Rysunek 27 Częstotliwość występowania suszy meteorologicznych w okresie 1975-2019 dla różnych kroków czasowych na podstawie wskaźnika SPI dla stacji a) Liberec, b) Bedrichov, c) Hejnice. Źródło: opracowanie własne IMGW PIB.

4.5 Częstotliwość susz hydrologicznych

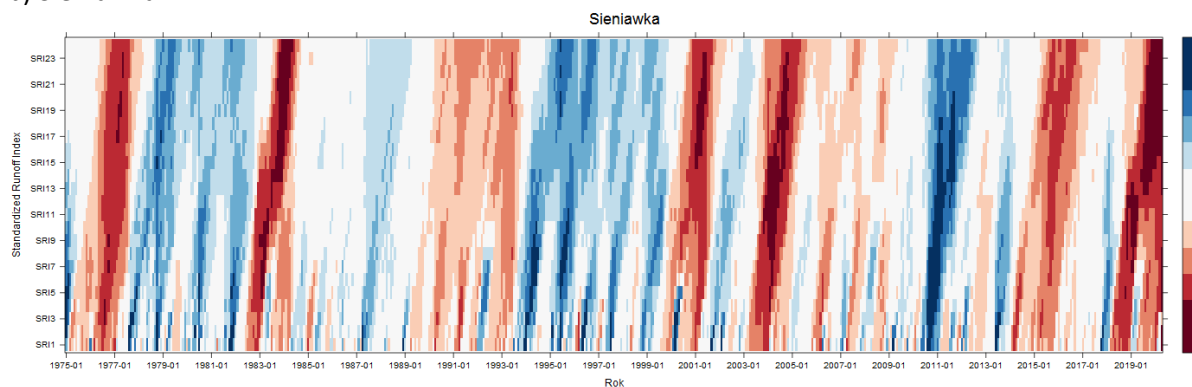
Ocenę częstotliwości występowania susz hydrologicznych przeprowadzono z wykorzystaniem standaryzowanego wskaźnik odpływu (Standardized Runoff Index SRI). Konstrukcja wskaźnika opiera się na tych samych założeniach co wskaźnik SPI przy czym analizowana jest mediana odpływu w danym okresie analizy (od miesiąca do 24 miesięcy).

Przebiegi wartości wskaźnika SRI w wieloleciu w badanych stacjach wodowskazowych Porajów, Sieniawka, Zgorzelec przedstawia Rys. 28. Warunki suche obrazowane są w kolorach ciepłych, warunki normalne oznaczone są kolorem białym, zaś wilgotne odcieniami niebieskiego. Na wszystkich analizowanych stacjach ostatnie lata należą do suchych i bardzo suchych pod względem hydrologicznym.

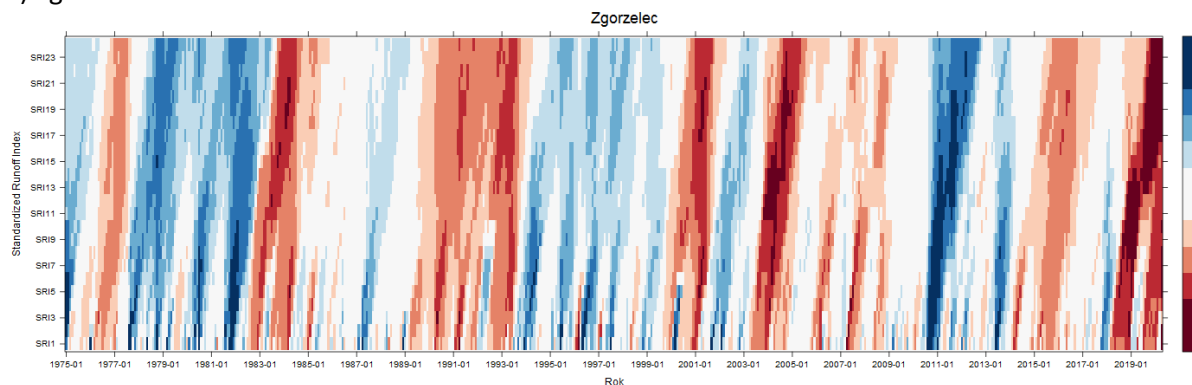
a) Porajów



b) Sieniawka



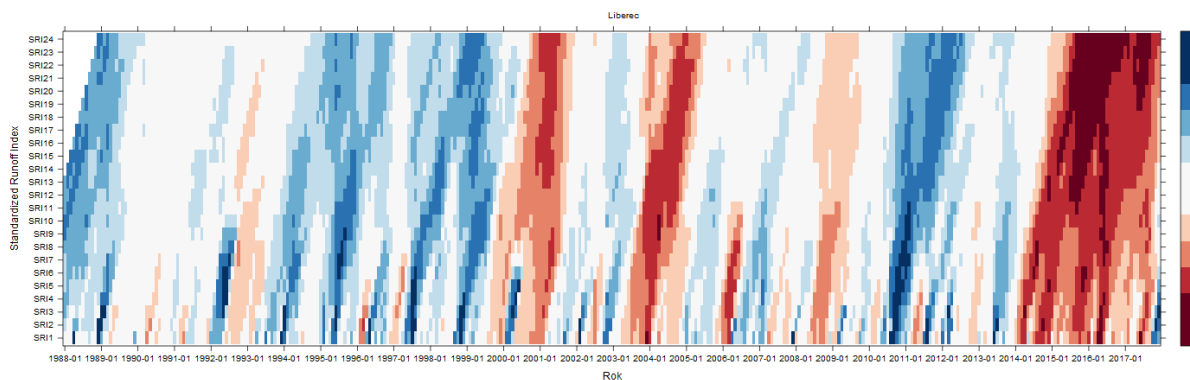
c) Zgorzelec



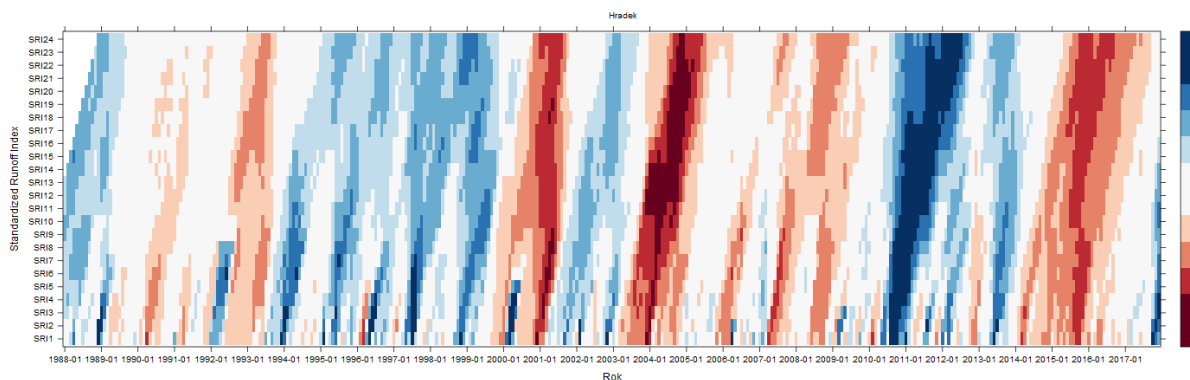
Rysunek 28 Częstość występowania suszy hydrologicznych w okresie 1975-2020 dla różnych kroków czasowych na podstawie wskaźnika SRI dla stacji wodowskazowych a) Porajów, b) Sieniawka, c) Zgorzelec. Źródło: opracowanie własne IMGW PIB.

Podobną charakterystykę częstościową okresów suchych wykazują wartości wskaźnikowe obliczone na podstawie danych ze stacji wodowskazowych położonych w Republice Czeskiej: Liberec i Hradec na rzece Nysa Łużycka oraz stacje Bily Potok i Frydlant zlokalizowane na rzece Smeda (Witka). Z uwagi na zakres dostępnych danych na Rys. 29 przedstawiono wielolecie 1988-2017 dla stacji położonych na Nysie Łużyckiej oraz 1988-2016 dla stacji położonych wzdłuż rzeki Witki. Do najbardziej suchych okresów w analizowanym wieloleciu zaliczyć można rok 2000, 2003, 2006 oraz okres po roku 2014.

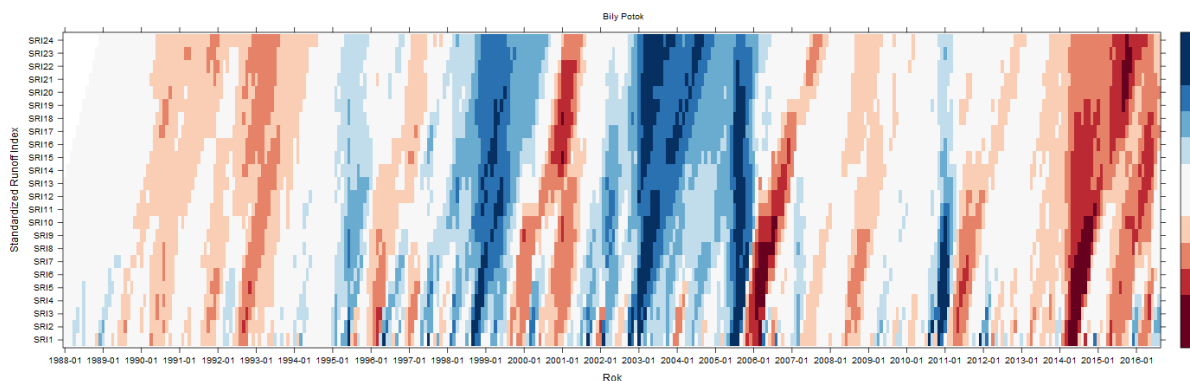
a) Liberec (Nysa Łużycka)



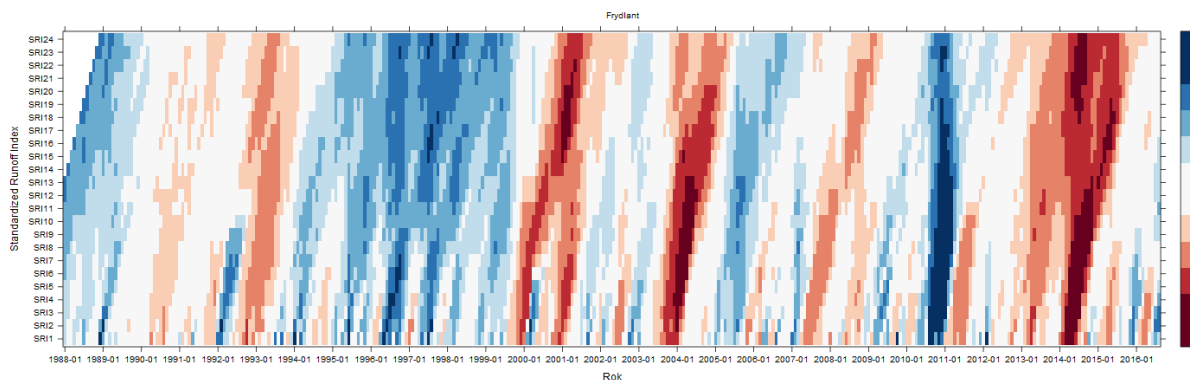
b) Hradec (Nysa Łużycka)



c) Bily Potok (Smeda/Witka)



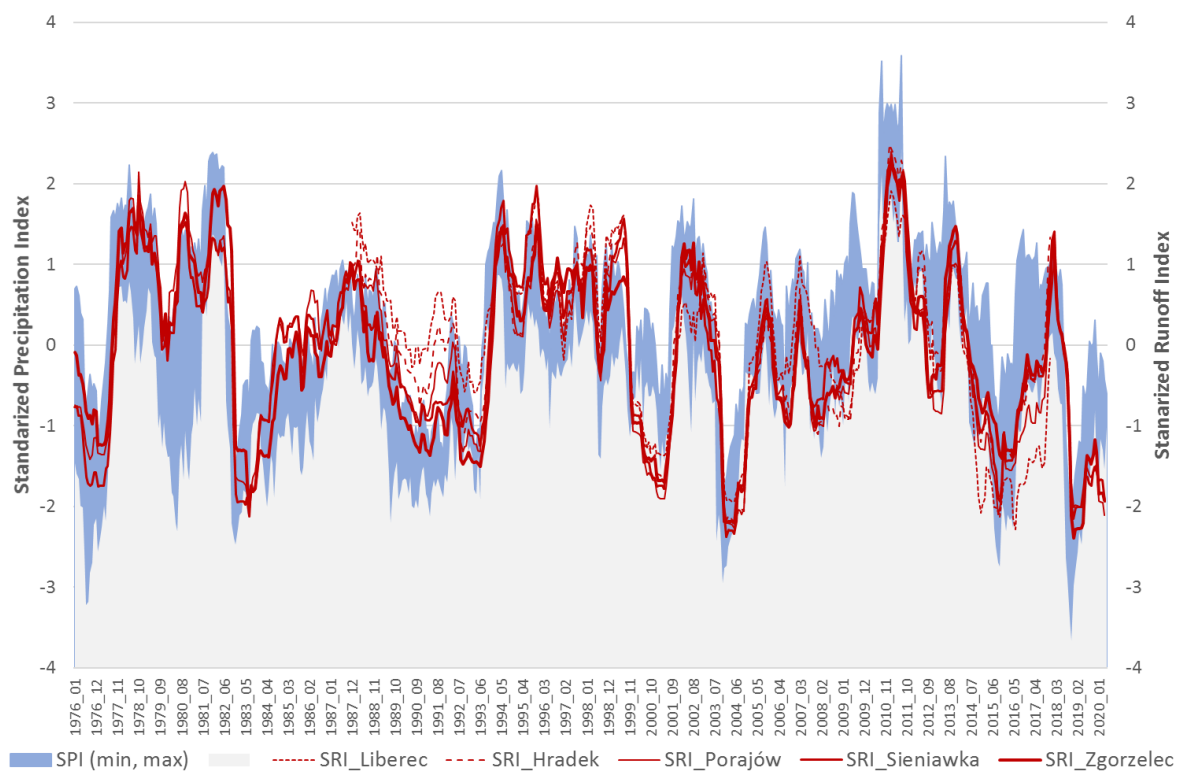
d) Frydlant (Smeda/Witka)



Rysunek 9 Częstość występowania suszy hydrologicznych w okresie 1988-2017 dla różnych kroków czasowych na podstawie wskaźnika SRI dla stacji wodowskazowych a) Porajów, b) Sieniawka, c) Zgorzelec. Źródło: opracowanie własne IMGW PIB.

4.6 Koincydencja warunków wilgotnościowych w rejonie KWB Turów

Z porównania wykresów częstościowych przedstawiających intensywność suszy meteorologicznej (Rys. 27) i hydrologicznej (Rys. 28) wyraźnie zaznacza się współwystępowanie czasowe suchych warunków meteorologicznych i hydrologicznych. Również intensywność obu faz suszy pozostaje w dużej zgodności. Poziom zgodności warunków meteorologicznych i hydrologicznych wzrasta w miarę wydłużania okresu uśredniania informacji o opadach i przepływach. Czasową zmienność wartości wskaźników SPI oraz wartości wskaźników SRI uśrednionych dla okresu 12 miesięcy (krokowo z rozdzielczością miesięczną) przedstawiono na Rys. 30. Wartości wskaźnika SPI przedstawiono w jako zakres wartości wskaźnika SPI (minimum ÷ maksimum) uzyskany na podstawie wszystkich analizowanych w opracowaniu stacji opadowych (Sieniawka, Bogatynia, Wyszków, Bierna, Sulików, Liberec, Bedrichov, Hejnice) w odniesieniu do wartości SRI wyznaczonych dla analizowanych stacji wodowskazowych na Nysie łużyckiej (Liberec, Hradek, Porajów, Sieniawka, Zgorzelec) Wykres potwierdza dużą koincydencję meteorologicznych i hydrologicznych warunków wilgotnościowych i wskazuje na znaczącą rolę warunków meteorologicznych w kształtowaniu się susz hydrologicznych w rejonie KWB Turów.



Rysunek 30 Wykres koincydencji warunków wilgotnościowych meteorologicznych (SPI) i hydrologicznych (SRI) w rejonie KWB Turów

5. Podsumowanie

Wielowymiarowy charakter suszy oraz jej fazowy charakter rozwoju a także zróżnicowana rozpiętość czasowa i przestrzenna powoduje, że skutki suszy mogą być różnie odczuwalne w wymiarze gospodarczym, społecznym i środowiskowym. Warunki meteorologiczne stanowią naturalną przyczynę występowania suszy. Jednak w świecie zmodyfikowanym przez działalność człowieka oraz zmiany klimatyczne, susze spowodowane są ich łącznym oddziaływaniem lub wywołane naturalnymi warunkami klimatycznymi wzmocnionymi lub złągodzonymi przez antropopresję. W chwili obecnej suszę należy analizować nie tylko jako zjawisko naturalne, ale jako synergię naturalnych warunków klimatycznych oraz działalności człowieka wpływającej na obieg wody. Wystąpieniu suszy nie można zapobiec, ale dzięki zrozumieniu mechanizmów jej powstawania oraz określeniu warunków sprzyjających jej intensyfikacji i rozprzestrzenianiu się można wpływać na zmniejszanie lub ograniczanie jej skutków. Jest to szczególnie istotne w obszarach o intensywnej działalności gospodarczej.

Opracowanie zawiera analizy mające na celu ocenę uwarunkowań meteorologicznych i hydrologicznych planowanego przedsięwzięcia kontynuacji eksploatacji złoża węgla brunatnego „TURÓW”. Ocena ta została przeprowadzona na podstawie analizy trendów dobowych sum opadów oraz codziennych przepływów a także analizy suszy meteorologicznych i hydrologicznych w wieloleciu. Ważnym jest odpowiedni dobór stacji opadowych oraz wodowskazowych do odpowiedniego scharakteryzowania obszaru KWB Turów. Stąd wybrano stacje opadowe znajdujące się w najbliższym sąsiedztwie kopalni, tj.: Sieniawka, Bogatynia, Wyszków, Bierna i Sulików oraz stacje opadowe znajdujące się na obszarze Republiki Czeskiej: Liberec, Bedrichov i Hejnice. Podobnie wybór stacji wodowskazowych na rzece Nysie Łużyckiej: Liberec (CZ), Hradek (CZ), Porajów, Sieniawka, Zgorzelec oraz stacji wodowskazowej Turoszów na Miedziance, a także stacji wodowskazowych na rzece Witce (CZ Smeda): Bily Potok (CZ), Frydlant (CZ) podyktowany był reprezentatywnością dla obszaru KWB Turów i jego sąsiedztwa.

Przeprowadzone analizy ilościowe i jakościowe opadów i przepływów wskazują na brak trendów w przebiegu codziennych wartości w wieloleciu. Ponadto zarówno dla opadów jak i przepływów nie stwierdzono okresowo występujących anomalii. Przebieg codziennych przepływów w wieloleciu świadczy o stabilnym reżimie hydrologicznym, braku zaburzeń w cyklu hydrologicznym. Jest to podstawa do stwierdzenia, że przepływ generowany jest głównie warunkami meteorologicznymi. Nie można wykluczyć wpływu KWB Turów na przebieg codziennych przepływów, lecz nie jest on znaczący.

Analiza okresów suszy, ich czasowej i przestrzennej zmienności pozwala na stwierdzenie, że obszary górskie są szczególnie narażone na susze hydrologiczne ze względu na ich inicjujący udział w kształtowaniu się zasobów wodnych w Polsce. Obserwowany w ostatnich latach brak utrzymującej się w okresie zimowym pokrywy śnieżnej zakłóca proces odbudowania się zasobów wodnych i w sytuacji deficytu wód powodowanych suszą letnio-jesienną, susza pojawia się już w okresie wiosennym, stanowiąc kontynuację suszy z poprzedniego sezonu. Przykładem jest tegoroczna susza będąca pogłębieniem deficytu zasobów wód, który swój początek miał w roku 2018.

Stwierdzony silny związek czasowy pomiędzy epizodami suszy meteorologicznej i suszy hydrologicznej oraz ich intensywnością wskazuje na znaczący wpływ warunków meteorologicznych na kształtowanie się susz hydrologicznych w rejonie Worka Żytawskiego.

Działalność człowieka potencjalnie może zarówno potęgować jak i łagodzić intensywność suszy w poszczególnych stadiach jej rozwoju. Odpowiednio zaplanowane i dobrane działania mające na celu przeciwdziałanie skutkom suszy w znacznym stopniu mogą przyczynić się do złagodzenia efektu suszy.

Niniejsze opracowanie stanowi wkład do oceny uwarunkowań meteorologicznych i hydrologicznych planowanego przedsięwzięcia kontynuacji eksploatacji złoża węgla brunatnego „TURÓW”. Zawiera analizę informacji uzyskanych na podstawie dostępnych danych z wielu stacji opadowych (8) i wodowskazowych (8) zlokalizowanych w obszarze i sąsiedztwie KWB Turów znajdujących się nie tylko po polskiej, ale również po czeskiej stronie o odpowiednio długich (minimum 30 lat) i kompletnych seriach pomiarowych. **Ilość i jakość materiału badawczego pozwoliła na uzyskanie miarodajnych i reprezentatywnych wyników.**

BIBLIOGRAFIA

Baranowski D. 2001. Zróżnicowanie warunków atmosferycznych w Polsce w zależności od typów cyrkulacji, praca doktorska, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, Uniwersytet Warszawski, Warszawa.

Kondracki J., 2002: Geografia regionalna Polski. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa

Malinowski J. (red.), 1991: Budowa geologiczna Polski, Hydrogeologia t. VII, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa

Mrówczyńska H., Jakubowska M., Gola-Kozak M., 2009: Działania PGE KWB Turów S.A. ograniczające niekorzystne oddziaływania na środowisko w kontekście polityki zrównoważonego rozwoju, Mat. Symp. Warsztaty 2009 z cyklu: Zagrożenia naturalne w górnictwie

Polsko-Niemiecka Komisja ds. Współpracy Sąsiedzkiej w Dziedzinie Ochrony Środowiska, 1995: Elektrownie i kopalnie po obu stronach granicy polsko-niemieckiej. Informacja o wpływie na środowisko elektrowni i kopalni odkrywkowych węgla brunatnego znajdujących się w regionach przygranicznych, Berlin/Warszawa

Szulc M., Cieszyńska K., 2011, Aktualizacja „Programu ochrony środowiska dla miasta i gminy Bogatynia na lata 2011-2014”, Abrys Technika Sp. z o.o., Bogatynia Tokarczyk T., Szalińska W., Otop I., Bedryj M., 2017. Zarządzanie ryzykiem suszy. Wyd. Monografie KGW PAN, ISSN 0867-7816, Zeszyt 40, s. 86, Warszawa.

Wilk Z. (red.), 2003: Hydrogeologia polskich złóż kopalin i problemy wodne górnictwa, t. 1, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, Kraków

Zawora T., Ziernicka A. 2003. Precipitation variability in time in Poland in the light of multi-annual mean values (1891–2000). *Studia Geograficzne*. Nr 75. *Acta Universitatis Wratislaviensis*. Vol. 2542 s. 123–128.;

Żmudzka E. 2002. O zmienności opadów atmosferycznych na obszarze Polski nizinnej w drugiej połowie XX wieku. *Wiadomości IMGW*. T. 25 (46). Nr 4 s. 23–38.

Żmudzka E. 2009. Współczesne zmiany klimatu Polski. *Acta Agrophysica*. Vol. 13(2) s. 555–568.