

Danuta Malecka

**ZMIANY WYDAJNOŚCI NIEBIESKICH ŹRÓDEŁ
PRZYCZYNY I SKUTKI**

**YIELD CHANGES OF THE NIEBIESKIE ŹRÓDŁA SPRINGS
THEIR REASONS AND EFFECTS**

Rezerwat przyrody Niebieskie Źródła stanowi jedyne w swoim rodzaju stanowisko wód krasowych na Niżu Polskim. W ich charakterystyce, opartej na wieloletnich obserwacjach, uwzględniono proces zasilania oraz czynniki regionalne i lokalne wpływające na ten proces. Wskazano na przyrodniczo uwarunkowaną cykliczność i antropogeniczne przyczyny regresji wydatku źródeł.

WSTĘP

Niebieskie Źródła, położone na południowy wschód od Tomaszowa Mazowieckiego, występują na płaskim, zalewowym tarasie Pilicy, w miejscu, gdzie dolina ulega wyraźnemu zwężeniu. To wydajne krasowe wywierzysko, otoczone w przeszłości cienistymi lasami, w miejscu wypływu tworzyło „jezioro z wysepkami”, z którego wody odpływały do Pilicy w pobliżu Brzostówki. Śladem tego odpływu jest do dziś zachowana wąska, zabagniona dolinka. W czasie wiosennych wezbrań fala powodziowa zalewała powierzchnię tarasu, pokrywając źródła i ich otoczenie naniesionym przez rzekę materiałem.

Ingerencja człowieka w to naturalne środowisko zmodyfikowała ustrój hydrologiczny źródeł, zmieniła również ich otoczenie:

– wody sztucznym przekopem skierowane zostały ku północnemuwschodowi, gdzie w miejscu dzisiejszego przepustu wykorzystywano ich energię do poruszania młyna w Nowym Ludwikowie (rys. 1).

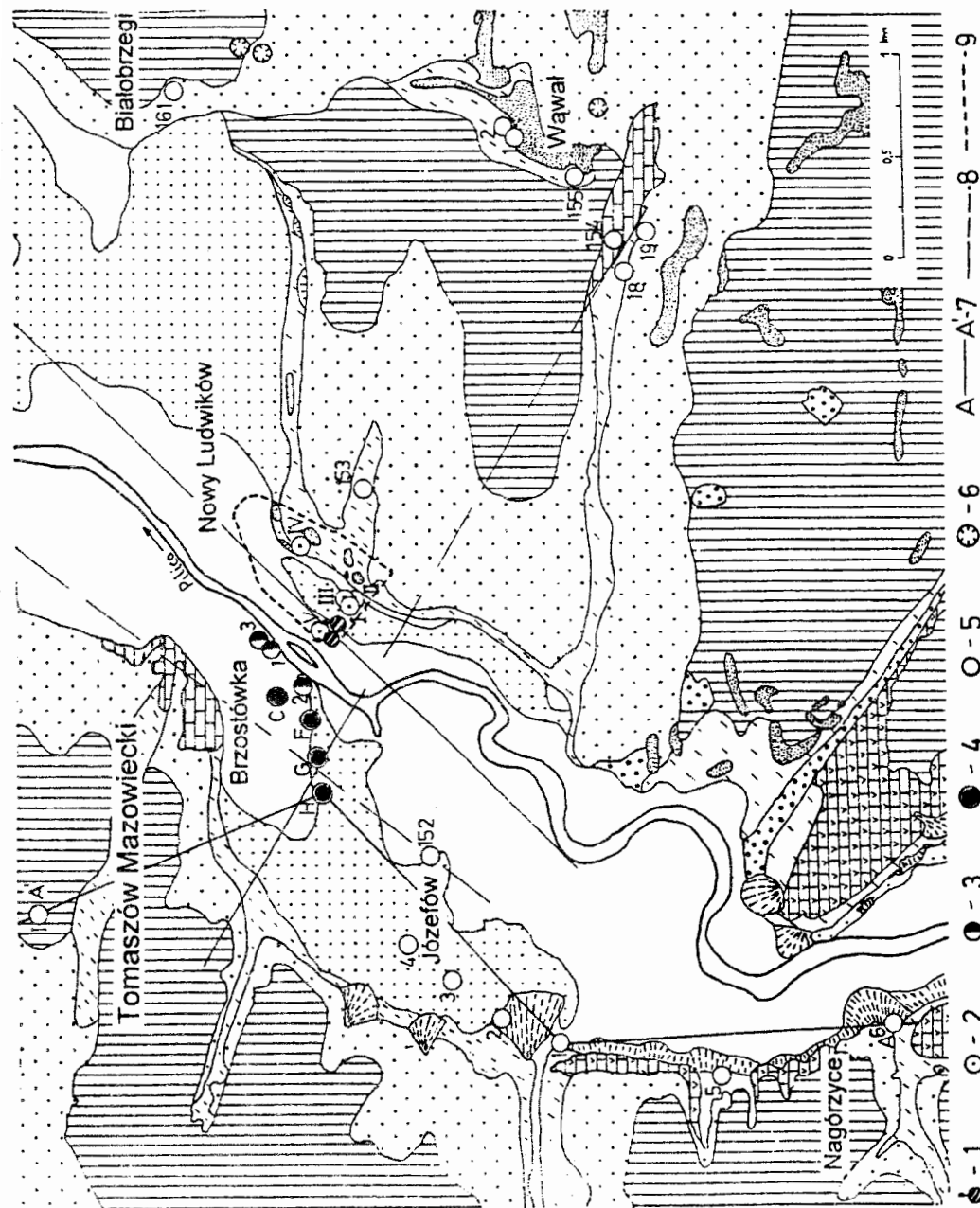
– dziełem rąk ludzkich jest również wał usypany wzdłuż zachodniego brzegu rozlewiska, mający chronić Niebieskie Źródła przed wodami wezbraniowymi Pilicy; zabieg ten okazał się jednak nie w pełni skuteczny, wody powodziowe często uszkadzały groble; dopiero wybudowany przez wojsko

Wykształcenie litologiczne utworów czwartorzędowych

- C z [white box] mułki, piaski i żwiry rzeczne tarasu zalewowego
- w a [dotted box] piaski i żwiry rzeczne tarasów nadzalewowych
- t o [horizontal lines box] piaski i żwiry wodnolodowcowe
- r z [diagonal lines box] utwory zwietrzelinowe (piaski i gliny deluwialne)
- ę d [vertical lines box] gliny zwałowe moreny dennej

Odstąpienia mezozoicznego podłoża

- K r e d a [cross-hatched box] gezy
- [dotted box] piaski serii białogórskiej
- J u r a [horizontal lines box] wapienie wolgu
- [vertical lines box] ily wolgu



Rys. 1. Sytuacja geologiczna Niebieskich Źródeł

1 - Niebieskie Źródła (główne wypływy), 2 - wiercenia z 1903 r. nr I-V, 3 - wiercenia z 1938 r. nr 1-3, 4 - Brzostówka wiercenia z lat 1950-1953 symbol C, F, G, H, 5 - inne studnie wiercone (numeracja wg mat. arch. Urz. Woj. w Piotrkowie Tryb. i Przeds. Geol. Z-d Łódź), 6 - lejki krasowe reprodukowane w zwietrzlinie, 7 - linia przekroju A-A', 8 - dyslokacje, 9 - granice rezerwatu

Fig. 1. Geological situation of the Niebieskie Źródła Springs

1 - the Niebieskie Źródła Springs (main outflows), 2 - bore-holes from 1903 nr I-V, 3 - bore-holes from 1938 nr 1-3, 4 - the Brzostówka bore-holes from 1950-53 symbols C, F, G, H, 5 - other bored wells (numeration after archival materials of the Piotrków Trybunalski voivodship and the Łódź Geological Firm), 6 - sinkholes reproduced in mantle-rocks, 7 - cross-section line AA', 8 - dislocations, 9 - reserve boundary

Lithological development of Quaternary deposits:

- fluvial silts, sands and gravels of flood terrace
- fluvial sands and gravels of meadow terraces
- fluvio-glacial sands and gravels
- mantle rocks (sands and deluvial clays)
- glacial till of ground moraine

Mesozoic substratum outcrops:

- gaizes
- sands of the Białogóra series
- Wolg limestones
- Wolg clays

w 1957 r. mur oporowy (jak podają to Mowszowicz i Olaczek, 1965) „położył kres samowoli rzeki” zabezpieczając Niebieskie Źródła przed powodzią.

– kolejną ingerencją człowieka na początku bieżącego stulecia i później była budowa pomostów i kładek pozwalających na dostęp turystów w głąb terenu dzisiejszego rezerwatu; śladem tego typu „udogodnień” na szczęście są już tylko fragmenty tkwiących w wodzie pali.

Największym jednak zagrożeniem dla źródeł były działania zmierzające do wykorzystania tych kryształowo czystych wód w celach komunalnych.

BADANIA HYDROGEOLOGICZNE TOWARZYSZĄCE LOSOM NIEBIESKICH ŹRÓDEŁ

Niebieskie Źródła stanowią jedyne w swoim rodzaju stanowisko wód krasowych na Niżu Polskim. Doceniając walory przyrodnicze oraz duże zainteresowanie społeczeństwa tym pięknym zakątkiem kraju w 1961 r. Niebieskie Źródła i ich najbliższe otoczenie uznane zostały za rezerwat przyrody (MP, 1961, nr 72).

Flora i fauna tego rezerwatu była tematem szeregu publikacji i opracowań naukowych (Mowszowicz, Olaczek 1961, 1965 i literatura tam zawarta). Natomiast rozpoznanie reżimu hydrogeologicznego źródeł w ujęciu regionalnym, pomimo ukazujących się od stulecia licznych opisów i publikacji, nie zostało do końca wyjaśnione. Cała historia Niebieskich Źródeł jest nierozdzielnie związana z problematyką zaopatrzenia w wodę Łodzi i Tomaszowa Mazowieckiego.

Do pierwszych związanych z tym prac penetracyjnych należą wiercenia wykonane w 1903 r. w bezpośrednim sąsiedztwie źródeł (od 85 do 170 m). Uzyskano z nich wysoką wydajność jednostkową $190 \text{ m}^3/\text{h}/1\text{m S}$, przy stabilizacji zwierciadła 1,37 m n.p.t., tj. na rzędnej 156,22 m, przewyższającej obecny poziom o ponad 1,7 m. Wykorzystując te dane prof. W. H. Lindley w 1923 r. opracował obszerny projekt zaopatrzenia w wodę Łodzi, w którym między innymi brał również pod uwagę wody Niebieskich Źródeł. Sugestie te przez wiele lat ciążyły nad lokalizacją i projektowaniem kolejnych wierceń badawczych na terenie samego rezerwatu lub w bliskim jego sąsiedztwie.

Przed wojną, w 1938 r., na zlecenie magistratu Tomaszowa Mazowieckiego, wykonane zostały następne trzy otwory zlokalizowane po lewej stronie Pilicy. Uzyskane wyniki badań były nieporównywalnie mniej korzystne.

Idea realizacji projektu prof. Lindleya odżyła ponownie w czasie okupacji. W 1940 r. wykonano 30-metrowy otwór w pobliżu Niebieskich Źródeł. Na 7 m, pod piaskami aluwialnymi, nawiercono wapień barwy żółtej, prze-

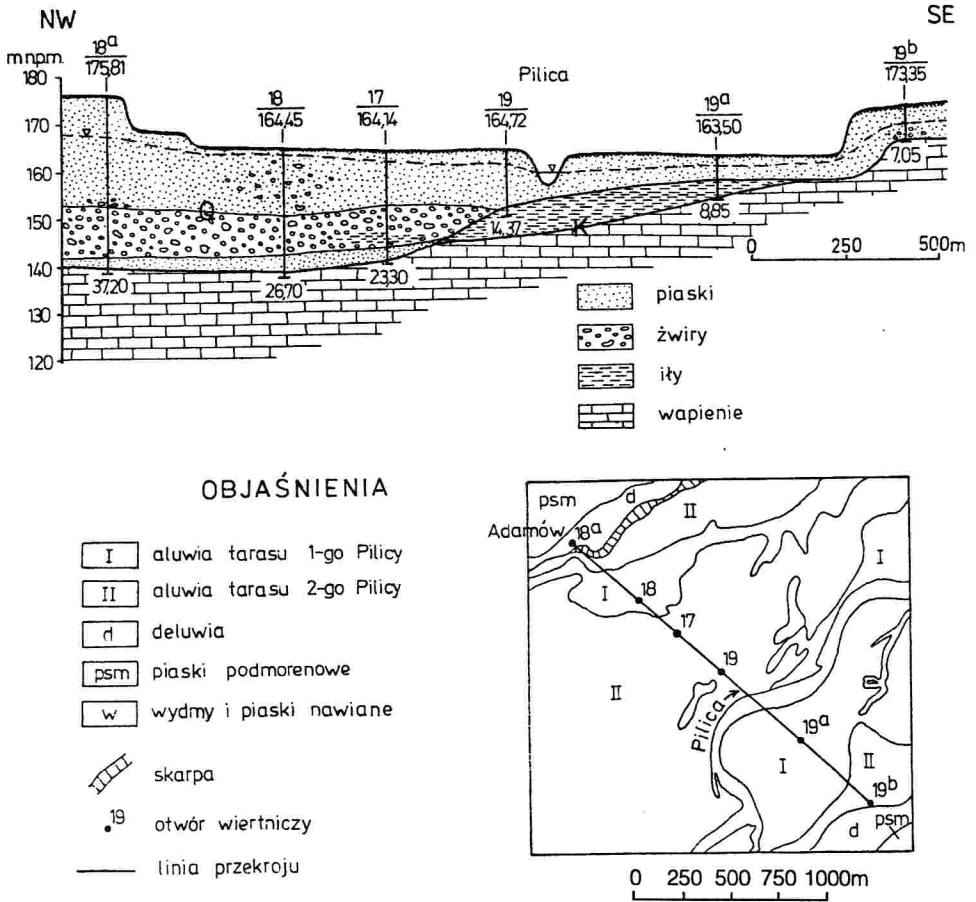
chodzące w żółto-szare wapienie margliste – a więc typowy profil stwierdzany już na terenie dzisiejszego rezerwatu. Te i szereg innych wierceń wykonanych już poza rezerwatem w celu rozpoznania możliwości eksploatacyjnych utworów czwartorzędowych nie rozwiązały również problemu zaopatrzenia w wodę Łodzi i Tomaszowa Mazowieckiego.

Przerwane badania zostały wznowione w latach 1950–1951. Z tego okresu pochodzą dane do przekroju przez dolinę Pilicy powyżej rezerwatu (rys. 2) oraz wzdłuż zachodniego brzegu doliny na linii Nagórzycze–Tomaszów Mazowiecki (rys. 3).

W świetle niezadowolających wyników badań realnych kształtów nabrała propozycja ujęcia wód powierzchniowych z Pilicy, przy równoczesnym prowadzeniu badań hydrogeologicznych na terenie Brzostówki po przeciwnym – w stosunku do Niebieskich Źródeł – brzegu doliny Pilicy. O szeroko zakrojonym programie badań świadczy fakt odwiercenia w latach 1950–1953 na 70-metrowym odcinku doliny 31 otworów o charakterze eksploatacyjnym, badawczo-eksploatacyjnym i obserwacyjnym (Czeplińska-Smolczyńska, Batolik, Mazur 1960). Wyniki próbnych pompowań zestawione w formie tabelarycznej (tab. 1) świadczą o dużych możliwościach eksploatacyjnych tego terenu. Nic więc dziwnego, że dalsze działania administracyjne zmierzały do wykorzystania tych wód w celach komunalnych. Szkoda tylko, że nie pamiętano przestrogi J. Samsonowicza, który już w 1950 r. wysuwał przypuszczenie, że Niebieskie Źródła i wody ujęcia „Brzostówka” może łączyć ten sam obszar zasilania.

W czasie pompowań pojedynczych otworów studziennych, mimo zaleceń Centralnego Urzędu Geologii, nie obserwowano reakcji Niebieskich Źródeł. W roku 1958 istniejące do dziś otwory „C” i „F” zostały włączone do eksploatacji z wydajnością 450 m³/h. W celu zatwierdzenia zasobów eksploatacyjnych, po wykonaniu dodatkowej studni, w lecie 1961 r. przystąpiono do pompowania zespołowego, które najbardziej zaważyło na losach Niebieskich Źródeł. Przy wydajności 1233,5 m³/h nastąpił gwałtowny zanik wydatku źródła. Poziom wody na przelewie w Nowym Ludwikowie (rys. 1) obniżył się o 31,2 cm (Turek, Gaik 1986). Fakt ten szerokim echem odbił się w opinii społecznej i spowodował przerwanie podobnych eksperymentów. W konsekwencji szeregu działań studnie oznaczone symbolem „C” i „F” przekazane zostały w użytkowanie miastu.

W 1967 r. powraca sprawa zatwierdzenia zasobów, tym razem w wysokości 260 m³/h dla otworu „C” i 190 m³/h dla otworu „F” (Kobyłecki 1967). Koncepcja ta również nie uzyskała akceptacji Centralnego Urzędu Geologii, podobnie zresztą jak propozycja z 1973 r. (Warzocha, Strumiłło 1973) zatwierdzenia zasobów w wysokości 420 m³/h, traktując obie studnie jako awaryjne.



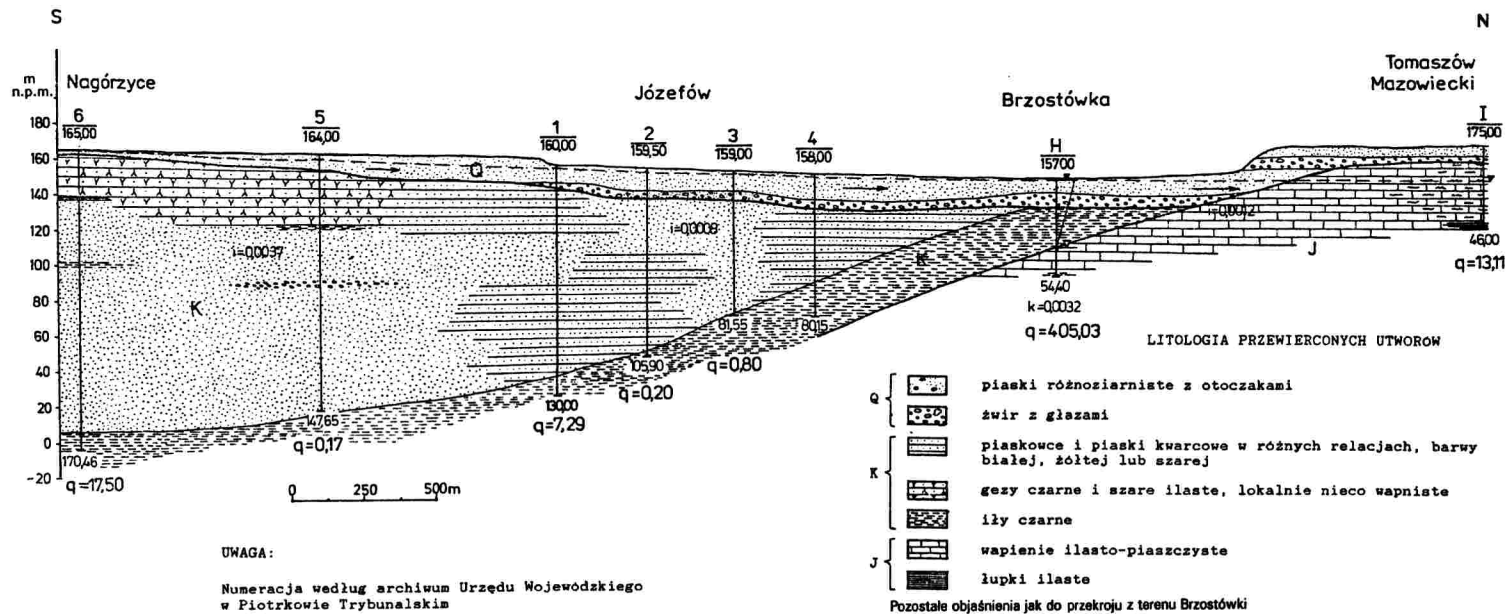
Rys. 2. Przekrój przez dolinę Pilicy w okolicach Adamowa (opracowano na podstawie materiałów archiwalnych W. H. Lindleya i J. Samsonowicza)

Fig. 2. The Pilica valley cross-section near Adamów

- sand
- gravel
- clay
- limestone

EXPLANATIONS:

- the Pilica river 1st terrace alluvium
- the Pilica river 2nd terrace alluvium
- deluvium
- submorainal sand
- dunes and blown sand
- scarp
- bore-hole
- cross-section line



Rys. 3. Schematyczny przekrój na linii Nagórzyce-Tomaszów Mazowiecki

Fig. 3. Schematic section along the Nagórzyce-Tomaszów Mazowiecki
Explanation: Numeration after the Piotrków Trybunalski voivodship archives

Lithology of the bored through sediments

- variegated sands with pebbles
- gravel with boulders
- quartzous sandstone and sand in different relations, of white, yellow and grey colour
- black gaizes and grey clayey ones, locally somewhat limy
- black clays
- argillo-arenaceous limestone
- clay stones

Other explanations like the cross-section of the Brzostówka area

Wyniki badań hydrogeologicznych studni wierconych z terenu Brzostówki
Results of hydrogeological studies of the Brzostówka Area bored wells

Symbol studni	Wykonawca i rok wykonania	Rzędna terenu m n.p.m.	Głębokość otworu m	Wyniki próbnych pompowań						Zasoby eksploatacyjne	
				Data	Depresja		I	II	III		IV
„C”	Państwowe Przedsiębiorstwo Budownictwa „Hydrotest” w Warszawie, 1950 r.	156,580	30,40	6.05.1951–21.08.1951	Zwierciadło wody m	Statyczne	2,1 m p.p.t. – 154,44 m n.p.m.				$Q_{exp} = 260 \text{ m}^3/\text{h}$ $S_{exp} = 3,10 \text{ m}$ $q_{exp} = 83,87 \text{ m}^3/\text{h}/1\text{m S}$ $R_{exp} = 274,5 \text{ m}$ $k_{fr} = 0,00079 \text{ m/s}$
						Dynamiczne	3,43	4,58	7,28	–	
					Wydajność Q	m^3/h	96,0	193,0	339,0	–	
					Depresja S	m	0,85	1,92	4,29	–	
					Wyd. jedn. q	$\text{m}^3/\text{h}/1\text{m S}$	112,94	100,52	79,02	–	
Czas pompowania	godz.	463	758	887	–						
„F”	Państwowe Przedsiębiorstwo Budownictwa „Hydrotest” w Warszawie, 1950 r.	156,950	30,80	14.09.1951–21.01.1952	Zwierciadło wody m	Statyczne	0,67 m p.p.t. – 156,28 m n.p.m.				$Q_{exp} = 190 \text{ m}^3/\text{h}$ $S_{exp} = 2,8 \text{ m}$ $q_{exp} = 67,85 \text{ m}^3/\text{h}/1\text{m S}$ $R_{exp} = 80,9 \text{ m}$ $k_{fr} = 0,00099 \text{ m/s}$
						Dynamiczne	0,82	3,20	9,10	–	
					Wydajność Q	m^3/h	78,0	193,0	375,0	–	
					Depresja S	m	0,45	2,80	8,50	–	
					Wyd. jedn. q	$\text{m}^3/\text{h}/1\text{m S}$	173,33	68,93	44,12	–	
Czas pompowania	godz.	281	1011	1750	–						
„G”	Państwowe Przedsiębiorstwo Budownictwa „Hydrotest” w Warszawie, 1950 r.	157,00	44,20	28.10.1950–7.01.1953	Zwierciadło wody m	Statyczne	0,46 m p.p.t. – 156,44 m n.p.m.				$k_{fr} = 0,0021 \text{ m/s}$
						Dynamiczne	–	–	–	–	
					Wydajność Q	m^3/h	193	375	566	–	
					Depresja S	m	0,39	1,08	1,89	–	
Wyd. jedn. q	$\text{m}^3/\text{h}/1\text{m S}$	494,87	347,22	299,47	–						

Symbol studni	Wykonawca i rok wykonania	Rzędna terenu m n.p.m.	Głębokość otworu m	Wyniki próbnych pompowań						Zasoby eksploatacyjne	
				Data	Depresja		I	II	III		IV
„H”	Państwowe Przedsiębiorstwo Budownictwa „Hydrotest” w Warszawie, 1950 r.	157,00	54,40	19.01.1953– 17.06.1953	Zwierciadło wody m	Statyczne	0,28 m p.p.t. – 156,72 m n.p.m.				$k_{kr} = 0,0032 \text{ m/s}$
						Dynamiczne	–	–	–	–	
					Wydajność Q	m ³ /h	193	375	568	595	
					Depresja S	m	0,35	0,98	1,67	1,72	
					Wyd. jedn. q	m ³ /h/1m S	551,43	382,65	340,12	345,93	
Zestawiono na podstawie danych:				a) z dokumentacji hydrogeologicznej... PG Zakład Łódź (archiwum – nr 213)			b) z aneksu do dokumentacji (archiwum – nr 2732)				

Obecnie otwory te nie są eksploatowane. W celu utrzymania ich sprawności raz w tygodniu pompowane są przez 2 do 4 godzin. Należy dodać, że prowadzone w latach 1960–1967 obserwacje nie wykazały zmian stanów wód podziemnych. Na początku i końcu okresu badawczego praktycznie wody występowały na analogicznym poziomie, co świadczy o dużej stabilności warunków hydrogeologicznych w rejonie ujęcia Brzostówka.

Pytanie, jakie są przyczyny regresji wydatku Niebieskich Źródeł, nadal pozostało bez odpowiedzi. Spośród wielu hipotez wszyscy badacze są zgodni co do tego, że w rejonie występowania źródeł istnieje szereg dyslokacji tektonicznych i uskoków, stanowiących główne drogi krążenia wód podziemnych (Macher, Kolago 1963; Makowska 1970; Trzmiel 1990 i in.).

WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE KSZTAŁTUJĄCE REŻIM NIEBIESKICH ŹRÓDEŁ

Pod pojęciem reżimu źródła rozumiemy przebieg zmian parametrów i cech uwarunkowanych czynnikami zewnętrznymi, charakteryzujących źródło pod względem: wydajności, ciśnienia hydrostatycznego, składu chemicznego wody, jej właściwości fizycznych i bakteriologicznych. Każde źródło, będące naturalnym, skoncentrowanym wypływem wody podziemnej na powierzchni terenu, zasilane jest z macierzystego zbiornika o określonych rozmiarach i możliwościach retencyjnych uwarunkowanych budową geologiczną terenu.

W przypadku Niebieskich Źródeł taki macierzysty, lokalny zbiornik stanowią gruboławicowe i cienkopłytkowe wapienie barwy kremowej, o biegu 310° na NW i upadzie 7° na SW, zaliczane do środkowego i górnego wołgu¹. Tak więc **rozważania dotyczące regresji wydatku Niebieskich Źródeł nie mogą koncentrować się wyłącznie na terenie samego rezerwatu, muszą również uwzględniać warunki zasilania, krążenia i drenażu wód w skali regionalnej.**

Zasilanie poziomu wożańskiego odbywa się na drodze infiltracji wód opadowych w piaski i żwiry czwartorzędowe zalegające bezpośrednio na wapieniach wołgu lub w miejscach, gdzie utwory te odsłaniają się na powierzchni terenu. Z obliczeń wynika, że infiltracja jednostkowa osiąga tu wartość $5,1 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$. Szczególnie predysponowaną strefą zasilania tego poziomu jest obszar ograniczający dolinę Pilicy od południowego wschodu, gdzie w okolicach Wąwatu występuje szereg lejków krasowych reprodukcyjnych.

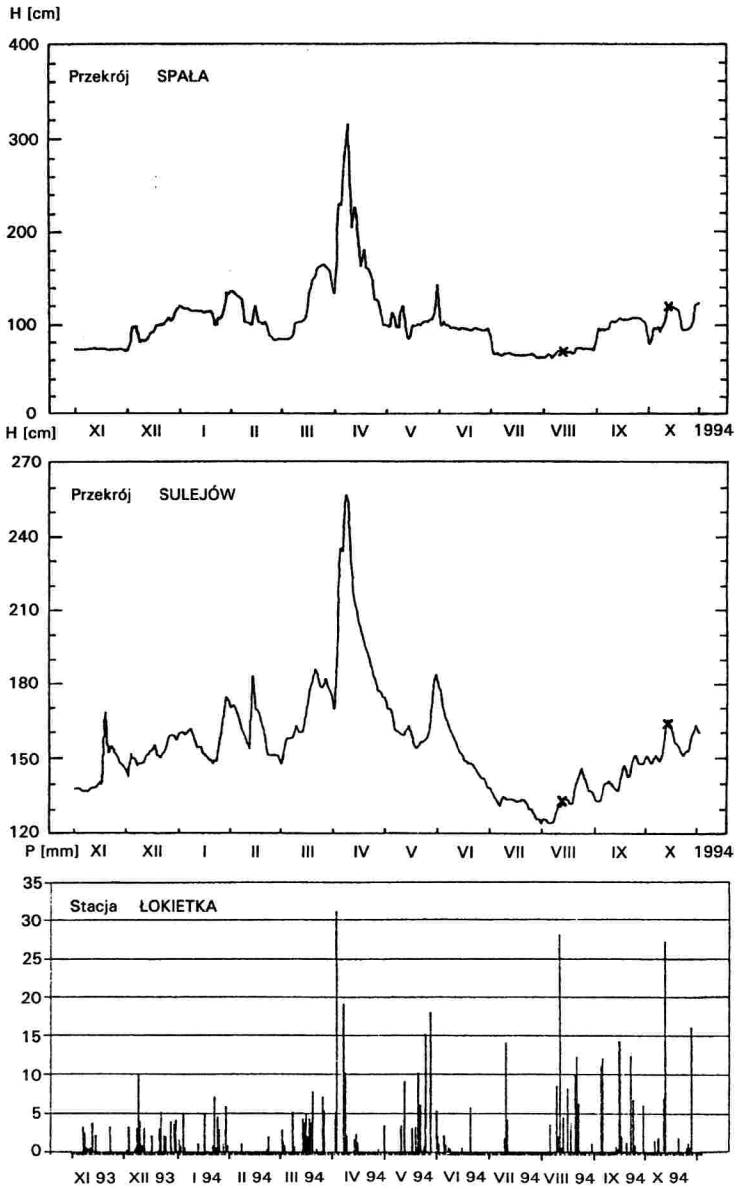
¹ Z uwagi na występowanie w tych utworach fauny typu wożańskiego J. Kutek (1961, 1962) zaproponował zastąpienie terminu „bonon” (wprowadzonego do stratygrafii górnego malmu Polski przez J. Lewińskiego w 1923 r.) terminem „wołg”.

wanych w zwietrzelinie oraz zagłębieniach umożliwiających bezpośrednio wlewanie się wód roztopowych i burzowych w skrasowiałe podłoże. Do najbardziej znanych i opisywanych w literaturze należy lej krasowy, zwany Przepaścią, który, zdaniem S. Lencewicza (1913), przechwytyje wody „ginącej rzeki”, zasilając Niebieskie Źródła. Związek tego ciekę ze źródłami został stwierdzony na drodze badań wskaźnikowych prowadzonych przez Przedsiębiorstwo Geologiczne w Łodzi. Wprowadzony do ponoru barwnik pojawił się w limnokrenach po 5 dobach, przy czym kulminacyjne jego stężenie zaobserwowane zostało po 10 dobach (Mela 1992). Różnica wysokości między wprowadzeniem a pojawieniem się barwnika wynosi około 18 m (rzędna wypływu źródeł 154,5 m, rzędna terenu przy leju krasowym 172,5 m n.p.m.), przy odległości w linii prostej 2,9 km. Szybkość podziemnej migracji wód obliczona przy błędnym z konieczności założeniu prostoliniowości przepływu wynosi 0,007 m/s. W rzeczywistości drogi krążenia wód krasowych są skomplikowane i zawite, a zatem znacznie dłuższe od przyjętych do obliczeń. Dla porównania należy dodać, że podobne, a nawet wyższe szybkości przepływu wód krasowych znane są z terenu Tatr (Małecką, Humnicki 1989). W danym przypadku szybkość przepływu na odcinku Przepaść–Niebieskie Źródła wskazuje na istnienie dobrze rozwiniętego systemu krasowego, umożliwiającego szybką migrację wód.

Według klasyfikacji prędkości przepływu wód podziemnych (Osmęda - Ernst, Witczak 1991) uzyskany wynik wskazuje na ruch bardzo szybki, wielokrotnie przekraczający prędkości uzyskiwane w ośrodkach szczelinowych i porowych. Poza tym ważną rolę odgrywa charakterystyczna dla wodonośców krasowo-szczelinowych zależność między szybkością przepływu a stopniem zawodnienia utworów, w danym przypadku – intensywnością zasilania ponoru wodami powierzchniowymi lub brakiem takiego zasilania.

Tak więc koncepcja prof. Lencewicza, że Niebieskie Źródła stanowią przedłużenie ciekę powierzchniowego, nie potwierdziła się, jakkolwiek związek źródeł z efemerycznym ich zasilaniem przez wody ginące w Przepaści odgrywa ważną rolę w kształtowaniu reżimu wywierzyisk.

Problematyczne jest również zasilanie Niebieskich Źródeł przez wody Pilicy. Koncepcja taka wysuwana przez wielu autorów (między innymi Rosłońskiego 1959, Turka i Gaika 1986) w świetle przeprowadzonej analizy nie znajduje potwierdzenia. Przebieg hydroizohips wskazuje na drenujący charakter rzeki, a rzędna wypływu źródeł z reguły jest wyższa od poziomu wody w Pilicy. Nie ulega wątpliwości, że fala wezbraniowa wpływa na okresowe podpiętrzanie drenowanych przez rzekę wód podziemnych i zmianę spadku hydraulicznego, są to jednak krótkotrwałe epizody w skali roku. Dla przykładu przytoczono wykresy przebiegu stanów Pilicy w przekrojach hydrometrycznych powyżej (Sulejów) i poniżej (Spała) Niebieskich Źródeł (rys. 4).



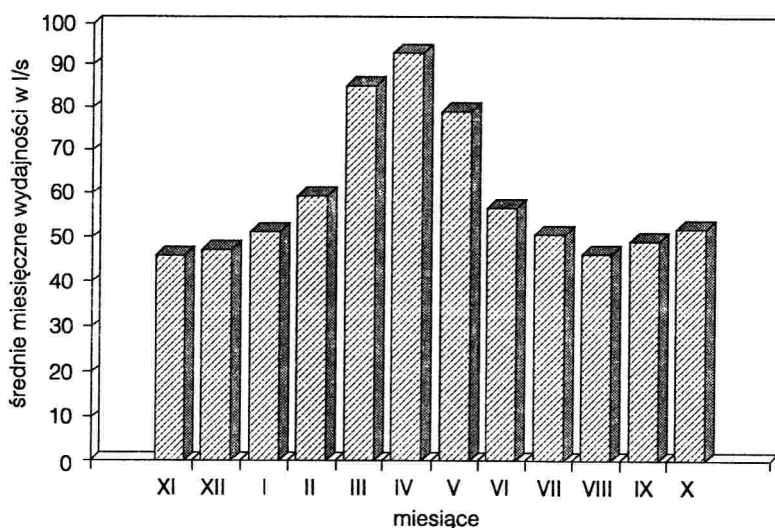
Rys. 4. Przebieg stanów wód w Pilicy powyżej i poniżej Niebieskich Źródeł na tle opadów atmosferycznych – 1994 r.

* – daty opróbowań hydrochemicznych wód (patrz artykuł J. J. Małeckiego)

Fig. 4. The Pilica river water-levels recorded upper and lower than the Niebieskie Źródła Springs site against a background of the 1994 rainfall

* – dates of taking hydrochemical water (samples vide J. J. Małecki)

Jak widać, w roku 1994 maksymalne stany, utrzymujące się około 20 dni notowano na początku kwietnia, co niewątpliwie musiało znaleźć odbicie we wzroście wydajności Niebieskich Źródeł. Tego typu prawidłowość potwierdza rozkład średnich miesięcznych wydajności z okresu 1986–1990 (rys. 5).

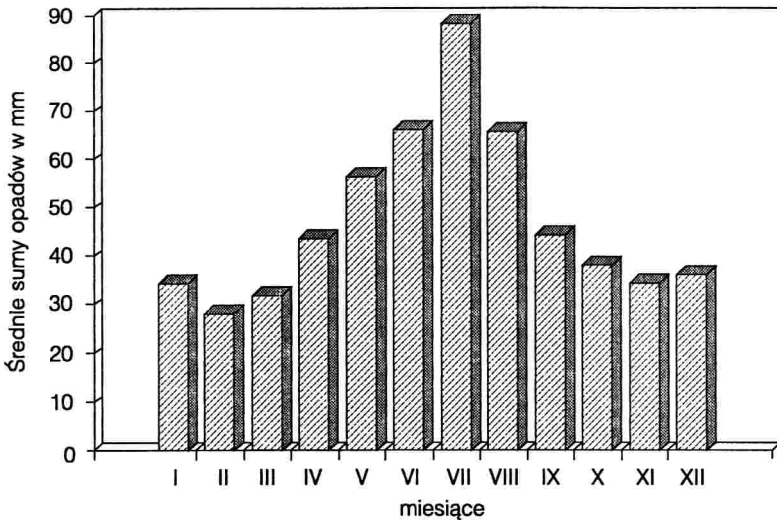


Rys. 5. Średnie miesięczne wydajności Niebieskich Źródeł z lat 1986–1990

Fig. 5. Monthly averages of the Niebieskie Źródła Springs output of the period 1986–1990

Tak więc w cyklu rocznym, miesiącami o najwyższych wartościach odpływu rejestrowanego na przelewie są: marzec, kwiecień i maj. Należy przypuszczać, że decydującą rolę w tym przypadku odgrywają wody pochodzące z topnienia pokrywy śnieżnej, ponieważ miesiącami o najwyższych sumach opadów są czerwiec, lipiec i sierpień (rys. 6). W celu określenia reakcji źródeł na opady atmosferyczne w cyklu wieloletnim dokonano graficznego porównania obu tych parametrów (rys. 7). Rok 1969, który charakteryzował się w całym kraju anomalnie niskimi opadami, pod względem wydajności źródeł należał do lat o wysokim średnim rocznym wydatku. Potwierdza to również fakt znikomego udziału spływu powierzchniowego w ogólnym bilansie wód odprowadzanych z akwenów. Równocześnie w roku 1970 zarówno wydajności źródeł, jak i roczna suma opadów atmosferycznych wyraźnie górowały nad całym analizowanym okresem, po którym mimo utrzymujących się przez kilka lat wysokich rocznych sum opadów przekraczających 600 mm – wydajność źródeł ulegała konsekwentnemu obniżaniu. W omawianych, kontrastowo różniących się latach przypadających na przełom cyklu słonecznego źródła w roku 1969 drenowały zmagazynowane

zasoby wód podziemnych zbiornika alimentacyjnego, natomiast w 1970 r. dużą rolę odegrał ponadto dopływ wód powierzchniowych ginących w Przepaści, a także intensywne zasilanie powierzchniowe na terenie całej zlewni hydrograficznej, powodujące ogólny wzrost ciśnienia hydrostatycznego wód podziemnych.

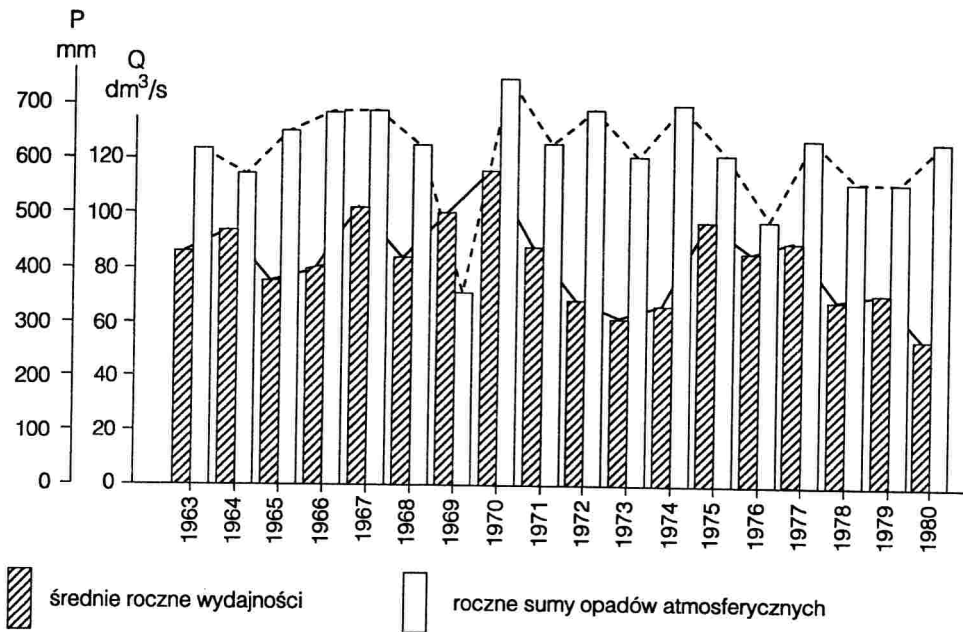


Rys. 6. Średnie miesięczne sumy opadów atmosferycznych z wielolecia 1963–1980

Fig. 6. Annual averages of the total rainfall of the period 1963–1980

Tak więc zasilanie Niebieskich Źródeł jest procesem złożonym, zależnym od wielu nakładających się czynników lokalnych i regionalnych, które w określonych sytuacjach przyrodniczych mogą się potęgować lub osłabiać.

Następnym ważnym etapem w określeniu reżimu hydrogeologicznego źródeł jest rozpoznanie charakteru wodonośca, determinującego warunki krążenia wód. Pomimo różnych zdań badaczy co do ilości i przebiegu uskoku w obrębie północno-wschodniego skrzydła niecki tomaszowskiej dziś już nie budzi wątpliwości fakt, że na omawianym terenie istnieje cały system spękań i uskoku stanowiących główne drogi migracji wód podziemnych. Szczególnie korzystne warunki dopływu wód panują w strefach krzyżujących się dyslokacji tektonicznych. Otwory wykonane w bezpośrednim sąsiedztwie Niebieskich Źródeł oraz na terenie ujęcia Brzostówka dokumentują się wysokimi wydajnościami przy znikomym wartościach depresji, co świadczy o szybkim dopływie wód i odbudowie ich zasobów. Wydajności jednostkowe rzędu $190 \text{ m}^3/\text{h}/1\text{m S}$ (w otworze położonym w odległości 170 m na SE od wywierzyisk), a nawet powyżej $400 \text{ m}^3/\text{h}/1\text{m S}$ (w studni H, rys. 8)



Rys. 7. Średnie roczne wydajności Niebieskich Źródeł i sumy opadów atmosferycznych z okresu 1963–1980

Fig. 7. The Niebieskie Źródła Springs annual average outputs and the total rainfall of the period 1963–1980

- annual average outputs
- annual total rainfall

wskazują na intensywny dopływ wód systemem szczelin i próżni krasowych, tworzących cały splot komunikujących się ze sobą przestrzeni. Już w 1951 r. w czasie próbnych pompowań, prowadzonych na terenie ujęcia Brzostówka, stwierdzono wpływ eksploatacji studzien na wydajność Niebieskich Źródeł. Świadczy to o drożności utworów węglanowych wółgu, umożliwiających kontaktowanie się wód krasowych po obu stronach doliny Pilicy. W celu określenia, z jakiej głębokości migrują wody zasilające Niebieskie Źródła, wykonano następujące obliczenia, stosując wzór za Z. Pazdrą (Pazdro, Kozerski 1990):

$$H = g[T - (t_{sr} + x)] + h,$$

gdzie:

- H – głębokość występowania wody (m),
- h – głębokość strefy stałych temperatur (m),

- g – stopień geotermiczny (m),
 T – temperatura wody na głębokości H (°C),
 t_{sr} – średnia roczna temperatura powietrza w danej miejscowości (°C),
 x – poprawka zależna od wysokości n.p.m. (°C).

– wartość stopnia geotermicznego określono na podstawie pomiarów geofizycznych z Gałkówka k/Łodzi;

– temperaturę wody przyjęto jako wartość średnią z pomiarów prowadzonych w 1994 r. w źródłach oraz studniach wierconych „C” i „F” (uzyskana wartość jest zbieżna z wynikami pomiarów IMiGW z lat 1966–1980);

– średnią roczną temperaturę powietrza przyjęto na podstawie danych IMiGW;

– poprawkę „x” odczytano z tabeli Bendela (1948) przyjmując następujące dane: $g = 42$ m, $T = 9,2^{\circ}\text{C}$, $t_{sr} = 8,0^{\circ}\text{C}$, $x = 0,86^{\circ}\text{C}$, $h = 20$ m, otrzymano:

$$H = 42[9,2 - (8,0 + 0,86)] + 20 = 34,28 \text{ m}$$

Uzyskana głębokość jest zbieżna z profilami wierceń studni C i F (rys. 9).

Porównując średnie i ekstremalne wydajności źródeł z różnych czasowo okresów (tab. 2) zauważyć można, że gwałtowne obniżanie wydajności nastąpiło na początku lat sześćdziesiątych. W czasie zespołowego pompowania otworów na ujęciu Brzostówka (od 2.06 do 5.07.1961) z maksymalną wydajnością 342,6 l/s, nastąpił „zanik wody w wywierzysku” (Turek, Gaik 1986), który trwał przez cały sezon letni (rys. 10).

Graficzny obraz przebiegu średnich miesięcznych wydajności wskazuje, że Niebieskie Źródła już nigdy nie odzyskały pierwotnego wydatku.

Tabela 2

Porównanie średnich rocznych i ekstremalnych wydajności Niebieskich Źródeł
 Comparison of the Niebieskie Źródła Springs annual average and extreme outputs

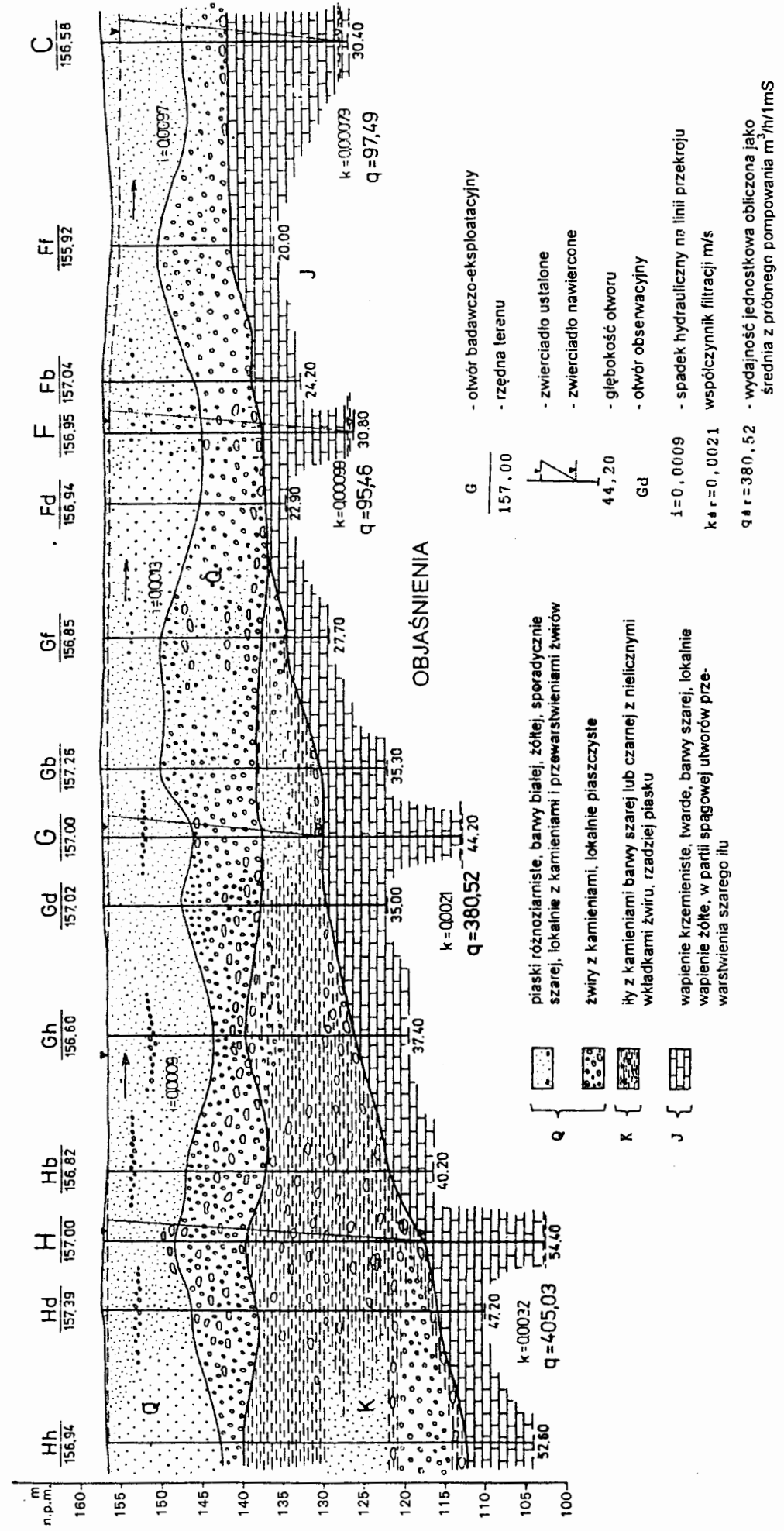
Okresy badawcze	I ^a	II ^b	III ^b	
Przedziały wydajności z lat	1951–1960	1963–1985	1986–1990	1992
Q dm ³ /s średnia	123–162	43–115	59,9	86,6
maksymalna	134–240	65–168	92,5	145,0
minimalna	86–146	21–70	46,2	33,8

^a Wartości ekstremalne w danym okresie.

^b Wartości średnie z całego okresu.

NE

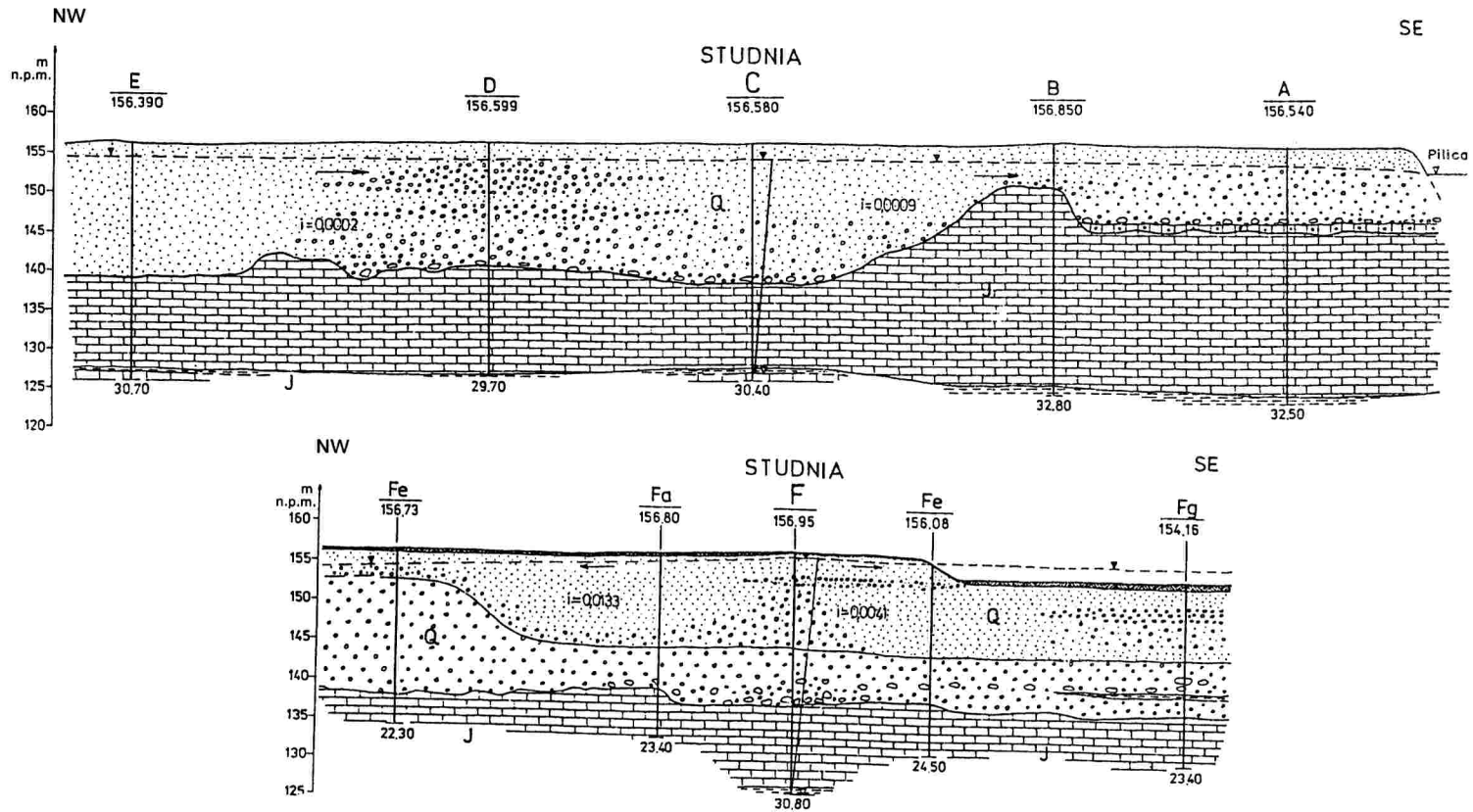
SW



Rys. 8. Wyniki badań hydrogeologicznych na tle przekroju z terenu Brzostówki
Numeracja otworów wg materiałów archiwalnych Przedsiębiorstwa Hydrogeologicznego w Łodzi

Fig. 8. Results of hydrogeological studies against a background of the cross-section near Brzostówka
Boreholes' numeration after archival materials of the Łódź Hydrogeological Firm

- white, yellow, occasionally grey variegated sands locally with stones and gravel interbeddings
- grey or black clay with stones and few gravel insertions, more seldom with sand insertions
- hard, grey flinty limestone, locally yellow one, grey clay interbeddings in the bottom layer
- exploratory borehole
- altitude in meters
- steady water-table
- bored water-table
- depth of borehole
- hydraulic gradient on a cross-section line
- filtration coefficient (m/s)
- elementary output calculated as a test-pumping average (m³/h/m S)



Rys. 9. Przekroje hydrogeologiczne w rejonie studni C i F
Objaśnienia jak na rys. 8

Fig. 9. Hydrogeological cross-sections near C and F wells
Explanations as fig. 8

Przypuszczać należy, że na skutek intensywnego pompowania, udrożnione zostały dodatkowe drogi krążenia, umożliwiające odpływ wód poza obręb bezpośredniego drenażu wywierzyisk. Tego typu zaburzenia równowagi hydrodynamicznej znane są z innych terenów, gdzie mamy do czynienia z wodonoścem szczelinowo-krasowym.

Wznowione w roku 1963 obserwacje ponownie zostały przerwane w marcu 1994 r., przy czym wyniki z roku 1993, z uwagi na sztuczne podpiętrzenie wód na przelewie w Nowym Ludwikowie, nie odzwierciedlają faktycznego wydatku źródeł. Wysokim stanom odczytywanym na wodowskazie towarzyszył minimalny odpływ wód z akwenów, a wydajność źródeł określono na podstawie obowiązującej od 1962 r. krzywej konsumpcyjnej.

Źródła w ogóle, a w szczególności źródła krasowe, są bardzo wrażliwe na wszelkie zmiany spowodowane działalnością człowieka. Bezpośrednią konsekwencją podpiętrzenia wód w akwenach jest spadek wydajności źródeł, uaktywnienie się wycieków po zewnętrznej stronie obwałowań oraz wypływów w dniu zbiornika położonego na północny zachód od granic rezerwatu (rys. 1). Z tych względów przy interpretacji nie uwzględniono pomiarów z czasu podpiętrzenia wód na przelewie. Wykres (rys. 10) obrazujący przebieg średnich miesięcznych wydajności źródeł w drugim okresie badawczym (1963–1985) wskazuje, że:

- w analizowanym wieloleciu wyróżnić można lata, w których wydajności źródeł kształtowały się powyżej linii odniesienia, charakteryzującej średnią z lat 1986–1990 oraz lata, w których oscylowały one wokół wartości średniej, wynoszącej 60 l/s;

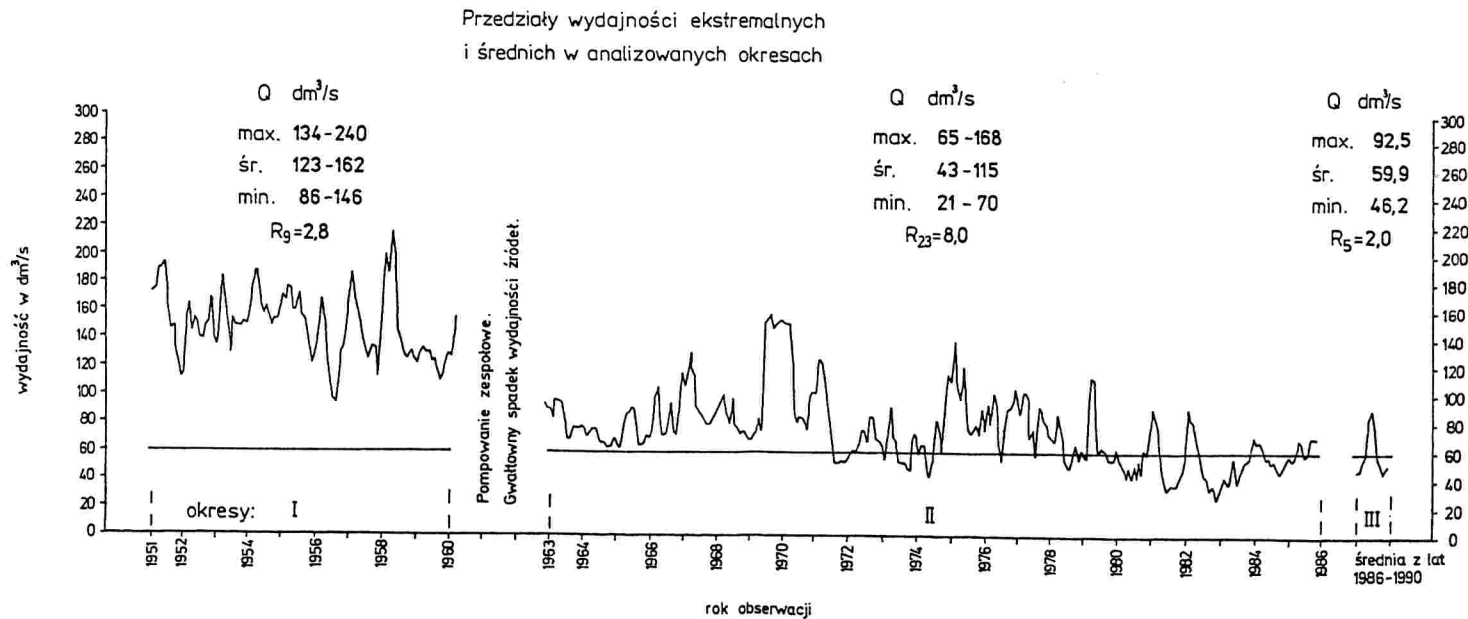
- wyraźny trend regresji wydajności źródeł zahamowany został w 1983 r., po czym nastąpił czas niewielkiej odbudowy ciśnień, co potwierdzają również wyniki obserwacji z trzeciego okresu badawczego (1986–1990) oraz dane z 1992 r. zamieszczone w tab. 2;

- sinusoidalny przebieg wydajności jest odzwierciedleniem cykliczności zjawisk przyrodniczych; generalnie najniższe wydatki źródeł notowano w 9–10-letnich odstępach czasu.

Obecnie, przy ustaleniu odpływu na określonej rzędnej przelewu w Nowym Ludwikowie, wydajność źródeł odbudowała się do 70–80 l/s, a więc kształtuje się obecnie na poziomie o 10–20 l/s wyższym w porównaniu ze średnią z lat 1986–1990. Wydajność oraz zmienność jej w czasie jest jednym z ważniejszych parametrów określających reżim źródła.

Według klasyfikacji O. Meinzera (P a z d r o, K o z e r s k i 1990) Niebieskie Źródła należą przemiennie do IV lub III klasy wydajności, a wskaźnik zmienności wieloletniej kwalifikuje je do grupy źródeł małozmiennych, rzadziej stałych.

Stosunek wydajności maksymalnej do minimalnej $R = Q_{\max}/Q_{\min}$ w analizowanych okresach badawczych kształtował się w zakresie od $R = 2$ do $R = 8$. Godnym podkreślenia jest fakt, że wartość wskaźnika zmienności



Rys. 10. Przebieg średnich miesięcznych wydajności Niebieskich Źródeł na tle średniej z okresu 1986–1990

Fig. 10. Monthly averages of the Niebieskie Źródła Springs output against a background of the 1986–1990 average one

przed zaburzeniem równowagi hydrodynamicznej przez pompowanie zespołowe studzien w Brzostówce jest zbliżona do pięciolecia 1986–1990 i zdecydowanie mniejsza niż w II okresie badawczym obejmującym 23 lata obserwacji. Jest to symptom pozwalający przypuszczać, że zaczyna się pewna stabilizacja wydatku źródeł w nowych, zmienionych przez człowieka warunkach krążenia wód.

PODSUMOWANIE

Podana charakterystyka hydrogeologiczna Niebieskich Źródeł i ich otoczenia pozwala na sformułowanie następujących uwag:

- zasilanie Niebieskich Źródeł jest procesem złożonym, zależnym od wielu nakładających się wzajemnie czynników lokalnych i regionalnych, które w określonych sytuacjach klimatycznych mogą się potęgować lub osłabiać;
- miesiącom letnim (czerwiec, lipiec, sierpień), o najwyższych temperaturach powietrza, towarzyszą wysokie sumy opadów; nie koresponduje to bezpośrednio z wydajnościami Niebieskich Źródeł, dla których maksima notowane są w marcu, kwietniu i maju, co kwalifikuje je do reżimu roztopowo-opadowego;
- poza przyrodniczo uwarunkowaną cyklicznością, do głównych przyczyn powodujących regresję wydatku źródeł zaliczyć należy:
 - zaburzenie równowagi hydrodynamicznej spowodowane zespołowym pompowaniem na ujęciu w Brzostówce z wydajnością ponad ośmiokrotnie przewyższającą średnią roczną wydajność Niebieskich Źródeł z lat 1951–1960;
 - wykonanie sztucznego przekopu w celu odprowadzania wód Piliicy w czasie trwania robót hydrotechnicznych związanych z budową jazu; obniżenie w ten sposób lokalnej bazy drenażowej w bezpośrednim sąsiedztwie źródeł przy podpiętrzaniu wód w akwenach spowodowało uaktywnienie się wycieków po zewnętrznej stronie obwałowań akwenów oraz ascensyjnych wpływów w dnie zbiornika wodnego między rezerwatem a naturalnym korytem Piliicy.

Wszystkie te działania doprowadziły do tego, że wygląd Niebieskich Źródeł i towarzyszących im akwenów jeszcze w lecie 1994 r. daleki był od powszechnie panującej opinii o ich niepowtarzalnym uroku.

W świetle tym decyzja władz wojewódzkich i miejskich, instytucji społecznych oraz opiekuna naukowego rezerwatu prof. Romualda Olaczka o konieczności podjęcia działań zmierzających do przywrócenia Niebieskim Źródłom ich pierwotnych walorów – jest ze wszech miar słuszna.

LITERATURA

- Czeplińska-Smolczyńska K., Batolik L., Mazur W., 1960, *Dokumentacja hydrogeologiczna ujęcia wód podziemnych z utworów jurajskich wraz z projektem robót hydrogeologicznych w rejonie Brzostówka-Tomaszów Mazowiecki*, Arch. Łódzkiego Przeds. Geol. Inż. Budownictwa
- Kobyłecki J., 1967, *Aneks do dokumentacji hydrogeologicznej ujęcia wód podziemnych z utworów bonońskich*, Arch. PG Łódź
- Kutek J., 1961, *Korelacja środkowego bononu Tomaszowa Mazowieckiego i Antoninowa*, Przegl. Geol., nr 12, Warszawa
- Kutek J., 1962, *Górny kimeryd i dolny wołg zachodniego obrzeżenia mezozoicznego Gór Świętokrzyskich*, Acta Geol. Pol., Vol. XII, No 4, PWN, Warszawa
- Lencewicz St., 1913, *Przyczynki do znajomości dyluwium i hydrografii okolic Tomaszowa Mazowieckiego*, Pam. Fizjogr., t. XXI, Warszawa
- Lindley W. H., 1923, *Wasserwversorgung Generall Projekt. Erleaterungsbericht, nebst 8 Anlagen* Łódź
- Macher J., Kolago C., 1963, *Niebieskie Źródła w Tomaszowie Mazowieckim – Warunki hydrogeologiczne*, Arch. PIG, Warszawa
- Makowska A., 1970, *Mapa Geologiczna Polski 1:200 000 bez utworów czwartorzędowych. Arkusz Skierniewice*, Wyd. PIG, Warszawa
- Małecka D., Humnicki W., 1989, *Rola warunków hydrodynamicznych w kształtowaniu reżimu wywierzyska Olczyńskiego*, Przegl. Geol., nr 2, Warszawa
- Mela S., 1992, *Rezerwat Niebieskie Źródła*, Acta Universitatis Lodzianensis, Folia Geographica 16
- Mowszowicz J., Olaczek R., 1965, *Niebieskie Źródła. Przewodnik przyrodniczy po rezerwacie*, Wyd. Łódzkie Towarzystwo Naukowe
- Mowszowicz J., Olaczek R., 1961, *Flora naczyniowa rezerwatu Niebieskie Źródła*, Wyd. Łódzkie Towarzystwo Naukowe
- Osmęda-Ernst E., Witczak St., 1991, *Parametry migracji wybranych zanieczyszczeń w wodach podziemnych „Ochrona wód podziemnych w Polsce stan i kierunki badań”*, CPBP 04.10 Nr 56, SGGW, Warszawa
- Pazdro Z., Kozerski B., 1990, *Hydrogeologia Ogólna*, Wyd. Geol., Warszawa
- Rosłoński E., 1959, *Niebieskie Źródła pod Tomaszowem*, Arch. PIG, Warszawa
- Samsonowicz J., 1950, *Sprawozdanie z badań hydrogeologicznych nad Pilicą pod Tomaszowem M. wykonywanych w roku 1950*, Arch. PIG, Warszawa
- Trzmiel B., 1990, *Objaśnienia do szczegółowej mapy geologicznej Polski 1:50 000. Arkusz Tomaszów Mazowiecki*, Wyd. Geol., Warszawa
- Turek S., Gaik Cz., 1986, *Ekspertyza w sprawie przyczyn spadku ciśnienia i wydajności Niebieskich Źródeł k/Tomaszowa Mazowieckiego*, Archiwum Urzędu Wojewódzkiego Wydziału Ochrony Środowiska, Gospodarki Wodnej i Geologii w Piotrkowie Trybunalskim
- Warzocha M., Strumiłło J., 1973, *Dokumentacja ujęcia wody podziemnej z utworów jurajskich (bonońskich) Brzostówka w rejonie Niebieskich Źródeł w Tomaszowie M.*, Arch. PG Łódź

*Danuta Małecka***SUMMARY**

The Niebieskie Źródła Springs represent a unique site of the karst water type on the Polish Lowlands. Human intervention into the natural environment modified its surroundings and hydrological regime, changed output regression and even periodically caused total vanishing of the runoff. From among many reasons causing the above mentioned consequences borehole water extraction in Brzostówka opposite the Pilica river seems to be the most important one (fig. 1). However, considerations referring to output regression of the Niebieskie Źródła Springs should not concentrate solely on the nature reserve area because other factors, such as the conditions of alimentation, circulation and drainage on the local scale should also be taken into account.

Because the hydrodynamic balance had been upset as a result of water extraction in Brzostówka new water circulation ways were opened which enabled water runoff beyond the area drained by the karst springs.

The recently started renovation and other works in the reserve area have gradually rebuilt water pressure but the real yield of the springs remained at a lower level oscillating around 60 l/s.