

## TYOLOGIA REŻIMU ODPŁYWU RZEK W POLSCE W RÓŻNYCH FAZACH OSCYLACJI PÓŁNOCNOATLANTYCKIEJ

DARIUSZ WRZESIŃSKI

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu,  
Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych, Zakład Hydrologii i Gospodarki Wodnej,  
ul. B. Krygowskiego 10, 61-680 Poznań

**Abstract:** The paper presents the spatial distribution of types of river regime in Poland according to the assumptions of Dynowska (1997) for three time scales: 1971–2010 and for years with high and low indices of the North Atlantic Oscillation and directions of their transformation in various phases of  $NAO_{DJFM}$ . The paper applied daily flow values from the period 1971–2010 for 516 stations located on 280 Polish rivers. In the examined time scales, five types of regime were designated including rivers characterised by a similar distribution and range of monthly runoff values in an average annual cycle. The designated groups, however, differ in terms of the number of rivers, which affects the image of spatial distribution of rivers representing the identified types of regime. The analysis shows that in the studied  $NAO_{DJFM}$  phases, transformations of the flow regime of many rivers in Poland are often observed. Compared to average conditions (1971–2010), in the negative phase of  $NAO_{DJFM}$ , the most stable is nival type well formed. The most common transformations relate to the nival regime moderately formed, which usually changes into a nival well formed or nival-pluvial regime. In the positive phase of  $NAO_{DJFM}$ , regime transformations are more frequent. The most stable type of regime is again nival well formed, and the most common transformation occurs in the case of the pluvio-nival regime (into the nival-pluvial regime) and nival-pluvial regime, which is transformed into well or moderately formed nival regimes.

**Key words:** river flow, hydrological regime, flow coefficient (Pardé), teleconnections

### WSTĘP

Współczesne zmiany warunków klimatycznych oraz wpływ człowieka na stosunki wodne sprawiają, że cechy reżimu odpływu rzek ulegają zmianie. Badania prawidłowości ich zmienności w okresie wieloletnim i w cyklu rocznym pozwalają na określenie przyczyn modyfikacji reżimu hydrologicznego. W Europie, ale także w Polsce przyjmuje się, że na odpływ oraz cechy jego reżimu wpływ mają zmiany natężenia makroskalowych typów cyrkulacji powietrza, w tym głównie Oscylacja Północnoatlantycka – NAO (Wrzesiński 2011, Wrzesiński i Paluszkiwicz 2011, Wrzesiński i Sobkowiak 2018).

Celem pracy jest ustalenie cech reżimu odpływu rzek w Polsce dla wielolecia 1971–2010 oraz lat o silnym (pozytywna faza NAO) i słabym (negatywna faza NAO) natężeniu Oscylacji Północnoatlantyckiej. Ważnym zagadnieniem jest też określenie kierunku transformacji typów reżimu obserwowanych w różnych

fazach NAO. W pracy wykorzystano materiał hydrometryczny Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – PIB, którym były dobowe wartości przepływów z lat 1971–2010 z 516 posterunków położonych na 280 rzekach Polski. W pracy wykorzystano również wartości zimowego wskaźnika  $NAO_{DJFM}$ . Wskaźnik ten stanowi znormalizowaną średnią różnicę ciśnienia atmosferycznego z okresu grudzień–marzec między Lizboną a Stykkisholmur i Reykjavíkiem na Islandii (Hurrell 1995; uaktualnienia: <<http://www.cgd.ucar.edu/cas/jhurrell/nao.stat.winter.html>>). Typ reżimu ustalono dla całego okresu 1971–2010 oraz lat z wysokimi ( $NAO_{DJFM} > 2,20$ ) oraz niskimi ( $NAO_{DJFM} < -0,23$ ) wartościami zimowego indeksu  $NAO_{DJFM}$ . Liczby te odpowiadają pierwszemu i trzeciemu kwartyłowi z całego zbioru wskaźnika  $NAO_{DJFM}$  z lat 1971–2010.

## METODY TYPOLOGII REŻIMU ODPŁYW

Typologię reżimu badanych rzek przeprowadzono w trzech wariantach: na podstawie danych z lat 1971–2010, z 10 lat o negatywnej fazie  $NAO_{DJFM}$  ( $NAO-$ ) i 10 lat o pozytywnej fazie  $NAO_{DJFM}$  ( $NAO+$ ), zgodnie z kryteriami zaproponowanymi przez Dynowską (1997). Wyróżniono pięć typów reżimu:

1. niwalny słabo wykształcony dla rzek, których średni przepływ miesiąca wiosennego osiąga maksymalnie 130% średniego przepływu rocznego,
2. niwalny średnio wykształcony, gdy średni przepływ miesiąca wiosennego wynosi 130–180% średniego przepływu rocznego,
3. niwalny silnie wykształcony, gdy przepływ miesiąca wiosennego przekracza 180% przeciętnego przepływu rocznego,
4. niwalno-pluwialny, gdy średni przepływ miesiąca wiosennego wynosi na ogół 130–180% średniego przepływu rocznego i wyraźnie zaznacza się wzrost przepływu w miesiącach letnich wynoszący co najmniej 100% średniego przepływu rocznego,
5. pluwialno-niwalny, gdy średni przepływ miesiąca letniego jest wyższy lub prawie równy średniemu przepływowi miesiąca wiosennego i w obu przypadkach na ogół przepływ wynosi 130–180% średniego przepływu rocznego.

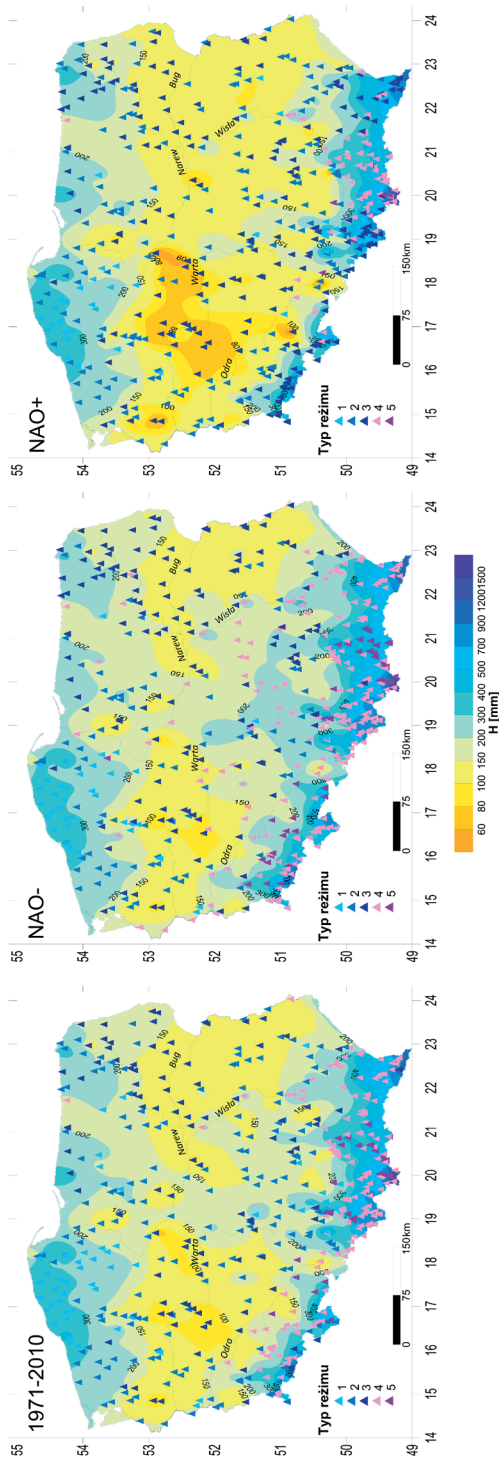
## TYPY REŻIMU ODPŁYWU

Zgodnie z przyjętymi kryteriami typologii reżimu odpływu w każdym wariancie analizy wyróżniono pięć typów reżimu rzek w Polsce, których przestrzenne rozmieszczenie przedstawiono na rycinie 1.

**Typ 1 – reżim niwalny słabo wykształcony**, ustalony dla lat 1971–2010, zidentyfikowano w przypadku 54 profili hydrometrycznych (10,5% wszystkich

analizowanych) – tabela 1. Położone są one głównie na rzekach Przymorza (na wschód od Parsęty po Redę) i rzekach Pojezierza Pomorskiego (Brda, Wda, górna Wierzyca i Radunia). Ten typ reżimu reprezentują też niektóre rzeki Pojezierza Mazurskiego (np. Pisa, Krutynia, górna Pasłęka i Łyna), Ziemi Lubuskiej (Iłanka i Pliszka), Wyżyny Śląsko-Krakowskiej (górna Warta po Poraj, Biała Przemsza, Kłodnica z Bytomką oraz Biała Nida) i Roztocza – Wieprz po Zwierzyniec. W cyklu rocznym rzeki te wyróżniają się najbardziej wyrównanymi przepływami i największym udziałem odpływu podziemnego w odpływie całkowitym, który na wielu rzekach jest wyższy od 80%. W porównaniu z innymi typami reżimu rzeki te charakteryzują się najmniejszą zmiennością przepływów. Przeciętna zmienność przepływów dobowych wynosi  $C_v = 0,39$ , a nieregularność skrajna przepływów jest mniejsza od 10 (Wrzesiński 2013, 2017a, b). Rzeki te wyróżnia też stosunkowo wysoki odpływ całkowity. Przeciętnie wynosi on ponad 270 mm, a w przypadku rzek Przymorza jest wyższy od 300 mm. W latach z niskimi wartościami zimowego indeksu  $NAO_{DJFM}$  taki typ reżimu zidentyfikowano jedynie dla 38 profili (7,4%). Zarówno rozkład przestrzenny rzek o tym typie, jak i cechy odpływu są bardzo zbliżone do tych wyróżnionych dla całego okresu obserwacyjnego 1971–2010 (ryc. 1, tab. 1 i 2). W porównaniu z warunkami przeciętnymi zmiana typu reżimu dotyczy kilku rzek regionu śląskiego (górna Warta po Poraj, Czarna Przemsza i Rudawa) oraz rzek pojeziernych (górna Wierzyca, Piława, Pasłęka, Łyna i Pisa). Transformacje typu reżimu wynikają głównie ze wzrostu odpływu wiosennego lub letniego. Przeciętne przepływy rzek i ich zmienność jest nieznacznie większa niż w latach 1971–2010. W dodatniej fazie  $NAO_{DJFM}$  reżim niwalny słabo wykształcony reprezentuje także 38 profili (7,4%) i w porównaniu z okresem wieloletnim zmiany typu reżimu dotyczą w większości tych samych rzek co w przypadku fazy ujemnej  $NAO_{DJFM}$ . Cechy reżimu generalnie nie ulegają zmianom, a transformacje wynikają ze wzrostu przepływów wiosennych, co spowodowało, że na rzekach zidentyfikowano typ niwalny średnio wykształcony (tab. 3). W analizowanych wariantach przebieg współczynników przepływu w cyklu rocznym i ich wartości średnie są podobne, przy czym w dodatniej fazie  $NAO_{DJFM}$  ich zakresy zmian są większe niż przeciętnie. Z kolei w ujemnej fazie  $NAO_{DJFM}$  są one mniejsze, a maksima przypadają na kwiecień i są o miesiąc późniejsze niż przeciętnie i w dodatniej fazie  $NAO_{DJFM}$  (ryc. 2).

**Typ 2 – reżim niwalny średnio wykształcony**, na podstawie danych z wielolecia 1971–2010, reprezentuje 180 profili (34,8%). Rzeki o tym reżimie występują zarówno w północnej części kraju, np. rzeki zachodniej części Przymorza (Rega, Parsęta), rzeki na północnym-wschodzie kraju spływające z garbu pojeziernego (Drwęca, Wkra, Łyna, Orzyc, Omulew, Rozoga, Ełk, Czarna Hańcza), rzeki tranzytowe w części centralnej, np. Wisła, Odra i Warta z Notecią i Prosną, jak i w pasie wyżynnym – rzeki w zlewni Pilicy, rzeki Wyżyny Lubelskiej w zlewni Wieprza i niektóre rzeki sudeckie (pojedyncze profile



Ryc. 1. Rozkład typów reżimu na tle średnich odplywów rocznych w latach 1971–2010, w negatywnej (NAO–) i w pozytywnej (NAO+) fazie Oscylacji Północnoatlantyckiej

Typ reżimu: 1 – niwalny słabo wykształcony, 2 – niwalny średnio wykształcony, 3 – niwalny silnie wykształcony, 4 – niwalno-pluwialny, 5 – pluwialno-niwalny.

Fig. 1. Spatial distribution of rivers in the performed typologies for three time scales: 1971–2010, negative (NAO–) and positive (NAO+) phases of the North Atlantic Oscillation

Type of regime: 1 – nival poorly formed, 2 – nival moderately formed, 3 – nival well formed, 4 – nival-pluvial, 5 – pluvio-nival

na Bystrzycy, Ścinawce, Bobrze, Kwisie, Nysie Łużyckiej). Rzeki te charakteryzują się zazwyczaj przeciętnymi odpływami (100–200 mm), jedynie rzeki pojezierne i przymorskie wyróżnia odpływ ponad 200 mm, a w przypadku rzek sudeckich nawet ponad 500 mm (Bystrzyca, górna Nysa Łużycka). Rzeki w północnej części kraju i w zlewni Wieprza charakteryzują się także wysokim udziałem zasilania podziemnego (60–80%), który na pozostałych rzekach o tym typie reżimu wynosi 40–60% (Wrzesiński 2013). Średni odpływ całkowity rzek w tej grupie wynosi 192 mm, a współczynnik zmienności przepływu  $C_v = 0,802$ . W ujemnej fazie  $NAO_{DJFM}$  zidentyfikowano znacznie mniej rzek o tym typie reżimu, tj. 90 (17,4%). Wiele rzek w północno-wschodniej części kraju reprezentuje wówczas reżim niwalny silnie wykształcony (niektóre rzeki w zlewni Biebrzy, Narwi, Bugu i Wieprza). Natomiast reżim rzek centralnej części kraju, np. Baryczy, dolnej Proсны czy Pilicy oraz Odry i Wisły w środkowym i dolnym biegu, ulega transformacji w reżim niwalno-pluwialny. Na rzekach tych obserwuje się niewielki wzrost przepływów w miesiącach letnich, jednak jest on na tyle istotny, że stanowi ponad 100% średniego przepływu rocznego. Większość wymienionych rzek sudeckich w ujemnej fazie  $NAO_{DJFM}$  reprezentuje typowy reżim niwalno-pluwialny. W fazie tej wysokość odpływu nie ulega zmianie podobnie jak przebieg średnich miesięcznych współczynników przepływu (ryc. 2). W dodatniej fazie  $NAO_{DJFM}$  reżim niwalny średnio wykształcony zidentyfikowano w przypadku 196 profili (37,9%). Do tego typu należą te wyróżnione na podstawie lat 1971–2010, ale także niektóre rzeki przymorskie (zmiana typu 1 na 2), na północnym wschodzie Bug i Narew (zmiana z typu 3 na 2), rzeki sudeckie w środkowym Biegu (Stradunia, Biała, Strzegomka, Nysa Szalona, Skora i Kwisa) oraz na prawie całej długości San (zmiana typu 4 na 2). Przeciętny odpływ w tej grupie rzek jest o 10 mm niższy niż przeciętnie i w ujemnej fazie  $NAO_{DJFM}$ . Przebieg miesięcznych współczynników przepływu jest podobny do warunków przeciętnych, jednak ich wartości w sezonie zimowym są znacznie wyższe, a w sezonie letnim znacznie niższe, zwłaszcza w porównaniu z ujemną fazą  $NAO_{DJFM}$ .

**Typ 3 – reżim niwalny silnie wykształcony**, ustalony dla wielolecia 1971–2010, zidentyfikowano w przypadku 100 profili (19,4%). Rzeki o tym typie reżimu położone są od Pojezierza Myśluborskiego (Myśla) i Pobrzeża Szczecińskiego (Mała Ina i Krąpiel w zlewni Iny) na zachodzie, przez Pojezierze Wielkopolskie, Nizinę Południowowielkopolską (Barycz przy ujściu, Orla, dopływy Proсны – Ołobok i Niesób) i Nizinę Środkowomazowiecką (zlewnia Bzury), po większość rzek we wschodniej części kraju w zlewni Narwi i Bugu. Ten typ reżimu spotyka się również na Wyżynie Kielecko-Sandomierskiej (Koprzywianka, Czarna, Czarna Nida oraz Świślina w zlewni Kamiennej). Rzeki te wyróżniają się największymi zamianami odpływu w cyklu rocznym – od wysokiego wezbrania roztopowego na wiosnę po głęboką niżówkę letnio-jesienną.

Tabela 1. Parametry cech hydrologicznych w wyróżnionych typach reżimu dla lat 1971–2010  
 Table 1. Hydrological parameters in the designated types of regime during 1971–2010

| Typ reżimu | Liczba profili $N$ | Parametr | Odpływ $H$ [–] | Miesięczne współczynniki przepływu |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------|--------------------|----------|----------------|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|            |                    |          |                | XI                                 | XII  | I    | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    |
| 1          | 54                 | śr       | 277,8          | 1,03                               | 1,10 | 1,12 | 1,14 | 1,21 | 1,12 | 0,96 | 0,86 | 0,85 | 0,82 | 0,86 | 0,93 |
|            |                    | maks     | 591,8          | 1,19                               | 1,25 | 1,24 | 1,29 | 1,30 | 1,29 | 1,12 | 0,99 | 1,00 | 0,95 | 0,95 | 1,17 |
|            |                    | min      | 135,7          | 0,88                               | 0,89 | 0,93 | 0,96 | 1,11 | 0,97 | 0,85 | 0,75 | 0,69 | 0,70 | 0,75 | 0,80 |
|            |                    | Cv       | 0,33           | 0,07                               | 0,07 | 0,06 | 0,05 | 0,05 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,08 | 0,08 | 0,06 | 0,07 |
| 2          | 180                | śr       | 192,1          | 0,93                               | 1,08 | 1,16 | 1,25 | 1,52 | 1,35 | 0,95 | 0,77 | 0,76 | 0,71 | 0,71 | 0,81 |
|            |                    | maks     | 509,9          | 1,19                               | 1,38 | 1,51 | 1,57 | 1,79 | 1,79 | 1,31 | 0,98 | 1,00 | 0,94 | 0,90 | 1,52 |
|            |                    | min      | 87,1           | 0,73                               | 0,85 | 0,90 | 0,98 | 1,22 | 1,00 | 0,62 | 0,40 | 0,47 | 0,45 | 0,46 | 0,53 |
|            |                    | Cv       | 0,40           | 0,10                               | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,09 | 0,12 | 0,12 | 0,14 | 0,16 | 0,17 | 0,12 | 0,16 |
| 3          | 100                | śr       | 165,9          | 0,88                               | 1,12 | 1,23 | 1,36 | 1,90 | 1,60 | 0,89 | 0,62 | 0,61 | 0,54 | 0,55 | 0,70 |
|            |                    | maks     | 1005,6         | 1,22                               | 1,55 | 1,64 | 1,88 | 2,82 | 2,28 | 1,60 | 1,00 | 0,94 | 0,80 | 0,77 | 1,20 |
|            |                    | min      | 56,4           | 0,51                               | 0,82 | 0,65 | 0,72 | 1,23 | 1,16 | 0,59 | 0,31 | 0,39 | 0,31 | 0,36 | 0,40 |
|            |                    | Cv       | 0,80           | 0,15                               | 0,12 | 0,15 | 0,18 | 0,13 | 0,16 | 0,21 | 0,20 | 0,22 | 0,20 | 0,16 | 0,19 |
| 4          | 150                | śr       | 442,4          | 0,74                               | 0,85 | 0,85 | 0,93 | 1,45 | 1,46 | 1,12 | 1,08 | 1,15 | 0,87 | 0,79 | 0,69 |
|            |                    | maks     | 1591,6         | 0,96                               | 1,16 | 1,19 | 1,36 | 1,97 | 2,17 | 2,35 | 2,24 | 1,81 | 1,29 | 1,11 | 0,95 |
|            |                    | min      | 82,6           | 0,55                               | 0,37 | 0,25 | 0,23 | 0,27 | 0,90 | 0,78 | 0,69 | 0,82 | 0,49 | 0,59 | 0,53 |
|            |                    | Cv       | 0,55           | 0,12                               | 0,14 | 0,18 | 0,18 | 0,17 | 0,16 | 0,18 | 0,19 | 0,11 | 0,19 | 0,13 | 0,13 |
| 5          | 33                 | śr       | 505,2          | 0,71                               | 0,74 | 0,72 | 0,76 | 1,13 | 1,28 | 1,27 | 1,31 | 1,36 | 1,04 | 0,91 | 0,77 |
|            |                    | maks     | 1217,3         | 0,97                               | 0,99 | 1,03 | 1,11 | 1,74 | 1,51 | 1,69 | 1,76 | 1,80 | 1,29 | 1,25 | 1,12 |
|            |                    | min      | 170,7          | 0,50                               | 0,51 | 0,43 | 0,41 | 0,66 | 1,00 | 0,97 | 0,92 | 1,00 | 0,71 | 0,62 | 0,54 |
|            |                    | Cv       | 0,46           | 0,18                               | 0,23 | 0,28 | 0,28 | 0,18 | 0,15 | 0,18 | 0,20 | 0,15 | 0,12 | 0,14 | 0,18 |

Tabela 2. Parametry cech hydrologicznych w wyróżnionych typach reżimu w ujemnej fazie NAO<sub>DIFM</sub>  
 Table 2. Hydrological parameters in the designated types of regime in the negative phase NAO<sub>DIFM</sub>

| Typ reżimu | Liczba profili N | Parametr | Odpływ H [-] | Miesięczne współczynniki przepływu |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------|------------------|----------|--------------|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|            |                  |          |              | XI                                 | XII  | I    | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    |      |      |      |      |      |
| 1          | 38               | śr       | 281,8        | 1,05                               | 1,09 | 1,00 | 1,06 | 1,16 | 1,16 | 1,16 | 1,16 | 1,01 | 0,88 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,94 | 0,95 |      |
|            |                  | maks     | 605,3        | 1,23                               | 1,17 | 1,11 | 1,16 | 1,30 | 1,30 | 1,30 | 1,30 | 1,16 | 1,00 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,94 | 0,99 | 1,05 | 1,05 |
|            |                  | min      | 134,3        | 0,84                               | 0,89 | 0,91 | 0,97 | 1,04 | 1,01 | 0,91 | 0,80 | 0,75 | 0,80 | 0,80 | 0,75 | 0,79 | 0,79 | 0,79 | 0,77 | 0,81 |
|            |                  | Cv       | 0,36         | 0,07                               | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,05 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,07 | 0,06 |
| 2          | 90               | śr       | 193,8        | 0,90                               | 0,98 | 0,89 | 1,09 | 1,47 | 1,44 | 1,10 | 0,84 | 0,76 | 0,82 | 0,87 | 0,84 | 0,84 | 0,82 | 0,87 | 0,84 |      |
|            |                  | maks     | 602,1        | 1,18                               | 1,25 | 1,17 | 1,48 | 1,79 | 1,78 | 1,61 | 1,00 | 0,95 | 1,00 | 0,95 | 1,00 | 0,95 | 1,00 | 1,28 | 1,18 |      |
|            |                  | min      | 85,5         | 0,58                               | 0,69 | 0,68 | 0,85 | 1,05 | 1,13 | 0,68 | 0,48 | 0,54 | 0,59 | 0,63 | 0,60 | 0,60 | 0,59 | 0,63 | 0,60 |      |
|            |                  | Cv       | 0,39         | 0,16                               | 0,13 | 0,12 | 0,12 | 0,11 | 0,11 | 0,14 | 0,12 | 0,11 | 0,12 | 0,11 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,12 | 0,11 |
| 3          | 136              | śr       | 163,8        | 0,82                               | 0,92 | 0,77 | 1,09 | 1,96 | 1,91 | 1,09 | 0,72 | 0,59 | 0,67 | 0,75 | 0,70 | 0,70 | 0,67 | 0,75 | 0,70 |      |
|            |                  | maks     | 562,0        | 1,42                               | 1,29 | 1,14 | 1,62 | 3,56 | 3,30 | 1,73 | 0,98 | 0,95 | 1,00 | 1,35 | 1,41 | 1,41 | 1,00 | 1,35 | 1,41 |      |
|            |                  | min      | 63,7         | 0,43                               | 0,58 | 0,49 | 0,68 | 1,06 | 1,10 | 0,61 | 0,41 | 0,19 | 0,42 | 0,49 | 0,37 | 0,37 | 0,42 | 0,49 | 0,37 |      |
|            |                  | Cv       | 0,34         | 0,24                               | 0,16 | 0,17 | 0,21 | 0,22 | 0,22 | 0,20 | 0,17 | 0,22 | 0,20 | 0,17 | 0,22 | 0,21 | 0,22 | 0,21 | 0,23 | 0,21 |
| 4          | 210              | śr       | 424,9        | 0,63                               | 0,70 | 0,71 | 0,93 | 1,52 | 1,54 | 1,28 | 1,10 | 0,93 | 1,01 | 1,01 | 0,64 | 0,64 | 1,01 | 1,01 | 0,64 |      |
|            |                  | maks     | 1649,2       | 1,13                               | 1,09 | 1,12 | 1,53 | 2,70 | 2,43 | 2,24 | 2,03 | 1,59 | 1,78 | 1,58 | 1,35 | 1,35 | 1,78 | 1,58 | 1,35 |      |
|            |                  | min      | 103,5        | 0,36                               | 0,40 | 0,28 | 0,29 | 0,39 | 0,95 | 0,81 | 0,35 | 0,38 | 0,45 | 0,65 | 0,36 | 0,36 | 0,45 | 0,65 | 0,36 |      |
|            |                  | Cv       | 0,56         | 0,18                               | 0,20 | 0,19 | 0,23 | 0,20 | 0,18 | 0,17 | 0,24 | 0,20 | 0,26 | 0,17 | 0,24 | 0,24 | 0,20 | 0,26 | 0,17 | 0,24 |
| 5          | 43               | śr       | 493,3        | 0,59                               | 0,60 | 0,56 | 0,76 | 1,26 | 1,33 | 1,31 | 1,45 | 1,21 | 1,30 | 1,02 | 0,62 | 0,62 | 1,30 | 1,02 | 0,62 |      |
|            |                  | maks     | 1551,3       | 0,95                               | 1,05 | 0,99 | 1,31 | 1,79 | 1,65 | 2,35 | 2,66 | 1,90 | 2,30 | 1,36 | 1,08 | 1,08 | 2,30 | 1,36 | 1,08 |      |
|            |                  | min      | 135,0        | 0,38                               | 0,34 | 0,24 | 0,22 | 0,27 | 0,82 | 0,67 | 0,68 | 0,87 | 0,65 | 0,65 | 0,44 | 0,44 | 0,65 | 0,65 | 0,44 |      |
|            |                  | Cv       | 0,55         | 0,22                               | 0,31 | 0,33 | 0,35 | 0,26 | 0,17 | 0,27 | 0,31 | 0,19 | 0,28 | 0,15 | 0,24 | 0,24 | 0,28 | 0,15 | 0,24 |      |

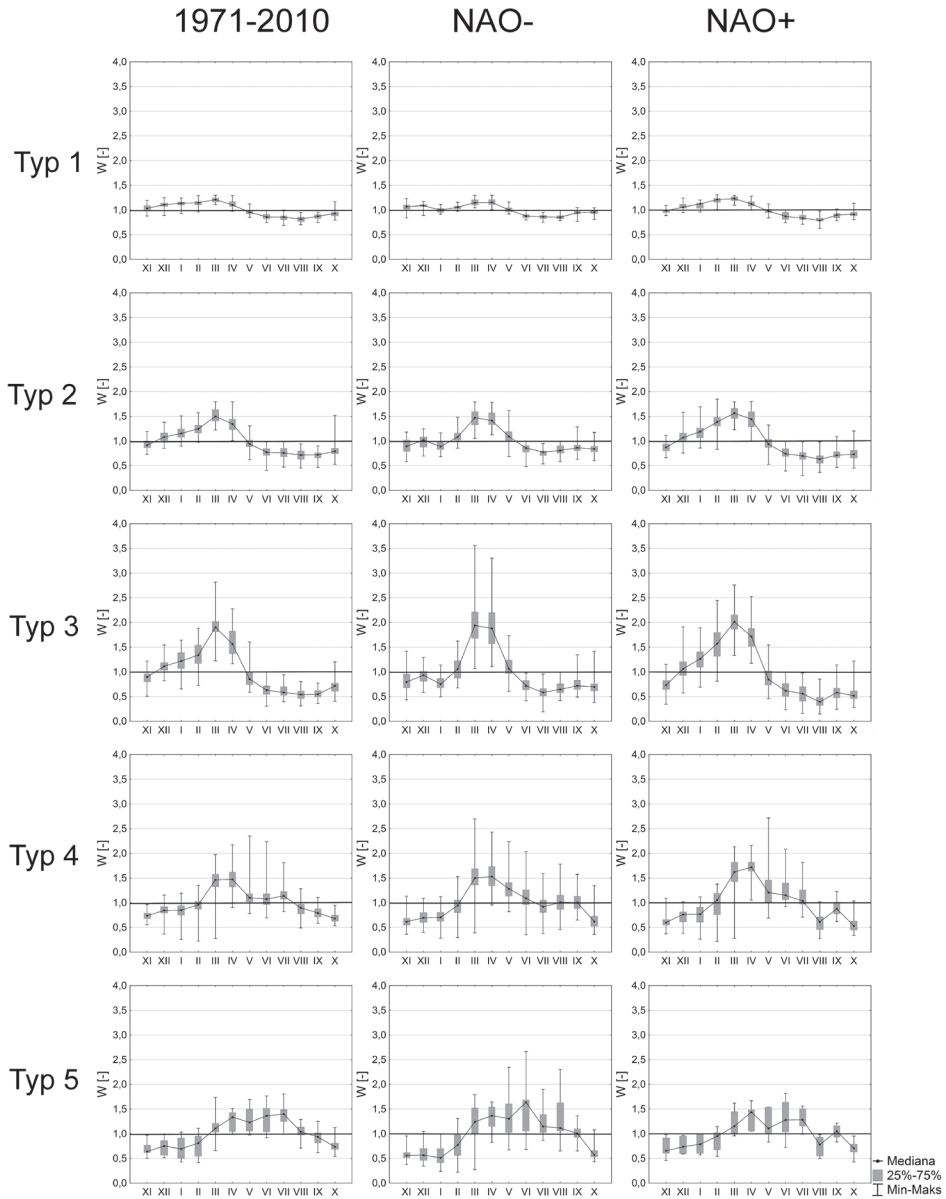
Tabela 3. Parametry cech hydrologicznych w wyróżnionych typach reżimu w dodatniej fazie  $NAO_{DJFM}$   
 Table 3. Hydrological parameters in the designated types of regime in the positive phase  $NAO_{DJFM}$

| Typ reżimu | Liczba profili<br>N | Parametr | Odpływ H<br>[-] | Miesięczne współczynniki przepływu |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------|---------------------|----------|-----------------|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|            |                     |          |                 | XI                                 | XII  | I    | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    |
| 1          | 38                  | śr       | 279,1           | 0,98                               | 1,06 | 1,10 | 1,19 | 1,22 | 1,13 | 0,98 | 0,88 | 0,85 | 0,81 | 0,89 | 0,92 |
|            |                     | maks     | 788,3           | 1,09                               | 1,24 | 1,20 | 1,31 | 1,29 | 1,28 | 1,12 | 1,00 | 1,00 | 0,98 | 1,02 | 1,13 |
|            |                     | min      | 72,5            | 0,89                               | 0,94 | 0,96 | 1,01 | 1,09 | 0,99 | 0,84 | 0,74 | 0,71 | 0,63 | 0,79 | 0,80 |
|            |                     | Cv       | 0,48            | 0,05                               | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,04 | 0,06 | 0,06 | 0,08 | 0,09 | 0,09 | 0,06 | 0,07 |
| 2          | 196                 | śr       | 182,5           | 0,87                               | 1,08 | 1,17 | 1,40 | 1,56 | 1,44 | 0,95 | 0,75 | 0,69 | 0,62 | 0,72 | 0,74 |
|            |                     | maks     | 655,6           | 1,11                               | 1,58 | 1,69 | 1,85 | 1,79 | 1,80 | 1,32 | 0,99 | 0,99 | 0,98 | 1,09 | 1,20 |
|            |                     | min      | 47,2            | 0,66                               | 0,76 | 0,86 | 0,83 | 1,23 | 1,00 | 0,53 | 0,39 | 0,30 | 0,36 | 0,46 | 0,45 |
|            |                     | Cv       | 0,51            | 0,11                               | 0,13 | 0,13 | 0,11 | 0,09 | 0,13 | 0,14 | 0,15 | 0,19 | 0,19 | 0,15 | 0,16 |
| 3          | 210                 | śr       | 245,7           | 0,74                               | 1,08 | 1,24 | 1,56 | 2,03 | 1,72 | 0,89 | 0,63 | 0,57 | 0,41 | 0,60 | 0,53 |
|            |                     | maks     | 963,8           | 1,15                               | 1,91 | 1,89 | 2,44 | 2,76 | 2,53 | 1,55 | 0,99 | 0,98 | 0,86 | 1,14 | 1,22 |
|            |                     | min      | 29,9            | 0,34                               | 0,57 | 0,69 | 0,81 | 1,33 | 1,17 | 0,46 | 0,23 | 0,15 | 0,15 | 0,24 | 0,27 |
|            |                     | Cv       | 0,79            | 0,18                               | 0,19 | 0,20 | 0,22 | 0,12 | 0,15 | 0,25 | 0,28 | 0,35 | 0,30 | 0,31 | 0,24 |
| 4          | 67                  | śr       | 483,4           | 0,61                               | 0,73 | 0,77 | 0,98 | 1,59 | 1,71 | 1,25 | 1,23 | 1,10 | 0,60 | 0,89 | 0,54 |
|            |                     | maks     | 1567,8          | 1,09                               | 1,02 | 1,12 | 1,38 | 2,13 | 2,16 | 2,72 | 2,08 | 1,82 | 1,02 | 1,22 | 1,03 |
|            |                     | min      | 147,7           | 0,37                               | 0,38 | 0,26 | 0,22 | 0,28 | 1,05 | 0,69 | 0,92 | 0,71 | 0,27 | 0,62 | 0,34 |
|            |                     | Cv       | 0,57            | 0,18                               | 0,20 | 0,25 | 0,28 | 0,23 | 0,12 | 0,27 | 0,19 | 0,19 | 0,27 | 0,18 | 0,25 |
| 5          | 6                   | śr       | 450,6           | 0,71                               | 0,76 | 0,79 | 0,88 | 1,22 | 1,36 | 1,19 | 1,30 | 1,30 | 0,75 | 1,04 | 0,70 |
|            |                     | maks     | 749,4           | 0,98                               | 0,97 | 1,00 | 1,15 | 1,62 | 1,67 | 1,54 | 1,82 | 1,56 | 0,98 | 1,21 | 0,95 |
|            |                     | min      | 164,3           | 0,45                               | 0,59 | 0,57 | 0,54 | 0,95 | 1,05 | 0,83 | 0,72 | 0,99 | 0,50 | 0,84 | 0,43 |
|            |                     | Cv       | 0,55            | 0,28                               | 0,27 | 0,26 | 0,22 | 0,18 | 0,24 | 0,32 | 0,17 | 0,27 | 0,14 | 0,25 |      |



Rzeki o tym typie reżimu leżą w pasie najniższych odpływów, które z reguły nie przekraczają 160 mm. Wyższy odpływ, ponad 200 mm, obserwuje się jedynie na północnym wschodzie i na Wyżynie Kieleckiej. Skrajnie niskie odpływy, poniżej 60 mm, odnotowuje się na Tążynie, lewym dopływie Wisły na Kujawach. Zróznicowane są też wielkości zasilania podziemnego i zmienności przepływów (Wrzesiński 2017). W ujemnej fazie  $NAO_{DJFM}$  do reżimu niwalnego silnie wykształconego zaliczono 136 profili (26,3%). W porównaniu z wieloleciem 1971–2010 ten typ reżimu zidentyfikowano dodatkowo głównie na rzekach, które w przeciętnych warunkach reprezentują reżim niwalny średnio wykształcony. Położone są one głównie we wschodniej części kraju od Węgorapy i Szeszupy na północnym wschodzie po prawe dopływy Sanu (Bukowa, Tanew, Szkoło) na południu. Taka transformacja typu reżimu dotyczy również pojedynczych rzek w północnej części kraju (Gowienica, górna Łeba, Osa, Elbląg), ale także górnej Proсны i rzek Wyżyny Kieleckiej (Czarna, Kamienna, górna Nida). W tej fazie  $NAO_{DJFM}$  przeciętny odpływ rzek o reżimie niwalnym silnie wykształconym (164 mm) jest zbliżony do obserwowanego w wieloleciu 1971–2010, jednak zakres wysokości odpływu w tej grupie jest znacznie mniejszy i wynosi od 64 mm (Tążyna) do 562 mm (Lubieńka – dopływ Raby) – tabela 2. W dodatkowej fazie  $NAO_{DJFM}$  reżim niwalny silnie wykształcony jest najbardziej powszechny, zidentyfikowano go w przypadku aż 210 profili (40,6%). Do zwiększenia liczebności tej grupy przyczyniły się transformacje reżimu z typu 2 i 4 na typ 3. Pierwszy przypadek dotyczy rzek w północnej części kraju (podobnie jak w ujemnej fazie  $NAO_{DJFM}$ ), rzek międzyrzecza Odry i Warty (Barycz, Proсна, Liswarta, Mała Panew) oraz pojedynczych rzek Wyżyny Kieleckiej (np. Kamienna, Czarna Nida). Zmianę reżimu niwalno-pluwialnego na reżim niwalny silnie wykształcony zaobserwowano w przypadku większości rzek sudeckich, górnej Wisły, Wisłoka i Sanu. Zaliczenie do tej grupy rzek górskich sprawiło, że przeciętny odpływ (246 mm) jest znacznie wyższy niż w latach przeciętnych, a skrajne wartości wahają się od 30 mm (Tążyna) do 964 mm (Wołosaty) – tabela 3. W dodatkowej fazie  $NAO_{DJFM}$  przebieg przeciętnych miesięcznych współczynników przepływu jest podobny do warunków przeciętnych (1971–2010). Natomiast w fazie ujemnej  $NAO_{DJFM}$  w sezonie zimowym przepływy są zdecydowanie niższe i zaznacza się drugie, nieznacznie niższe, maksimum przepływów w kwietniu.

**Typ 4 – reżim niwalno-pluwialny** w warunkach przeciętnych zidentyfikowano w 150 profilach (29%). Typ ten reprezentują rzeki sudeckie i większość karpaccich oraz tranzytowa Wisła aż po Warszawę, której reżim na tym odcinku kształtują karpaccie dopływy. Rzeki te charakteryzują się dużą rozpiętością odpływów rocznych od 83 mm (Stradunia – lewy dopływ górnej Odry) do 1592 mm (Potok Kościeliski). Rzeki te wyróżnia niewielki udział zasilania podziemnego w odpływie całkowitym (20–40%) i duża rozpiętość zmienności przepływów dobowych, od  $C_v < 1,0$  w dolnych odcinkach rzek górskich do



Ryc. 2. Zakres zmienności miesięcznych współczynników przepływu w pięciu typach reżimu w porównywanych typologiach

Typ reżimu: 1 – niwalny słabo wykształcony, 2 – niwalny średnio wykształcony, 3 – niwalny silnie wykształcony, 4 – niwalno-pluwialny, 5 – pluwialno-niwalny.

Fig. 2. Range of variability of monthly flow coefficients in five types of regime in comparable typologies

Type of regime: 1 – nival poorly formed, 2 – nival moderately formed, 3 – nival well formed, 4 – nival-pluvial, 5 – pluvio-nival.

$C_v > 2,0$  w odcinkach górnych (Wrześniński 2013). W ujemnej fazie  $NAO_{DJFM}$  ten typ reżimu reprezentuje aż 210 profili (40,6%). Wśród nich jest wiele takich, które w warunkach przeciętnych należą do 2 typu reżimu – środkowa i dolna Odra i Wisła, dolna Proсна, górna Warta, Barycz, rzeki w zlewni Pilicy oraz górne odcinki niektórych rzek sudeckich. Natomiast w dodatniej fazie  $NAO_{DJFM}$  reżim niwalno-pluwialny reprezentuje tylko 67 profili (13%). Są to głównie karpaccie dopływy Wisły od Skawy po Wisłokę, sama Wisła między Karsami i Annopolem, a także Nysa Kłodzka i pojedyncze dopływy górnego Sanu (Hoczewka, Osława, Wiar). Zakres zmian i przebieg przeciętnych miesięcznych współczynników w badanych wariantach różnią się nieznacznie. W dodatniej fazie  $NAO_{DJFM}$  wartości miesięcznych współczynników przepływu w marcu i kwietniu są wyższe niż przeciętnie i w ujemnej fazie  $NAO_{DJFM}$ , nie zaznacza się też wyraźnie drugie, letnie maksimum przepływów. W ujemnej fazie  $NAO_{DJFM}$ , w porównaniu z warunkami przeciętnymi, pierwsze maksimum wiosenne nie zmienia się zarówno ze względu na wartości przepływów, jak i jego termin, a drugie maksimum zaznacza się później i przypada na sierpień i wrzesień.

**Typ 5 – reżim pluwalno-niwalny**, ustalony dla wielolecia 1971–2010, występuje w przypadku 33 profili (6,4%). Prawidłowość taką w Sudetach wykazuje w swym środkowym i dolnym biegu Nysa Kłodzka, Bystrzyca oraz Prudnik, a w Karpatach głównie rzeki w zlewni Dunajca. W tej grupie rzek odpływ roczny jest przeciętnie najwyższy (505 mm) i waha się od 170 mm (Bystrzyca – Jarnołów) do 1217 mm (Cicha Woda – Zakopane – Harenda). Na odpływ ten składa się głównie odpływ powierzchniowy, a udział zasilania podziemnego jest z reguły niższy niż 40%. Zazwyczaj rzeki o tym reżimie wyróżniają się też największą zmiennością przepływów dobowych (Wrześniński 2013). W ujemnej fazie  $NAO_{DJFM}$  typ reżimu zaobserwowano na 43 profilach (8,3%). Dodatkowo ten typ reżimu zidentyfikowano w przypadku kilku rzek, które w warunkach przeciętnych reprezentują reżim niwalno-pluwialny. Wśród rzek sudeckich są to Kwisa z Czarnym Potokiem, dopływy Kaczawy – Skora i Nysa Szalona, dopływy Bystrzycy – Strzegomka i Piława, a z rzek karpaccich w zlewni Dunajca – Białka, Poprad, Kamienica i Biała, w zlewni Wisłoki – Ropa. W dodatniej fazie  $NAO_{DJFM}$  typ reżimu zaobserwowano jedynie na 6 profilach (1,2%). Trzy z nich zlokalizowane są na rzekach w zlewni Dunajca (Biały Dunajec, Poroniec, Kamienica). W obu fazach  $NAO_{DJFM}$  przebieg miesięcznych współczynników nieznacznie różni się od typowego dla okresu wieloletniego. Zwłaszcza w ujemnej fazie  $NAO_{DJFM}$  przepływy w miesiącach zimowych są zdecydowanie niższe, a letnia – czerwcową kulminacja jest wyraźnie wyższa ( $W > 1,5$ ) niż przeciętnie i w dodatniej fazie  $NAO_{DJFM}$ .

## PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono rozkład przestrzenny typów reżimu rzek w Polsce według założeń Dynowskiej (1997) dla trzech wariantów czasowych: całego wielolecia 1971–2010 oraz dla lat o wysokich i niskich indeksach Oscylacji Północnoatlantyckiej w sezonie zimowym. W badanych wariantach rzeki w wyróżnionych typach reżimu charakteryzują się podobnym rozkładem i zakresem zmian odpływów miesięcznych w przeciętnym cyklu rocznym. Wyróżnione grupy rzek reprezentujące te same typy reżimu różnią się jednak liczebnością, co ma konsekwencje w wyrażnie odmiennym obrazie ich przestrzennego rozmieszczenia. Z analizy wynika, że w badanych fazach  $NAO_{DJFM}$  dochodzi do częstych transformacji typu reżimu odpływu wielu rzek. W porównaniu z warunkami przeciętnymi (lata 1971–2010) w fazie ujemnej  $NAO_{DJFM}$  najbardziej stabilne typy reżimu to typ 3 (reżim niwalny silnie wykształcony) i typ 4 (reżim niwalno-pluwialny), które w ponad 85% profili rzecznych nie uległy zmianie. Nieliczne zmiany reżimu polegają na transformacji typu 3 w 4, a typu 4 w 5, co świadczy o wzroście przepływów w miesiącach letnich. Mniej stabilnym typem reżimu jest w tej fazie typ 1 – reżim niwalny słabo wykształcony i typ 5 – reżim pluwialno-niwalny. W obu przypadkach do transformacji typu dochodzi w około 35% profili rzecznych reprezentujących te typy reżimu. W przypadku reżimu typu 1 następuje zmiana na reżim niwalny średnio wykształcony lub reżim niwalno-pluwialny, a reżim pluwialno-niwalny przekształca się w niwalno-pluwialny. Najczęściej, w ponad 55%, dochodzi do transformacji reżimu niwalnego średnio wykształconego. Reżim ten ulega zmianie na niwalny silnie wykształcony lub niwalno-pluwialny. Z zaobserwowanego kierunku transformacji wynika, że w ujemnej fazie  $NAO_{DJFM}$  na wielu rzekach dochodzi do wzrostu przepływów wiosennych i letnich. W dodatniej fazie  $NAO_{DJFM}$  najbardziej stabilnym typem reżimu pozostaje typ 3 – reżim niwalny silnie wykształcony. Reprezentuje go aż 90% wszystkich profili, na których został zidentyfikowany dla warunków przeciętnych. Na nielicznych rzekach pojeziernych ten typ reżimu ulega zmianie na typ niwalny średnio wykształcony. W porównaniu z warunkami przeciętnymi w dodatniej fazie  $NAO_{DJFM}$  częstszymi transformacjom (bo w przypadku ponad 30% profili) ulega typ 2 – niwalny średnio wykształcony (głównie w silnie wykształcony – na niektórych rzekach pojeziernych i wyżynnych oraz w zlewni Proсны) i typ 1 – niwalny słabo wykształcony (48% przypadków), który na rzekach, głównie wschodniej części Pojezierza Pomorskiego, zmienia się w typ niwalny średnio wykształcony. W porównaniu z warunkami przeciętnymi, w dodatniej fazie  $NAO_{DJFM}$ , najmniej stabilne są typy 4 i 5. Reżim niwalno-pluwialny w prawie 70% profili ulega transformacji w typ niwalny średnio wykształcony (środkowe i dolne odcinki niektórych rzek sudeckich i Sanu), ale głównie w typ niwalny silnie wykształcony (większość górnych odcinków rzek sudeckich, Wisły i Sanu). Najczęstsze transformacje obserwuje się w przypadku rzek, które

w przeciętnych warunkach reprezentują typ 5 – reżim pluwialno-niwalny. W dodatniej fazie  $NAO_{DJFM}$  stanowią one zaledwie 15%, w pozostałych przypadkach reżim ulega zmianie, głównie na typ 4 – reżim niwalno-pluwialny. Taki kierunek transformacji obserwuje się na większości rzek w zlewni Dunajca. Badania potwierdzają, że zaznacza się zróżnicowany czasowo i przestrzennie wpływ zmian natężenia Oscylacji Północnoatlantyckiej na wysokość przepływu rzek w Polsce. Wpływ ten nie jest silny, ale zauważalny. Z różnym nasileniem obserwowany jest na rzekach w wielu regionach kraju, głównie w okresie zimy, wiosny, ale i lata. W negatywnej fazie  $NAO_{DJFM}$  odnotowano go w przypadku 31% badanych rzek, natomiast w pozytywnej w 43%. Zwłaszcza zmiany odpływu w sezonie wiosennym i letnim są kluczowe ze względu na przyjęte przez Dynowską kryteria typologii reżimu rzek. Stąd zaobserwowane transformacje typu reżimu w obu fazach  $NAO_{DJFM}$  na tle warunków przeciętnych są zrozumiałe i wskazują na możliwą destabilizację cech reżimu odpływu wielu rzek w Polsce w zmieniających się warunkach klimatycznych wywołanych zróżnicowanym natężeniem makroskalowego typu cyrkulacji, jakim jest Oscylacja Północnoatlantycka.

## LITERATURA

- Dynowska I., 1997: *Reżim odpływu rzecznego*, [w:] *Atlas Rzeczypospolitej Polskiej*, Gł. Geod. Kr., Warszawa.
- Hurrell J., 1995: *The Climate Data Guide: Hurrell North Atlantic Oscillation (NAO) Index*, Nat. Cent. for Atm Res., Boulder, USA, <<https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/hurrell-north-atlantic-oscillation-nao-index-station-based>>, [ostatnia modyfikacja: 20.10. 2015].
- Wrzesiński D., 2011: *Regional differences in the influence of the North Atlantic Oscillation on seasonal river runoff in Poland*, Quaes. Geograph., 30(3), 127–136.
- Wrzesiński D., 2013: *Entropia odpływu rzek w Polsce*, Bogucki Wyd. Nauk., Poznań 2013.
- Wrzesiński D., 2017a: *Reżimy rzeczne*, [w:] P. Jokieli, W. Marszelewski, J. Pociask-Karteczka (red.), *Hydrologia Polski*, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa, 215–221.
- Wrzesiński D., 2017b: *Typologia reżimu odpływu rzek w Polsce w podejściu nadzorowanym i nie-nadzorowanym*, Bad. Fizjogr. R. VIII, Ser. A – Geogr. Fiz. (A68), 253–264.
- Wrzesiński D., Paluszkiwicz R., 2011: *Spatial differences in the impact of the North Atlantic Oscillation on the flow of rivers in Europe*, Hydrol. Res., 42(1), 30–39.
- Wrzesiński D., Sobkowiak L., 2018. *Detection of changes in flow regime of rivers in Poland*, Journ. Hydrol. Hydromech., 66, 1, 55–64.