

**Bartłomiej Rzonca, Janusz Siwek, Magdalena Zawilo,
Maciej Bryndza, Izabela Dojtrowska, Jakub Lasota,
Karolina Piech, Monika Sajdak**

Uniwersytet Jagielloński, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej
ul. Gronostajowa 7, 30–387 Kraków
b.rzonca@uj.edu.pl; j.siwek@uj.edu.pl,
magda.zawilo@student.uj.edu.pl

*Received: 4.03.2016
Reviewed: 15.06.2016*

NIŻÓWKA W BIESZCZADACH W 2015 ROKU **Drought in the Bieszczady Mts in 2015**

Abstract: A hydrologic drought in the Bieszczady Mts. is usually observed from July to August, with variable duration, sometimes exceeding one month. In the summer of 2015, extremely high air temperatures and low precipitation totals contributed to a deep drought in the study area. It was one of the longest and most significant low-water stages in recent years, resulting in a decrease in surface water levels and deterioration of water retention conditions. The purpose of the paper is to document and characterize this drought event, which occurred in the Bieszczady mountain region in southeastern Poland in the summer of 2015. The paper also aims to evaluate this drought in the context of long-term hydrologic conditions in the studied area. In conclusion, while the drought was the longest in recent memory, it was not the largest; even so, it did contribute to significant changes in fluvial flows and groundwater levels.

Key words: drought, low flow, Bieszczady Mountains, hydrology.

Wstęp

W literaturze i w praktyce hydrologicznej stosuje się wiele kryteriów identyfikacji niżówek. Najprostsze do stosowania jest kryterium przepływu lub stanu granicznego. Zielińska (1964) za przepływ graniczny niżówek przyjmuje przepływ maksymalny z minimów rocznych w wieloleciu (WNQ). Przy przejściu tego kryterium za niżówkę uważa się okres z przepływem cieków równym lub niższym od WNQ. Na obszarze Bieszczadów zjawisko niżówki najczęściej obserwowane jest w okresie od lipca do sierpnia, ze zróżnicowanym czasem trwania – od niżówek kilkudniowych do trwających ponad miesiąc. Najczęściej występują niżówki (ponad 50%) krótsze niż pięciodniowe. Maksymalne czasy trwania niżówek zarejestrowane do tej pory na Sanie, przekraczają 30 dni (Plenzler i in. 2011).

W półroczu letnim w 2015 r. odnotowano znaczące obniżenie się stanu wód, trwające od czerwca do września. Niżówka była skutkiem nie tylko niewielkich opadów atmosferycznych w tym okresie, lecz także wyjątkowo wysokich temperatur powietrza. Okazała się ona jedną z najdłuższych i najbardziej ekstremalnych niżówek w ostatnich latach. Jej wystąpienie poskutkowało nie tylko odsłonięciem się łąk i żebier skalnych w korytach rzek, lecz także wzrostem temperatury wód powierzchniowych oraz problemami z zaopatrzeniem ludności w wodę

– szczególnie dotkliwymi w przypadku osób korzystających z płytkich studni. Innym skutkiem niskiego poziomu wód była ograniczona możliwość rozcieńczania oczyszczonych i nieoczyszczonych ścieków zrzucanych do potoków, przez co doszło do okresowego, ale wyraźnego pogorszenia jakości wód powierzchniowych. Co gorsza, towarzysząca niżówce wysoka temperatura wody sprzyjała spadkowi natlenienia wód w ciekach, co miało bezpośrednie przełożenie na warunki bytowania fauny i flory wodnej.

Celem artykułu jest udokumentowanie i scharakteryzowanie niżówki, która wystąpiła na terenie Bieszczadów Wysokich w okresie letnim 2015 roku oraz jej ocena na tle warunków hydrologicznych typowych dla wielolecia. Niżówka została udokumentowana przez autorów poprzez rejestrację wielkości opadów oraz – przede wszystkim – przez pomiary natężenia przepływu cieków (Ryc. 1). Udokumentowano także stopniową recesję wydajności jednego z dużych źródeł położonego w masywie Połoniny Wetlińskiej.

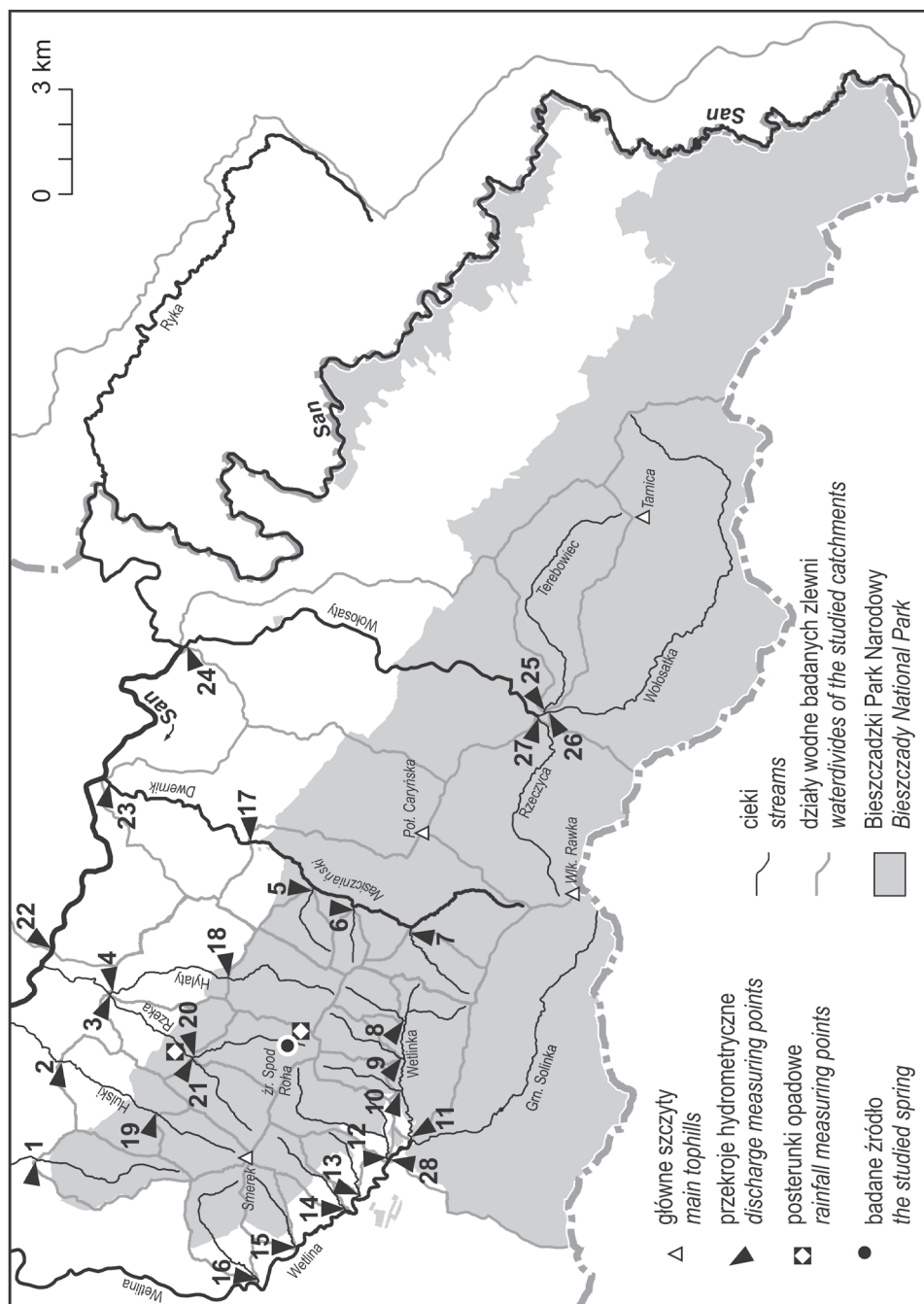
Obszar badań

W Bieszczadach notowane są wysokie w skali Karpat roczne sumy opadów atmosferycznych – rzędu 1100–1300 mm (Leśniak 1980; Laszczak i in. 2011; Cebulska i in. 2013). Jednakże warunki środowiska przyrodniczego Bieszczadów Wysokich nie sprzyjają retencji wód, a co za tym idzie kształtowaniu się zasobnych zbiorników wód podziemnych, mogących długo zasilać rzeki w okresach niżówkowych. Wynika to m.in. ze znacznych spadków terenu, relatywnie płytkiej i słabo przepuszczalnej warstwy zwietrzliny oraz dobrze rozwiniętej sieci drenażu. Sieć rzeczna odznacza się układem kratowym, charakterystycznym dla gór o rusztowym układzie grzbietów. W znacznej mierze układ cieków nawiązuje do lokalizacji większych uskoków i innych cech tektonicznych obszaru. Lokalnie przebieg cieków i gęstość sieci rzecznej nawiązują do kierunku upadu skał. Uwarunkowania tektoniczne przekładają się także na lokalizację i liczebność występowania wypływów wód podziemnych (np. źródła). W obszarach, gdzie oś doliny jest niezgodna z upadem warstw, znajduje się ich więcej, ale są one mniej wydajne (Łajczak 1996; Rzonca i in. 2008; Mocior i in. 2015).

Rzeki bieszczadzkie odznaczają się prostym reżimem, z jednym wyraźnym wezbraniem roztopowym, które występuje na przełomie marca i kwiet-

Ryc. 1. Mapa sytuacyjna obszaru badań. Zaznaczono lokalizację profili pomiarowych – opadowych, hydrometrycznych oraz monitorowanego źródła Spod Roha.

Fig. 1. General map of the investigated area, showing the localization of the precipitation stations, the river discharge measurement points as well as observed Spod Roha spring.



nia (Dynowska 1971). Najniższe przepływy z wielolecia 1972–1990 (NNQ) wyniosły: na Wetlinie w Kalnicy $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$, na Wołosatym w Stuposianach $0,18 \text{ m}^3/\text{s}$ i na Sanie w Zatwarnicy $0,72 \text{ m}^3/\text{s}$ (*Atlas posterunków wodowskazowych...* 1995/1996). Odpowiada to odpływom jednostkowym (NNq), odpowiednio, 1,7, 1,5 i $0,5 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$.

Metody badań

Podstawową informację hydrologiczną stanowią wyniki wykonanych przez autorów pomiarów natężenia przepływu cieków odwadniających masyw Połoniny Wetlińskiej oraz większych cieków z obszaru Bieszczadzkiego Parku Narodowego (Ryc. 1). Nizówka została także udokumentowana z wykorzystaniem danych pochodzących z automatycznego rejestratora monitorującego wydajność wybranego źródła położonego na Połoninie Wetlińskiej.

Wielkość opadów w miesiącach letnich 2015 roku określona została na podstawie danych zarejestrowanych przez automatyczny deszczomierz (TRAX elektronik). Został on umieszczony na północnych stokach Połoniny Wetlińskiej, na lokalnej przełęczy w bocznym grzbiecie pomiędzy Rohem a Średnim Wierchem – na wysokości ok. 1060 m n.p.m. Deszczomierz ten rejestruje opad z rozdzielczością 0,1 mm. Na podstawie danych z deszczomierza obliczono sumy dobowe, a następnie miesięczne. Drugie źródło danych opadowych stanowił standardowy deszczomierz Hellmanna umieszczony w rejonie Stacji Terenowej BdPN w Suchych Rzekach, u podstawy masywu Połoniny Wetlińskiej (na północ od masywu) na wysokości 616 m n.p.m. Umożliwił on pomiar dobowych sum opadu, na podstawie których wyznaczono sumy miesięczne.

Pomiary natężenia przepływu w ciekach zostały wykonane przy użyciu młynka hydrometrycznego HEGA-2 i obliczone metodą rachunkową. W przypadku niskich wartości natężenia przepływu pomiary były wykonywane metodą wolumetryczną. W dniach 01–02.07.2015 r. pomiary zostały przeprowadzone w 21 przekrojach zamykających zlewnie potoków odwadniających pasmo Połoniny Wetlińskiej (Ryc. 1). W przypadku cieków odwadniających północne stoki masywu pomiary zostały uszczegółowione poprzez ich wykonanie zarówno w przekrojach zamykających całe zlewnie, jak i wyżej, w rejonie granicy BdPN. W terminie 22–24.09.2015 r. pomiary powtórzono w tych samych przekrojach, co w lipcu. Dodatkowo we wrześniu wykonane zostały pomiary natężenia przepływu siedmiu innych cieków z obszaru BdPN, w tym Dwernika, Wołosatego i Sanu (Ryc. 1).

W trakcie prac terenowych autorzy odnotowywali stan wody na wodowskazie IMGW na Sanie w Zatwarnicy. W dniach 01–02.07.2015 r. wynosił on 118 cm, a w dniach 22–24.09.2015 r. – 111 cm. Stan wody na głównym cieku regionu jest istotny dla dokumentacji sytuacji hydrometeorologicznej podczas

wykonywania badań. Stany charakterystyczne z wielolecia 1972–2014 dla tego posterunku wynoszą WNW 126 cm, SNW 116 cm, a NNW 108 cm (Plenzler i in. 2011). Porównanie wartości odnotowanych podczas pomiarów ze stanami z wielolecia pokazało, że pomiary lipcowe zostały wykonane przy stanie zbliżonym do SNW, a więc przy umiarkowanej niżówce (ale znacząco poniżej wartości WNW, czyli umownej granicy niżówki). Pomiary wrześniowe zostały z kolei wykonane znacznie poniżej SNW, co oznacza warunki głębokiej niżówki. Potwierdzeniem tego jest fakt, że podczas pomiarów wrześniowych stan Sanu był zaledwie o 3 cm powyżej minimum absolutnego z okresu obserwacji tego wodowskazu (NNW).

W pracy wykorzystane zostały także informacje o zmianach wydajności dużego źródła „Spod Roha” położonego na wysokości ok. 950 m n.p.m., na północnych stokach Połoniny Wetlińskiej. Zostały one uzyskane za pomocą automatycznego rejestratora Keller DCX22AA, z zapisem stanów wody co jedną godzinę. Wartości stanów wody zostały przeliczone na wartości natężenia przepływu (wydajności źródła) przy pomocy krzywej natężenia przepływu sporządzonej na podstawie licznych pomiarów kalibracyjnych wykonywanych przy wysokich i niskich stanach wód. Kalibracyjne pomiary natężenia przepływu wykonane zostały metodą wolumetryczną. Do analizy recesji wydajności źródła podczas niżówki wykorzystano klasyczną formułę Mailleta (Castany 1968).

Opady

Miesiące letnie odznaczają się w Bieszczadach znacznymi sumami opadów i są typowym okresem występowania wezbrań. Rok 2015 był jednak nietypowy: po wilgotnym maju (opady znacząco wyższe od średnich z wielolecia) kolejne miesiące cechowały się z kolei opadami niskimi i bardzo niskimi (Tab. 1). Najsuchszy był sierpień – suma opadów zarejestrowana na Połoninie Wetlińskiej była ponad 5,5 razy niższa od średniej wieloletniej dla sierpnia obliczonej z pomiarów w Wetlinie (w Suchych Rzekach ponad czterokrotnie niższa od średniej z Wetliny). We wrześniu i październiku opady zbliżone już były do średnich wieloletnich (Tab. 1), ale nadal utrzymywał się niski stan wód będący skutkiem deficytu wody z miesięcy poprzedzających.

W efekcie nietypowego rozkładu opadów w 2015 r. ich suma z miesięcy letnich (V–X) odnotowana w Suchych Rzekach (528 mm) nie była znacząco niższa od średnich wieloletnich sum opadów w Wetlinie czy Dwerniku (odpowiednio o 162 mm, tj. 23%, oraz o 115 mm, tj. 18% – Tab. 1). Natomiast jeżeli porównać tylko trzy miesiące letnie (VI–VIII), to różnice między sumą opadu zanotowaną w Suchych Rzekach (162 mm) a średnimi wieloletnimi z Wetliny (388 mm) i Dwernika (371 mm) są zdecydowanie większe (odpowiednio 226 mm, tj. 58%, oraz 209 mm, tj. 56% – Tab. 1). Należy zauważyć, że niedobór rzędu 210–230

Tabela 1. Miesięczne sumy opadów [mm] w półroczu letnim w 2015 r. w masywie Poloniny Wetlińskiej na the sum średnich z wielolecia 1951–2005 zarejestrowanych na sąsiednich posterunkach (*b.d.* – brak danych – awaria rejestratora). Wysokość posterunków: Wetlina i Dwernik wg Cebulak i in. 2008, Polonina Wetlińska i Suche Rzeki – dane własne autorów.

Table 1. Monthly precipitation sums [mm] in summer months of 2015 at the massif of Polonina Wetlińska – against multiannual averages of 1951–2005 observed at the neighboring stations (*b.d.* – lack of data due to the recorder failure). Altitudes of the stations: Wetlina and Dwernik after Cebulak et al. 2008, Polonina Wetlińska and Suche Rzeki – authors' data.

Rok <i>Year</i>	Posterunek (m n.p.m.) <i>Station (m. a.s.l.)</i>	V	VI	VII	VIII	IX	X	Suma / Total V–X	Suma / Total VI–VIII
dane własne autorów / <i>authors' data</i> :									
2015	Polonina Wetlińska (1060)	158	b.d.	86	20	126	121	-	-
2015	Suche Rzeki (616)	197	52	83	27	91	78	528	162
średnie z wielolecia* / <i>multiannual average</i> *:									
1951–2005	Wetlina (708)	106	139	138	111	104	92	690	388
1971–2005	Dwernik (540)	100	127	145	99	99	73	643	371

* – wg / *after* Cebulak i in. 2008

mm opadu względem wartości *ś r e d n i c h* w okresie zaledwie trzech miesięcy jest bardzo znaczący. Jego skutkiem była niżówka obejmująca lato i wczesną jesień 2015 r, z wystąpieniem wyraźnej, długotrwałej recesji przepływów w ciekach oraz wydajności źródeł.

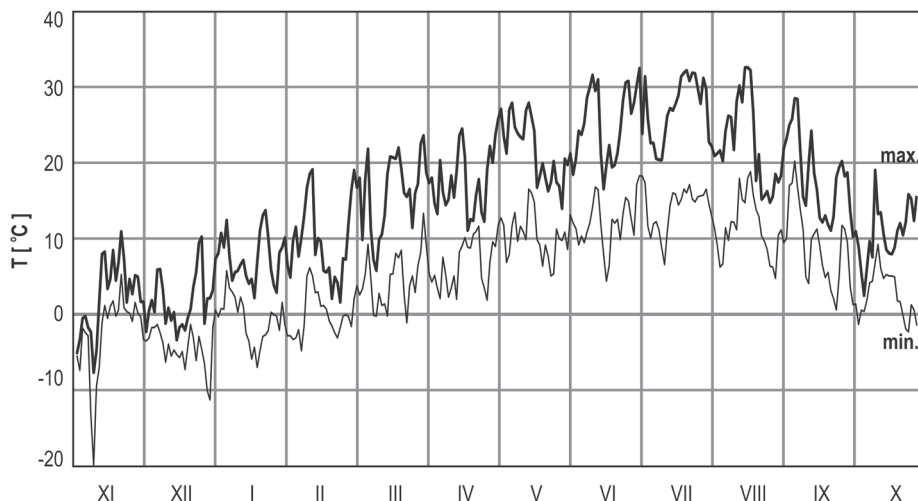
Niestety analiza sum wielomiesięcznych na tle danych z wielolecia nie jest możliwa w odniesieniu do danych z Połoniny Wetlińskiej, gdyż wskutek awarii urządzenia nie zostały utrwalone dane opadowe z czerwca. Jednak z danych wiadać, że zbieżność zarejestrowanych sum opadów w przypadku obu posterunków – Połoniny Wetlińskiej i Suchych Rzek – jest wyraźna (Tab. 1).

W Bieszczadach, w miesiącach letnich, zdecydowana większość opadów przypada na krótkotrwałe epizody o dużym natężeniu. Większość wody opadowej w takich przypadkach spływa po powierzchni terenu i wywołuje krótkotrwałe przybór cieków – czasem gwałtowny. Natomiast tylko niewielka część wody opadowej zwilża szatę roślinną, ściółkę oraz płytką warstwę gleby, odparowując w większości po zakończeniu opadu. W efekcie takiej dystrybucji wód opadowych tylko nieznaczna część wody pochodzącej z krótkotrwałych opadów infiltruje głębiej i zasila wody podziemne będące formą retencji i podtrzymujące w dłuższym okresie przepływ w ciekach. Dlatego takie gwałtowne krótkotrwałe opady w zasadzie nie przerywają suszy, a recesja przepływu w ciekach – po chwilowym wezbraniu – jest kontynuowana. Oznacza to, że letnia susza hydrologiczna może być w Bieszczadach znacznie głębsza, niż wynika to tylko z czysto matematycznej relacji miesięcznych sum opadów odnoszonych do średnich wieloletnich. Tak właśnie działo się latem 2015 r., kiedy niemal wszystkie opady miały charakter krótkotrwałych nawałnic.

Do powstania suszy w 2015 r. dodatkowo przyczyniły się wysokie temperatury powietrza; upalna pogoda trwała przez niemal cały czas od początku czerwca do końca sierpnia (Ryc. 2).

Odptyw rzeczny

Natężenie przepływu cieków odwadniających masyw Połoniny Wetlińskiej zostało zmierzone dwukrotnie (Tab. 2): z początkiem lipca (średnia niżówka) i pod koniec września (głęboka niżówka). Pozwoliło to na udokumentowanie stopniowej recesji natężenia przepływu małych cieków odwadniających zlewnie o powierzchniach 1,37–25,11 km². W tym okresie – pomiędzy początkiem lipca a końcem września – znaczna recesja przepływu dotknęła niemal wszystkie badane cieki. Największa została odnotowana na niewielkim potoku Przy Kamieniołomie, dopływie Prowczy w obszarze przełomu przez Pasma Połonin – przepływ zmniejszył się z 2,0 do 0,2 l/s (redukcja o 90%, ten niewielki potok niemal wysychł). Znacząca recesja natężenia przepływu odnotowana została także w przypadku potoku Dopływ w Berechach Górnych, czyli małego dopływu Prowczy,



Ryc. 2. Maksymalne i minimalne dobowe temperatury powietrza zarejestrowane w Lesku, w roku hydrologicznym 2015 (źródło danych: <http://en.tutiempo.net/climate/2015/ws-126900.html>, dostęp 13.05.2016 r.).

Fig. 2. Maximum and minimum daily air temperatures in Lesko in hydrological year 2015 (after: <http://en.tutiempo.net/climate/2015/ws-126900.html>, access: 13.05.2016 r.).

odwadniającego rejon Przełęczy Wyżniej (z 13,3 na 4,1 l/s, tj. o 69%). Oczywiście, małe ciekі, odwadniające małe zlewnie – o niewielkich zasobach wód podziemnych – są najbardziej narażone na wysychanie. Jednak nawet w przypadku największych cieków, spośród ujętych dwoma seriami pomiarowymi, recesja przepływu była znaczna w badanym okresie: potok Nasiczański o 67%, Hulski o 59%, Rzeka o 53%, Hylaty o 36% oraz Wetlinka o 59% (Tab. 2).

Ciekawe, że w dwóch przypadkach odnotowano wzrost przepływu (Kindrat i Berdo), a w jednym brak zmiany (Dopływ w Starym Siole). Sytuacja ta mogła wynikać z ewentualnych błędów pomiarowych, tzw. błędów przypadkowych, jednak ich popełnienie w takiej skali jest mało prawdopodobne. Inną możliwością jest nieco odmienny przebieg niżówki w tych małych zlewniach, na przykład za sprawą zasilenia ich we wrześniu przez opady konwekcyjne występujące na ograniczonym obszarze.

Dodatkowo, w ramach wrześniowej serii pomiarowej zostały udokumentowane natężenia przepływu kilku innych cieków. Najważniejszy jest przepływ Sanu w Zatwarnicy, gdyż postereunek ten zamyka znaczną część Bieszczadów Wysokich i obrazuje „uśrednioną” sytuację hydrometeorologiczną obszaru badań. Przepływ wyniósł 0,45 m³/s (Tab. 2, Ryc. 3). Jest to zdecydowanie niska wartość, gdyż SNQ dla tego posterunku wynosi 1,19 m³/s. Przy tym natężeniu przepływu odpływ jednostkowy z całej zlewni Sanu zamkniętej w Zatwarnicy

Tabela 2. Wyniki pomiarów natężenia przepływu (*Q*) wraz z odpowiadającymi im wartościami odpływu, jednostkowego (*q*). *ID* – numer zlewni, zgodny z Ryc. 1, 4 i 5.

Table 2. Flow rate investigation results (*Q*) as well as obtained specific discharge values (*q*). *ID* – basin id, referring to Fig. 1, 4, 5.

<i>ID</i>	Nazwa cieku (przekrój pomiarowy) <i>Watercourse name (place of measurement)</i>	Powierz- chnia zlewni <i>Basin area</i>	Data <i>Date</i>	<i>Q</i>	<i>q</i>	Data <i>Date</i>	<i>Q</i>	<i>q</i>
1	2	3	4	5	6	7	8	9
		[km ²]		[l/s]	[l/(s·km ²)]		[l/s]	[l/(s·km ²)]
1	Tworylczyk (most na drodze do Zatwarnicy)	5,29	1.07.2015	24,0	4,5	23.09.2015	10,5	2,0
2	Hulski (most na drodze do Zatwarnicy)	10,90	1.07.2015	46,0	4,2	23.09.2015	18,8	1,7
3	Rzeka (przed połączeniem z Hylatym)	14,42	1.07.2015	91,2	6,3	22.09.2015	42,1	2,9
4	Hylaty (przed połączeniem z Rzeką)	14,50	1.07.2015	59,1	4,1	23.09.2015	37,6	2,6
5	Szumlaczy (ujście do Prowczy)	2,61	1.07.2015	4,4	1,7	22.09.2015	2,3	0,9
6	Przy Kamieniołomie (ujście do Prowczy)	1,37	1.07.2015	2,0	1,5	22.09.2015	0,2	0,1
7	Dopływ w Berehach Górnych (ujście do Prowczy)	3,64	1.07.2015	13,3	3,7	22.09.2015	4,1	1,1
8	Patarczakowski (ujście do Wetlinki)	2,07	1.07.2015	6,9	3,3	22.09.2015	4,7	2,3
9	Kostyński (ujście do Wetlinki)	2,24	1.07.2015	20,9	9,3	22.09.2015	19,5	8,7
10	Klimakowski (ujście do Wetlinki)	1,78	1.07.2015	15,7	8,8	22.09.2015	12,9	7,2
11	Wetlinka (powyżej ujścia Górnej Solinki)	14,26	1.07.2015	56,4	4,0	22.09.2015	23,1	1,6

1	2	3	4	5	6	7	8	9
12	Spod Hnatowego Berda (ujście do Wetliny)	5,58	1.07.2015	16,6	3,0	22.09.2015	7,6	1,4
13	Dopływ w Starym Siole (ujście do Wetliny)	2,24	1.07.2015	1,8	0,8	22.09.2015	1,8	0,8
14	Słowiański (ujście do Wetliny)	2,52	1.07.2015	5,9	2,3	22.09.2015	2,7	1,1
15	Jałowy (ujście do Wetliny)	2,45	1.07.2015	5,6	2,3	22.09.2015	4,8	2,0
16	Kindrat (ujście do Wetliny)	4,71	1.07.2015	11,5	2,4	22.09.2015	13,8	2,9
17	Nasieczniański (przed połączeniem z Caryńskim)	25,11	1.07.2015	84,9	3,4	22.09.2015	28,3	1,1
18	Hylaty Góra (granica BdPN)	6,02	2.07.2015	21,2	3,5	23.09.2015	9,8	1,6
19	Hulski Góra (betonowy most)	3,42	2.07.2015	8,8	2,6	23.09.2015	8,3	2,4
20	Rzeka Góra (przed połączeniem z Berdem)	4,45	2.07.2015	63,3	14,2	22.09.2015	32,7	7,3
21	Berdo (przed połączeniem z Rzeką)	4,43	2.07.2015	9,4	2,1	22.09.2015	13,8	3,1
pomiary jednorazowe:								
22	San (Zatwarnica most)	493,58				24.09.2015	446,7	0,9
23	Dwernik (ujście do Sanu)	53,98				24.09.2015	67,9	1,3
24	Wołosaty (ujście do Sanu)	119,16				24.09.2015	206,4	1,7
25	Terebowiec (ujście do Wołosatego)	12,91				24.09.2015	33,8	2,6
26	Wołosatka (most powyżej Ustrzyk Górnych)	44,6				24.09.2015	89,5	2,0
27	Rzeczyca (ujście do Wołosatego)	20,43				24.09.2015	30,2	1,5
28	Wetlina (powyżej ujścia Spod Hnatowego Berda)	53,66				22.09.2015	205,5	3,8



Ryc. 3. Koryto Sanu w Dwerniczku, we wrześniu 2015 (fot. J. Siwek).

Fig. 3. The river bed of San in Dwerniczek, in September 2015 (photo J. Siwek).

wynosił zaledwie $0,9 \text{ l/(s} \cdot \text{km}^2)$. Zmierzone zostało także natężenie przepływu Wołosatego (przy ujściu do Sanu i powyżej Ustrzyk Górnych) oraz Dwernika (ujście do Sanu). Potoki Terebowiec i Rzeczyca zostały opomiarowane przy ujściach do Wołosatego, a Wetlina w Wetlinie (Tab. 2).

Dokumentacja niżówek w Bieszczadach była już wykonywana w ramach projektu „HydroBieszczady” w poprzednich latach. Najważniejsze dane uzyskane zostały jesienią 2009 r., kiedy zmierzono natężenie przepływu 30 małych cieków w warunkach – jak się wydawało – ekstremalnej niżówki. Uzyskane wyniki posłużyły do określenia jednostkowego odpływu podziemnego w Bieszczadach (Plenzler i in. 2010). Natężenie przepływu Sanu w Zatwarnicy wynosiło w trakcie pomiarów, tj. w dniach 3–6.10.2009 r., $1,02$ oraz $1,13 \text{ m}^3/\text{s}$ (wg danych IMGW zamieszczonych na stronie www.pogodynka.pl, dostęp 07.10.2009 r.). Natomiast we wrześniu 2015 r. autorzy pomiarem własnym udokumentowali przepływ o natężeniu zaledwie $0,45 \text{ m}^3/\text{s}$ (Tab. 2). Pokazuje to, że niżówka w 2015 r. była znacznie głębsza niż niżówka w 2009 r. Niektóre stanowiska pomiarowe z 2009 r. zostały powtórzone przy pomiarach w 2015 r., dzięki temu możliwe jest porównanie uzyskanych wyników (Tab. 3). W większości wypadków wartości odpływu jednostkowego obliczone na podstawie pomiarów wykonanych w 2015 r. były niższe niż wartości z 2009 r., chociaż widać też, że są pewne wyjątki od tej reguły, pokazujące odmienny przebieg obu niżówek w niektórych zlewniach.

Tabela 3. Odpływ jednostkowy (q) z września 2015 r. na tle wartości z października 2009 (za: Plenzler i in. 2010). **ID** – numer zlewni, zgodny z Tab. 2.

Table 3. Specific discharge values (q) obtained in September 2015 vs. October 2009 (after Plenzler et al. 2010). **ID** – basin number, referring to Table 2.

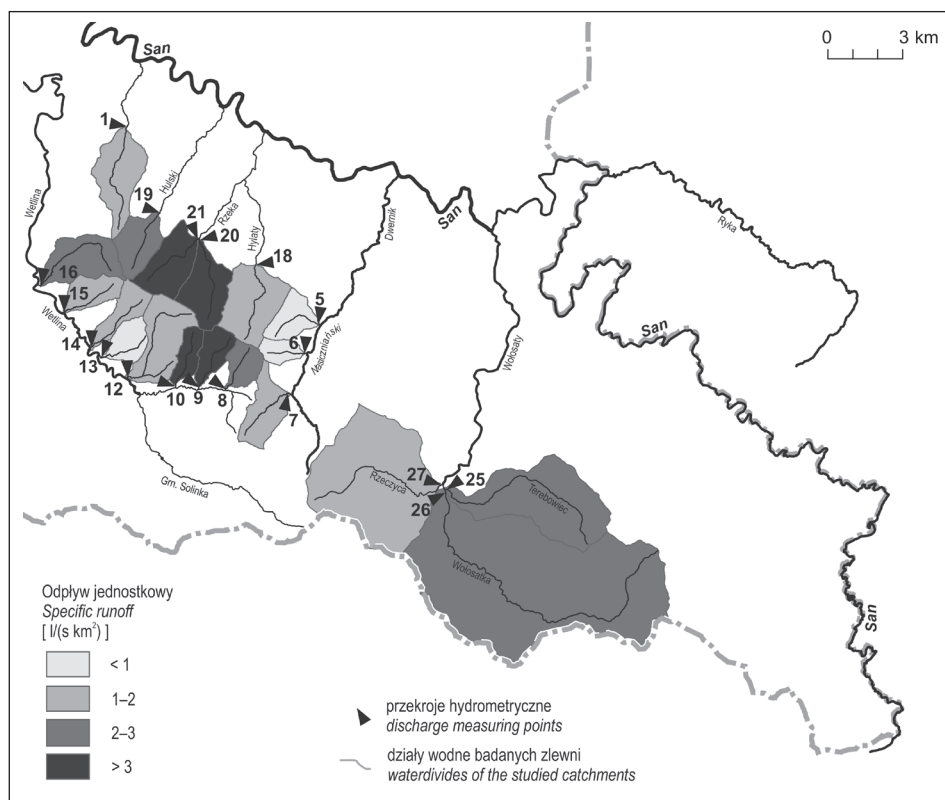
ID	Nazwa ciek (przekrój pomiarowy) <i>Watercourse name (place of measurement)</i>	q 22–24.09.2015	q 3–6.10.2009
		[l/(s·km ²)]	[l/(s·km ²)]
2	Hulski (most na drodze do Zatwarnicy)	1,7	6,8
3	Rzeka (przed połączeniem z Hylatym)	2,9	3,2
4	Hylaty (przed połączeniem z Rzeką)	2,6	2,4
11	Wetlinka (powyżej ujścia Górnej Solinki)	1,6	2,4
12	Spod Hnatowego Berda (ujście do Wetliny)	1,4	2,2
16	Kindrat (ujście do Wetliny)	2,9	1,6
17	Nasiczniański (przed połączeniem z Caryńskim)	1,1	1,8
25	Terebowiec (ujście do Wołosatego)	2,6	3,8
26	Wołosatka (most powyżej Ustrzyk Górnych)	2,0	2,7
27	Rzeczyca (ujście do Wołosatego)	1,5	1,4

Wykonanie licznych pomiarów natężenia przepływów w przekrojach o różnym umiejscowieniu w hierarchii struktury sieci rzecznej pozwoliło na sporządzenie map rozkładu przestrzennego odpływu jednostkowego wyznaczonego zarówno dla małych, elementarnych zlewni (Ryc. 4) jak i dla zlewni większych, gdzie informacja ta jest uśredniona poprzez odniesienie do większych powierzchni (Ryc. 5).

Wydajność źródeł

Długa i głęboka niżówka spowodowała stopniowe szczypanie dynamicznych zasobów wód podziemnych, w naturalny sposób ograniczonych – zwłaszcza w wysoko położonych zlewniach. Potwierdziły to prace inwentaryzacyjne przeprowadzone wczesną jesienią 2015 r., które wykazały, że znaczna część źródeł na Połoninie Wetlińskiej wyschła, a pozostałe (uznane za źródła stałe) wyraźnie obniżyły swoją wydajność.

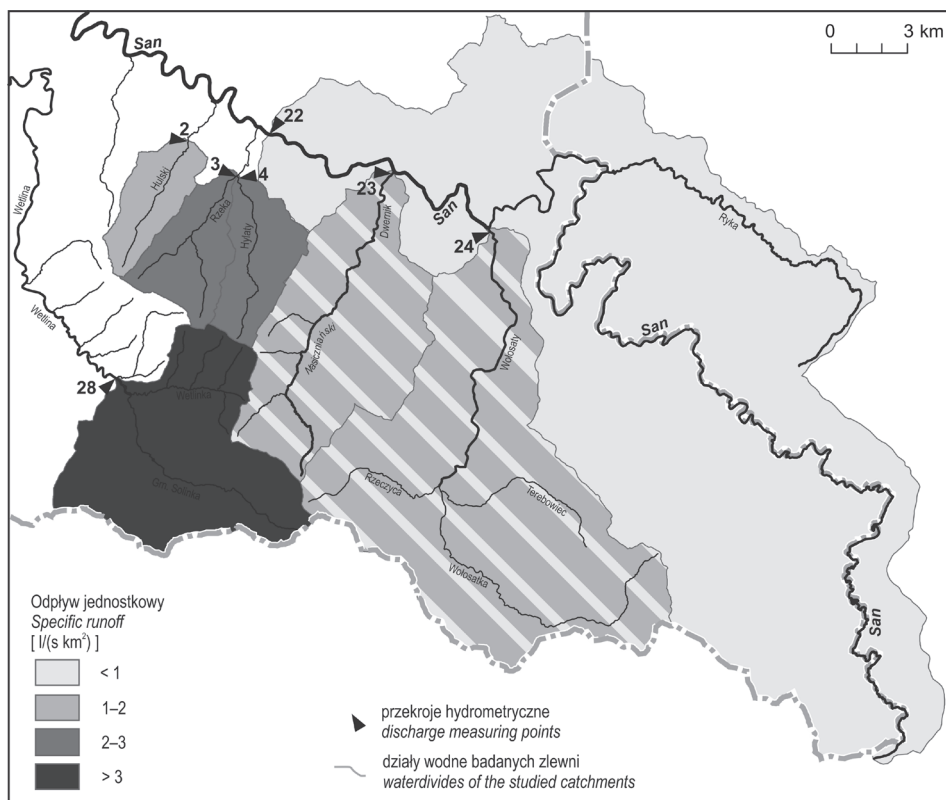
Jedno z najbardziej wydajnych źródeł na Połoninie Wetlińskiej – źródło Spod Roha (Ryc.1, źródło nr 4 wg Kisiel i in. 2015) z początkiem lipca obniżyło wydajność do 7,4 l/s, aby z końcem września osiągnąć wydajność zaledwie 1,1 l/s (oba pomiary metodą wolumetryczną, odpowiednio w dniach 06.07.2015 r. oraz 22.09.2015 r.) – przy średniej wieloletniej wydajności ok. 8 l/s. Jest to duże (wydajne) źródło – jak na warunki fliszu karpackiego oraz położenie na znacznej wysokości (Lasek i in. 2012, Mocior i in. 2015). Syste-



Ryc. 4. Odpływ jednostkowy ze zlewni elementarnych w dniach 22–24 września 2015 r.
Fig. 4. Specific discharge from the elementary basins in 22–24 September 2015.

matyczny spadek jego wydajności był obserwowany już od końca wiosny, przy czym wyraźnie nasilił się w miesiącach letnich. W drugiej połowie maja, po opadach deszczu, wystąpił epizod wzrostu wydajności źródła, lecz nie trwał on długo. Średnia wydajność źródła w sierpniu 2015 r. była już około pięciokrotnie niższa niż w kwietniu (Tab. 4).

Szczegółowa analiza krzywej wysychania źródła Spod Roha, możliwa dzięki danym z automatycznego rejestratora (limnigrafu), pokazuje, że w okresie od początku lipca do początku września recesja źródła była w przybliżeniu liniowa (Ryc. 6). Dla tego okresu reprezentatywny jest na przykład odcinek krzywej pomiędzy 09.08.2015 a 02.09.2015 (25 dni), kiedy wydajność źródła malała od 4,34 do 2,35 l/s; współczynnik regresji Mailleta α wyniósł 0,025. Jednak w pierwszych dniach września krzywa wysychania zmieniła nachylenie i zrobiła się zdecydowanie bardziej stroma. W okresie 04.09.2015–09.09.2015 (5 dni) wydajność zmniejszyła się od 2,32 do 1,09 l/s ($\alpha = 0,151$, czyli ponad sześciokrotnie szybciej niż poprzednio). Może to



Ryc. 5. Odpływ jednostkowy ze zlewni Sanu i jego głównych dopływów w dniach 22–24 września 2015 r.

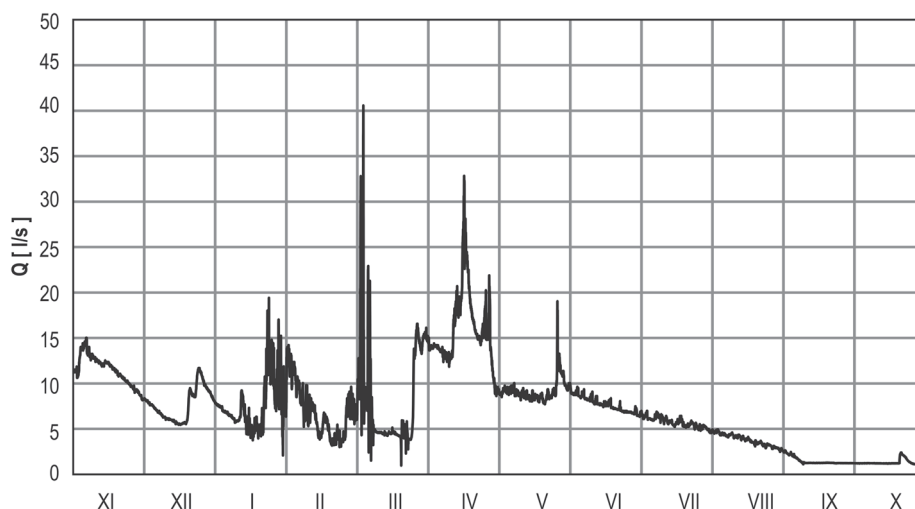
Fig. 5. Specific discharge from San drainage basin and its major tributaries in 22–24 September 2015.

Tabela 4. Średnia miesięczna wydajność źródła Spod Roha w roku hydrologicznym 2015.

Table 4. Monthly averages of the Spod Roha spring discharge (hydrologic year 2015).

	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Q [l/s]	9,1	5,6	5,6	4,9	6,1	13,5	7,0	5,8	4,0	2,5	0,8	0,7

wskazywać na szczytowanie z początkiem września bardziej zasobnego zbiornika wód podziemnych zasilającego to źródło i podtrzymującego jego wydajność. W zasilaniu źródła od tego momentu dominuje inny, mniej zasobny zbiornik, który wcześniej miał znaczenie drugorzędne. Dlatego szczytowanie zasobów odbywa się od tego momentu znacznie szybciej, czego skutkiem jest szybko malejąca wydajność źródła.



Ryc. 6. Recesja wydatku źródła Spod Roha – rok hydrologiczny 2015. Odpływ jednostkowy ze zlewni potoków Nasicznańskiego-Dwernika oraz Wołosatego przedstawiono na tle odpływu jednostkowego z całej zlewni górnego Sanu po profil w Zatwarnicy.

Fig. 6. The recession of discharge of the Spod Roha spring – water year 2015. Specific discharge from the Nasicznański-Dwernik basin as well as Wołosaty basin were shown on the background of the specific discharge from the San basin.

Podsumowanie

Wyjątkowo wysokie temperatury powietrza w Polsce latem 2015 r. oraz długotrwały okres bezopadowy przyczyniły się do powstania na terenie Bieszczadów głębokiej nizówki hydrologicznej. Jej rozwój wiązał się z obniżeniem stanu wód powierzchniowych oraz zmniejszeniem zasobów wód podziemnych. W poprzednich latach obserwowane były nawet niższe stany wód – na przykład latem 2013 r., kiedy „pobity” został „rekord” stanu minimalnego z wielolecia NNW na Sanie w Zatwarnicy. Jednak wyjątkowość nizówki z 2015 r. polegała przede wszystkim na długim czasie jej trwania. Okres stopniowego obniżania się stanu wód oraz wydajności źródeł rozpoczął się już pod koniec maja i trwał do końca roku hydrologicznego – wzrost wydajności źródeł obserwowany był dopiero w listopadzie 2015 r. Występujące w tym czasie pojedyncze, nawet gwałtowne zdarzenia opadowe, zaznaczyły się na hydrogramach odpływu jedynie jako niewielkie, krótkotrwałe wezbrania, nie zmieniając zasadniczo krzywej recesji przepływu cieków i wydajności źródeł. Wielomiesięczny brak zasilania wód podziemnych doprowadził do uszczuplenia zasobów wód podziemnych. Na stokach Połoniny Wetlińskiej odnotowano stopniowy, ale daleko idący spadek wydajności największych źródeł, podczas gdy szereg mniejszych wypływów w ogóle nie funkcjonowało (wyschło).

Podziękowania

Autorzy pragną wyrazić wdzięczność dla Arkadiusza Morawskiego za pomoc w zbieraniu danych opadowych w Suchych Rzekach oraz dla Izabeli Pyzochy za pomoc organizacyjną podczas prowadzenia badań terenowych.

Badania wykonano w ramach projektu naukowego „HydroBieszczady” realizowanego w Instytucie Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ. Autorzy dziękują wszystkim uczestnikom prac terenowych.

Autorzy dziękują także dwóm Recenzentom, których uwagi pomogły znacząco ulepszyć artykuł.

Literatura

- Atlas posterunków wodowskazowych dla potrzeb Państwowego Monitoringu Środowiska 1995/1996. Biblioteka Państwowego Monitoringu Środowiska, Warszawa-Katowice.
- Castany G. 1968. Poszukiwanie i eksploatacja wód podziemnych. Wyd. Geol., Warszawa, 634 s.
- Cebulak E., Limanówka D., Malota A., Niedbała J., Pyrc R., Starkel L. 2008. Przebieg i skutki ulew w dorzeczu górnego Sanu w dniu 26 lipca 2005 r. Materiały Badawcze IMiGW, Seria: Meteorologia 40, 56 s.
- Cebulska M., Szczepanek R., Twardosz R. 2013. Rozkład przestrzenny opadów atmosferycznych w dorzeczu górnej Wisły. Opady średnie roczne (1952-1981). Wyd. Inst. Geogr. i Gosp. Przestrz. UJ, Kraków, 83 s.
- Dynowska I. 1971. Typy reżimów rzecznych w Polsce. Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne 28, 155 s.
- Kisiel M., Dojrowska I., Kucala M., Rzonca B., Siwek J., Zawilo M. 2015. Termika wód źródłanych w masywie Połoniny Wetlińskiej. Roczniki Bieszczadzkie 23: 225–237.
- Lasek J., Dąbek N., Jaśkowiec B., Mocior E., Peek B., Plenzler J., Płaczowska E., Rzonca B., Siwek J., Wójcik S. 2012. Źródła w Bieszczadach Wysokich. Roczniki Bieszczadzkie 20: 254–267.
- Laszczak E., Ziółkowski L., Siwek J. 2011. Opady i pokrywa śnieżna. W: Rzonca B., Siwek J. (red.), Hydrologia Bieszczadów. Zlewnie Sanu i Solinki powyżej Jeziora Solińskiego. IGiGP UJ, Kraków: 21–29.
- Leśniak B. 1980. Pokrywa śnieżna w dorzeczu górnej Wisły. Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne 51: 75–127.
- Łajczak A. 1996. Warunki hydrologiczne. W: Skiba S. (red.), Plan ochrony Bieszczadzkiego Parku Narodowego. Operat ochrony przyrody nieożywionej i gleb. Kraków–Ustrzyki Dolne, BDPN, ss.: 12–38.
- Mocior E., Rzonca B., Siwek J., Plenzler J., Płaczowska E., Dąbek N., Jaśkowiec B., Potoniec P., Roman S., Zdziebko D. 2015. Determinants of the distribution of springs in the upper part of a flysch ridge in the Bieszczady Mountains in southeastern Poland. Episodes 38 (1): 21–30.
- Plenzler J., Bajorek J., Jaśkowiec B., Kołodziej A., Rzonca B., Siwek J., Wójcik S. 2010. Podziemny odpływ jednostkowy w Bieszczadach Wysokich. Przegląd Geologiczny 58: 1147–1151.

- Plenzler J., Wójcik S., Kołodziej A., Siwek J. 2011. Odpływ powierzchniowy. W: Rzonca B., Siwek J. (red.), *Hydrologia Bieszczadów. Zlewnie Sanu i Solinki powyżej Jeziora Solińskiego*. IGiGP UJ, Kraków: 21–29.
- Rzonca B., Kołodziej A., Laszczak E., Mocior E., Plenzler J., Płaczkowska E., Rozmus M., Siwek J., Ścisłowicz B., Wójcik S., Ziółkowski L. 2008. Źródła w zlewni górnej Wołosatki w Bieszczadach Wysokich. *Przegląd Geologiczny* 56: 772–779.
- Zielińska M. 1964. Metody obliczania i prognozowania niżówek w ujęciu probabilistycznym. *Wiadomości Służby Hydrologicznej i Meteorologicznej* 58: 31–57.

Summary

A low water stage is defined as a period of river flow where the magnitude of the flow is less than the highest minimum perennial flow (WNQ). In the Bieszczady mountain region, more than 50% of low water stages last fewer than 5 days. Maximum low water durations recorded thus far for the San River have exceeded 30 days. Low water stages in the summer of 2015 were determined not only by abnormally low precipitation levels, but also by very high air temperatures.

Direct hydrologic measurement data for streams and automated spring monitoring stations were correlated with precipitation data. A significant part of the monthly precipitation totals noted in the study period consisted of short-lasting, intensive rainfall, which caused only a short-term increase in the water level. These rainfall events were not able to recharge groundwater reservoirs.

In the summer of 2015, the Połonina Wetlińska massif experienced its lowest monthly precipitation totals of only 20 mm (for August), which constituted less than 20% of the perennial average for August. Comparing precipitation totals for three months in 2015 (June–August) with perennial averages, we can observe a deficiency of 210 to 230 mm in 2015.

During the summer of 2015, flow rates for almost all watercourses from small streams to larger rivers had decreased significantly. By the late summer of 2015, most of Połonina Wetlińska springs were dry. The discharge of permanent springs and bog-springs had radically decreased. A long-term recession curve was recorded by an automated discharge data logger at the Spod Roha major spring, which showed a decrease in groundwater levels.

The drought in the summer of 2015 was not the strongest drought in the study area when compared to years past. Nevertheless, it contributed to significant changes in watercourse flow rates and groundwater retention in the study area.