



Nysa Łużycka

– Zasoby wodne regionu –

LANDESAMT FÜR UMWELT,
LANDWIRTSCHAFT
UND GEOLOGIE



Freistaat
SACHSEN



Instytut Meteorologii i
Gospodarki Wodnej
Państwowy Instytut
Badawczy



Modelowanie klimatyczne i hydrologiczne, analiza i prognoza



Unia Europejska. Europejski Fundusz Rozwoju
Regionalnego: Inwestujemy w waszą przyszłość/
Europäische Union. Europäischer Fonds für
regionale Entwicklung: Investition in Ihre Zukunft



Nysa Łużycka – Zasoby wodne regionu

2. Broszura w ramach europejskiego projektu NEYMO



**Klimatische und hydrologische
Modellierung, Analyse und Prognose**

**Modelowanie klimatyczne
i hydrologiczne, analiza i prognoza**

Partner wiodący: Saksoński Urząd ds. Środowiska, Rolnictwa i Geologii
Partner projektu: Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej Oddział we Wrocławiu –
Państwowy Instytut Badawczy

ISBN: 978-83-64979-02-6



Europäische Union. Europäischer Fonds für
regionale Entwicklung: Investition in Ihre Zukunft/
Unia Europejska. Europejski Fundusz Rozwoju
Regionalnego: Inwestujemy w waszą przyszłość



Przedmowa

Woda jest najważniejszym dobrem naturalnym stanowiącym podstawę istnienia wszystkich ekosystemów i organizmów żywych. Zasoby słodkiej wody wykorzystywane przez człowieka głównie jako źródło wody pitnej i użytkowej są ograniczone. Zatem dobro jakim jest woda należy chronić i troszczyć się o jego zachowanie. Znaczenie ochrony i zrównoważonego wykorzystania zasobów wodnych będzie w przyszłości stale wzrastać. Woda nie da się zamknąć wewnątrz wytyczonych przez człowieka granic politycznych czy administracyjnych, lecz płynie zgodnie z istniejącymi uwarunkowaniami „naturalnymi”. W celu zapewnienia ochrony zasobów wodnych również na wodach granicznych powołano do życia tzw. Komisję Wód Granicznych, której zadaniem w ramach współpracy bilateralnej jest trwała ochrona oraz poprawa stanu wód na terenach przygranicznych. Nysa Łużycka położona jest w pasie wód granicznych pomiędzy Polską i Niemcami. Początki ścisłej współpracy pomiędzy Rzeczpospolitą Polską i Republiką Federalną Niemiec w sferze gospodarki wodnej na wodach granicznych Nysy Łużyckiej sięgają roku 1992. Do najważniejszych dyrektyw Unii Europejskiej regulujących działania podejmowane na transgranicznych obszarach dorzeczy rzek należy Ramowa Dyrektywa Wodna (RDW). Ustaliła ona spójne ramy prawne w dziedzinie polityki wodnej na obszarze UE. Ponadto RDW dąży do wdrożenia zasady zrównoważonego rozwoju uwzględniając wymogi środowiska naturalnego przy jednoczesnym gospodarczym wykorzystaniu zasobów wodnych.

Obecnie niektóre regiony borykają się z znacznymi niedoborami wody i zmuszone są do efektywnego korzystania z dostępnych zasobów wodnych. W porównaniu z terenami położonymi dalej na zachód Łużyce zaliczają się również do regionów o dość niskiej sumie opadów. Dodatkowym poważnym obciążeniem dla bilansu wodnego regionu jest zapotrzebowanie na wodę ze strony górnictwa oraz działań w ramach rekultywacji terenów pogórnich. Istniejąca sytuacja będzie się coraz bardziej zaostrzać w obliczu zmieniających się warunków klimatycznych. W związku ze zmianami klimatycznymi obydwa sąsiadujące ze sobą kraje muszą ściślej współpracować i podejmować ustalenia dotyczące wykorzystania zasobów wodnych oraz rozpocząć konieczne działania.

Tematem drugiej broszury wydanej w ramach projektu NEYMO jest problematyka transgranicznego zarządzania zasobami wodnymi w obliczu zmian klimatycznych. Punkt wyjścia stanowi analiza bilansu wodnego z uwzględnieniem obecnych warunków meteorologicznych i uwarunkowań w sferze gospodarki wodnej. Kolejnym krokiem jest przeprowadzenie modelowania i prezentacja możliwego scenariusza bilansu wodnego przy założeniu zmieniających się warunków klimatycznych, tzw. projekcji klimatycznych. Działania te pozwolą na zbadanie zmian hydrologicznych zachodzących w dorzeczu Nysy Łużyckiej oraz zidentyfikowanie obszarów/wód szczególnie dotkniętych zaistniałą sytuacją. Wyniki modelowania pozwolą na sformułowanie wniosków dotyczących efektywności/możliwości wykorzystania w przyszłości zasobów wodnych przez obecnych i prognozowanych użytkowników oraz możliwości pogodzenia różnych praw, jakie roszczą sobie do nich ich główni użytkownicy. Wyniki stanowią ponadto podstawę do podjęcia odpowiednich działań w celu zapewnienia efektywnego i zrównoważonego wykorzystania zasobów wodnych.

Przedmowa	3
1. Wprowadzenie	7
2. Charakterystyka uwarunkowań hydrologicznych na podstawie danych pomiarowych	33
3. Modelowanie bilansu wodnego	44
4. Rozwój zasobów wodnych – Wyniki modelowania bilansu wodnego	77
5. Znaczenie zmieniającej się dostępności zasobów wodnych dla użytkowników	125
6. Podsumowanie	133
Wykaz literatury	138
Wykaz rysunków	134
Wykaz tabel	141
Stopka redakcyjna	143

1

Wprowadzenie

1. Wprowadzenie

W e wprowadzeniu przedstawiono podstawowe informacje na temat celu realizowanego projektu, obszaru dorzecza Nysy Łużyckiej, ogólnych warunków hydrologicznych, bilansu wodnego oraz wykorzystanych w badaniach danych wejściowych.

1.1. Cel projektu, strategię

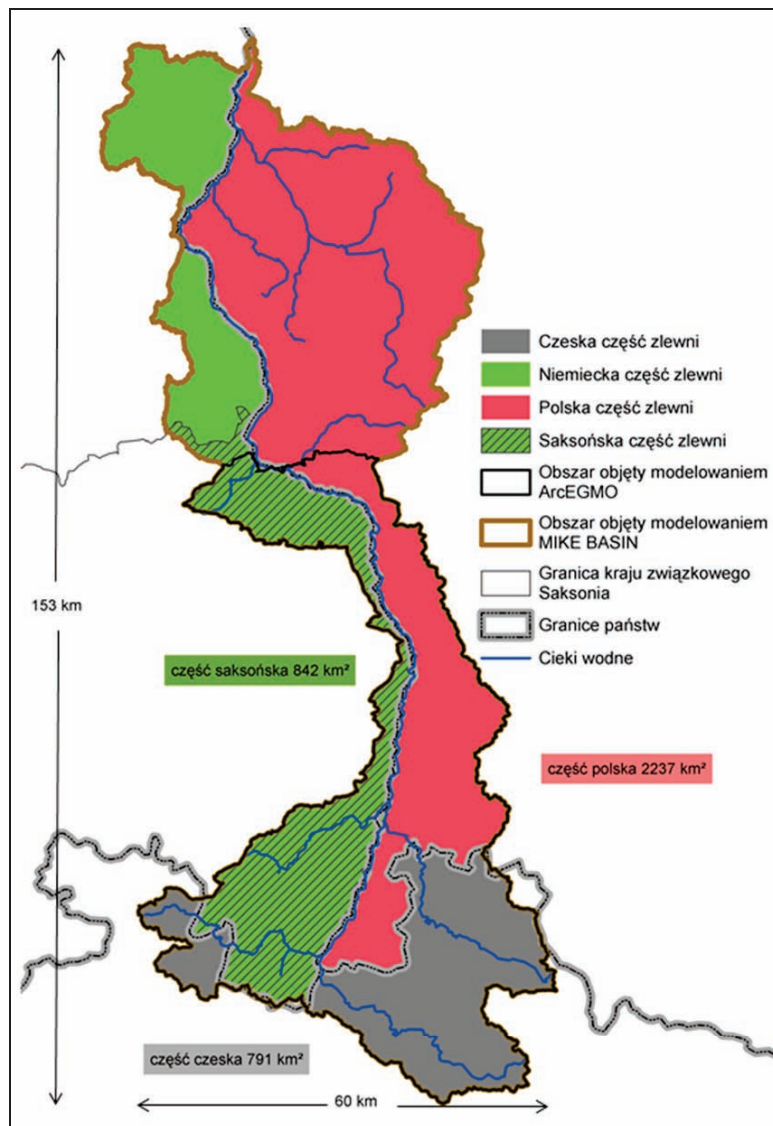
Skrót NEYMO stanowi akronim pełnego tytułu projektu: Nysa Łużycka/Lausitzer Neiße – modelowanie klimatyczne i hydrologiczne, analiza i prognoza w zlewni Nysy Łużyckiej finansowanego z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego (EFRR). Projekt realizowany jest w ramach Programu Operacyjnego Cel 3 wspierania współpracy transgranicznej Rzeczpospolita Polska - Wolny Kraj Związkowy Saksonia 2007 - 2013.

Prowadzenie transgranicznych badań naukowych dotyczących zagadnień z dziedziny nauk ścisłych stanowi w większości przypadków ogromne wyzwanie ze względu na brak dostępu lub brak możliwości wykorzystania niezbędnych danych, ograniczoną wiedzę specjalistyczną na temat regionu oraz odmiennosc sposobów rozumienia określonych metod i procedur. Celem projektu jest przeprowadzenie, w oparciu o opracowaną wspólnie transgraniczną bazę danych, badania bilansu wodnego oraz wykorzystania wód w transgranicznej zlewni Nysy Łużyckiej, przy uwzględnieniu obecnych i przyszłych warunków klimatycznych. Na podstawie prognozowanego scenariusza zmian zasobów wodnych wypracowane zostaną propozycje działań doraźnych i dostosowujących, zmierzających do bardziej efektywnego i zrównoważonego gospodarowania zasobami wodnymi, które w formie katalogu działań będą udostępnione podmiotom działającym w regionie. Działania w ramach projektu przyczynią się z jednej strony do zwiększenia świadomości użytkowników wody w podejściu do zachodzących zmian, a z drugiej do zrównoważonego wykorzystania i lepszej ochrony zasobów wodnych.

W oparciu o modele bilansu wodnego obliczone zostaną różne składowe odpływy, które będą wykorzystywane m.in. w następujących obszarach tematycznych:

- górnictwo odkrywkowe węgla brunatnego w celu planowania w przyszłości działań zmierzających do ponownego pozyskiwania wody
- wydawanie pozwoleń wodnoprawnych na terenie gmin i powiatów
- elektrownie wodne w celu planowania przyszłych inwestycji
- potencjalne inwestycje, których działanie związane jest z wykorzystaniem zasobów wód powierzchniowych.

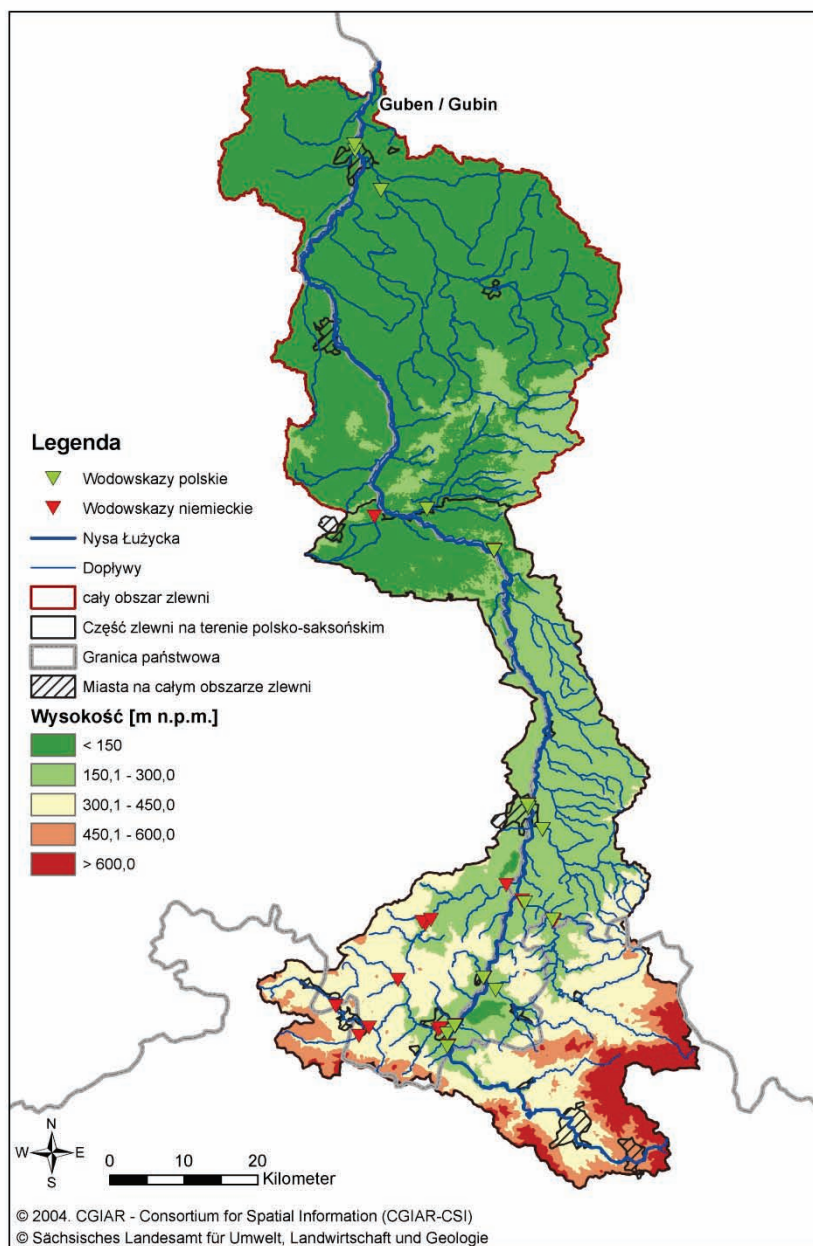
Na rysunku 1 przedstawiono cały obszar objęty badaniami w ramach projektu NEYMO. Obszar dorzecza Nysy Łużyckiej położony jest, w granicach trzech państw: Republiki Czeskiej, Rzeczypospolitej Polskiej oraz Niemiec, przy czym największa część zlewni znajduje się po stronie polskiej.



Rysunek 1: Obszar badawczy projektu NEYMO

Prowadzenie wspólnych badań na terenie całego obszaru dorzecza Nysy Łużyckiej od jej źródeł do ujścia do Odry nie jest możliwe ze względu na zasięg obszaru wsparcia Programu Polska- Saksonia. Dorzecze Nysy rozciąga się bowiem po stronie niemieckiej aż po Brandenburgię wychodząc tym samym poza teren obszaru wsparcia po stronie RFN. W związku z powyższym wspólną bazę danych hydrologicznych i geologicznych opracowano jedynie dla obszaru leżącego w granicach administracyjnych Saksonii. Teren objęty wspólnym badaniem zaznaczono na rysunku 1 czarną linią. Informacje zawarte w niniejszej broszurze odnoszą się w zasadzie do części zlewni będącej

przedmiotem wspólnie prowadzonych badań. Polscy i niemieccy partnerzy projektu wykorzystują do obliczania bilansu wodnego odmienne modele różniące się od siebie podejściem metodycznym.



Rysunek 2: Rzeźba terenu zlewni Nysy łużyckiej w oparciu o SRTM 90 (Jarvis et al. 2008)

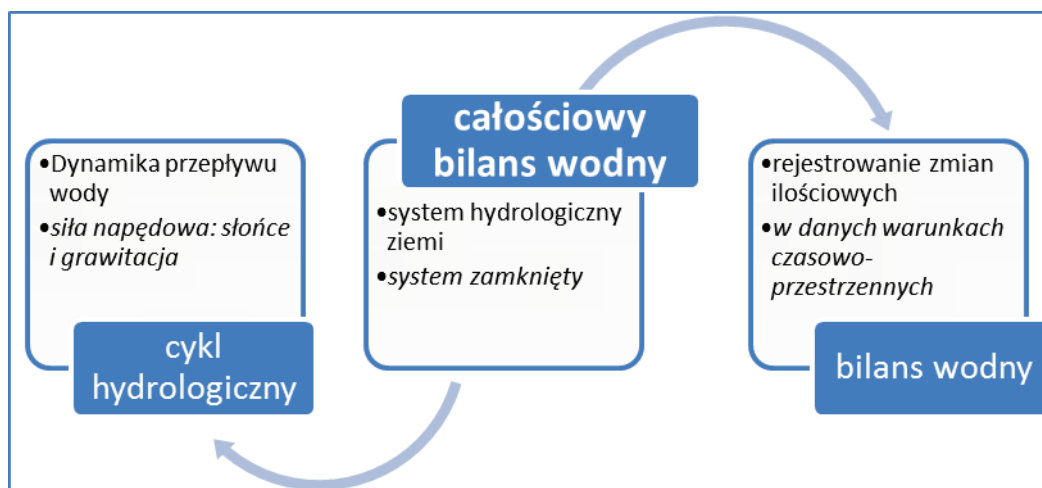
Jednak modele uzupełniają się wzajemnie, co pozwala na wykorzystanie mocnych stron każdego z modeli. W ten sposób umożliwiono partnerowi polskiemu przeprowadzenie badania całego obszaru zlewni aż do ujścia do Odry. Na rysunku 1 pokazano dwa obszary modelowe badane modelem ArcEGMO (wykorzystywanym przez stronę niemiecką) oraz MIKE NAM/BASIN (wykorzystywanym przez stronę polską). Rysunek 2 przedstawia cały obszar zlewni Nysy łużyckiej aż po jej ujście do Odry. Na ilustracji zaprezentowano ukształtowanie terenu na obszarze zlewni oraz zaznaczono lokalizację wodowskazów po stronie polskiej i saksońskiej. Na obszarze zlewni wyraźnie zaznacza się

zróźnicowanie rzeźby terenu. Ostatni wodowskaz przed ujściem Nysy Łużyckiej do Odry zlokalizowany jest po stronie polskiej w Gubinie, a po niemieckiej w Guben. Dalszą charakterystykę zlewni przedstawiono w kolejnych rozdziałach.

1.2. Bilans wodny i jego elementy

Dla zrozumienia informacji zawartych w broszurze w niniejszym rozdziale przedstawiamy definicje ogólnego bilansu wodnego, szczegółowego bilansu wodnego i przepływu. Pod pojęciem ogólnego bilansu wodnego określa się współzależność pomiędzy opadem, parowaniem i odpływem w ramach systemu zamkniętego. Badanie ogólnego bilansu wodnego jest niewystarczające, ponieważ stanowi on element nadrzędny dla cyklu hydrologicznego opisującego dynamikę przepływu wody oraz bilansu wodnego rejestrującego zmiany ilościowe. Na rysunku 3 przedstawiono zależności istniejące pomiędzy zdefiniowanymi powyżej pojęciami. Ogólny bilans wodny związany jest ściśle z bilansem energetycznym, przy czym elementem łączącym obydwie systemy jest parowanie.

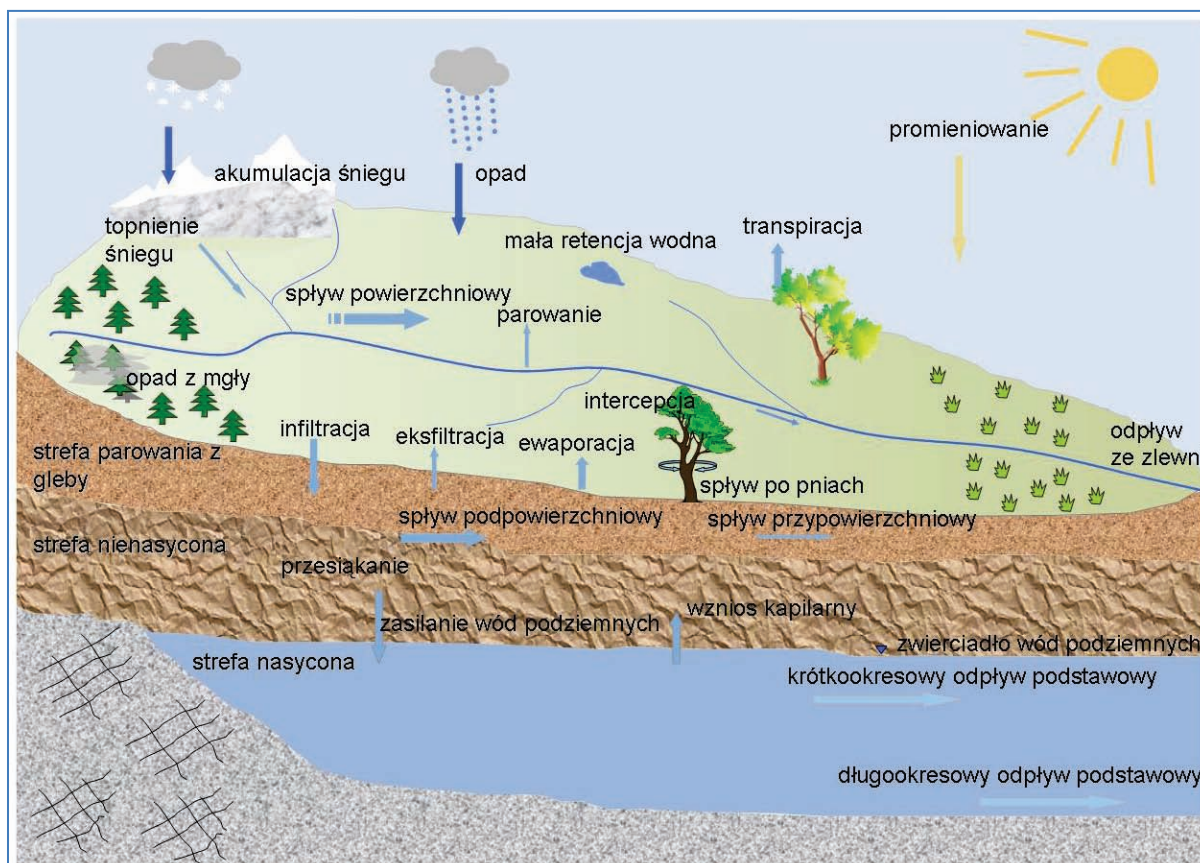
Czynnikami napędzającymi obieg wody w cyklu hydrologicznym są promieniowanie słoneczne oraz grawitacja prowadzące do stałych zmian stanu skupienia i lokalizacji, czyli przemieszczania się i gromadzenia zasobów wodnych.



Rysunek 3: Cykl hydrologiczny, ogólny i szczegółowy bilans wodny

Zasoby wodne Ziemi znajdują się w ciągłym ruchu w ramach cyklu hydrologicznego. Obieg wody w zamkniętym obszarze zlewni można ogólnie opisać przy pomocy podziału ilości opadów na poszczególne składowe: parowanie, odpływ i zmiany w zbiornikach wodnych. Na obszarze zlewni mają miejsce procesy pionowego i liniowego przepływu wody, w ramach których całościowa ilość opadów dzielona jest pomiędzy różne rodzaje zbiorników. Część wody opadowej podlega retencji w warstwie powierzchniowej lub w zagłębieniach terenu i odparowuje bezpośrednio do atmosfery. Część wody opadowej wsiąka w glebę, gdzie jest pobierana w formie transpiracji przez roślinność lub podlega procesowi ewaporacji z górnych warstw gleby. Pozostała część wody przenika pionowo do różnych warstw ziemi, zasila górne części zbiornika wód podziemnych lub transportowana jest liniowo w glebie zgodnie z uwarunkowaniami rzeźby terenu do cieków wodnych. Jeżeli ilość opadów

wykracza poza możliwości infiltracyjne gleby woda opadowa nie wsiąka lecz spływa po powierzchni do cieków wodnych. Na rysunku 4 przedstawiono procesy zachodzące w zamkniętym obszarze zlewni począwszy od wystąpienia opadów aż po odpływ wody z obszaru zlewni. Procesy liniowego przepływu wody na obszarze zlewni rozpoczynają się już na powierzchni terenu. Zarówno w płynących na powierzchni strumieniach oraz rzekach jak i w poszczególnych warstwach gleb oraz w warstwie wód podziemnych woda transportowana jest do odpływu ze zlewni z różną prędkością odpowiednio do uwarunkowań wynikających z rzeźby terenu.



Rysunek 4: Schemat obiegu wody

Bilans wodny zlewni określa zasoby wodne występujące stale lub czasowo na jej obszarze. Stanowi on ilościowe ujęcie obiegu wody w granicach danego obszaru w określonym czasie. Natomiast liczbowe ujęcie bilansu wodnego zlewni przedstawia równanie bilansowe w którym porównuje się ilość wody zasilającej zlewnię (tzw. przychód wody) z ilością wody uchodzącej różnymi drogami z jej obszaru (tzw. rozchód wody). Równanie to określa stosunek pomiędzy wielkościami zależnymi od uwarunkowań czasowo-przestrzennych takimi jak opad atmosferyczny (P), parowanie (E), odpływ (H) i zmiany retencji (ΔR). Postać równania bilansowego zależy od czasu objętego bilansowaniem. Jeśli obieg wody chcemy scharakteryzować w krótszym czasie, wówczas najprostszą postacią bilansu wodnego wyraża równanie Pencka-Oppokowa.

$$E + H + \Delta R = P$$

Równanie 1: Ogólny bilans wodny

W przypadku badania długich okresów (co najmniej 10 lat) można pominąć, jako nieistotną, wartość opisującą zmiany retencji, co pozwala na uproszczenie równania do postaci :

$$E + H = P$$

Równanie 2: Uproszczony bilans wodny

Określenie szczegółowego bilansu wodnego w ramach systemu jest sprawą nader skomplikowaną, a wiele szczegółów dotyczących składowych lub procesów jest często nieznanych. Obliczanie ilościowych składowych bilansu wodnego wykonywane jest zazwyczaj przy pomocy modelowania bilansu wodnego.

Użytkowanie zasobów wodnych podlega ścisłej kontroli państwa, a wszelkie wykorzystywanie i zużywanie wody dopuszczalne jest dopiero po uzyskaniu odpowiedniego pozwolenia prawnego lub urzędowego. Koniecznym warunkiem zapewnienia ochrony wód i możliwie oszczędnego gospodarowania zasobami jest ugruntowana wiedza na temat stanu bilansu wodnego.

Wspomniane powyżej procesy opisują naturalny obieg wody bez uwzględnienia oddziaływań antropogenicznych. Na obszarze dorzecza Nysy Łużyckiej działają liczni użytkownicy dokonujący poborów, zrzutów i transferów wody. Działalność ta wpływa na procesy naturalne obiegu wody powodując m.in. zachwianie bilansu wodnego. Z tego względu w ramach wszelkich badań bilansu wodnego należy uwzględnić wpływ znaczących użytkowników wody.

Podstawową miarą odpływu jest natężenie przepływu, zwane w uproszczeniu przepływem (Q). Jest to objętość wody przepływająca przez określony przekrój poprzeczny cieku w jednostce czasu, wyrażona w m³/s.

1.3. Obszar dorzecza Nysy Łużyckiej

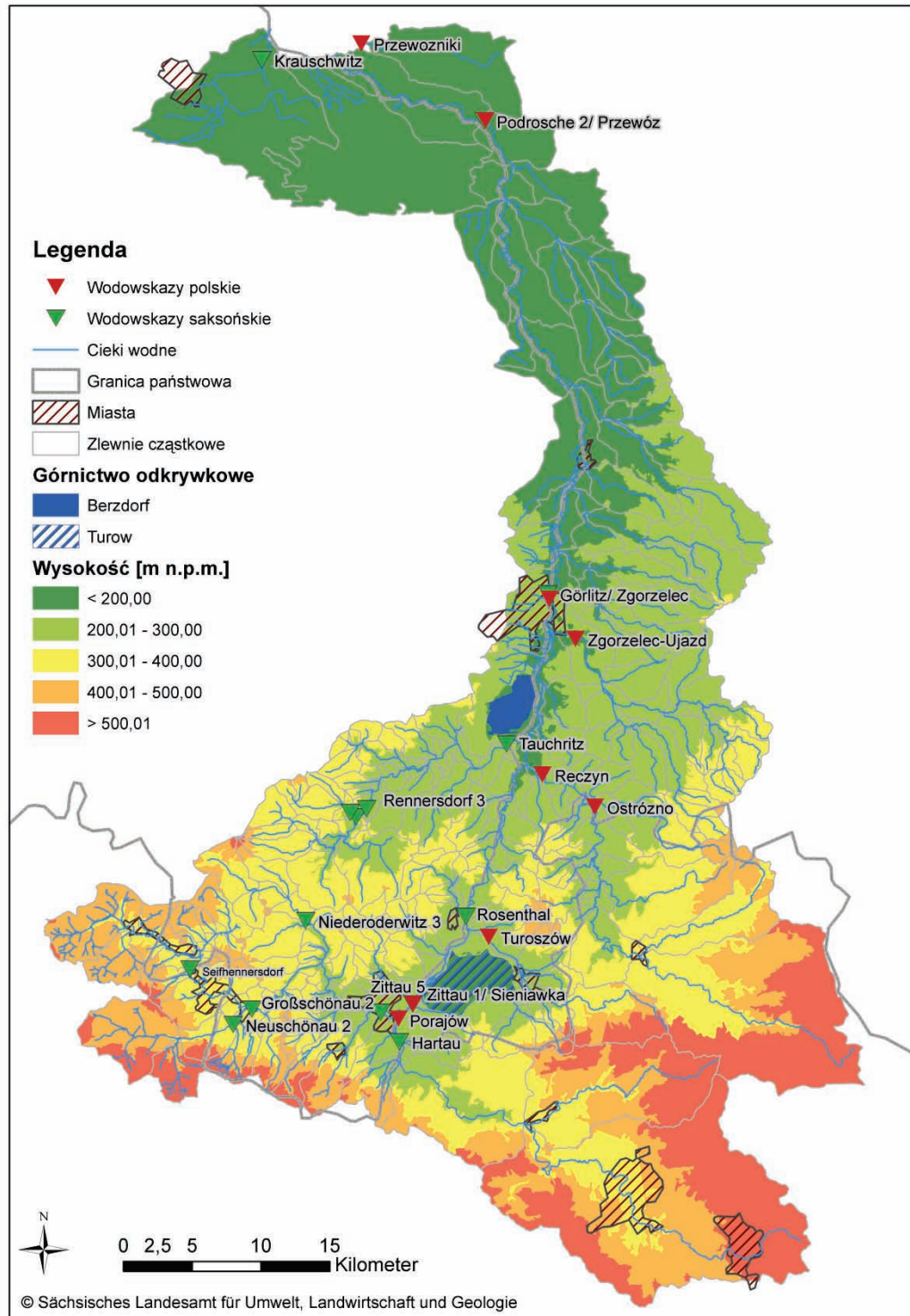
Główną rzekę zlewni stanowi Nysa Łużycka, lewobrzeżny dopływ Odry o długości 246 km. Źródła Nysy Łużyckiej, która na długości 125 km wyznacza granicę pomiędzy Polską i Saksonią, położone są w czeskiej części Gór Izerskich na wysokości 655 m n.p.m. Swój początek rzeka bierze z połączenia Nysy Białej, Czarnej, Nysy Jabłoneckiej i Łuczańskiej przepływających przez Góry Izerskie po stronie czeskiej. Główne dopływy Nysy Łużyckiej po stronie polskiej stanowią Miedzianka, Witka, Czarna Woda, Jędrzychowicki Potok, Bielawka, Żółta Woda, Skroda, Wodra i Lubsza, a po stronie niemieckiej rzeki Mandau, Pließnitz, Floßgraben, Föhrenfließ, Malxe, Schwarzes Fließ oraz Buderoser Mühlenfließ jak i kilka pomniejszych dopływów.

Dorzecze Nysy Łużyckiej od źródeł aż do ujścia do Odry zajmuje powierzchnię ok. 4395 km², z czego 396 km² (9 %) leży w granicach Republiki Czeskiej, 1450 km² (33 %) Niemiec, a 2549 km² (58 %) w Polsce. Obszar zlewni położony na terenie Saksonii zajmuje 840 km².

Teren zlewni charakteryzuje się znacznym zróżnicowaniem pod względem topograficznym. W partiach szczytowych spotkać można obszary położone na wysokości powyżej 1000 m, podczas gdy tereny nizinne leżą na wysokości ok. 100 m n.p.m. Badany obszar można więc podzielić na cztery piętra wysokościowe: partie szczytowe, regiony górskie, pogórze i obszary nizinne. Różna wysokość oraz zróżnicowana rzeźba terenu warunkują rodzaj odpływu. Podczas gdy w górach wody opadowe w większości spływają po powierzchni terenu, na terenach nizinnych większość wody przesiąka do ziemi, czego rezultatem jest jedynie niewielki odpływ powierzchniowy.

Na terenie zlewni zlokalizowana jest duża ilość wodowskazów umożliwiających pomiar stanu wody i uzyskanie wartości natężenia przepływu. Przed wodowskazem w Guben/Gubin dane dotyczące przepływów dostępne są na 11 polskich i 15 niemieckich wodowskazach. Większość wodowskazów zlokalizowana jest na Nysie Łużyckiej, co zaznaczono na rysunku 5. Wodowskazy rozmieszczone są na terenie zlewni dość nierównomiernie. Większość z nich zlokalizowana jest w regionach górskich i na pogórze, głównie na terenie Saksonii. W partiach szczytowych nie zlokalizowano wodowskazów, a na terenach nizinnych znaleźć można tylko kilka pojedynczych lokalizacji.

Zlewnia położona jest na terenie czterech krain przyrodniczych: Gór Żytawskich, wschodniej części Łużyc Górnych, Górnołużyckiej Krainy Lasów i Stawów oraz Muskauer Heide ciągnących się z południa na północ wzdłuż granicy polsko-niemieckiej. Pod względem krajobrazowym obszar zlewni to w ok. 90 % tereny rolnicze i obszary leśne (szczegółowe informacje w rozdz. 1.4). Badany obszar narażony jest na działanie silnych czynników antropogenicznych takich jak czynne kopalnie odkrywkowe, liczne budowle hydroenergetyczne oraz wykorzystanie wód np. pobór wody pitnej, przemysł itp.



Rysunek 5: Ukształtowanie terenu oraz lokalizacje wodowskazów na terenie zlewni

1.4. Dane wejściowe i opracowanie danych

W niniejszym rozdziale zaprezentowano wszystkie podstawowe dane konieczne do opracowania charakterystyki zlewni i tym samym do modelowania bilansu wodnego, przy wykorzystaniu modeli zarówno ArcEGMO jak i MIKE NAM/BASIN. Wyboru danych wejściowych dokonano według kryteriów dostępności transgranicznej i szczegółowości danych. Celem działania było stworzenie jednolitej, wspólnej transgranicznej bazy danych stanowiącej podstawę dla obu modeli bilansu wodnego.

Rodzaje gruntów

Oba modele, zarówno ArcEGMO jak i MIKE NAM/BASIN, do parametryzacji warunków środowiskowych wykorzystują informację o zróżnicowaniu gruntów. W przypadku modelu ArcEGMO zróżnicowane informacje dotyczące rodzaju gruntów stanowią najważniejszą, a zarazem najtrudniejszą do opracowania część danych wejściowych koniecznych do stworzenia modelu bilansu wodnego. W celu uzyskania możliwie szczegółowego odwzorowania procesów zachodzących w warstwie glebowej do modelu należy wprowadzić dane glebowe o wysokim stopniu szczegółowości. W przypadku modelu ArcEGMO wszystkie dane począwszy od rodzaju gleby aż po podstawowe jej właściwości takie jak polowa pojemność wodna, przepuszczalność, porowatość ogólna oraz struktura profilu glebowego muszą zostać przygotowane dla całego obszaru transgranicznego z podobnym stopniem szczegółowości i jakości. Niestety dane o wysokim stopniu szczegółowości nie są dostępne dla obszarów transgranicznych. Dostępny Atlas Gleb Europy prezentujący rodzaje gleb w obszarze dorzecza Nysy Łużyckiej w skali 1:1 750 000, który jest niewystarczający do opracowania bilansu wodnego ze względu na zbyt małą szczegółowość skali. Informacje prezentowane w atlasie na temat typów gleb nie są odpowiednie, ponieważ do opracowania modelu bilansu wodnego niezbędne są dane dotyczące rodzajów gleb. Ze względu na brak transgranicznej dostępności informacji na temat rodzajów gleb zaistniała konieczność wykorzystania regionalnego materiału kartograficznego. Dla terenu Saksonii istnieje oficjalna mapa rodzajów gleb w skali 1:50 000 (BK50) zawierająca dane na temat profili glebowych. Ostatnia aktualizacja mapy została przeprowadzona w 2012 roku. Stopień szczegółowości mapy glebowej Saksonii jest wystarczający. Mapa zawiera wszystkie parametry gleby konieczne w procesie modelowania.

Dla polskiej części zlewni zebrano informacje szacunkowe, które uzyskano na podstawie zawartości map glebowo-rolniczych. Mapy te pozwoliły na określenie sposobów użytkowania gruntów rolnych. Dostępne mapy opierają się na danych zbieranych w skali 1:5000, ale nie zawierają danych glebowych w odniesieniu do gruntów leśnych. Mapy te zawierają m.in. informacje na temat rodzaju gleby wraz z odpowiednim profilem glebowym gruntów rolnych. Tak więc dla polskiej części zlewni dostępne są dane dotyczące rodzajów gleb dla terenów wykorzystywanych rolniczo, a brak jest danych dla obszarów leśnych. Powstałe w ten sposób luki uzupełniono wykorzystując inne dane glebowe.

Ramka 1: World Reference Base for Soil Resources

Światowa baza referencyjna zasobów glebowych (WRB) jest obowiązującym na całym świecie systemem klasyfikacji gleb, umożliwiającym regionalne i krajowe porównywanie i wymianę jednolitych informacji na temat gleb i ich właściwości. Została opracowana we współpracy wielu krajów i opublikowana w 1988 roku przez Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).

WRB definiuje gleby poprzez pojedyncze horyzonty i cechy diagnostyczne, np. gleby płowe: gleby z horyzontem iluwialnym (Argic). Klasyfikacja podzielona jest na dwa poziomy: Pierwszy poziom tworzą 32 grupy referencyjne (RSG), a drugi poziom tzw. qualifier (cechy). Dana gleba jest charakteryzowana według występowania i głębokości horyzontów, właściwości i materiałów diagnostycznych oraz przyporządkowywana zgodnie z kluczem do pierwszej pasującej RSG. Na drugim poziomie grupy gleb różnicuje się według ich cech.

Mapy glebowe wymagane były również do opracowania modelu dla południowej część zlewni leżącej na terenie Republiki Czeskiej, gdzie zlokalizowane są źródła Nisy Łużyckiej i górskich jej dopływów. Ze względu na brak danych glebowych z terenu Republiki Czeskiej dostępnych w formie cyfrowej w wysokiej rozdzielczości jak i niedostępność danych glebowych dotyczących terenów leśnych w Polsce w modelowaniu ARCEGMO wykorzystano Atlas Gleb Europy. Dodatkowym problemem obok niewielkiego stopnia szczegółowości oraz informacji jedynie o typach gleb zawartych w Atlasie Gleb Europy jest fakt, że systematyka gleb w atlasie została opracowana przy pomocy metodologii odmiennej od tej, jaką zastosowano w Saksonii. Systematyka gleb kategoryzuje gleby zgodnie z ich właściwościami nie uwzględniając genezy ich powstania. Znany i uznawany na świecie system klasyfikacji gleb World Reference Base for Soil Resources światowej organizacji FAO (WRB) wykorzystywany jest do transgranicznej wymiany informacji na temat gleb i ich właściwości ([↗ ramka 1](#)).

Ramka 2: Wytyczne dotyczące sporządzania map glebowych (KA)

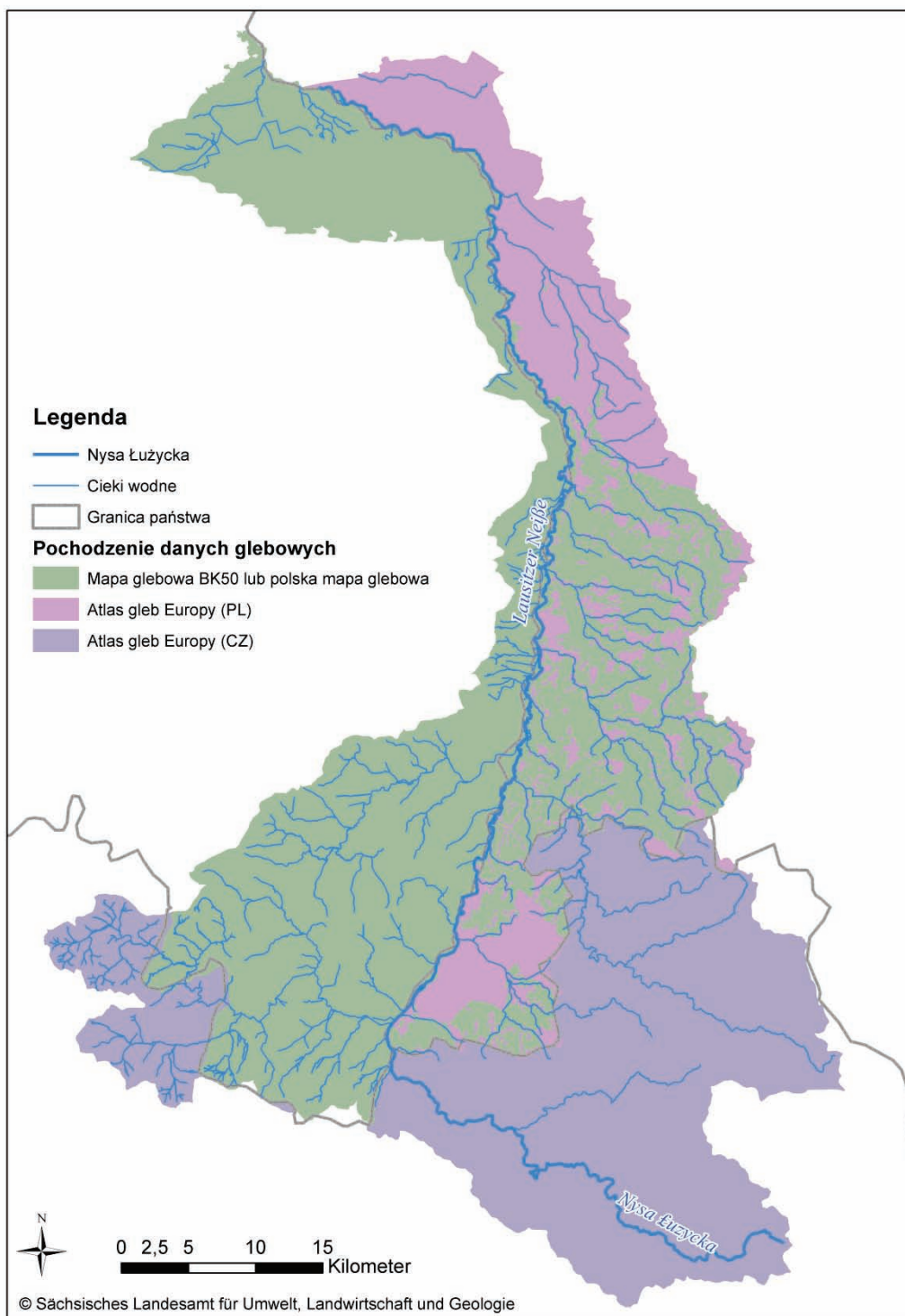
Wytyczne dotyczące sporządzania map glebowych (KA) zawierają obowiązujące w Niemczech zasady sporządzania opisów gleb. Obok wytycznych dotyczących sporządzania map glebowych dokument zawiera opis istotnych cech na potrzeby systematyki gleb oraz obszerne tabele z wartościami wskaźników.

Organem publikującym wytyczne (KA) jest Federalny Instytut Nauk Geologicznych i Surowców współpracujący z regionalnymi służbami geologicznymi krajów związkowych Republiki Federalnej Niemiec. Obecnie dostępne jest już na rynku 5 wydanie wytycznych (KA5).

W ramach systematyki niemieckiej gleby definiowane są przy pomocy pełnej struktury poziomów genetycznych gleby, np. gleba płowa: Ah/AI/Bt/Cv.

Mapa gruntów Saksonii BK50 sporządzona została jednakże w oparciu o niemiecki system klasyfikacyjny według wytycznych dotyczących sporządzania map glebowych z roku 2005 (KA5) ([↗ ramka 2](#)). W celu ujednoczenia materiału kartograficznego zawierającego dane glebowe dla całego obszaru zlewni typy gleb opisane w Atlasie Gleb Europy zostały zgodnie z systematyką KA5 przyporządkowane niemieckim typom gleb. W kolejnym kroku dane opisujące profile glebowe na mapie BK50 zostały przeniesione do odpowiednich typów gleby. Na podstawie dostępnych danych jednoznaczne przeformatowanie informacji zgodnie z wymogami klasyfikacji niemieckiej nie było możliwe. Przy transferze danych dla polskiej części zlewni, wykorzystano dane z mapy glebowo-

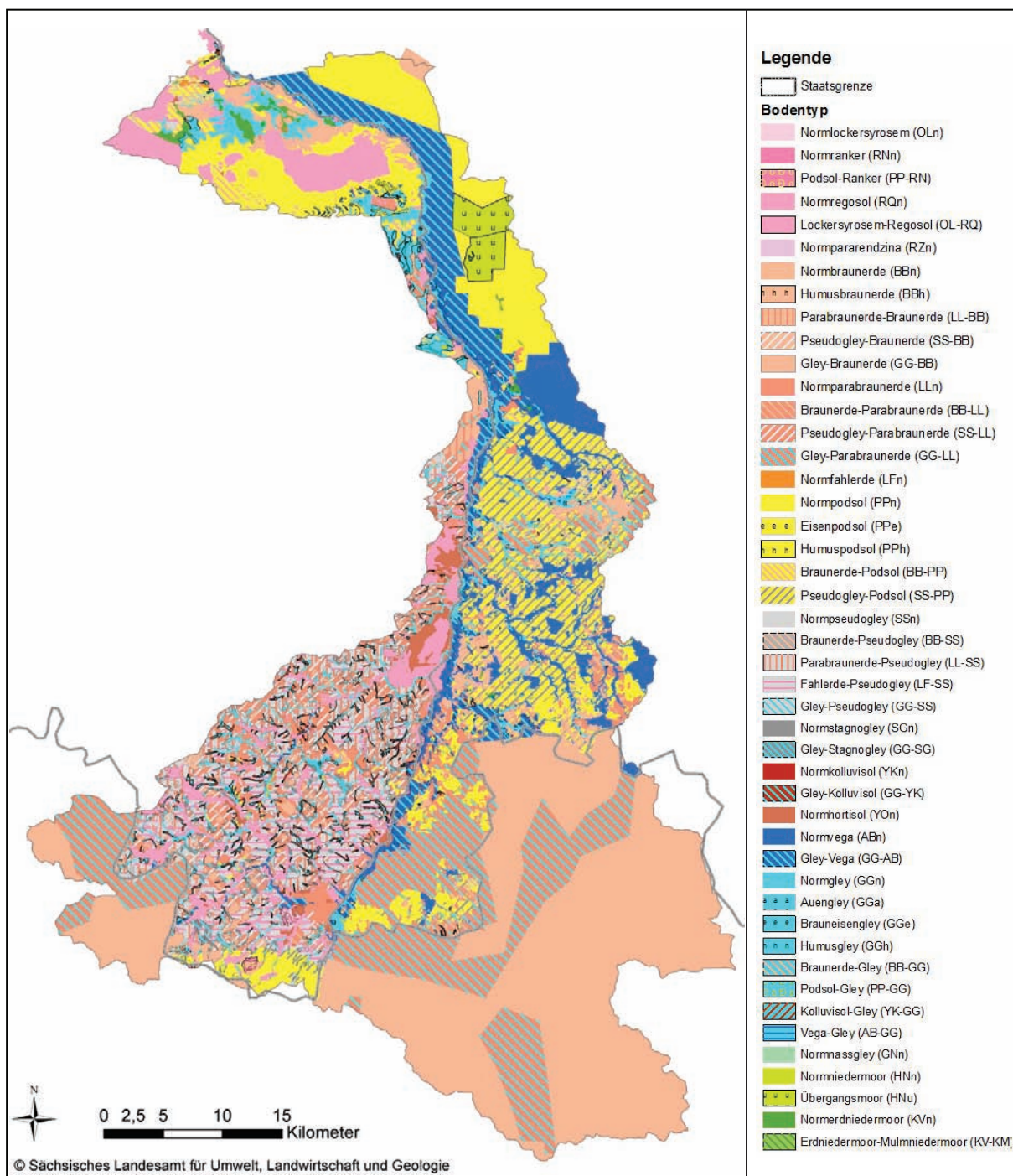
rolniczej zamiast danych z Atlasu gleb Europy dane z map rolniczych. W ten sposób stworzono transgraniczną mapę glebową zawierającą opisy gleby zgodne z mapą BK50, lecz bazujące na różnym źródłowym materiale kartograficznym (zob. rysunek 6).



Rysunek 6: Źródła danych glebowych

Opisana powyżej procedura zawiera pewne elementy ryzyka (np. wysoka rozdzielczość, przyporządkowanie typów gleb systematyki WRB do rodzajów gleb mapy BK50, przeniesienie

właściwości gleby z wytycznych KA5). Działanie to stanowiło jednakże jedyną możliwość opracowania wystarczających danych glebowych dla czeskiej i polskiej części zlewni. Na rysunku 7 przedstawiono transgraniczną mapę glebową opracowaną w oparciu o trzy źródła materiału kartograficznego.

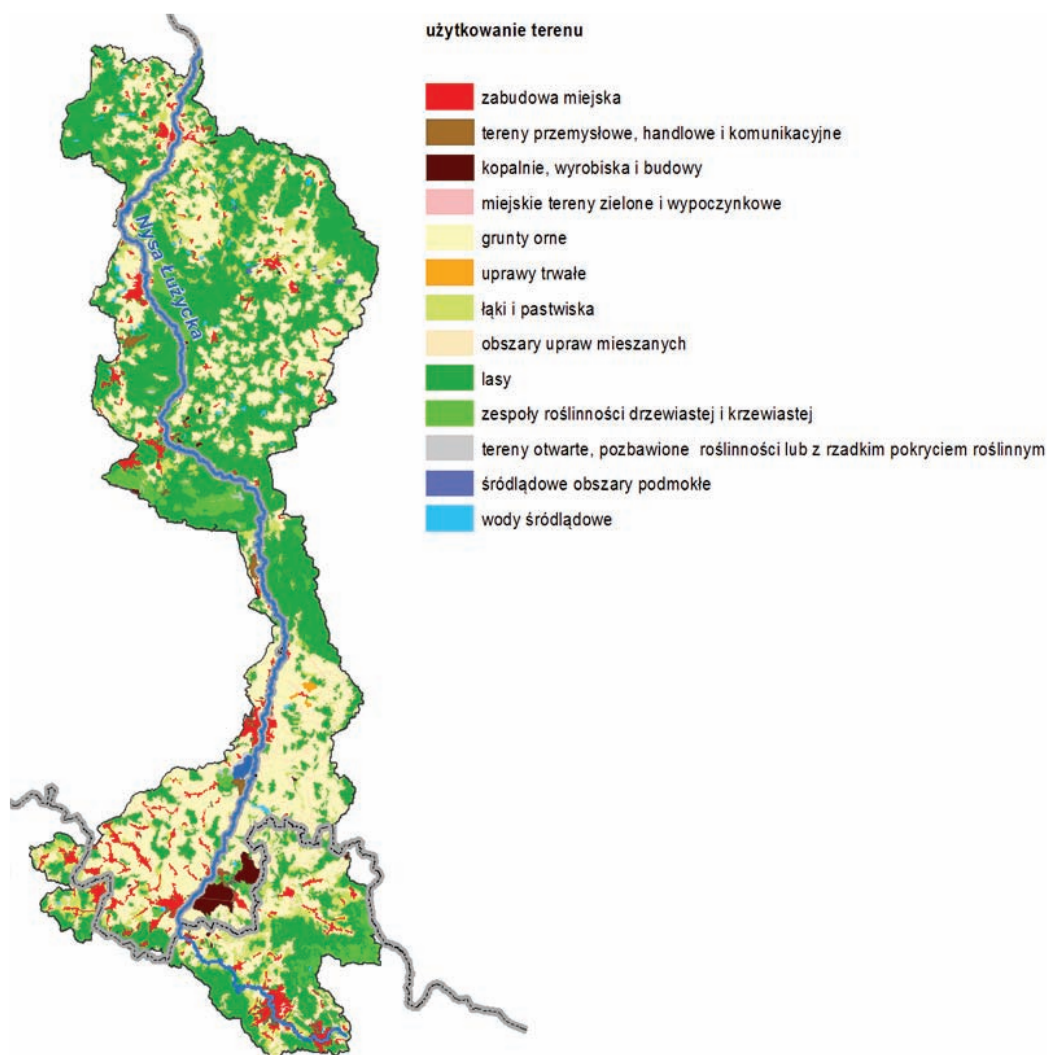


Rysunek 7: Transgraniczna mapa glebowa

Na mapie wyraźnie widoczne są różnice dotyczące stopnia szczegółowości danych glebowych. W oparciu o opis gleb można uzyskać konieczne informacje dotyczące rodzaju gleby, poziomów glebowych, przepuszczalności czy polowej pojemności wodnej potrzebnej do wykonania modelu w programie ArcEGMO.

Użytkowanie gruntu

Podobnie jak rodzaje gruntów, także sposób użytkowania terenu stanowi istotną informację zarówno w modelach MIKE NAM/BASIN jak i ArcEGMO. Odwzorowanie użytkowania terenu w modelach jest szczególnie ważne dla obliczania parowania jako istotnej składowej bilansu wodnego, dla kształtowania odpływów, czy też zawartości wilgoci we wzajemnie powiązanych zbiornikach, reprezentujących różne formy retencji (modele MIKE NAM/BASIN). System CLC stanowi więc dla zlewni Nysy Łużyckiej źródłowy materiał kartograficzny o zasięgu transgranicznym dostępny w skali 1:100 000. Rysunek 8 przedstawia użytkowanie gruntów na obszarze zlewni. Głównymi formami użytkowania gruntu na badanym obszarze są rolnictwo i leśnictwo (rolnictwo – 45,0%, leśnictwo - 43,6%). Dominującym typem gruntów w regionach górskich są grunty rolne, a na terenach nizinnych i w partiach szczytowych przeważają lasy iglaste. Lasy liściaste i mieszane występują w pojedynczych lokalizacjach na całym obszarze zlewni. Charakterystyczne dla wysuniętych partii szczytowych, głównie we wschodniej części zlewni są łąki i pastwiska. Poszczególne formy użytkowania gruntów charakteryzowane są przy pomocy typowych parametrów opisowych, które należy ustawić w modelach.



Rysunek 8: Formy użytkowania gruntów według CORINE Land Cover (CLC2000) (Federalny Urząd ds. Ochrony Środowiska, DLR-DFD 2004)

Hydrogeologia

Geologia i hydrogeologia badanego obszaru są bardzo skomplikowane. Na potrzeby modelowego odwzorowania bilansu wodnego przy użyciu programu ArcEGMO należało oszacować położenie zarówno płytkiego jak i głębokiego zwierciadła wód podziemnych. Położenie wód głębszego poziomu ma np. wpływ na procesy przesiąkania kapilarnego. W celu określenia położenia płytkiego i głębokiego zwierciadła wód podziemnych potrzebne są dane o głębokości zwierciadła wód podziemnych, pochodzące z punktowych sieci monitoringu. Ze względu na brak tego typu danych dla obszaru transgranicznego zaistniała konieczność skorzystania z map regionów polskich i saksońskich. Na podstawie zaznaczonych na mapach poziomów głębokości wód podziemnych wyznaczono położenie zarówno płytkiego jak i głębokiego zwierciadła wód podziemnych. W odniesieniu do czeskiej części zlewni położenie zwierciadła wód podziemnych ustalono metodą szacunkową przy pomocy cyfrowego modelu geologicznego (DGM) oraz sieci cieków wodnych, których doliny stanowią potencjalne obszary kontaktu wód powierzchniowych z podziemnymi.

Dane hydrologiczne

Pojęcie dane hydrologiczne obejmuje zarówno pomiary przepływów na wodowskazach oraz dane wodnogospodarcze takie jak wielkości poborów i zrzutów wód powierzchniowych i podziemnych. Ze względu na silny wpływ działalności związanej z górnictwem odkrywkowym i gospodarki wodnej na stan zlewni do opracowania możliwie dokładnego modelu bilansu wodnego potrzebnych jest wiele informacji dotyczących użytkowania wód, które należy wprowadzić do modeli MIKE NAM/BASIN oraz ArcEGMO. Wartości przepływów mierzone na wodowskazach wykorzystywane zostały do oceny jakości wyników modelowania.

W tabeli 1 przedstawiono charakterystyczne wartości przepływów średnich, średnich niskich i wysokich dla wodowskazów po stronie polskiej i niemieckiej. Z tabeli wynika wyraźnie, że wraz ze zwiększeniem się obszaru zlewni zwiększa się, zgodnie z oczekiwaniem, wartość przepływów średnich. W części przypadków wartości przepływów nie odzwierciedlają warunków naturalnych. Do zafałszowania pomiarów na wodowskazach przyczyniają się silne wpływy czynników antropogenicznych związanych z poborami i zrzutami wody na terenie zlewni. Fakt ten należy szczególnie uwzględnić podczas kalibracji modelu. Rysunek 9 pokazuje schematycznie położenie wodowskazów na terenie całej zlewni Nysy Łużyckiej aż po wodowskaz Guben2/Gubin. Na obszarze zlewni zlokalizowanych jest po stronie polskiej 11, a po stronie niemieckiej 20 wodowskazów. 5 wodowskazów niemieckich znajduje się na terenie Brandenburgii. Dane z wodowskazów brandenburskich wprowadzono jedynie do modelu polskiego, jako że obszar wspólnego projektu obejmuje z powodów przytoczonych już w rozdziale 1.1 jedynie tereny położone w Polsce i Saksonii. Kilka wodowskazów na Nysie Łużyckiej po stronie polskiej i niemieckiej mierzy przepływy na prawie tych samych odcinkach rzeki. Dane pomiarowe uzgadniane są na forum Komisji Wód Granicznych. Ciągi danych pomiarowych przepływów z tych wodowskazów są różnej długości. Większość danych dotyczy badanego okresu lat 1971-2010 i są to dane pomiarów dziennych. Ciągi danych sprawdzono pod względem jednorodności i spójności, a stwierdzone luki uzupełniono w oparciu o analizę regresyjną (rozdział 2.2). Rysunek 10 przedstawia wodowskazy wraz z obszarem objętym ich wskazaniem na obszarze badawczym wspólnego projektu. Przedstawione zlewnie określają strukturę wyników modelowania bilansu wodnego.

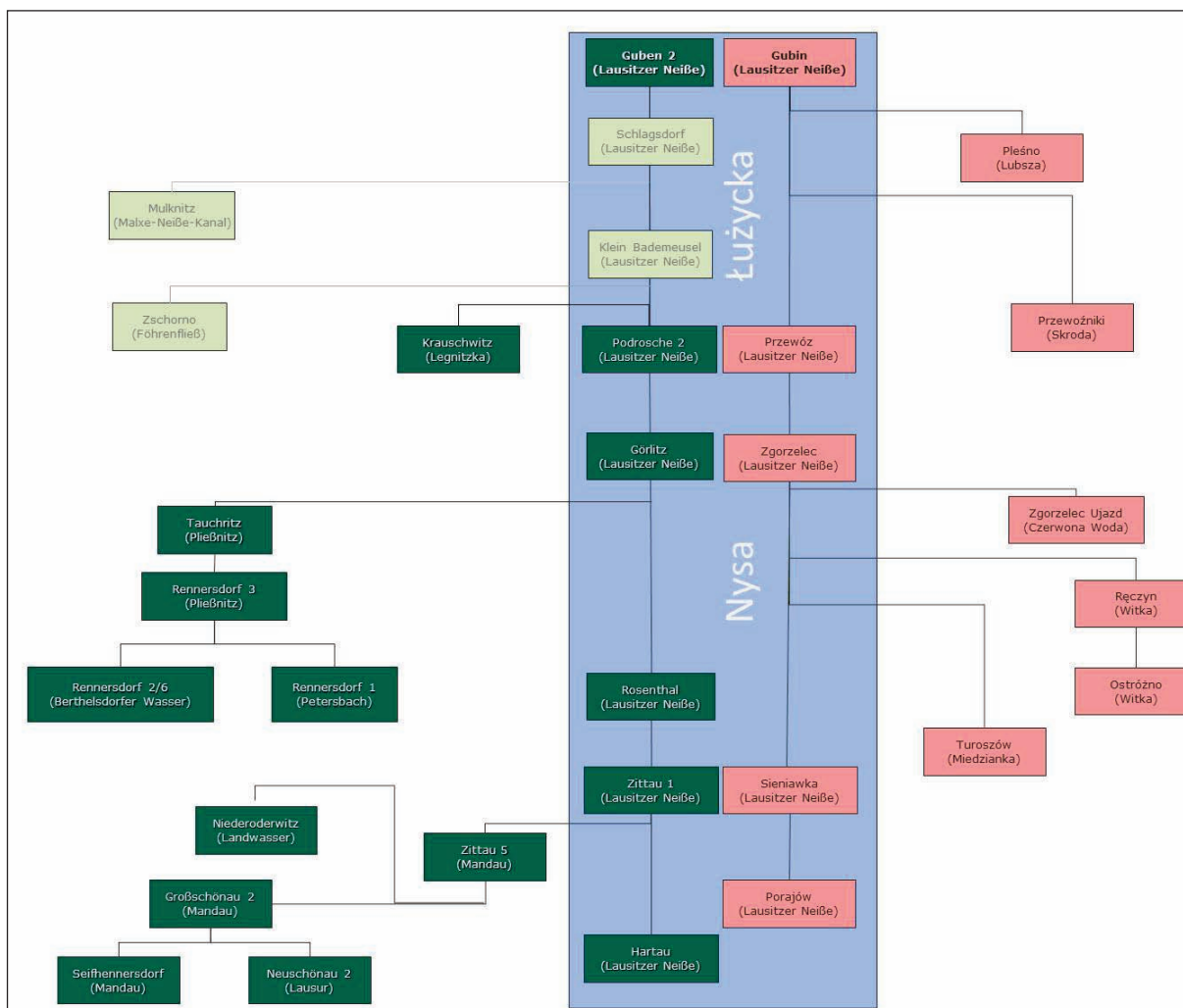
Tabela 1: Przepływy charakterystyczne na wodowskazach

wodowskaz	rzeka	obszar [km ²]	okres pomiarowy od - do	SQ [m ³ /s]	SNQ [m ³ /s]	SWQ [m ³ /s]
Hartau	Lausitzer Neiße	378	1958-2010	5,99	1,68	68,7
Porajów	Lausitzer Neiße	388	1971-2010	6,06	1,28	71,0
Neuschönau 2	Lausur	47	1986-2005	0,7	0,04	8,2
Großschönau 2	Mandau	162	1964-2010	2,14	0,47	44,6
Seifhennersdorf	Mandau	75	1968-2010	0,94	0,10	20,2
Zittau 5	Mandau	296	1913-2010	3,06	0,44	73,8
Zittau 1	Lausitzer Neiße	694	1956-2010	9,03	2,31	128
Sieniawka	Lausitzer Neiße	693	1956-2010	8,94	2,06	137
Niederoderwitz 3	Landwasser	29	1987-2010	0,27	0,05	12,2
Turoszów	Miedzianka	72	1971-2010	0,83	0,13	10,5
Rosenthal	Lausitzer Neiße	879	1958-2010	10,6	3,08	123
Rennersdorf 1	Petersbach	63	1961-2010	0,44	0,09	15,5
Rennersdorf 2	Berthelsdorfer W.	13	1961-2010	0,13	0,04	4,7

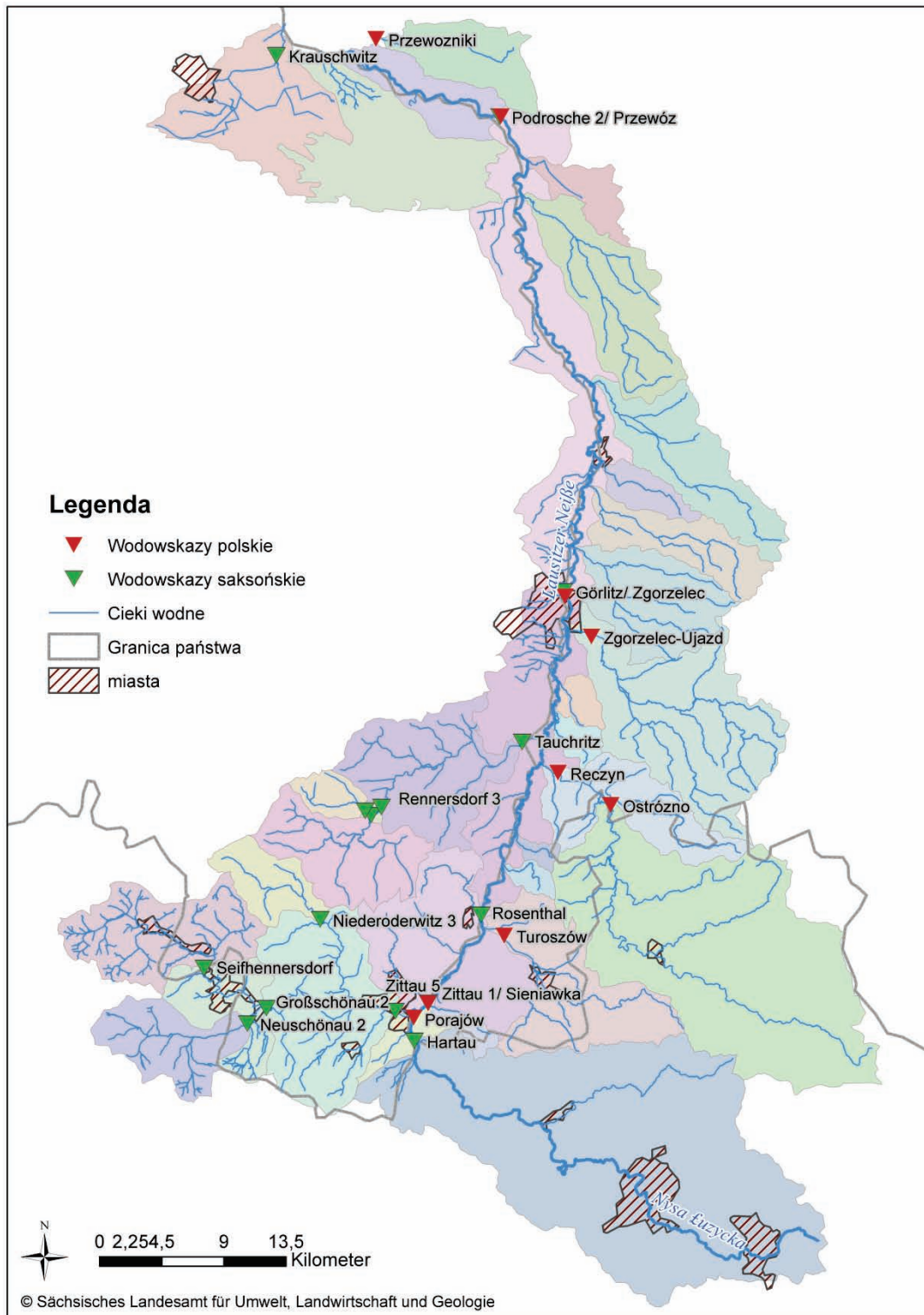
Rennersdorf 3	Pließnitz	78	1967-2010	0,55	0,18	11,0
Ostroszno	Witka	266	1966-2010	4,26	0,67	72,6
Reczyn	Witka	318	1971-2010	3,52	0,33	98,9
Tauchritz	Pließnitz	63	1965-2010	1,12	0,35	29,4
Zgorzelec Ujazd	Czerwona Woda	127	1961-2010	0,79	0,17	12,8
Görlitz	Lausitzer Neiße	1633	1913-2010	17,2	4,92	181
Zgorzelec	Lausitzer Neiße	1630	1913-2010	15,5	3,47	180
Podrosche 2	Lausitzer Neiße	2074	1985-2010	17,4	5,27	154
Przewóz	Lausitzer Neiße	2108	1985-2010	19,3	5,43	185
Krauschwitz	Legnitzka	73	1980-2010	0,23	0,09	0,79
Gubin	Lausitzer Neiße	4080	1971-2010	28,8	9,27	179

Zlewnia charakteryzuje się silnym parowaniem, niewielkim odpływem powierzchniowym, wysokim stopniem przesiąkania wody oraz średnim zasilaniem wód podziemnych. Na skutek działalności górniczej w lokalizacjach Turów, Jänschwalde, Reichwalde i Nochten następuje sztuczne obniżenie poziomu wód podziemnych związane z odpompowywaniem wody z terenów kopalń. Woda ta jest następnie wprowadzana bezpośrednio do wód powierzchniowych na obszarze zlewni lub poza nią. Nieczynne kopalnie odkrywkowe jak np. jeziora Berzdorfer See i Olbersdorfer See wpłynęły na bilans wodny. Poprzez zalanie wyrobisk wodami powierzchniowymi doszło do ponownego podniesienia się lustra wód podziemnych. Duży wpływ wywołują również pozostali użytkownicy którzy pobierają wodę z wód powierzchniowych i podziemnych nie odprowadzając odpowiedniej ilości wody do tych zbiorników. Ponadto czynne budowle hydroenergetyczne zmieniają bieg rzeki na niewielkim jej odcinku przyczyniając się tym samym do zmiany reżimu hydrologicznego w rejonie hydrowęzłów. Należy również pamiętać o zachowaniu ustalonych przepływów nienaruszalnych w pobliżu tych budowli oraz odpowiedniej implementacji tych użytkowników w modelu. Wszystkie opisane powyżej formy użytkowania wód wpływają na łączny bilans wodny i muszą zostać uwzględnione w ramach modelowania hydrologicznego. W zlewni działa wielu użytkowników, których jednakże nie można w całości uwzględnić w modelu. W przypadku małych i prywatnych użytkowników wielkość poborów i zrzutów często nie jest znana a użytkownicy ci mają jedynie nieznaczny wpływ na bilans wodny. W celu ograniczenia liczby użytkowników w modelu uwzględniono jedynie tych użytkowników, których wielkość poboru lub zrzutu wody przekracza 10 l/s. Na rysunku 11 przedstawiono odcinki rzek, na których zlokalizowani są użytkownicy wód powierzchniowych oraz ujęcia wód podziemnych uwzględnione w modelu. Użytkownicy zlokalizowani są po stronie polskiej głównie na rzekach, podczas gdy po stronie saksońskiej większość użytkowników korzysta z wód podziemnych. Z ilustracji nie można odczytać wielkości poborów lub zrzutów, gdyż na potrzeby opracowania modelu dane użytkowników w danej lokalizacji zostały zsumowane. W przypadku elektrowni wodnych zlokalizowanych na Nysie Łużyckiej jako wartości referencyjne w modelu wykorzystano zawarte w pozwoleniach wodnoprawnych wysokości przepływów nienaruszalnych.

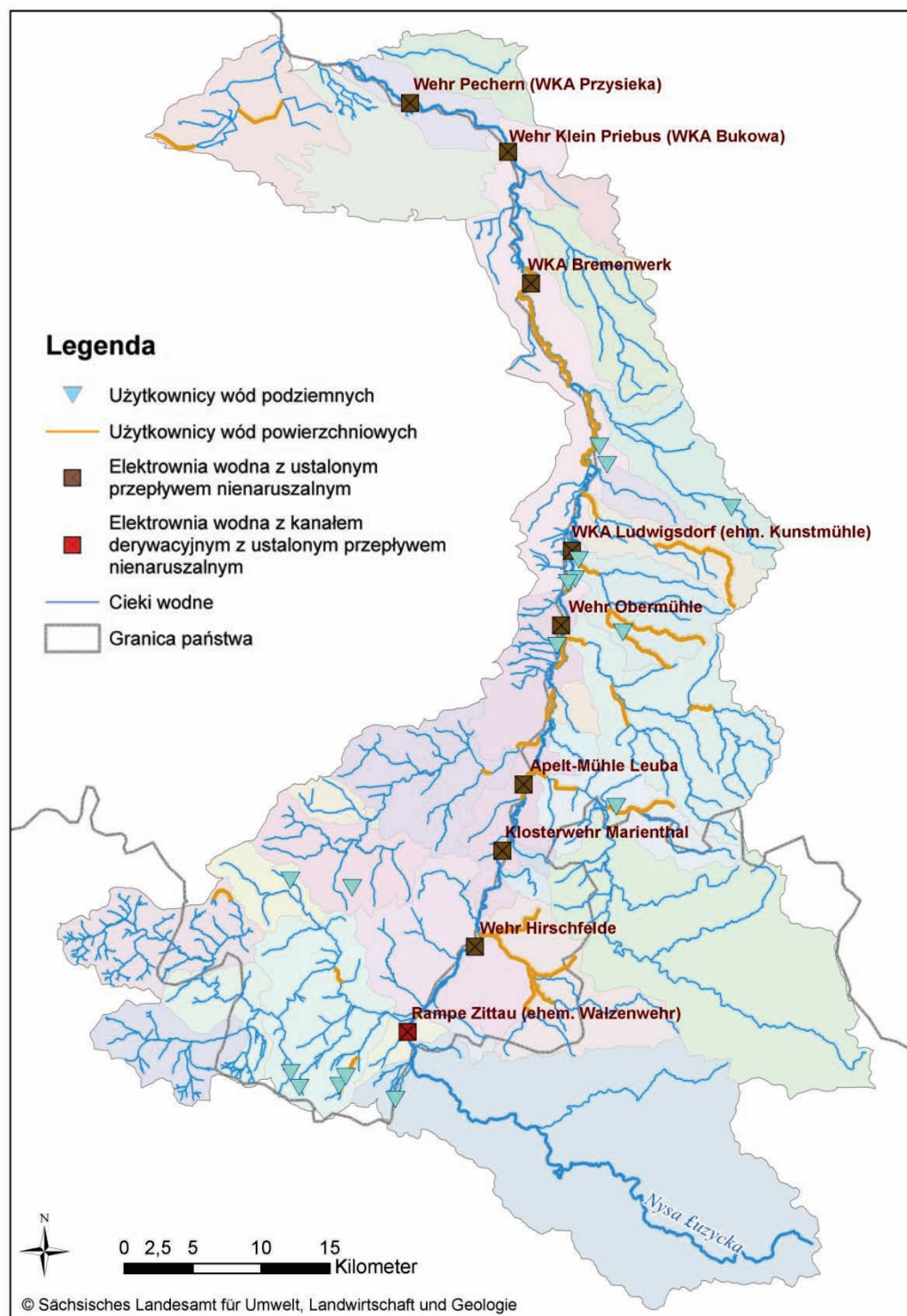
Dostępne są ponadto podstawowe dane hydrologiczne z 96 niemieckich punktów pomiarowych wód podziemnych za okres 1971- 1986. Z 96 punktów pomiarowych 63 zlokalizowane są w okolicach Zittau i stanowią część systemu pomiarowego dla potrzeb górnictwa odkrywkowego. Po stronie polskiej istnieje 109 punktów pomiarowych. Głębokość zwierciadła wód podziemnych (określona na podstawie Mapy Hydrograficznej Polski w skali 1:50 000) waha się od 5 do 10 m p.p.t.



Rysunek 9: Schemat rozmieszczenia wodowskazów na Nysie Łużyckiej (ciemnozielonym kolorem zaznaczono wodowskazy sasko-polskie, na czerwono wodowskazy polskie, a kolorem jasnozielonym wodowskazy brandenburskie)



Rysunek 10: Wodowskazy i zlewnie na terenie obszaru objętego projektem

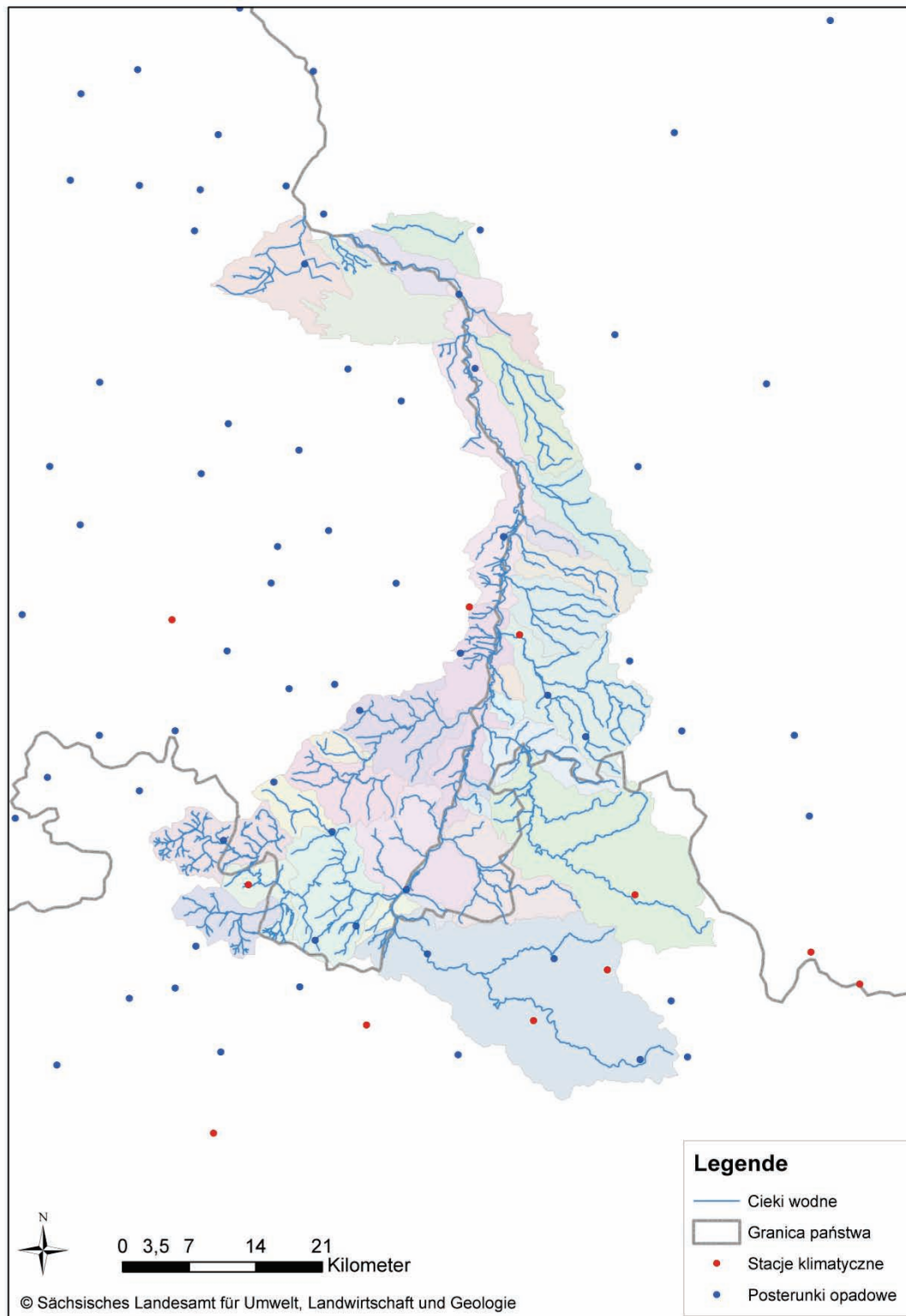


Rysunek 11: Wybrani użytkownicy wód powierzchniowych i podziemnych w zlewni

Dane meteorologiczne

W procesie modelowania bilansu wodnego niezbędne są również dane meteorologiczne. Podstawowymi danymi w przypadku większości modeli hydrologicznych są opady i temperatura powietrza. Do modelowania mogą być również potrzebne dane dotyczące promieniowania bezpośredniego (uśłonecznienia), wilgotności względnej powietrza oraz prędkości wiatru, które

pozwalają wyznaczyć np. parowanie. Wspomniane elementy meteorologiczne są mierzone na stacjach meteorologicznych i opadowych (Rysunek 12). Na stacjach meteorologicznych wykonywany jest pełny zakres pomiarów, a na stacjach opadowych mierzone są tylko opady atmosferyczne.



Rysunek 12: Stacje klimatyczne i opadowe na terenie zlewni i w jej okolicy

W zlewni Nysy Łużyckiej zlokalizowanych jest jedynie 6 stacji meteorologicznych oraz 17 opadowych. Gęstość sieci stacji meteorologicznych nie jest wystarczająca do pełnej oceny warunków klimatycznych na obszarze analiz i tym samym do określenia stanu bilansu wodnego. W związku z tym zdecydowano się na włączenie do modelu stacji położonych w otoczeniu zlewni. Jedną z najważniejszych danych wejściowych w procesie modelowania bilansu wodnego jest opad atmosferyczny wpływający w znaczącym stopniu (poza parowaniem) na wielkość zasobów wodnych. W celu dokonania możliwie pewnej oceny bilansu wodnego należy przeprowadzić korektę zmierzonych opadów atmosferycznych. Różnego rodzaju czynniki wpływające na pomiar opadów takie jak: wiatr, parowanie czy zwilżenie przyrządu, powodują powstanie błędów pomiarowych, które należy skorygować. Richter opracował procedurę korekty opadów mierzonych deszczomierzem Hellmanna (Richter 1995), która minimalizuje wspomniane błędy pomiarowe i zwiększa wielkość mierzonego opadu o określoną wartość. Opady atmosferyczne poddano korekcie, zarówno dane obserwacyjne oraz z projekcji klimatycznych. Szczegóły procedury zostały w tym miejscu pominięte. Wszystkie dane meteorologiczne obejmowały wielolecie 1971-2010. Przygotowanie i sposób weryfikacji danych przedstawiono w pierwszej broszurze projektu NEYMO „Nysa Łużycka – klimat i charakterystyka regionu”. Do opracowania możliwych w przyszłości scenariuszy zmian bilansu wodnego potrzebne są obok danych obserwacyjnych również dane uzyskane z projekcji klimatu (→ ramka 3). Przy pomocy modelu klimatycznego WETTREG2013 przygotowano dla wszystkich stacji projekcje klimatu dla okresu 1971-2100. Wynikiem symulacji jest 50 realizacji klimatycznych dla różnych scenariuszy. Dalsze informacje na temat projekcji klimatu znaleźć można w 1 broszurze projektu NEYMO. Sposób wyboru pięciu projekcji klimatu opisano w kolejnym rozdziale.

Ramka 3: Projekcje klimatu (cytat z 1 broszury projektu NEYMO „Nysa Łużycka klimat i charakterystyka regionu“)

„W celu określenia przewidywanych zmian klimatu na badanym obszarze wykorzystano regionalny model klimatu WETTREG (wersja: WR13_v02).

Model WETTREG wykorzystuje wiązkę scenariuszy modeli GCM. W ramach projektu zdecydowano się na wykorzystywane w Hamburgu modele GCM: ECHAM5 oraz MPI---ESM---LR. ECHAM5 był już z powodzeniem wielokrotnie stosowany do opracowywania prognoz dla Europy Środkowej. Aktualny model znany pod nazwą MPI---ESM---LR dostarcza w odniesieniu do Saksonii bardziej wiarygodnych danych niż pozostałe uznane na forum międzynarodowym modele takie jak HAD czy MIROC. Do prognozowania emisji lub koncentracji gazów cieplarnianych wybrano z jednej strony scenariusz A1B SRES, który daje możliwość porównania z licznymi pracami z zakresu zmian klimatu i ich skutków w Niemczech i Europie. Z drugiej zaś strony uwzględniono, podążając za obecnym podejściem zespołu IPCC, scenariusze koncentracji RCP. W celu pokazania przedziału rozbieżności przyszłych zmian zalecane jest wykorzystanie co najmniej scenariuszy RCP 2.6 oraz RCP 8.5. Scenariusz RCP 2.6 określa warunki atmosferyczne przy założeniu osiągnięcia celu, jakim jest ograniczenie globalnego ocieplenia do końca XXI wieku poniżej 2 stopni w odniesieniu do poziomu sprzed epoki przemysłowej. W międzyczasie odnotowuje się już wzrost temperatury o ponad 2 stopnie. W ramach scenariusza RCP 8.5 zakłada się znaczny wzrost liczby ludności i dalsze zwiększenie emisji gazów cieplarnianych. W ramach projektu NEYMO wykorzystano następującą wiązkę modeli i scenariuszy:

- ECHAM5 MPI---OM A1B, przebieg 1 (“A1B”)
- MPI---ESM---LR RCP 2.6, przebieg 1 (“RCP 2.6”)
- MPI---ESM---LR RCP 8.5, przebieg 1 (“RCP 8.5,L1”)
- MPI---ESM---LR RCP 8.5, przebieg 2 (“RCP 8.5,L2”)
- MPI---ESM---LR RCP 8.5, przebieg 3 (“RCP 8.5,L3”)

Z uwagi na fakt, iż na potrzeby analizy wybrano tylko niektóre modele, nie obejmują one całego przedziału możliwych przebiegów oraz niepewności z nimi związanych.”

1.5. Wybór projekcji klimatycznych na potrzeby modelowania bilansu wodnego

Wpływ elementów klimatu na kształtowanie się przepływów w obszarze zlewni przy uwzględnieniu charakterystyki terenu (gleba, użytkowanie gruntów, itp.) można określić tylko przy pomocy modelu hydrologicznego. W celu sprostania wymogom podejścia wykorzystującego wiązkę scenariuszy oraz określenia przepływów (oraz składowych przepływów) z uwzględnieniem symulowanych warunków klimatycznych konieczne byłoby, z merytorycznego punktu widzenia, przeprowadzenie modelowania hydrologicznego w odniesieniu do wszystkich 50 realizacji. Nakład pracy związany z wykonaniem symulacji modelu bilansu wodnego i opracowaniem wyników dla wszystkich 50 realizacji klimatycznych (dziesięć realizacji dla pięciu scenariuszy) jest ogromnym przedsięwzięciem pod względem obliczeniowym, a więc i bardzo czasochłonnym. W celu zaprezentowania możliwego przebiegu zmian bilansu wodnego do roku 2100 kierownictwo projektu zdecydowało w związku z powyższym o wyborze pięciu scenariuszy, które określają wachlarz projekcji („mokre”, „normalne”, „suche”; ↗ ramka 4). Problem stanowił wybór metody doboru scenariuszy. Celem modelowania jest odniesienie się do istotnych w przyszłości okresów, wybór znaczących czynników wpływających na kształtowanie się procesów hydrologicznych itp. Centralnym elementem projektu jest bilans wodny, który w regionie narażony jest na działanie czynników antropogenicznych związanych z górnictwem odkrywkowym węgla brunatnego. Wyboru pięciu realizacji dokonano więc na podstawie klimatycznego bilansu wodnego (KBW) oraz wskaźnika standaryzowanego opadu (SPI). Ze względu na brak „poprawnej” metody wyboru realizacji, zdecydowano o wyborze trzech realizacji („suche”, „normalne”, „mokre”) w ramach scenariusza A1B w oparciu o Standardized Precipitation Index (SPI) oraz dwóch realizacji („suche”, „mokre”) scenariusza RCP posługując się jako wskaźnikiem klimatycznym bilansem wodnym (KBW). Obydwa wskaźniki określono dla okresu 2011-2100, dla letniego i zimowego półrocza hydrologicznego. W kolejnych podrozdziałach opisano procedurę wyboru realizacji w oparciu o obydwa wspomniane wskaźniki KBW i SPI.

Ramka 4: „mokre”, „normalne” i „suche”

Określeń „mokre”, „normalne” i „suche” należy używać dość rozważnie. Różnice wartości wskaźników statystycznych (np. wartości średnich) w poszczególnych realizacjach danych scenariuszy nie są zbyt duże. Jednakże cechy te zmieniają się w okresach czasowych (np. dekada) w wieloleciu objętym daną realizacją. Dokonując porównania wieloleci w różnych realizacjach może okazać się, że np. realizacja 1 wykazuje w 6 dekadzie (2021-2030) najwyższą sumę opadów, co czyni ją okresem „najbardziej mokrym”. W realizacji 7 „najbardziej mokrym” okresem jest jednakże dekada 10 (2071-2080). Oznacza to, że realizacja określana jako „mokra” jest wprawdzie najbardziej mokra pod względem wartości średnich występujących w całym wieloleciu, lecz mogą w niej również występować najdłuższe lub najczęstsze okresy suche. Realizacja uznawana ogólnie za „suchą” może za to również wykazywać okresy bardzo mokre.

Klimatyczny bilans wodny

Dla półrocza letniego i zimowego każdego roku hydrologicznego w okresie 2011-2100 obliczono wartości KBW i SPI. KBW może zostać wykorzystany jako wskaźnik ponieważ uwzględnienia kilka zmiennych klimatycznych (opad atmosferyczny i potencjalne parowanie). Z powodu braku dostępności danych, KBW został obliczony jedynie dla dziewięciu stacji. W celu wykorzystania KBW jako podstawy do wyboru realizacji posłużono się następującą procedurą: w pierwszym kroku dla

okresu referencyjnego 1971-2000 na podstawie danych klimatycznych pochodzących z symulacji obliczono wartości percentyli 5 %, 20 %, 80 % i 95 %. W celu ustalenia „najbardziej suchej” realizacji dla okresu 2011-2100, określono częstość wartości KBW poniżej percentyla 5 %, osobno dla półrocza letniego i zimowego. „Mokrą” realizację ustalono wyliczając przekroczenia wartości KBW powyżej percentyla 95 % w obydwu półroczach. Realizacje „normalne” to realizacje mieszczące się w przedziale od 20 % do 80 % percentyla. Wynikiem zastosowanej procedury jest częstość występowania warunków „suchych”, „normalnych” i „mokrych” dla wszystkich stacji i realizacji. Zestawienie części wyników przedstawiono w Tabeli 2. W utworzonym rankingu np. w realizacji MPI-ESM-LR RCP26-COTTBUS_R01.kli w półroczu letnim wystąpiło 11 okresów suchych. W związku z tym, że jest to maksymalna wartość dla realizacji MPI-ESM-LR RCP26-COTTBUS_R01.kli przypisano jej więc rangę 1. W kolejnym kroku zsumowano wszystkie punkty rankingowe każdej realizacji (R00 do R09) dla wszystkich stacji. Sumy punktów rankingowych w jednej realizacji różnią się w większości przypadków w odniesieniu do półrocza letniego i zimowego. W celu wyboru realizacji do procedury wprowadzono element wartościujący, zakładając, że miarodajne dla pożądanej realizacji „suchej” będą raczej warunki panujące w półroczu letnim. Z tego względu punkty rankingowe przyznane dla półrocza letniego były przy wyborze realizacji „suchej” uwzględniane z wagą 0,7, a dla półrocza zimowego z wagą 0,3. W procesie wyboru realizacji „mokrej” półrocze zimowe było uwzględniane z wagą 0,7, a letnie z wagą 0,3. Realizacje normalne otrzymują każdorazowo wagę 0,5.

Tabela 2: Zestawienie wyników częstości występowania warunków „suchych”, „normalnych” i „mokrych” dla półrocza letniego na podstawie KBW dla stacji Cottbus (scenariusz RCP26)

	częstość			ranga		
	suche	normalne	mokre	suche	normalne	mokre
MPI-ESM-LR RCP26-COTTBUS_R00.kli	7	38	1	4	8	2
MPI-ESM-LR RCP26-COTTBUS_R01.kli	<u>11</u>	42	0	<u>1</u>	6	6
MPI-ESM-LR RCP26-COTTBUS_R02.kli	7	42	0	4	6	6
MPI-ESM-LR RCP26-COTTBUS_R03.kli	8	38	1	2	8	2
MPI-ESM-LR RCP26-COTTBUS_R04.kli	4	45	0	7	3	6
MPI-ESM-LR RCP26-COTTBUS_R05.kli	3	43	0	8	5	6
MPI-ESM-LR RCP26-COTTBUS_R06.kli	6	37	<u>2</u>	6	10	<u>1</u>
MPI-ESM-LR RCP26-COTTBUS_R07.kli	8	44	1	2	4	2
MPI-ESM-LR RCP26-COTTBUS_R08.kli	3	46	1	8	2	2
MPI-ESM-LR RCP26-COTTBUS_R09.kli	3	<u>57</u>	0	8	<u>1</u>	6

Wskaźnik standaryzowanego opadu

Obok procedury wyboru projekcji w oparciu o wskaźnik KBW opracowano również metodę wykorzystującą wskaźnik SPI. Wskaźnik SPI służy głównie do identyfikacji okresów suchych i mokrych. Zaletą tej metody jest możliwość porównywania wysokości opadów w różnych warunkach klimatycznych i w odniesieniu do różnych skal czasowych. Klasyfikacja wartości wskaźnika SPI wg McKee (1993) pozwala określić warunki opadowe w skali od ekstremalnie mokrych do ekstremalnie suchych (Tabela 3). Do wyboru trzech realizacji w ramach scenariusza A1B w oparciu o wskaźnik SPI zastosowano następującą procedurę:

1. Obliczenie wartości wskaźnika SPI na podstawie miesięcznych danych opadowych dla wszystkich stacji z wykorzystaniem różnych skal czasowych (sześć i dwanaście miesięcy) oraz wszystkich realizacji projekcji klimatycznych w okresie od 2011 do 2100. Analizie poddano następujące wartości:
 - wskaźnik SPI6 dla października: dostarcza informacji o opadach w letnim półroczu hydrologicznym (maj – październik), których sumy wpływają na wielkości zasobów dyspozycyjnych wody istotnych dla rolnictwa i gospodarki leśnej,
 - SPI6 dla kwietnia: dostarcza informacji o opadach w zimowym półroczu hydrologicznym (listopad – kwiecień), istotnych dla zasilania wód podziemnych,
 - SPI12 dla października: dostarcza informacji o opadach w ostatnim roku hydrologicznym, istotnych dla określenia zasobów wodnych (odpływ, stan zbiorników, poziom wód podziemnych),
 - SPI12 dla kwietnia: dostarcza informacji o opadach w ostatnich 12 miesiącach, istotnych również dla określenia zasobów wodnych (odpływ, stan zbiorników, poziom wód podziemnych).
2. Analiza częstości występowania wartości wskaźników SPI6 i SPI12 dla trzech kategorii (Tabela 3):
 - <-1,5 (warunki bardzo suche i ekstremalnie suche),
 - -0,99-0,99 (warunki normalne),
 - >1,5 (warunki bardzo mokre i ekstremalnie mokre).
3. Analiza częstości występowania okresów „suchych“, „normalnych“ i „mokrych“ dla wszystkich stacji i realizacji w okresie 2011 – 2100.

Tabela 3: Klasyfikacja wartości wskaźnika SPI według McKee (1993)

wartości wskaźnika SPI	kategorie
> 2,0	ekstremalnie mokre
1,50 do 1,99	bardzo mokre
1,00 do 1,49	umiarkowanie mokre
-0,99 do 0,99	normalne
-1,00 do -1,49	umiarkowanie suche
-1,50 do -1,99	bardzo suche
< -2,0	ekstremalnie suche

Na podstawie wyników obliczonych dla KBW i wskaźnika SPI wybrano pięć realizacji:

- A1B – „sucha“: A1B, R01
- A1B – „normalna“: A1B, R06
- A1B – „mokra“: A1B, R04
- RCP – „sucha“: RCP85.3, R09
- RCP – „mokra“: RCP85.2, R05

Należy w tym miejscu zaznaczyć, że np. określenie realizacja „sucha“ odnosi się do całego badanego okresu (2011-2100). Nie można zatem wykluczyć, że realizacja ta zawiera również okresy wilgotne, co potwierdza zasadniczą trudność związaną z dokonaniem opisanego wyboru. Odpowiedzi na pytanie,

czy wybrane realizacje klimatyczne na podstawie powyższych założeń doprowadzą do pożądaných reakcji hydrologicznych (jak okresy suszy hydrologicznej), udzieli modelowanie bilansu wodnego (rozdział 4).

2

Charakterystyka uwarunkowań
hydrologicznych na podstawie
danych pomiarowych

2. Charakterystyka uwarunkowań hydrologicznych na podstawie danych pomiarowych

2.1. Informacje ogólne

Przed rozpoczęciem oceny i klasyfikacji oczekiwanych w przyszłości zmian reżimu przepływów w zlewniach w oparciu o projekcje klimatyczne należy szczegółowo zbadać strukturę przepływów w badanym okresie. W tym kontekście należy uwzględnić zmiany wartości pomiarów meteorologicznych, co pozwoli zidentyfikować ewentualne zmiany w stosunku opad-odpływ spowodowane działalnością człowieka. Do identyfikacji długofalowych trendów potrzeba możliwie długich, nieprzerwanych i bezbłędnych ciągów hydrologicznych danych pomiarowych, które należy sprawdzić pod względem wiarygodności i jednorodności. Do kontroli wiarygodności ciągów danych dotyczących przepływów wykorzystuje się m.in. ciągi danych pomiarowych elementów klimatycznych, opad atmosferyczny i temperatura na terenie zlewni, do której odnoszą się wskazania danego wodowskazu. Spójność ciągu danych można sprawdzić wizualnie jak i przy pomocy metod statystycznych. Przykładowo odchylenie w stosunku do długoterminowego trendu przedmiotowego ciągu danych stanowi zauważalną optycznie niespójność, którą należy zweryfikować przy pomocy metod statystycznych. Jeżeli wynik wykaże niespójność ciągu stosuje się procedury homogenizacji danych. Jako okres pozyskiwania danych obserwacyjnych przyjęto lata 1971-2000. Dla potrzeb analizy trendów kształtowania się przepływów w przeszłości oraz do identyfikacji istotnych trendów w strukturze przepływów części zlewni objętych pomiarami wodowskazowymi analizie poddano pomiary przepływów w latach 1971 do 2000. Dane dotyczące przepływów w całym badanym okresie nie są dostępne na wszystkich wodowskazach zlokalizowanych na obszarze objętym modelowaniem. Brakujące wartości i większe luki w ciągach danych można uzupełnić zachowując odpowiednią jakość danych przy pomocy metod regresyjnych wykorzystujących ciągi danych z sąsiednich wodowskazów.

2.2. Analiza hydrologiczna

2.2.1. Kontrola danych

Jak już zauważono powyżej w zlewni Nisy Łużyckiej pomiarów przepływu dokonuje się na 20 niemieckich i 11 polskich wodowskazach. W zlewni rzecznej Nisy Łużyckiej zlokalizowanych jest 15 wodowskazów, z których 12 dostarcza danych wykorzystywanych w badaniach i analizach reżimu przepływu. Dane dostępne z wodowskazów Krauschwitz, Neuschönau 2 i Zittau 3 nie są wystarczające na potrzeby analizy hydrologicznej. Jakość współczynników uzyskanych przy pomocy metod regresji danych jest zbyt niska, aby mogła zostać wykorzystana do uzupełnienia dostępnych danych, wobec czego wymienione trzy wodowskazy nie będą uwzględniane w toku dalszych badań. Po stronie polskiej 9 z łącznej liczby 11 wodowskazów zlokalizowanych jest w zlewni Nisy Łużyckiej

na obszarze objętym modelem ArcEGMO (Rysunek 2), co pozwala na ich uwzględnienie w analizie. W tabeli 1 przedstawiono podstawowe wartości charakteryzujące wybrane wodowskazy zlokalizowane na Nysie Łużyckiej oraz monitorowane przez nie części zlewni. Pomiar dokonywane na wodowskazach różnią się pod względem średnich rocznych przepływów proporcjonalnie do przyrostu zlewni. Na podstawie zależności pomiędzy średnimi rocznymi przepływami i wysokością terenu wodowskazy można pogrupować według reżimu przepływów i piętra wysokościowego w obszary zlewni położone na wyższych piętrach wysokościowych (>350 m n.p.m.) i obszary położone na niższych piętrach wysokościowych (<350 m n.p.m.). Położenie wszystkich wodowskazów na badanym terenie przedstawia mapa zamieszczona na rysunku 5.

Kontrola wiarygodności danych

Wiarygodność ciągów danych dotyczących przepływów została sprawdzona z uwzględnieniem uwarunkowań związanych z użytkowaniem wód (pobory, zrzuty, transfery) w odniesieniu do każdego obszaru objętego pomiarem danego wodowskazu przy pomocy pomiarów elementów klimatycznych (ciekły i stały opad atmosferyczny, temperatura) przeprowadzonych na danym obszarze. Kontrola wizualna przeprowadzana przy pomocy powiązanych ze sobą w sposób przyczynowy wartości opadu i odpływu służy do identyfikowania ekstremalnych wartości w ciągach danych dotyczących przepływu. Przeprowadzono ponadto wizualne porównanie przebiegu krzywej stanów zarejestrowanych na sąsiednich wodowskazach. Zidentyfikowane wartości niewiarygodne lub błędne zostały usunięte z ciągu danych. Powstałe w ten sposób luki uzupełniono w toku analiz przeprowadzonych metodą regresji.

Kontrola spójności danych

Dane uzyskane na temat przepływów, zarówno dane wyjściowe jak i ciągi danych po uzupełnieniu luk muszą zostać poddane kontroli pod względem spójności. W wyniku zmian wodowskazów (renowacja, zjawiska powodziowe) lub zmiany w korytach cieków wodnych mogą powstać powtarzające się odchylenia w stosunku do przepływów notowanych w dłuższych okresach czasowych. Błędy wodowskazów można zidentyfikować porównując badane dane z wodowskazu ze spójnym ciągiem danych referencyjnych pochodzących z obszaru będącego przedmiotem badań. Przy pomocy testów statystycznych w ramach metody analizy korelacji sum sprawdzono wszystkie ciągi danych przepływu pod względem jednorodności i usunięto zidentyfikowane w nich niespójności. Czynniki związane z użytkowaniem wód występujące na kilku wodowskazach zlokalizowanych na terenie zlewni powodują uzyskiwanie na wodowskazach zniekształconych pomiarów. Poprzez uwzględnienie w modelu oddziaływania użytkowników związanych z pobieraniem lub zrzucaniem wody zniekształcone ciągi danych z tych wodowskazów mogą zostać wykorzystane do kalibracji modelu.

Wypełnianie luk

Do przeprowadzenia analizy reżimu przepływów konieczne są nieprzerwane ciągi danych dotyczących przepływów w okresie od 1971 do 2000 roku. Do wypełnienia luk i przedłużenia ciągów danych z wielolecia wykorzystano kompletne ciągi danych zarejestrowanych na sąsiednich wodowskazach.

Uzupełnienia brakujących wartości w ciągach danych przepływów dokonano przy pomocy metody wielokrotnej liniowej regresji danych. W ramach tej metody porównuje się dane z rozpatrywanego wodowskazu z sąsiednimi posterunkami. W przypadku osiągnięcia wystarczającej jakościowo korelacji ciągów danych można w ten sposób uzupełniać dłuższe sekwencje niekompletnego ciągu.

2.2.2. Metodologia

Analiza i charakterystyka uwarunkowań hydrologicznych na obszarze objętym badaniem została przeprowadzona na podstawie danych pomiarowych przepływów z wybranych wodowskazów z okresu 1971 do 2000 r. Ciągi danych dotyczących przepływów z wielolecia stanowiły po opracowaniu sprawdzony, kompletny i jednorodny zbiór danych. W celu identyfikacji zmian reżimu hydrologicznego na obszarach zlewni, których dotyczą dane z wodowskazów, w oparciu o wartości miesięczne i roczne przeprowadzono analizy pojawiających się trendów. Przy pomocy testu Mann-Kendalla (Mann, 1945; Kendall, 1975) zidentyfikowane trendy sprawdzono pod względem istotności statystycznej. W celu identyfikacji kierunku trendów oraz ich siły ocenę trendów przeprowadzono w oparciu o obliczenia trendu liniowego również metodą najmniejszych kwadratów według Sena (Sen, 1986). Na potrzeby analizy trendu w całym okresie wielolecia 1971-2000 w odniesieniu do okresów rocznych w półroczu letnim i zimowym (maj do października oraz listopad do kwietnia) oraz do analiz sezonowych wykorzystano średnie miesięczne i roczne wartości przepływów. Do obliczenia trendów względnych wykorzystano wartości średnie z okresu referencyjnego 1971-2000.

Ramka 5: Analiza trendów

Do analizy istotności statystycznej trendu zidentyfikowanego w ciągu danych hydrologicznych wykorzystuje się metody, które nie zakładają normalnego rozkładu danych, identyfikują zarówno trendy liniowe jak i nieliniowe i mogą zostać zastosowane do ciągów potencjalnie zawierających wartości ekstremalne. Oparty na miarach test Mann-Kendall spełnia jako test nieparametryczny wymienione powyżej warunki. Istotność statystyczną trendu określanego jako tendencja w ciągu danych z wielolecia stwierdza się, gdy test Mann-Kendalla przy prawdopodobieństwie błędu na maksymalnym poziomie 10 % wykazuje istotny trend. Poprzez zastosowanie wartości środkowej analiza kierunku trendu i jego siły bazująca na ocenie trendu według Sena została zabezpieczona przed wpływem pojawiających się często w ciągach danych hydrologicznych wartości ekstremalnych wynikających z występowania zjawisk ekstremalnych.

2.3. Wyniki analizy hydrologicznej

Na reżim hydrologiczny w zlewni oddziałują liczne czynniki. Obok charakteru gruntów oraz rodzaju pokrywy roślinnej decydujący wpływ na kształtowanie się przepływów ma rzeźba terenu. Analiza hydrologiczna wykazała związek pomiędzy średnią wysokością terenu zlewni objętego pomiarem na danym wodowskazu i odpowiednią średnią roczną przepływu jednostkowego. Wraz ze wzrostem wysokości terenu zwiększają się wartości odpływu jednostkowego, co spowodowane jest przede wszystkim zwiększającą się na tym terenie sumą opadów oraz jego nachyleniem. Wpływ na strukturę składników przepływów i tym samym na reżim hydrologiczny wywierają odmienne właściwości hydrauliczne podłoża oraz rodzaj roślinności. Przyporządkowanie na potrzeby analizy hydrologicznej

kilku lokalizacji wodowskazów do jednej grupy w ramach jednego piętra wysokościowego jest jednakże dość trudne. Wiąże się to z tym iż, zlewnie położone są w większości przypadków na terenach cechujących się znaczną rozpiętością wysokości. Ponadto liczba wodowskazów zlokalizowanych na obszarze objętym badaniem jest zbyt mała, aby przyporządkować je do czterech pięter wysokościowych (obszary nizinne, pogórze, tereny górskie i partie szczytowe) jak to uczyniono w ramach oceny meteorologicznej w pierwszej broszurze projektu. W odniesieniu do sposobu kształtowania się przepływów na czterech piętrach wysokościowych nie można sformułować żadnych twierdzeń istotnych statystycznie. W związku z tym obszar objęty badaniem podzielono na potrzeby analizy na dwa piętra wysokościowe, obszary położone niżej, na wysokości od 80 do 350 m n.p.m. oraz obszary położone wyżej, na wysokości powyżej 350 m n.p.m. Na odcinkach źródłowych rzek położonych powyżej 350 m n.p.m. notowane są najwyższe średnie roczne odpływy, miejscami powyżej 500 mm/rok. Na terenach położonych poniżej 350 m n.p.m. średnie roczne odpływy mieszczą się w przedziale 110-320 mm/rok. W regionach położonych niżej jak i na terenach powyżej 350 m n.p.m. w półroczu zimowym odpływa średnio 62 %, a w półroczu letnim 38 % całego rocznego odpływu. W ujęciu sezonowym miesiącem z największą sumą odpływów na wszystkich terenach położonych na wyższych piętrach wysokościowych jest marzec. Średni odpływ w regionach położonych wyżej wynosi 59 mm/mies. i 30 mm/mies. na terenach położonych poniżej 350 m. We wrześniu odpływ jest najmniejszy i wynosi w wyższych regionach 23,8 mm/mies. i 12,6 mm/mies. w regionach niższych.

Analiza trendu w okresie od 1971 do 2010 roku wykazuje na wszystkich terenach położonych na niższych piętrach wysokościowych zmniejszanie się sumy przepływów (Tabela 4). W regionach położonych powyżej 350 m n.p.m. trend ten jest mniej wyraźny. W zlewni rzeki Mandau na dopływach południowych zaznacza się trend rosnący, a na dopływach zachodnich malejący. Na górnym odcinku Nysy Łużyckiej analiza wykazuje słaby spadek wartości przepływów. Na odcinku środkowym rzeki widoczny jest jednakże trend rosnący.

W zlewniach cieków wodnych stanowiących dopływy Nysy Łużyckiej po stronie polskiej nie odnotowano jednolitego trendu w kształtowaniu się przepływów. W zlewni Witki zauważono w regionach położonych wyżej wzrost, a w regionach niższych wyraźny spadek rocznej sumy przepływów. Tendencja przepływów letnich w ostatnich 40 latach była na całym obszarze ujemna, przy czym również w niektórych częściach zlewni, zarówno na terenach położonych wyżej jak i na terenach poniżej 350 m n.p.m. występowały istotne trendy negatywne. Analiza trendów przepływów zimowych pokazuje, że w ostatnich 40 latach na prawie wszystkich obszarach zlewni położonych powyżej 350 m n.p.m. doszło do wzrostu wartości przepływów, a na terenach położonych na wysokości pomiędzy 80 i 350 m n.p.m. miał miejsce ich spadek. Jednakże jedynie w niewielu przypadkach były to trendy istotne statystycznie (Tabela 4).

Tabela 4: Odptyw w wieloleciu 1971-2000 oraz trendy absolutne w mm/40 lat (dodatnie, ujemne) dla wielolecia 1971-2010 w okresach rocznych, w podziale na półrocze letnie i zimowe, wodowskazy przyporządkowane do poszczególnych pięter wysokościowych (ciemnoniebieski: obszary nizinne, jasnoniebieski: pogórze), istotne trendy pogrubiono

wodowskaz	średnia wysokość terenu	rok		półrocze letnie		półrocze zimowe	
		wartość średnia [mm/rok]	trend [mm/40 lat]	wartość średnia [mm/rok]	wodowskaz	średnia wysokość terenu	wartość średnia [mm/rok]
Guben2/Gubin	-	233.9	-56.5	90.9	-37.5	143.0	-25.9
Pleśno	-	144.6	-60.9	47.4	-34.7	97.3	-24.9
Przewoźniki	143.9	158.3	-77.9	48.1	-33.2	110.2	-38.0
Krauschwitz *	133.0	102.5	-	42.6	-	59.9	-
Podrosche2/Przewóz	189.4	301.8	-72.7	120.5	-41.4	181.3	-31.6
Zgorzelec/Görlitz	236.8	304.7	-44.3	121.3	-39.3	183.4	-7.4
Zgorzelec Ujazd	266.8	186.2	-5.5	75.2	-27.5	111.0	15.1
Tauchritz	280.1	217.3	-44.6	80.6	-18.8	136.7	-19.6
Rennersdorf 1	328.4	237.6	-74.4	83.3	-54.4	154.3	-33.8
Rennersdorf 2	344.6	317.8	-129.8	132.9	-72.6	184.9	-69.4
Rennersdorf 3	285.7	223.0	-28.8	86.4	-26.4	136.6	-2.0
Ręczyn	282.0	368.9	-98.9	162.8	-85.8	206.1	3.1
Ostróżno	455.5	506.3	14.8	231.2	-56.9	275.0	72.1
Rosenthal	269.4	390.8	50.1	150.5	-22.0	240.2	47.0
Turoszów	365.8	353.1	-8.3	157.2	-37.0	196.0	18.6
Sieniawka/Zittau1	271.1	407.6	31.4	152.2	-12.9	255.4	39.2
Zittau35	357.4	390.4	-8.4	126.5	-41.2	263.9	21.7
Porajów	269.9	498.5	-5.6	197.9	-39.1	300.6	26.9
Hartau	479.0	512.7	-5.7	203.5	-40.4	309.2	27.9
Niederoderwitz	369.8	340.6	-61.6	110.7	-42.4	229.9	-37.1
Großschönau 2	404.5	463.4	9.2	150.8	-57.9	312.5	65.4
Seiffhennersdorf	415.5	399.0	12.5	123.8	-31.2	275.1	18.1
Neuschönau2 *	486.0	500.4	-	129.1	-	371.2	-

* zbyt niska jak na potrzeby analizy dostępność danych

Trendy sezonowe

Zestawienie absolutnych trendów średnich miesięcznych odptywów w wieloleciu 1971-2010 wykazuje w ostatnich 40 latach wyraźny wzrost w okresie od lutego do kwietnia, chociaż to w marcu odnotowywano wyraźnie najsilniejsze tendencje wzrostu odptywów, które pojawiają się na prawie wszystkich obszarach położonych na wyższych piętrach wysokościowych jako istotne statystycznie trendy dodatnie (Tabela 5). Zarówno w miesiącach letnich jak i w okresie od listopada do stycznia malejące sumy odptywu na większości obszarów wskazują na zwiększone występowanie warunków suchych. Istotne statystycznie negatywne trendy przepływów odnotowywane są głównie w maju, a na terenach położonych niżej w grudniu. Ocena średnich miesięcznych odptywów jednostkowych pod względem sezonowym wykazuje w okresie ostatnich 40 lat na jednoznaczność kształtowania się przepływów. Analiza poszczególnych miesięcy pokazuje, że na badanym obszarze odnotowuje się wprawdzie przeważnie trendy o jednolitym ukierunkowaniu, lecz wykazują one znaczne zróżnicowanie pod względem ich nasilenia. Nie stwierdzono jednoznacznej różnicy w występowaniu trendów sezonowych na obszarach położonych wyżej i niżej.

Analiza przepływów niskich

Analiza trendów obserwowanych miesięcznych przepływów niskich w okresie ostatnich 40 lat wykazuje w większości przypadków zmniejszenie się przepływów niskich. Przepływy niskie zmniejszają się przede wszystkim w miesiącach letnich na niżej położonych terenach badanego obszaru. Zwiększenie przepływów niskich zaobserwowano w marcu na całym obszarze oraz w lutym częściowo na wyżej położonych terenach (Tabela 6). W ramach analizy stwierdzono również, że na pojedynczych wodowskazach zlokalizowanych na badanym obszarze zanotowano zmniejszenie przepływów niskich w okresie całego roku.

Tabela 5: Absolutne trendy sezonowe odpływów jednostkowych dla wielolecia 1971-2010 w mm/40 lat (dodatnie, ujemne – różnice w jasności odcieni oddają nasilenie trendów), wodowskazy przyporządkowane do poszczególnych pięter wysokościowych (≤ 350 m n.p.m., > 350 m n.p.m.), istotne trendy pogrubiono

wodowskaz	LIS	GRU	STY	LUT	MAR	KWI	MAJ	CZE	LIP	SIE	WRZ	PAŹ
Guben2/Gubin	-3.1	-9.6	-8.2	-2.8	4.2	-0.2	-8.6	-5.8	-4.9	-4.5	-2	-3.3
Pleśno	-3.2	-9.8	-10.5	-2.9	2.5	-3	-5.8	-3.7	-3.2	-2	-1.6	-4
Przewoźniki	-8.2	-14.3	-9.7	-1.6	6.6	-4.2	-7.3	-2.5	-3	-4.3	-2.8	-1.6
Krauschwitz *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Podrosche2/Przewóz	-2.3	-11	-9.6	-0.8	7.9	-3.1	-12	-6.8	-5.8	-2.9	-1.5	-1.4
Zgorzelec/Görlitz	-1.1	-10	-5.5	3.7	13.8	-2.1	-12.7	-6.2	-5.4	-1.9	-0.8	0.6
Zgorzelec Ujazd	-0.4	-2.6	2.1	6.7	12.3	-2.2	-5.5	-5.3	-5.7	-3.6	-2.6	-0.9
Tauchritz	-0.8	-13.1	-7.2	3.1	11.9	-3.3	-5	-4.3	-2	-1.5	-0.4	0
Rennersdorf 1	-2.6	-10.3	-3.7	3.9	11.4	-5.5	-11	-4	-2.7	-10	-3.6	-5.2
Rennersdorf 2	-7.4	-14.7	-19.9	-5.6	13.7	-9.3	-11.8	-10.3	-13.7	-14.5	-8	-10.4
Rennersdorf 3	-1.3	-4.6	-8.7	5.3	17.1	-1	-5	-3.4	-4.3	-8.7	-5.7	-3.9
Ręczyn	-5.1	-17.4	-4.3	9.2	26.3	-3.1	-32.5	-9.4	-14.5	-5.3	-1.3	-2.1
Ostróżno	-0.1	-11.3	-3.7	12.9	42.6	18.9	-26.8	-7.7	-12.9	-2.1	0	2.5
Rosenthal	4.7	-4.2	0.2	11	27.4	6.2	-7.2	-3.5	-0.5	-0.4	1.8	3.1
Turoszów	-1.8	-3.7	-6.4	9.5	19.5	-1.8	-16	-8.7	-5.5	2.6	-0.8	1.1
Sieniawka/Zittau1	3.5	-10.5	-0.7	10.4	32.1	2.7	-6.8	-3.5	-0.7	1.6	2.7	4.8
Zittau35	2.8	-13.5	-2	13.4	43.3	-6.6	-10.6	-10.4	-5.1	-3.1	-2	-0.9
Porajów	0.2	-13.2	-7.1	5.6	26	5.4	-10	-6.6	-7	-1	0.2	1.9
Hartau	-0.1	-13.6	-9.3	5.8	28.4	6.3	-11.8	-6.8	-8.2	-1.5	1.1	1.8
Niederoderwitz	3.5	-18.1	-8.9	9.7	24.3	-12.9	-13.3	-8.1	-0.2	0.4	4.5	3.4
Großschönau 2	-0.7	-6.2	0.7	16.4	57.8	-7	-16.3	-15.8	-5.4	-9.2	-5.3	-4.3
Seiffenndorf	3.8	-12.1	2.4	15.7	47.5	-5.6	-9.8	-7.5	-3	-4	0.6	3.7
Neuschönau2 *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 6: Względny trend sezonowy jednostkowych odpływów niskich dla wielolecia 1971-2010 (dodatni, ujemny- różnice w jasności odcieni oddają nasilenie trendów), okres referencyjny 1971-2000, wodowskazy przyporządkowane do poszczególnych pięter wysokościowych (≤ 350 m n.p.m., > 350 m n.p.m.)

wodowskaz	LIS	GRU	STY	LUT	MAR	KWI	MAJ	CZE	LIP	SIE	WRZ	PAŹ
Guben2/Gubin	-0.27	-0.26	-0.31	-0.18	0.14	-0.08	-0.23	-0.44	-0.32	-0.32	-0.35	-0.17
Plešno	-0.27	-0.34	-0.55	-0.4	0.17	-0.18	-0.23	-0.41	-0.2	-0.08	-0.11	-0.43
Przewoźniki	-0.84	-0.56	-0.45	-0.22	0.23	-0.48	-0.63	-0.53	-0.68	-0.67	-0.73	-0.38
Krauschwitz *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Podrosche2/Przewóz	-0.15	-0.24	-0.3	-0.18	0.1	-0.17	-0.2	-0.33	-0.24	-0.23	-0.15	-0.06
Zgorzelec/Görlitz	-0.1	-0.12	-0.15	-0.15	0.13	-0.07	-0.18	-0.3	-0.24	-0.19	-0.08	-0.02
Zgorzelec Ujazd	-0.24	-0.04	-0.17	-0.22	-0.08	-0.77	-0.26	-0.57	-1.05	-0.78	-0.77	-0.6
Tauchritz	-0.21	-0.37	-0.39	-0.21	0.1	-0.02	-0.22	-0.3	-0.09	-0.03	-0.02	0.03
Rennersdorf 1	-0.03	-0.23	-0.26	0.15	0.22	-0.28	-0.07	0	-0.12	-0.37	-0.14	-0.19
Rennersdorf 2	-0.4	-0.49	-0.49	-0.36	-0.3	-0.53	-0.57	-0.64	-0.63	-0.51	-0.56	-0.43
Rennersdorf 3	-0.34	-0.24	-0.39	-0.18	0.04	0	-0.11	-0.35	-0.55	-0.7	-0.61	-0.47
Ręczyn	-0.39	-0.7	-0.43	-0.29	-0.1	-0.2	-0.45	-0.44	-0.44	-0.64	-0.26	-0.29
Ostróžno	-0.2	-0.23	-0.11	-0.02	0.16	0.04	-0.37	-0.49	-0.39	-0.38	-0.21	-0.16
Rosenthal	0.08	0.08	0.11	-0.02	0.26	0.03	-0.04	-0.02	-0.07	0.01	0.06	0.05
Turoszów	-0.37	0	-0.3	0.35	0.27	-0.2	-0.5	-0.36	-0.75	-0.4	0	0.02
Sieniawka/Zittau1	0.06	0.02	0.04	0.15	0.44	0.01	0.03	-0.05	0.01	0.13	0.23	0.23
Zittau35	-0.06	-0.21	-0.15	0.15	0.32	-0.12	-0.27	-0.36	-0.32	-0.15	-0.26	-0.22
Porajów	-0.05	-0.16	-0.01	0	0.27	-0.03	0	-0.15	-0.15	0.02	0.04	0.04
Hartau	-0.03	-0.19	-0.05	-0.07	0.26	-0.1	-0.03	-0.2	-0.1	0.01	0.12	0.06
Niederoderwitz	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Großschönau 2	-0.24	-0.26	-0.24	-0.13	0.11	-0.36	-0.54	-0.6	-0.37	-0.56	-0.56	-0.27
Seifhennersdorf	-0.1	-0.02	0.12	0.29	0.47	-0.08	-0.29	-0.44	-0.3	-0.25	0.01	0

* zbyt niska jak na potrzeby analizy dostępność danych lub zbyt niska jakość danych obserwowanych przepływów niskich

3

Modelowanie bilansu wodnego

3. Modelowanie bilansu wodnego

W celu oceny bilansu wodnego danego obszaru konieczne jest stworzenie modeli odwzorowujących wszystkie procesy zachodzące w układzie gleba-roślinność-atmosfera. W niniejszym rozdziale przedstawione zostaną modele ArcEGMO, MIKE NAM i MIKE BASIN oraz proces modelowania bilansu wodnego.

3.1. Modele hydrologiczne

Modele służą do możliwie dokładnego, uproszczonego odwzorowywania rzeczywistości. Modele hydrologiczne pozwalają na odwzorowanie oddziaływujących na siebie wzajemnie procesów zachodzących w ramach bilansu wodnego danej zlewni wykorzystując przy tym podstawowe prawa fizyki umożliwiające stworzenie przy pomocy równań matematycznych wyidealizowanego opisu tychże procesów. Znane związki przyczynowo-skutkowe istniejące w systemie naturalnym są w możliwie najlepszy sposób odwzorowywane w strukturze modelu, a właściwości systemu i warunki brzegowe ustawiane w formie odpowiednich parametrów. W zależności od celu ich zastosowania modele hydrologiczne różnią się od siebie stopniem szczegółowości oraz dokładnością prezentowanych wyników. Modele hydrologiczne wykorzystywane są obecnie obok odwzorowywania reakcji obszaru zlewni w badanym okresie czasu do prognozowania stanu bilansu wodnego w oparciu o dane uzyskiwane z projekcji klimatu. Rozpoczęcie modelowania poprzedza wybór odpowiedniego modelu. Głównymi kryteriami są tutaj rodzaj zadania modelowego, dostępność danych wejściowych oraz parametry procesu. Celem projektu NEYMO jest odwzorowanie bilansu wodnego w zlewni Nysy Łużyckiej przy uwzględnieniu występujących licznie na jej terenie czynników antropogenicznych (górnictwo odkrywkowe, użytkowanie wód). Na potrzeby oceny dostępnych w przyszłości zasobów wodnych przeprowadzona zostanie na podstawie danych pozyskanych w ramach projekcji klimatycznych symulacja kształtowania się zasobów wodnych w dłuższym okresie czasu. Symulacja stanowić będzie podstawę do przygotowania katalogu działań dostosowawczych skierowanego do użytkowników zasobów wodnych w regionie.

Kierownictwo projektu zdecydowało, że do modelowania bilansu wodnego przez partnera polskiego wykorzystane zostaną modele MIKE NAM i MIKE BASIN, a partner niemiecki zastosuje model ArcEGMO. Utworzone modele zostały zastosowane do modelowania obszaru opisanego w rozdziale 1.

3.1.1. Model ArcEGMO

Dla potrzeb oceny bilansu wodnego należy wybrać model, który jest w stanie uwzględnić zmiany czasowe i przestrzenne związane z procesami bilansu wodnego lub systemu gleba-rośliny-atmosfera. W tym przypadku uzasadnione było wykorzystanie modelu ArcEGMO, z uwagi na to, że w pełni uwzględnia on wymagania z tym związane (Pfützner 2012). Jego wiarygodność w stosunku do innych

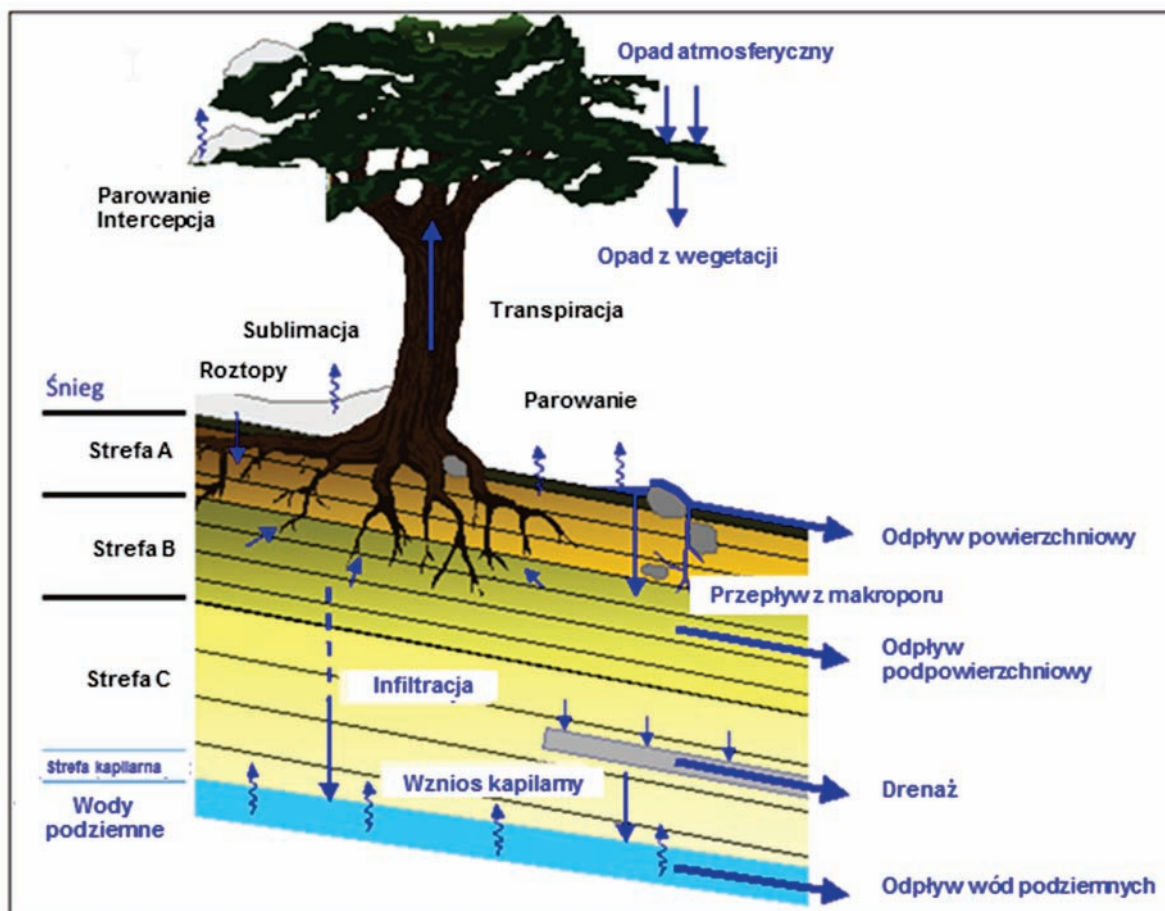
modeli została sprawdzona podczas kompleksowego testu modelu, który został przeprowadzony w ramach realizacji projektu KliWES (LfULG 2012). Główną zaletą modelu jest jego modułowa struktura i podejście oparte na systemach GIS. Dodatkowymi czynnikami korzystnymi są również szerokie możliwości oferowanych aplikacji, krótki czas obliczeń, a także narzędzia pozwalające na dobre odwzorowanie systemu gleba-rośliny-atmosfera. Model ten został wykorzystany w wielu projektach dla obliczeń bilansu wodnego i przepływów w regionach zlewni rzecznych.

System modelowania ekologiczno-hydrologicznego ArcEGMO został opracowany przez Biuro hydrologii stosowanej (BAH). Do stworzenia matematycznego opisu procesów systemowych model wykorzystuje zarówno modelowanie fizyczne jak i koncepcyjne. Funkcjonalność modelu umożliwia przetwarzanie danych odpowiednio do wprowadzanych informacji, opisywanych procesów oraz rodzajów realizowanych zadań. W zależności od sposobu sformułowania zadania, dostępności danych oraz zastosowanej skali istnieje możliwość zbudowania z odpowiednich modułów modelu danego obszaru. Zmienność parametrów istotnych dla modelowania procesów może zostać odwzorowana w modelu ArcEGMO przy założeniu różnej dyskretyzacji warunków przestrzennych i czasowych. W zasadzie model składa się z modułu odpowiedzialnego za modelowanie powstawania przepływów odwzorowującego procesy infiltracyjne oraz modułu modelującego koncentrację przepływów wykorzystywanego do odwzorowywania procesów w płaszczyźnie poziomej. W celu dokładnego odwzorowania procesów infiltracyjnych do modelu należy wprowadzić szczegółowe dane dotyczące np. właściwości gleb oraz rodzajów użytkowania gruntów w zlewni. Symulacja procesów w płaszczyźnie poziomej wymaga m.in. danych topograficznych i hydrologicznych. W modelu przetwarzane są dane klimatyczne odnoszące się do opadu, temperatury, nasłonecznienia, wilgotności względnej i prędkości wiatru, które obliczane są dla okresów dziennych w odniesieniu do każdej składowej przestrzennej na podstawie danych pozyskiwanych ze stacji klimatycznych przez stanowiącą część modelu ArcEGMO procedurę regionalizacji danych.

Wynikiem modelu ArcEGMO są dane opisujące bilans wodny danego obszaru. W celu uszczegółowienia opisu można w modelu obliczyć różne składowe bilansu wodnego lub przepływu takie jak parowanie efektywne, odpływ powierzchniowy, podpowierzchniowy z gleby (odpływ podpowierzchniowy w wyniku nachylenia poziomego zbiornika) oraz zasilanie wód podziemnych (zob. Rysunek 13). W ramach projektu wykorzystano moduł powstawania odpływu Plant-Soil-Carbon-Nitrogen (PSCN). Moduł ten pozwala na połączenie różnych modeli wzrostu charakterystycznych dla terenów leśnych i rolniczych ze szczegółowym modelem struktury glebowej, co umożliwia symulację zmian roślinności i klimatu. Szczegółowy opis modelu ArcEGMO dostępny jest pod adresem www.arcegmo.de.

W modelu ArcEGMO stworzono interfejs pozwalający na integrację modelu z modelem przepływu wód podziemnych MODFLOW. Elementem łączącym obydwa modele jest perkolacja. Wynikiem modelowania przy pomocy modelu MODFLOW są informacje na temat ukształtowania przepływów w warstwach wodonośnych wód podziemnych. W wyniku integracji modeli możliwe jest odwzorowanie oddziaływań pomiędzy wodami podziemnymi i powierzchniowymi i tym samym szczególnie

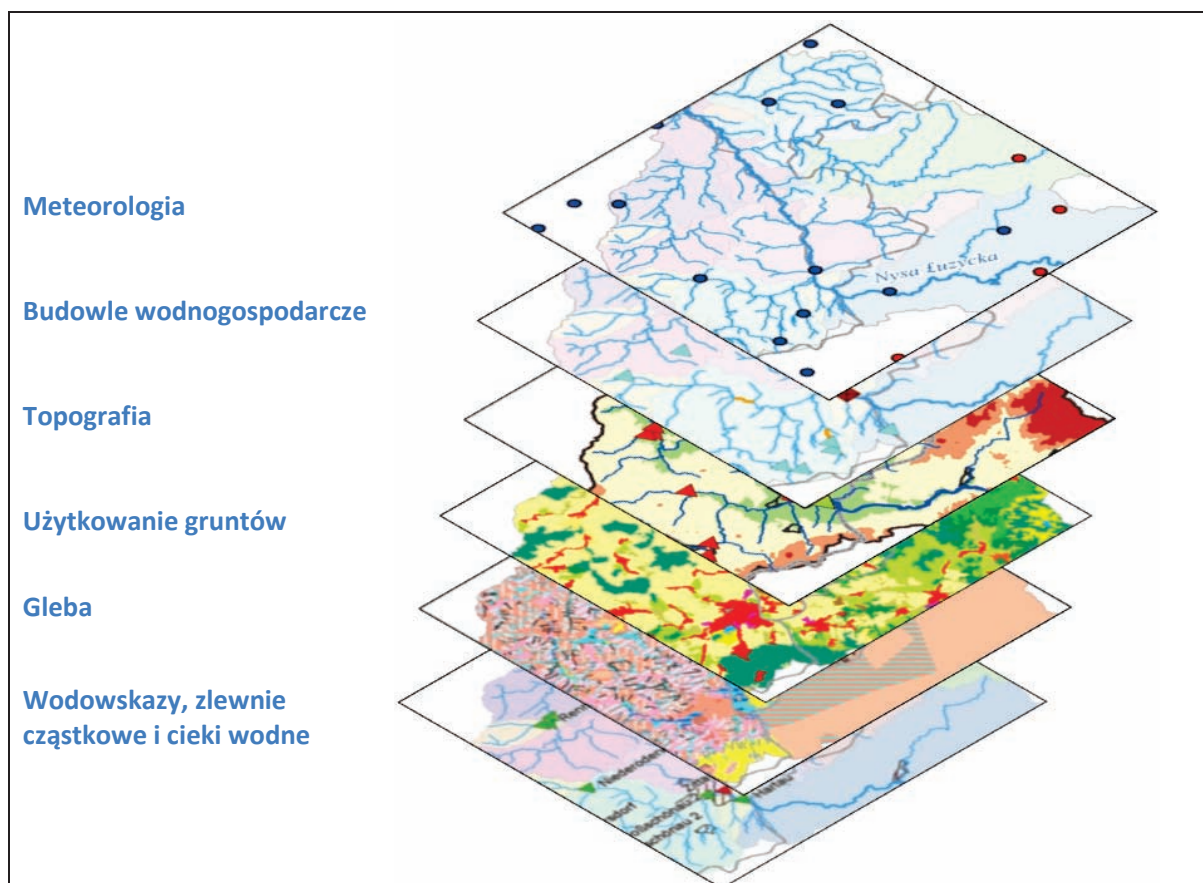
uwzględnienie spowodowanych warunkami klimatycznymi zmian wód podziemnych oraz ich wpływ na gospodarkę wodną gleb.



Rysunek 13: Konstruowanie odpływu w modelu ArcEGMO przy pomocy modułu PSCN (Klöcking et al. 2009)

3.1.2. Budowanie modelu bilansu wodnego

Budowanie modelu bilansu wodnego w systemie ArcEGMO dla obszaru zlewni Nisy Łużyckiej wymaga przygotowania wszelkich danych wejściowych koniecznych do obliczenia modelu. W przypadku modelowania obszaru transgranicznego obejmującego terytorium czeskie, polskie i niemieckie konieczne jest ujednoczenie źródeł danych (geofizycznych, hydrologicznych i meteorologicznych) (zob. rozdział 1). Na rysunku 14 zaprezentowano podstawowe informacje dotyczące badanego obszaru wykorzystane w procesie budowania modelu. Poprzez nałożenie na siebie danych dotyczących gleby, form użytkowania gruntów oraz danych dotyczących zlewni powstają hydrotopy stanowiące podstawę wykonywania obliczeń w modelu ArcEGMO. Do każdego hydrotopu przyporządkowano parametry takie jak średnia wysokość i spadek terenu, ekspozycja, forma użytkowania gruntów, rodzaj gleby itp. Charakterystykę użytkowania gruntów i gleby można stworzyć przy pomocy tabel zawierających odpowiednie parametry.



Rysunek 14: Dane konieczne do budowy modelu dla zlewni Nysy Łużyckiej

Z wielu dostępnych modeli w ramach projektu wykorzystano następujące symulacje:

- symulacja koncentracji odpływu powierzchniowego do kanałów odprowadzających: fala kinematyczna
- symulacja odpływu wód podziemnych: standardowy zbiornik liniowy
- symulacja procesów hydrologicznych przepływu w wodach powierzchniowych: kaskady zbiorników, metoda Kalinina-Miljukowa

Implementacja danych dotyczących użytkowania wód

W celu uwzględnienia wszystkich rodzajów wykorzystania wód w badanej zlewni dokonano odpowiedniego dostosowania modeli umożliwiającego symulację zalewania wyrobisk w ramach przyszłej rekultywacji kopalni odkrywkowych oraz włączenie do modelu różnych scenariuszy użytkowania wód. W ramach pierwszego etapu ustalono i zaimplementowano do modelu wszystkie dane dotyczące dokonywanych na obszarze zlewni poborów lub zrzutów przekraczających 10 l/s dzieląc pod kątem użytkowania wód podziemnych i powierzchniowych. Wyznaczonym w modelu odcinkom rzek przyporządkowano odpowiednie ilości poborów i zrzutów (Rysunek 11).

3.1.3. Kalibracja i walidacja

Metodologia

Po zakończeniu tworzenia modelu konieczne jest przeprowadzenie optymalizacji parametrów w procesie kalibracji modelu. Celem kalibracji jest dostosowanie wyników uzyskanych w ramach modelowania do danych rzeczywistych. W związku z niedostępnością innych rodzajów danych w procesie kalibracji modelu wykorzystano jedynie wartości przepływów z pomiarów na wodowskazach.

Jeżeli znane są istotne parametry wrażliwości modelu, to możliwa jest zmiana i optymalizacja tychże parametrów w przedziałach odpowiednich dla nich wielkości fizycznych. Kalibrację modelu przy pomocy algorytmu strategii ewolucji metodą adaptacji macierzy kowariancji (CMAES) przeprowadziło w ramach projektu Biuro Hydrologii Stosowanej (BAH) będące zarazem autorem modelu. Wykorzystany do kalibracji algorytm strategii ewolucji służy do opisu skomplikowanych nieliniowych, niediagonalnych, niejawnych modeli (black-box) problemów adaptacyjnych. Wykorzystanie powyższego algorytmu umożliwia równoczesną optymalizację kilku parametrów. W niniejszym opracowaniu pominięto dalszy szczegółowy opis procesu kalibracji modelu.

Obszary i parametry kalibracji modelu

W celu optymalizacji procesu modelowany obszar podzielono zgodnie ze strukturą zlewni i wodowskazów na obszary służące do kalibracji modelu uzyskując podział na odcinki źródłowe i środkowe. W pierwszym kroku ustalono parametry dla wszystkich odcinków źródłowych, a następnie skalibrowano odcinki środkowe zachowując ustalone optymalne parametry obszaru położonego powyżej danego wodowskazu. Kalibrację przeprowadzono począwszy od odcinków źródłowych w kierunku ujścia rzeki. Na potrzeby modelu zidentyfikowano cztery niemieckie i cztery polskie odcinki źródłowe (Neuschönau 2, Seifhennersdorf, Rennersdorf 3, Niederoderwitz 3, Hartau; Turoszów, Zgorzelec-Ujazd, Ostróžno) oraz sześć odcinków środkowych (Tauchritz, Ręczyn, Zittau 1, Rosenthal, Görlitz i Podrosche 2). Uzyskanie optymalnych grup parametrów wymagało przeprowadzenia kilkuset operacji obliczeniowych dla odcinków źródłowych oraz prawie 2000 obliczeń dla każdego z odcinków środkowych.

Ze względu na oparcie modelowania w systemie ArcEGMO o złożenia fizyczne oraz fakt, że wskaźniki stanowiły w znacznej części element danych bazowych lub zostały obliczone na ich podstawie, przeprowadzenie kalibracji bezpośredniej jest względnie uzasadnione i możliwe jedynie dla niewielkiej ilości parametrów. W sumie zoptymalizowano siedem parametrów opisujących stałe odpływu, wielkość retencji w zbiorniku podziemnym z odpływem szybkim i wolnym oraz parametry retencji sieci wód. Na potrzeby kalibracji ustalono dla każdego parametru potencjalne wartości graniczne oraz wartość początkową.

Funkcje docelowe i statystyki

Celem optymalizacji wspomnianych parametrów było osiągnięcie możliwie największej zgodności symulowanych i rzeczywistych wartości odpływu. Punkt odniesienia dla porównania obydwu

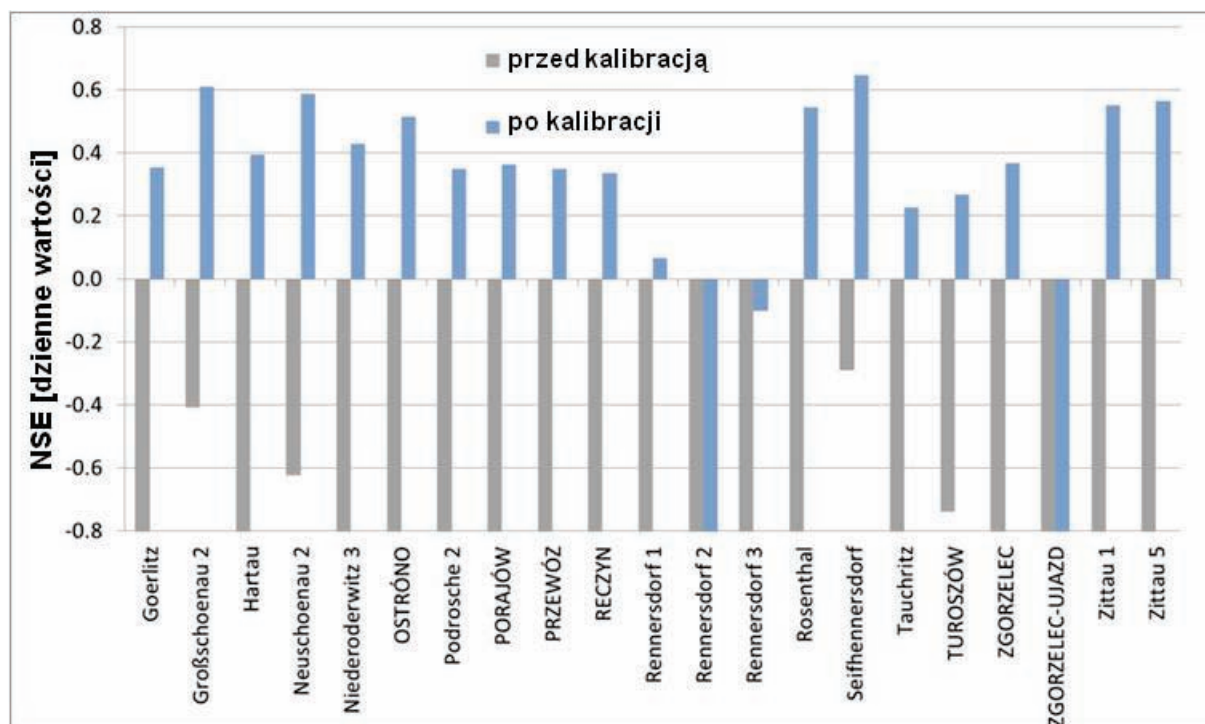
wielkości stanowiły odczyty na wymienionych powyżej wodowskazach. Obliczenia w modelu przeprowadzono na podstawie wartości dziennych, co pozwoliło na porównanie i ewentualną korektę zarówno obliczonych dziennych wartości odpływu jak i wartości miesięcznych z danymi pomiarowymi. Kalibrację modelu przeprowadzono dla wielolecia 1971-2000 wykorzystując jako okres referencyjny na potrzeby walidacji lata 2001-2010. Do oceny jakości wyników procedury dostosowywania wartości odpływu wykorzystano stosowane powszechnie statystyki Nash-Sutcliff Efficiency oraz błąd bilansowy (błąd objętościowy). Celem optymalizacji modelu była minimalizacja błędu objętościowego oraz zbliżenie wartości miary Nash-Sutcliff Efficiency do 1. Miara Nash-Sutcliff Efficiency obliczana jest na podstawie różnicy wartości obserwowanych i symulowanych podniesionych do kwadratu. Wadą statystyki NSE jest tendencja do znacznego przeszacowywania dużych i niedoszacowania, a nawet do całkowitego pomijania małych wartości (Legates & McCabe, 1999). Miara ta cechuje się ponadto niewielką wrażliwością systemową na zbyt wysoką lub zbyt niską wartość obliczonych wielkości.

Wynik kalibracji

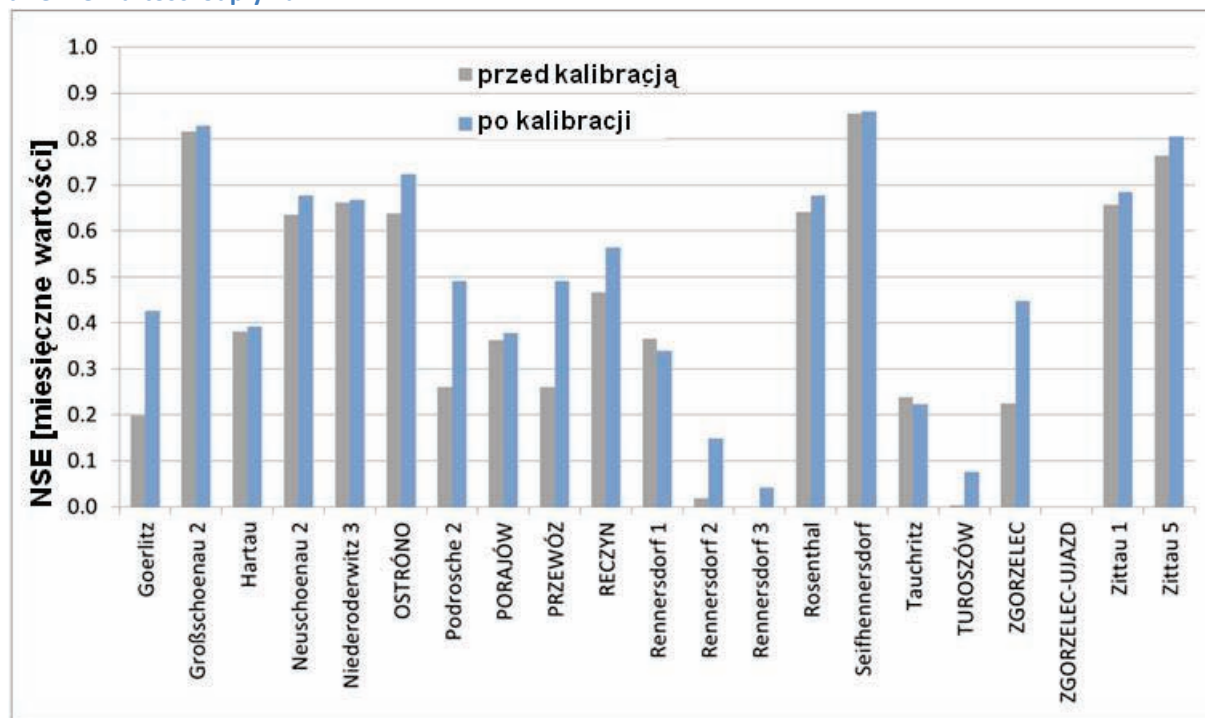
Przeprowadzona optymalizacja parametrów pozwoliła na znaczną poprawę jakości odwzorowania przepływów. Na rysunku 15 przedstawiono weryfikację optymalizacji parametrów przy pomocy miary NSE dla wartości dziennych dla wszystkich kalibrowanych wodowskazów. Przed kalibracją wszystkie dzienne wartości odpływów dla wspomnianych wodowskazów wykazywały negatywne wartości miary NSE. W wyniku optymalizacji parametrów w procesie kalibracji udało się uzyskać znacznie wyższe wartości NSE. Na prawie wszystkich wodowskazach odnotowano wartości statystyki NSE w przedziale od 0.3 do 0.6.

W przypadku miesięcznych wartości odpływu udało się na prawie wszystkich wodowskazach uzyskać poprawę wartości NSE (zob. Rysunek 16). Wartości miary NSE kształtowały się na poziomie od 0.4 do 0.8, co oznacza wystarczająco dobrą jakość korelacji wartości symulowanych i obserwowanych. Ze względu na zmianę dynamiki odpływów znacznie bardziej widoczna jest poprawa wartości miary NSE dla miesięcznych niż dla dziennych wartości odpływu. Tendencje te równoważą się w odniesieniu do okresów miesięcznych. Potencjalne niedokładności/błędy danych pomiarowych oraz brak uwzględnienia użytkowników negatywnie wpływają na korelację danych.

Zadowalającej korelacji danych nie udało się uzyskać jedynie dla wodowskazów Rennersdorf i Zgorzelec-Ujazd. Kalibracja danych z wodowskazów Krauschwitz oraz Przewoźniki nie była możliwa ze względu na ich peryferyjne położenie oraz fakt, że część objętych nimi terenów leży poza granicami modelowanego obszaru. Wyniki uzyskane w ramach modelowania obydwu wspomnianych obszarów nie są reprezentatywne. Powyższe okoliczności/czynniki muszą zostać uwzględnione w procesie oceny i interpretacji wyników modelowania.



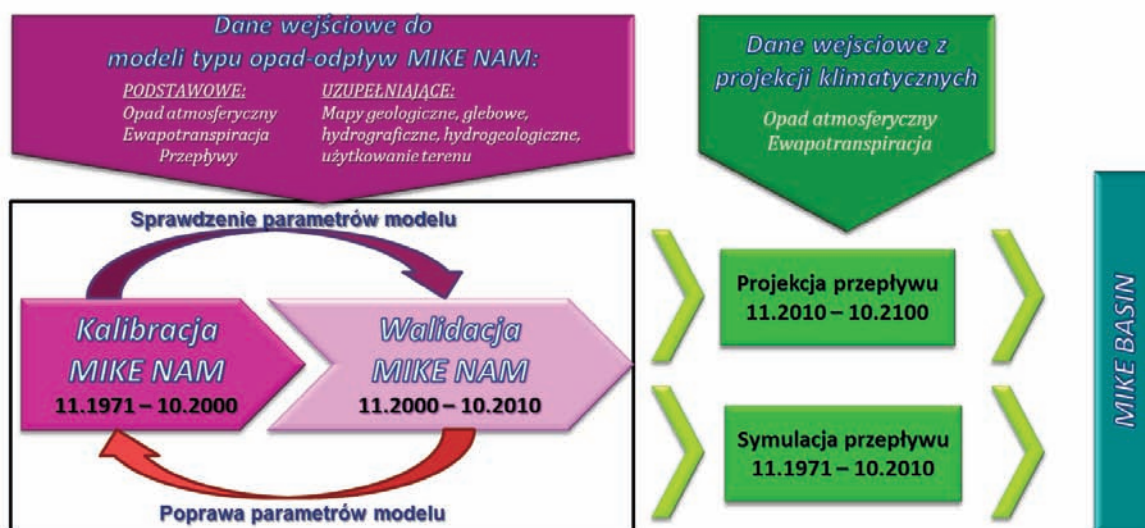
Rysunek 15: Wartości statystyki Nash-Sutcliff przed i po kalibracji danych dla wodowskazów w oparciu o dzienne wartości odpływu



Rysunek 16: Wartości statystyki Nash-Sutcliff przed i po kalibracji danych dla wodowskazów w oparciu o miesięczne wartości odpływu

3.1.4. Modelowanie opad-odpływ MIKE NAM

We wstępnej fazie realizacji projektu NEYMO w zakresie modelowania hydrologicznego dokonano wyboru modeli. Na podstawie wcześniejszych badań modelowych realizowanych przez IMGW-PIB zdecydowano, że do osiągnięcia założonych celów projektu optymalnym rozwiązaniem będzie zastosowanie modelu typu opad-odpływ (RR) MIKE NAM i modelu bilansowego MIKE BASIN. Następnie ustalono procedurę i kolejne etapy postępowania podczas całego procesu modelowania bilansu wodnego wykonywanego zgodnie z poniższym schematem (Rysunek 17).



Rysunek 17: Schemat modelowania przy użyciu modelu MIKE NAM

Pierwszym etapem zadania jest przeprowadzenie modelowania typu opad-odpływ przy pomocy modelu MIKE-NAM. Jest to model konceptualny o parametrach skupionych i strukturze zbiornikowej, opisany przez algorytmy, które w uproszczonej formie charakteryzują zawartość wilgoci we wzajemnie powiązanych zbiornikach, reprezentujących różne formy retencji (powierzchniową z uwzględnieniem śniegowej, podpowierzchniową i podziemną; Rysunek 18).

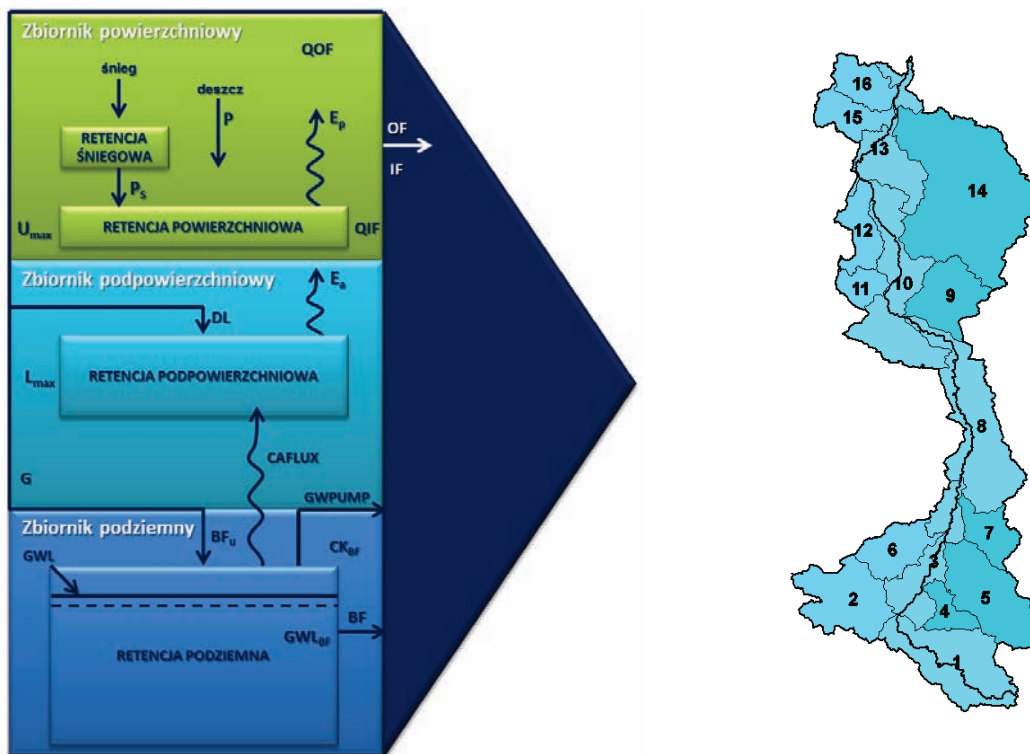
Zbiornik powierzchniowy magazynuje opad zatrzymany przez roślinność, w obniżeniach terenowych oraz w wierzchniej warstwie gruntu, zasilany jest przez opad i topniejący śnieg. Ilość wody zmagazynowana w zbiorniku zależy głównie od ewapotranspiracji i odpływu podpowierzchniowego.

Zbiornik podpowierzchniowy opisuje wilgotność strefy korzeniowej, czyli warstwy gleby, z której roślinność pobiera wodę na transpirację.

Zbiornik podziemny reprezentowany jest przez wody poniżej zbiornika gruntowego, może być opisany jako standardowy zbiornik liniowy, z którego odpływ jest proporcjonalny do poziomu napełnienia zbiornika podziemnego podzielonego przez jego stałą czasową, lub jako płytki zbiornik podziemny, czyli do zbiornika liniowego dodatkowo wprowadzona jest informacja o głębokości zwierciadła wód podziemnych.

Z uwagi na zróżnicowanie fizyczno-geograficzne zlewnia Nysy Łużyckiej została podzielona na 16 bilansowych zlewni cząstkowych, tj. 11 dopływów kontrolowanych Nysy Łużyckiej (dopływy potraktowano całościowo, jako pojedyncze systemy, bez podziału na podsystemy-zlewnie cząstkowe)

oraz zlewnię bezpośrednią Nysy Łużyckiej podzieloną na 5 zlewni (Rysunek 18). Dla wszystkich 16 zlewni cząstkowych opracowane zostaną niezależne modele typu opad-odpływ.



Rysunek 18: Schemat budowy zbiornikowej modelu MIKE NAM oraz podziału zlewni Nysy Łużyckiej na bilansowe zlewnie cząstkowe

Podstawowymi danymi wprowadzanymi do modelu są: dobowe sumy opadu atmosferycznego (P), dobowe sumy ewapotranspiracji (E_p , E_a) oraz średnie miesięczne wartości przepływu w ciekach (Q). Główne parametry opisujące modelowane zlewnie wymagają przeprowadzenia szczegółowej analizy materiałów archiwalnych. Ocena parametru:

- *maksymalna pojemność zbiornika gruntowego (I_{max})* dla symulowanych systemów wymaga rozpoznania budowy geologicznej, rodzaju gruntów, użytkowaniu terenu, maksymalnej strefy ukorzenienia roślin oraz informacji o zróżnicowaniu gleb,
- *maksymalna pojemność zbiornika powierzchniowego (U_{max})* wymaga analizy danych o użytkowaniu gruntów w zlewni, składzie gatunkowym lasów i rodzajach upraw,
- *współczynników rozdziału odpływu powierzchniowego (OF), podpowierzchniowego (IF) i podziemnego (CK_{BF})* wymaga analizy danych hydrologicznych oraz hydrografii modelowanych systemów.

Wszystkie parametry i zmienne równań wyznaczone są na podstawie własności fizycznych zlewni i wprowadzane jako wartości średnie, część z nich estymowana jest w trakcie kalibracji modelu.

Ocena poprawności modeli dokonywana jest w oparciu o porównanie graficzne wyników modeli i danych źródłowych oraz statystyki błędów:

- NSE - ocena błędów symulacji długoterminowych;
- R - ocena współzmienności analizowanych cech;
- BIAS - ocena tendencji modelowanej charakterystyki.

Przygotowanych 16 modeli typu opad-odpływ dla analizowanych zlewni cząstkowych zostanie poddanych kalibracji na danych z okresu 1971-2000. Następnie zostanie wykonana walidacja na niezależnej próbkę danych z okresu 2000-2010. Po uzyskaniu wymaganej poprawności modelu przeprowadzona zostanie ostateczna symulacja na pełnej serii czasowej 1971-2010 (Rysunek 19).



Rysunek 19: Podejście metodyczne podczas kalibracji i walidacji modeli MIKE NAM

Reasumując, pierwszym etapem analiz numerycznych przy wykorzystaniu modeli typu opad-odpływ MIKE NAM dla poszczególnych zlewni cząstkowych jest przeprowadzenie symulacji bazujących na danych historycznych. Po uzyskaniu odpowiedniej zgodności modeli, a tym samym uzyskaniu wymaganej poprawności, kolejnym krokiem będzie przeprowadzenie symulacji, w których materiałem wejściowym będą dane z projekcji klimatycznych. Wynikowe serie danych z wielkością natężenia przepływu dla okresu prognostycznego, stanowiąc będą wejście do modelu bilansowego MIKE BASIN.

3.1.5. Symulacje danych historycznych z okresu 1971-2010 modelami typu opad-odpływ MIKE NAM

Modele typu opad-odpływ opracowano dla 16 bilansowych zlewni cząstkowych (Rysunek 20):

- 11 kontrolowanych dopływów Nysy Łużyckiej potraktowanych całościowo, jako pojedyncze systemy hydrologiczne - zlewnie (Mandau, Miedzianka, Witka, Pließnitz, Czerwona Woda, Skroda, Föhrenfließ, Malxe-Neiße-Kanal, Lubsza, Schwarzes Fließ, Grano-Buderoder-Mühlenfließ),
- zlewnię bezpośrednią Nysy Łużyckiej, która podzielona została na 5 zlewni cząstkowych (wyznaczonych odcinkami: od źródła do Mandau, od Mandau do Jędrzychowickiego Potoku, od Jędrzychowickiego Potoku do Skrody, od Skrody do kanału Malxe- Neiße, od kanału Malxe- Neiße do ujścia)

Podział na zlewnie bilansowe wraz z ich powierzchniami zestawiono w tabeli 7.

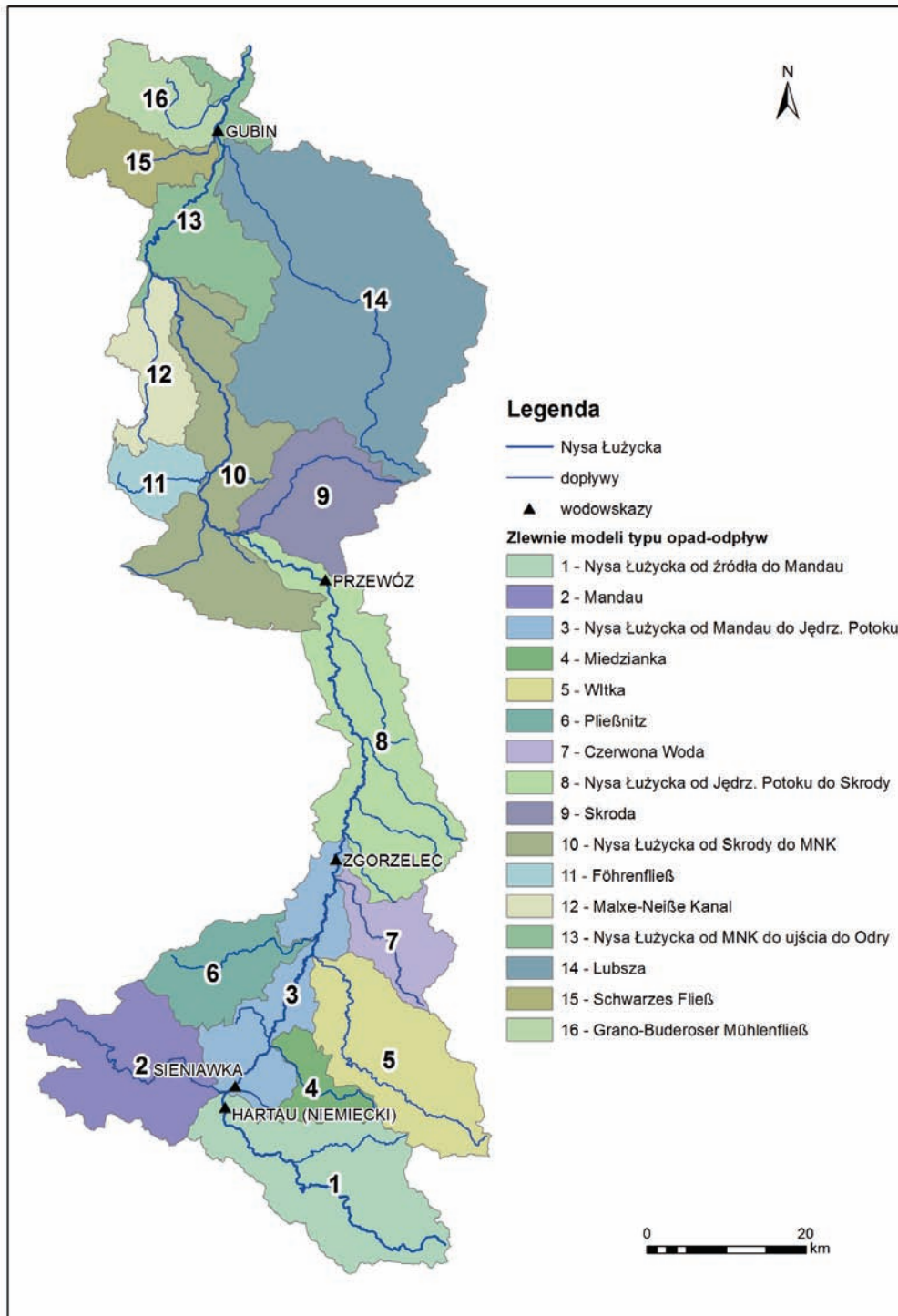
Tabela 7: Zestawienie zlewni bilansowych objętych modelami typu opad-odpływ

Zlewnia nr	Opis obszaru	Powierzchnia [km ²]
1	Zlewnia Nysy łużyckiej od źródła do ujścia Mandau	388.0
2	Zlewnia rzeki Mandau od źródła do ujścia	296.0
3	Część zlewni bezpośredniej Nysy łużyckiej od ujścia Mandau do ujścia Jędrzychowickiego Potoku (bez dopływów Miedzianka, Witka, Pließnitz, Czerwona)	249.6
4	Zlewnia rzeki Miedzianki od źródła do ujścia	82.4
5	Zlewnia rzeki Witki od źródła do ujścia	326.0
6	Zlewnia rzeki Pließnitz od źródła do ujścia	164.0
7	Zlewnia rzeki Czerwonej Wody od źródła do ujścia	131.0
8	Część zlewni bezpośredniej Nysy łużyckiej od ujścia Jędrzychowickiego Potoku do ujścia Skrody	471.0
9	Zlewnia rzeki Skrody od źródła do ujścia	223.0
10	Część zlewni bezpośredniej Nysy łużyckiej od ujścia Skrody do ujścia Malxe-Neiße-Kanal (bez dopływu Föhrenfließ)	421.7
11	Zlewnia rzeki Föhrenfließ od źródła do ujścia	81.3
12	Zlewnia rzeki Malxe-Neiße-Kanal od źródła do ujścia	138.0
13	Część zlewni bezpośredniej Nysy łużyckiej od Malxe-Neiße-Kanal do ujścia do Odry (bez dopływów Lubszy, Schwarzes Fließ, oraz Grano-Buderoser-Mühlenfließ)	250.0
14	Zlewnia rzeki Lubszy od źródła do ujścia	910.0
15	Zlewnia rzeki Schwarzes Fließ od źródła do ujścia	132.0
16	Zlewnia rzeki Grano-Buderoser-Mühlenfließ od źródła do ujścia	131.0

Materiał wejściowy do modeli typu opad-odpływ dla stanu rzeczywistego stanowiły serie danych historycznych z wspólnej bazy danych utworzonej w ramach projektu NEYMO. Wprowadzone do modeli serie danych wejściowych z wybranych posterunków obserwacyjnych zostały zestawione w tabeli 8. Na potrzeby zoptymalizowania ustawień, mając na uwadze dalsze wykorzystanie modeli typu opad-odpływ do opracowania przepływów prognozowanych, modele poddano kalibracji i walidacji na możliwie najdłuższych dostępnych seriach danych. Ostatecznie przyjęty zakres kalibracji i walidacji przeważnie obejmował okres 11.1971-10.2010 (Tabela 8). Jednak w przypadku braku dostępności danych, a także w celu zoptymalizowania ustawień modeli, dla kilku zlewni skrócony został zakres symulacji (Tabela 8). W następnych rozdziałach przedstawiono wyniki kalibracji dla 16 regionów modelowych.

Tabela 8: Zestawienie stacji pomiarowych wykorzystanych do budowy i kalibracji modeli typu opad-odpływ wraz z zastosowanym zakresem symulacji

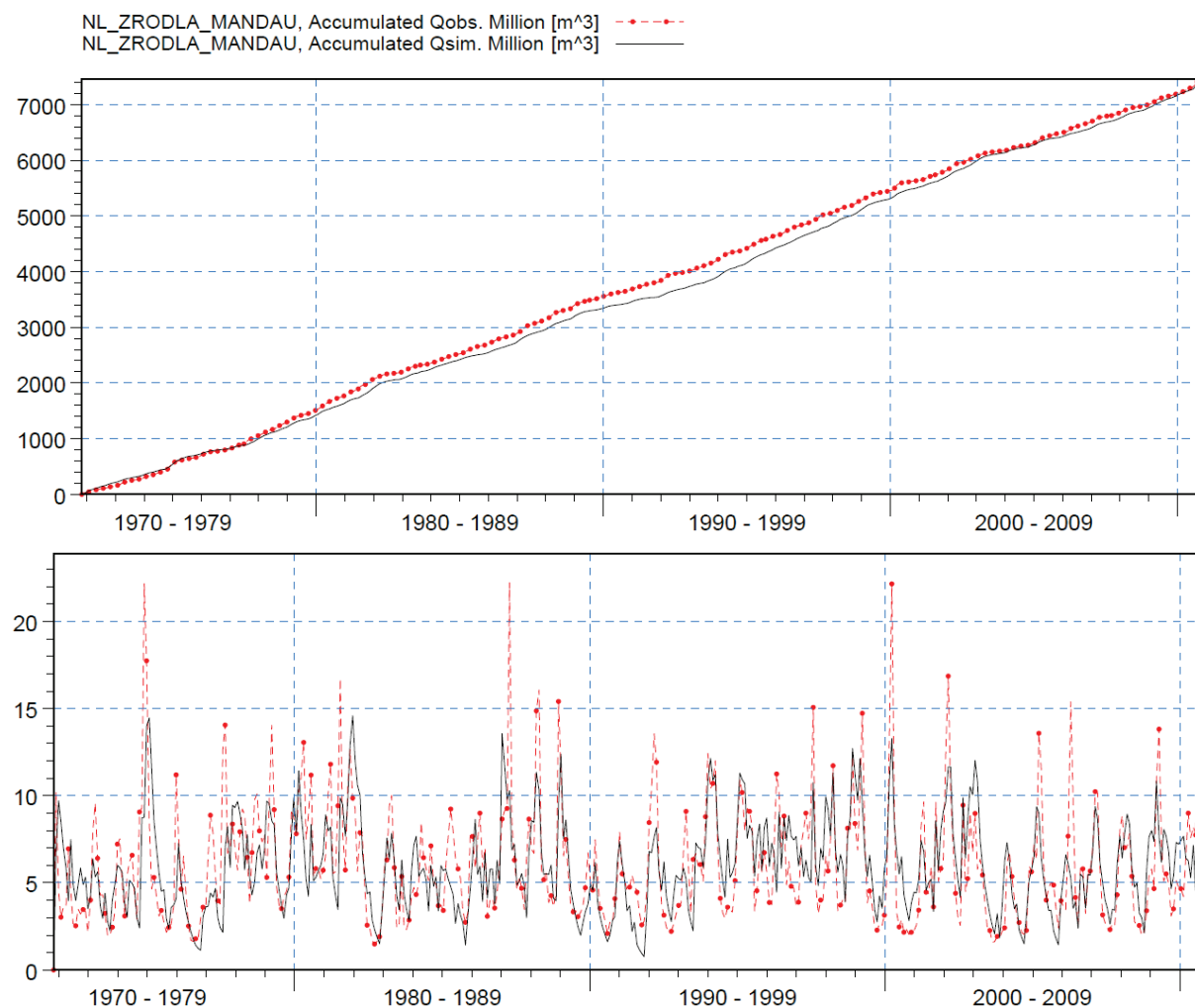
Zlewnia nr	Rzeka	Wodowskaz wykorzystywany do kalibrowania modelu	Zakres symulacji	Opady	ET
1	Nysa Łużycka	Porajów	11.1971-10.2010	Liberec	Görlitz
2	Mandau	Zittau 5	11.1971-10.2010	Varnsdorf	Cottbus
3	Nysa Łużycka	Porajów, Sieniawka, Zgorzelec	11.1980-10.1998	Sieniawka	Görlitz
4	Miedzianka	Turoszów	11.1971-10.2010	Minsek	Görlitz
5	Witka	Ostróžno	11.1971-10.2010	Hejnice	Görlitz
6	Pließnitz	Tauchritz	11.1971-10.2010	Kemnitz	Görlitz
7	Czerwona Woda	Zgorzelec Ujazd	11.1971-10.2010	Sulików	Görlitz
8	Nysa Łużycka	Zgorzelec, Klein Bademeusel, Schlagsdorf	11.1971-10.2010	Sobolice	Görlitz
9	Skroda	Przewoźniki	11.1971-10.2010	Łęknica	Cottbus
10	Nysa Łużycka	Klein Bademeusel, Schlagsdorf, Gubin	01.1995-10.2008	Łęknica	Cottbus
11	Föhrenfließ	Zschorno	11.1977-10.2010	Doeborn	Cottbus
12	Malxe-Neiße-Kanal	Mulknitz	10.1989-12.2010	Kompendorf	Cottbus
13	Nysa Łużycka	Gubin	01.1971-10.2004	Gubin	Cottbus
14	Lubsza	Plešno	11.1971-10.2010	Forst-Klein Badenmeusel	Görlitz
15	Schwarzes Fließ	Guben 5 Sprucke	11.2000-10.2010	Gubin	Görlitz
16	Grano-Buderoser-Mühlenfließ	Granoer Hammer	01.1997-10.2002	Gubin	Cottbus



Rysunek 20: Podział zlewni Nysy łużyckiej na mniejsze zlewnie bilansowe

Zlewnia 1: Odcinek Nysy Łużyckiej od źródła do ujścia Mandau

Opracowany model typu opad-odpływ dla odcinka zlewni Nysy Łużyckiej od źródła do ujścia rzeki Mandau poprawnie odwzorowuje czasową zmienność przyrostu natężenia przepływu obserwowaną na wodowskazie Porajów.



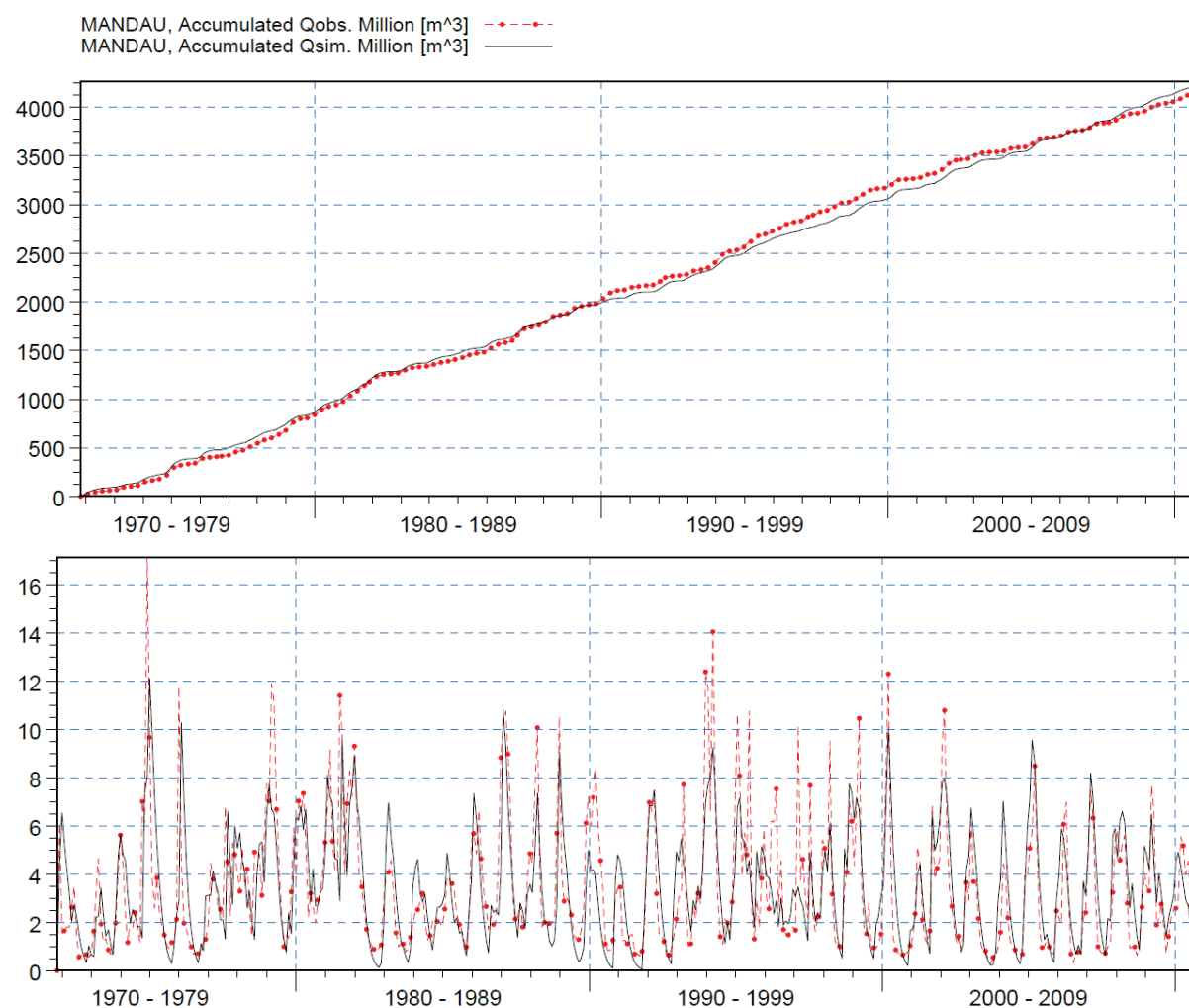
Rysunek 21: Krzywe bilansowe (górną część) i hydrogram (dolną część) modelu MIKE NAM zlewni cząstkowej Nysy Łużyckiej od źródła do ujścia rzeki Mandau

Model dobrze czasowo odwzorowuje przepływy. Przepływy wysokie przeważnie są niedoszacowane przez model, natomiast przepływy niskie nieznacznie przeszacowane. Uzyskana w wyniku symulacji średnia wartość przepływu wynosi $6,02 \text{ m}^3/\text{s}$ i jest zbliżona do średniej wielkości obserwowanej na wodowskazie Porajów, która wynosi $6,05 \text{ m}^3/\text{s}$ (Tabela 10).

Na wykresie skumulowanym (Rysunek 21) model dobrze odwzorowuje wartości obserwowane. Zaznacza się systematyczne niedoszacowanie wartości w okresie od 1980 do 2003. Na końcu symulowanego okresu bilans wodny jest nieznacznie niedoszacowany.

Zlewnia 2: Zlewnia rzeki Mandau

Model typu opad-odpływ dla zlewni rzeki Mandau od źródła do ujścia poprawnie czasowo odwzorowuje zmienność natężenia przepływu obserwowaną na wodowskazie Zittau 5.

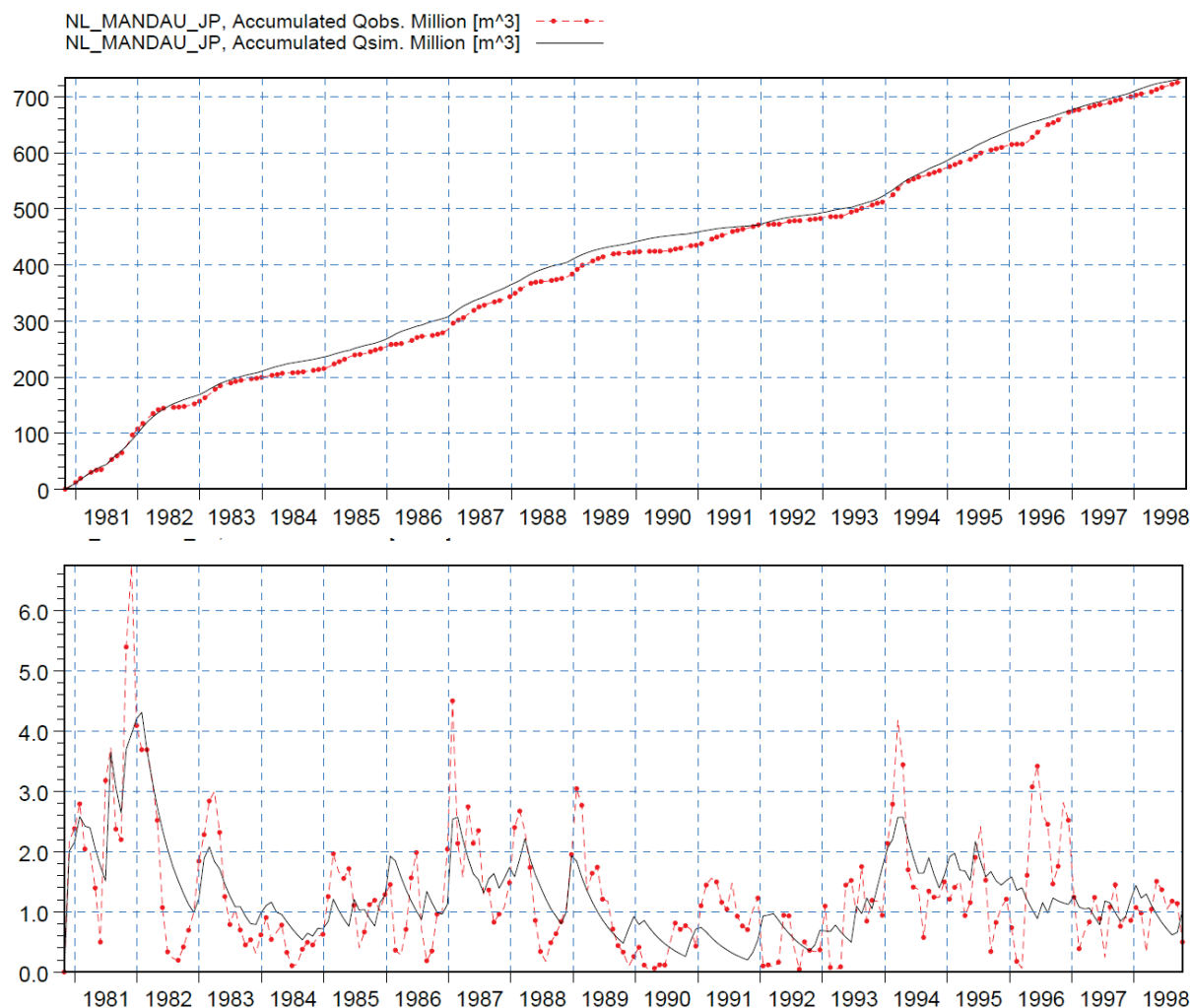


Rysunek 22: Krzywe bilansowe (górną) i hydrogram (dół) modelu MIKE NAM zlewni rzeki Mandau

Model poprawnie sygnalizuje wysokie przepływy, jednak większość z nich jest niedoszacowana. Na wykresie skumulowanym (Rysunek 22) model systematycznie niedoszacowuje (1990-2004) i przeszacowuje (1974-1979, 1983-1987) wielkości obserwowane. Ostatecznie bilans wodny jest nieznacznie przeszacowany na końcu symulowanego okresu, a uzyskana w wyniku symulacji średnia wartość przepływu wynosi $3,46 \text{ m}^3/\text{s}$ i jest zbliżona do wielkości obserwowanej na wodowskazie Zittau 5 ($3,41 \text{ m}^3/\text{s}$) (Tabela 10).

Zlewnia 3: Odcinek zlewni bezpośredniej Nysy łżyckiej od ujścia Mandau do ujścia Jędrzychowickiego Potoku

Model typu opad-odpływ dla fragmentu zlewni Nysy łżyckiej od ujścia Mandau do ujścia Jędrzychowickiego Potoku poprawnie odwzorowuje czasową zmienność natężenia przepływu na analizowanym odcinku, wynikającą z hydrogramu różnicowego.



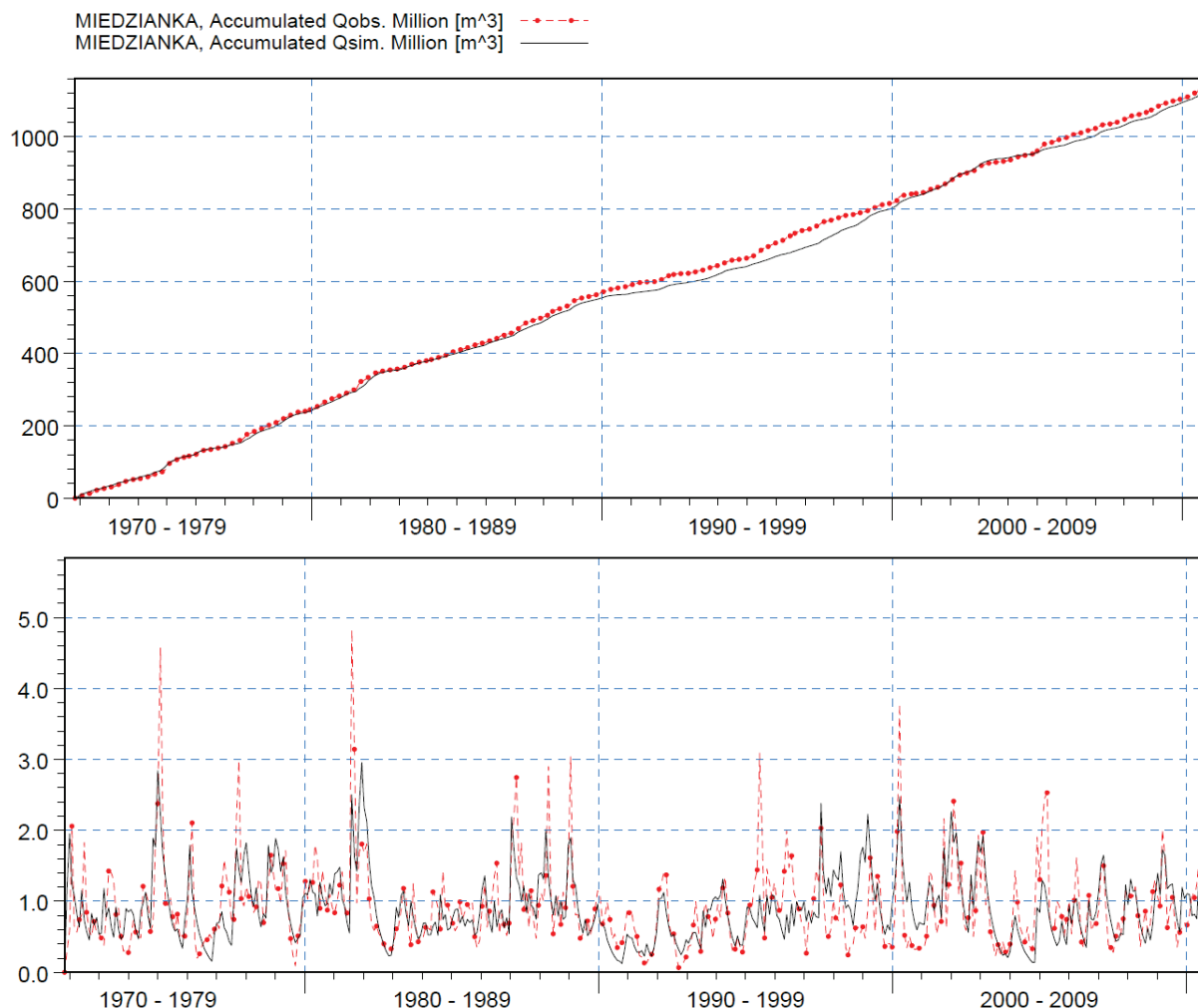
Rysunek 23: Krzywe bilansowe (górn) i hydrogram (dół) modelu MIKE NAM dla fragmentu zlewni Nysy łżyckiej od ujścia Mandau do ujścia Jędrzychowickiego Potoku

Na rysunku 23 widać dobre czasowe odwzorowanie wysokich przepływów przez model. Wysokie przepływy przeważnie są niedoszacowane przez model, natomiast przepływy niskie przeszacowane. Uzyskana w wyniku symulacji średnia wartość przepływu wynosi $1,29 \text{ m}^3/\text{s}$ jest zbliżona do średniej wielkości obserwowanej, która wynosi $1,28 \text{ m}^3/\text{s}$ (Tabela 10).

Na wykresie skumulowanym (Rysunek 23) zaznacza się systematyczne przeszacowanie wartości niemal w całym symulowanym okresie. Na końcu symulowanego okresu bilans wodny jest ostatecznie, nieznacznie przeszacowany.

Zlewnia 4: Zlewnia rzeki Miedzianki

Model typu opad-odpływ dla zlewni rzeki Miedzianki od źródła do ujścia poprawnie czasowo odwzorowuje zmienność natężenia przepływu obserwowaną na wodowskazie Turoszów.

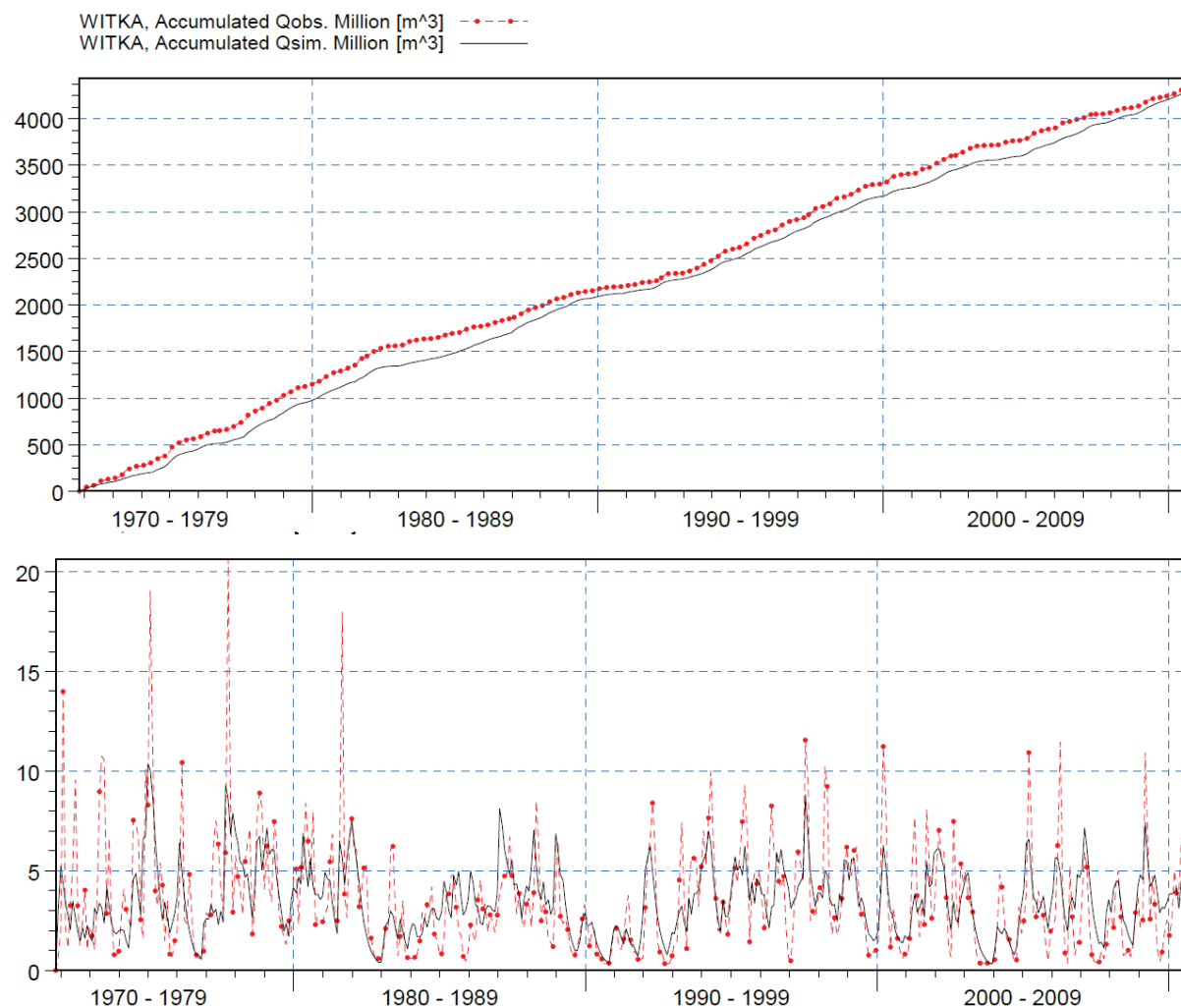


Rysunek 24: Krzywe bilansowe (górną) i hydrogram (dół) modelu MIKE NAM zlewni rzeki Miedzianki

Model dobrze czasowo sygnalizuje wysokie przepływy, które najczęściej są niedoszacowane. Na wykresie skumulowanym (Rysunek 24) model systematycznie niedoszacowuje wielkości obserwowane w okresie 1988-2000. Ostatecznie bilans wodny jest nieznacznie przeszacowany na końcu symulowanego okresu, a uzyskana w wyniku symulacji średnia wartość przepływu wynosi $0,92 \text{ m}^3/\text{s}$ i jest zbliżona do przepływu obserwowanego $0,94 \text{ m}^3/\text{s}$ (Tabela 10).

Zlewnia 5: Zlewnia rzeki Witki

Opracowany model typu opad-odpływ dla zlewni Witki od źródła do ujścia poprawnie odwzorowuje czasową zmienność przyrostu natężenia przepływu obserwowaną na wodowskazie Ostróżno.



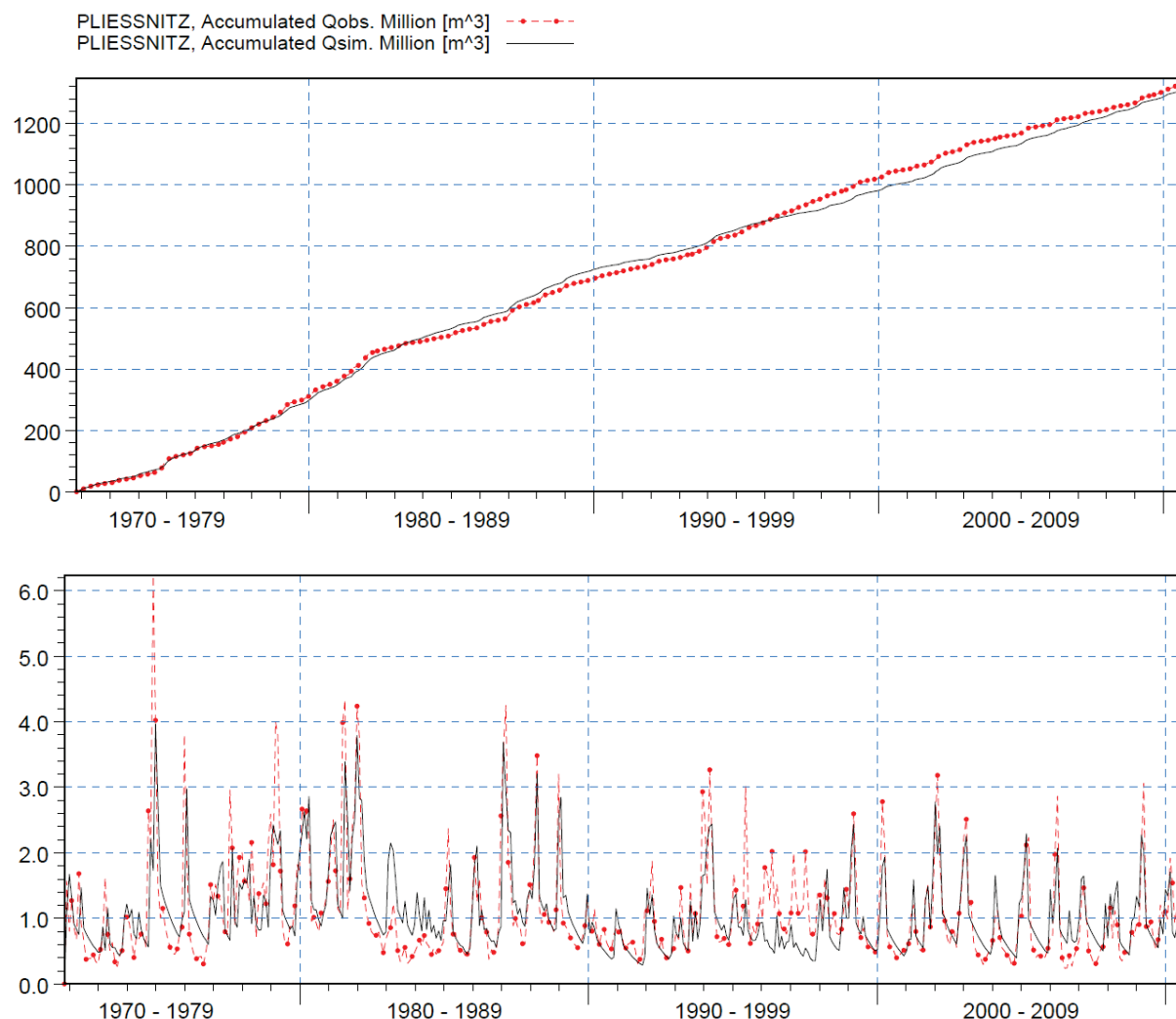
Rysunek 25: Krzywe bilansowe (górze) i hydrogram (dół) modelu MIKE NAM zlewni rzeki Witki.

Model dobrze czasowo odwzorowuje przepływy. Model przeważnie niedoszacowuje wysokie przepływy, natomiast przepływy niskie nieznacznie przeszacowane. Uzyskana w wyniku symulacji średnia wartość przepływu wynosi $3,52 \text{ m}^3/\text{s}$ i jest zbliżona do średniej wielkości obserwowanej na wodowskazie Ostróżno, która wynosi $3,60 \text{ m}^3/\text{s}$ (Tabela 10).

Na wykresie skumulowanym (Rysunek 25) zaznacza się systematyczne niedoszacowanie wartości w całym symulowanym okresie. Ostatecznie na końcu symulowanego okresu bilans wodny jest nieznacznie niedoszacowany.

Zlewnia 6: Zlewnia rzeki Pließnitz

Model typu opad-odpływ dla zlewni rzeki Pließnitz od źródła do ujścia poprawnie czasowo odwzorowuje zmienność natężenia przepływu obserwowaną na wodowskazię Tauchritz.

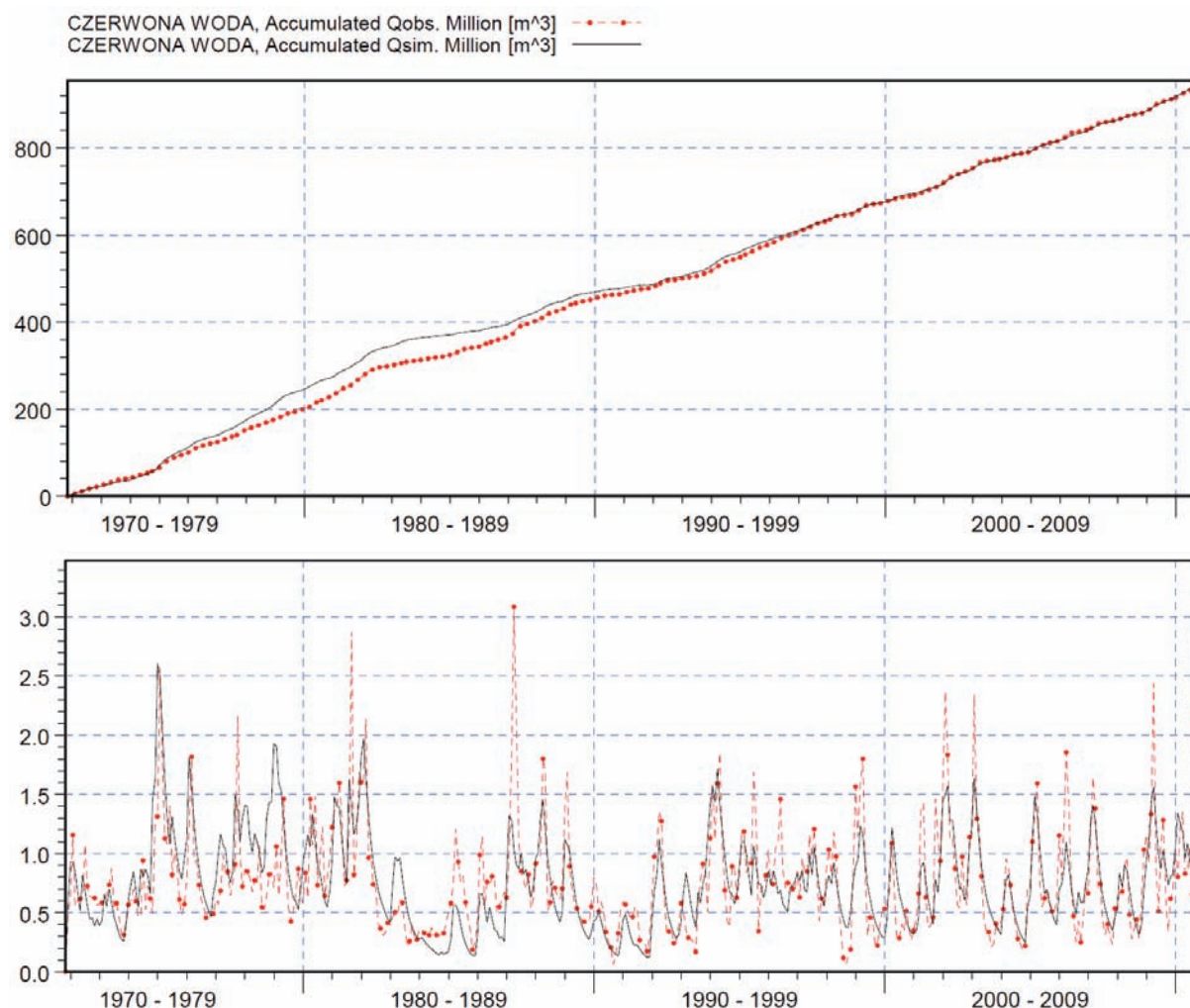


Rysunek 26: Krzywe bilansowe (górną) i hydrogram (dolną) modelu MIKE NAM zlewni rzeki Pließnitz

Model poprawnie sygnalizuje wysokie przepływy, jednak w większości przypadków są one nieznacznie niedoszacowane. Przepływy niskie są przeważnie niedoszacowane. Na wykresie skumulowanym (Rysunek 26) model systematycznie przeszacowuje wartości obserwowane w okresie 1984-1994 oraz niedoszacowuje wartości obserwowane w okresie 1997-2010. Ostatecznie bilans wodny jest nieznacznie niedoszacowany na końcu symulowanego okresu, a uzyskana w wyniku symulacji średnia wartość przepływu wynosi $1,07 \text{ m}^3/\text{s}$ i jest zbliżona do wielkości obserwowanej na wodowskazię Tauchritz ($1,09 \text{ m}^3/\text{s}$) (Tabela 10).

Zlewnia 7: Zlewnia rzeki Czerwonej Wody

Opracowany model typu opad-odpływ dla zlewni rzeki Czerwonej Wody od źródła do ujścia poprawnie odwzorowuje czasową zmienność przepływu mierzonego na wodowskazię Zgorzelec Ujazd.



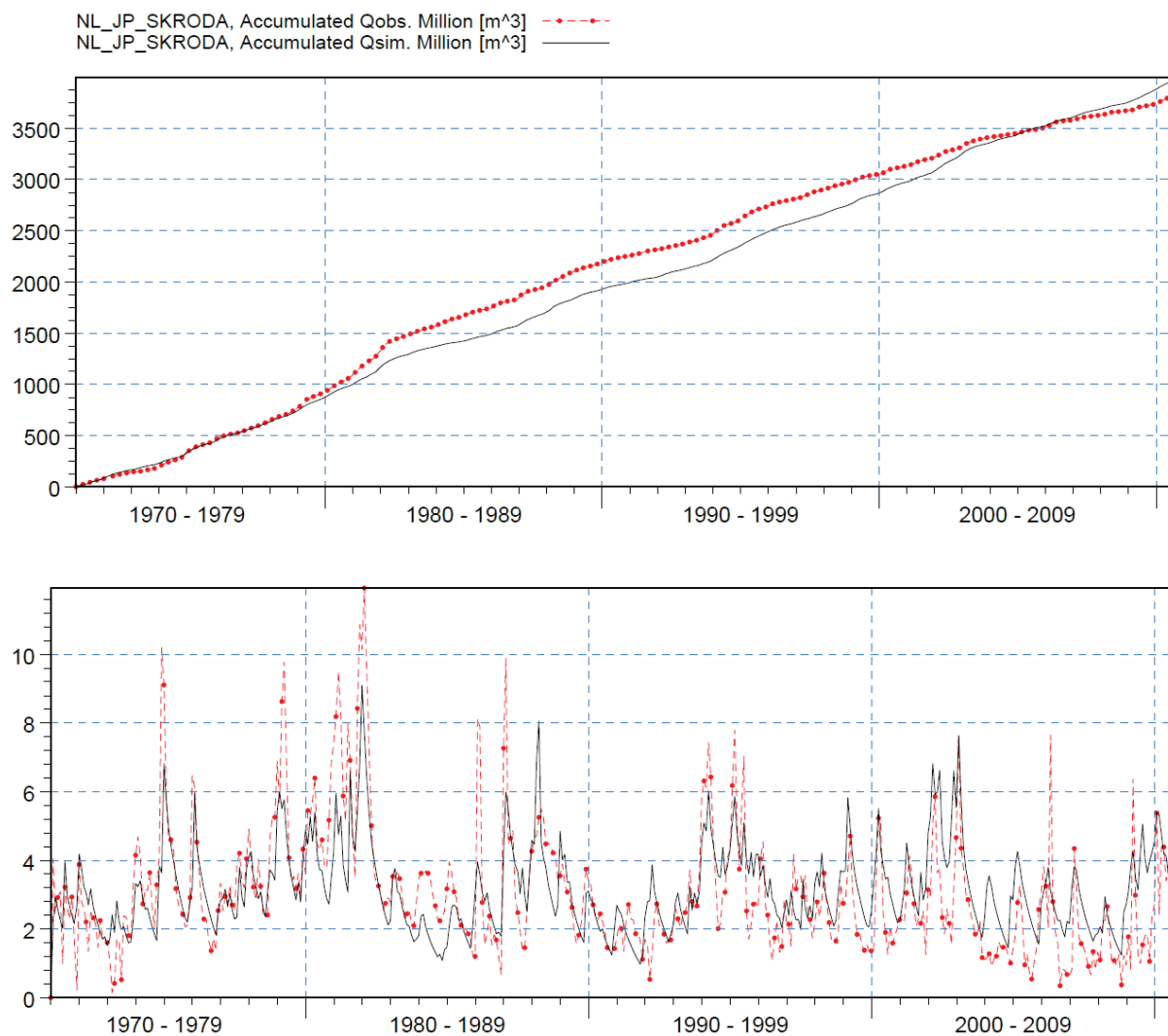
Rysunek 27: Krzywe bilansowe (górn) i hydrogram (dół) modelu MIKE NAM zlewni rzeki Czerwonej Wody

Model zgodnie czasowo sygnalizuje wysokie przepływy (Rysunek 27), jednak w większości są one nieznacznie niedoszacowane. Uzyskana w wyniku symulacji średnia wartość przepływu wynosi 0,77 m³/s i jest niemal równa średniej wielkości obserwowanej (Tabela 10).

Na wykresie skumulowanym (Rysunek 27) model zgodnie odwzorowuje wartości obserwowane. Zaznacza się systematyczne przeszacowanie wartości z okresu 1974-1991. Na końcu symulowanego okresu bilans wodny jest nieznacznie niedoszacowany.

Zlewnia 8: Odcinek zlewni bezpośredniej Nysy Łużyckiej od ujścia Jędrzychowickiego Potoku do ujścia Skrody

Model typu opad-odpływ dla części zlewni Nysy Łużyckiej od ujścia Jędrzychowickiego Potoku do ujścia Skrody poprawnie czasowo odwzorowuje zmienność natężenia przepływu na analizowanym odcinku, wynikającą z hydrogramu różnicowego.



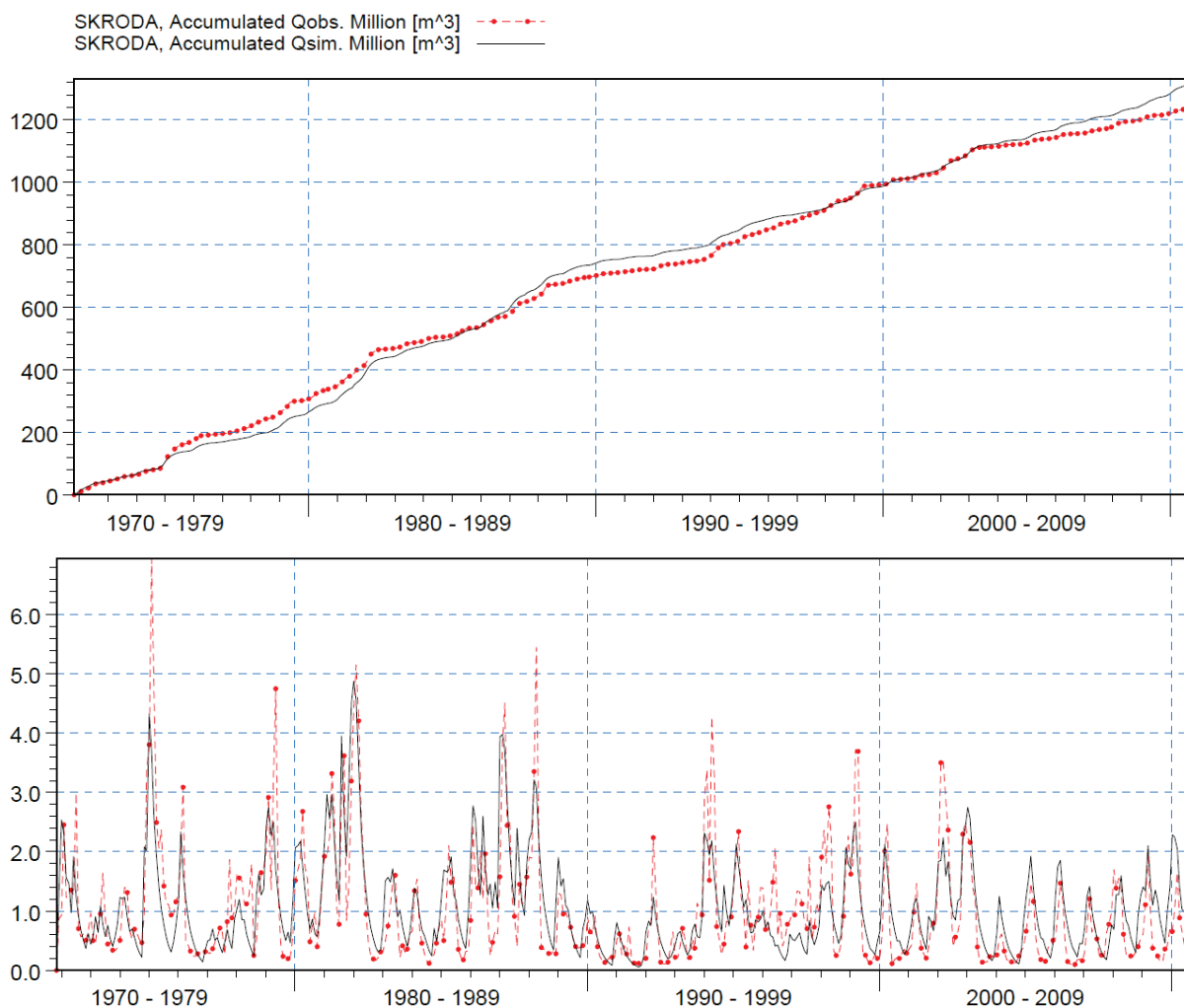
Rysunek 28: Krzywe bilansowe (góra) i hydrogram (dół) modelu MIKE NAM dla fragmentu zlewni Nysy Łużyckiej od ujścia Jędrzychowickiego Potoku do ujścia Skrody.

Rysunek 28 prezentuje dobre czasowe odwzorowanie przez model wysokich i niskich przepływów. Model nieznacznie niedoszacowuje wysokie przepływy, natomiast przepływy niskie są w przeważającej części nieznacznie przeszacowane. Uzyskana w wyniku symulacji średnia wartość przepływu wynosi $3,17 \text{ m}^3/\text{s}$ i jest zbliżona do średniej wielkości obserwowanej, która wynosi $3,04 \text{ m}^3/\text{s}$ (Tabela 10).

Na wykresie skumulowanym (Rysunek 28) zaznacza się systematyczne niedoszacowanie wartości z okresu 1980-2003. Na końcu symulowanego okresu bilans wodny jest nieznacznie przeszacowany.

Zlewnia 9: Zlewnia rzeki Skrody

Model typu opad-odpływ dla zlewni rzeki Skrody od źródła do ujścia poprawnie czasowo odwzorowuje zmienność natężenia przepływu mierzonego na wodowskazie Przewoźniki.

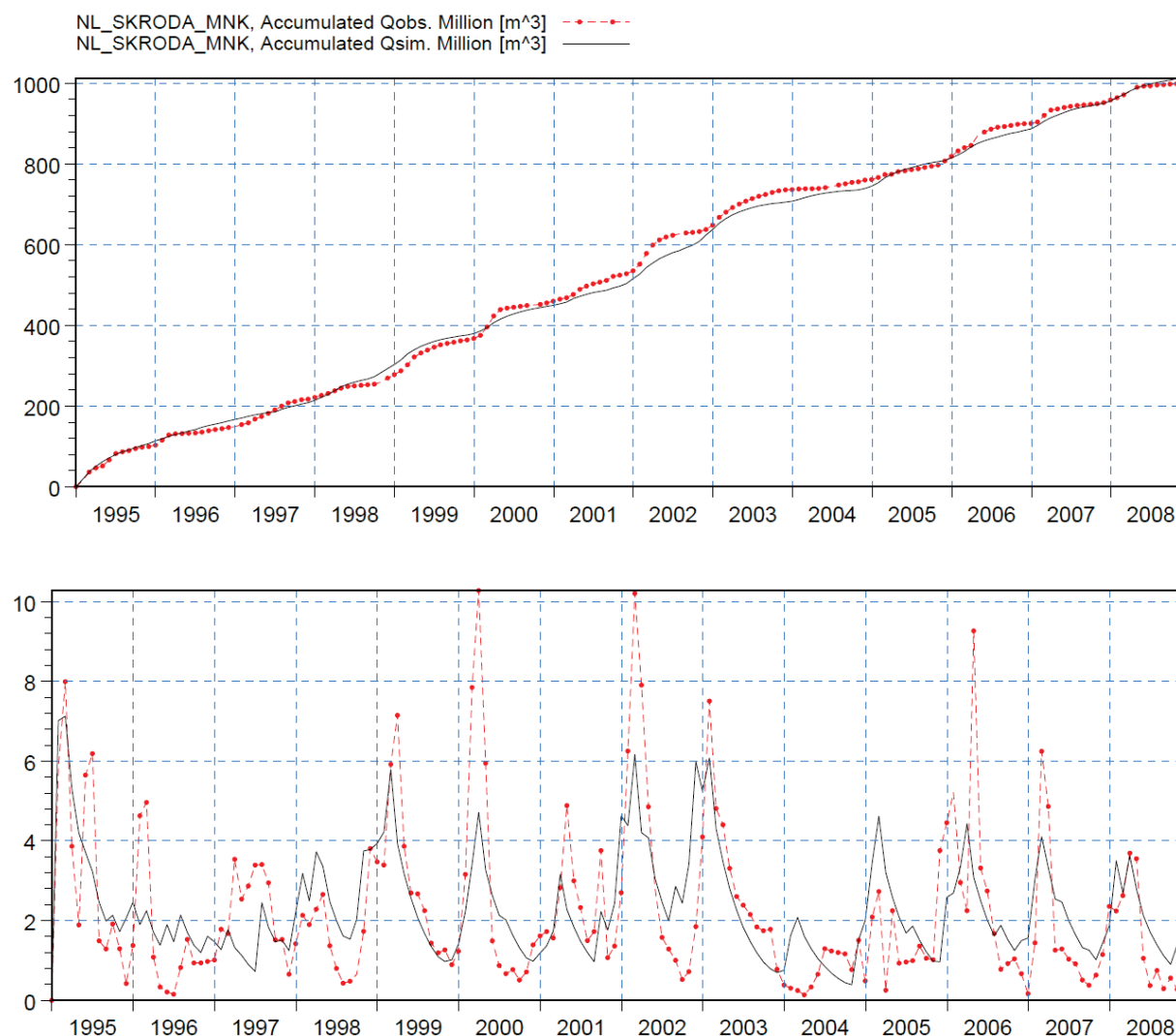


Rysunek 29: Krzywe bilansowe (górną) i hydrogram (dolną) modelu MIKE NAM zlewni rzeki Skrody

W modelu poprawnie sygnalizowane są wysokie przepływy, jednak większość z nich jest niedoszacowana. Przepływy niskie są przeważnie niedoszacowane. Na wykresie skumulowanym (Rysunek 29) model systematycznie niedoszacowuje (1973-1984) i przeszacowuje (1988-1997) wielkości obserwowane. Ostatecznie bilans wodny na końcu symulowanego okresu jest nieznacznie przeszacowany, a uzyskana w wyniku symulacji średnia wartość przepływu wynosi $1,08 \text{ m}^3/\text{s}$ i jest równa z wielkością obserwowaną ($1,02 \text{ m}^3/\text{s}$) (Tabela 10).

Zlewnia 10: Odcinek zlewni bezpośredniej Nisy Łużyckiej od ujścia Skrody do ujścia Malxe-Neiße-Kanal

Model typu opad-odpływ dla części zlewni Nisy Łużyckiej od ujścia Skrody do ujścia Malxe-Neiße-Kanal poprawnie czasowo odwzorowuje zmienność natężenia przepływu na analizowanym odcinku, wynikającą z hydrogramu różnicowego.



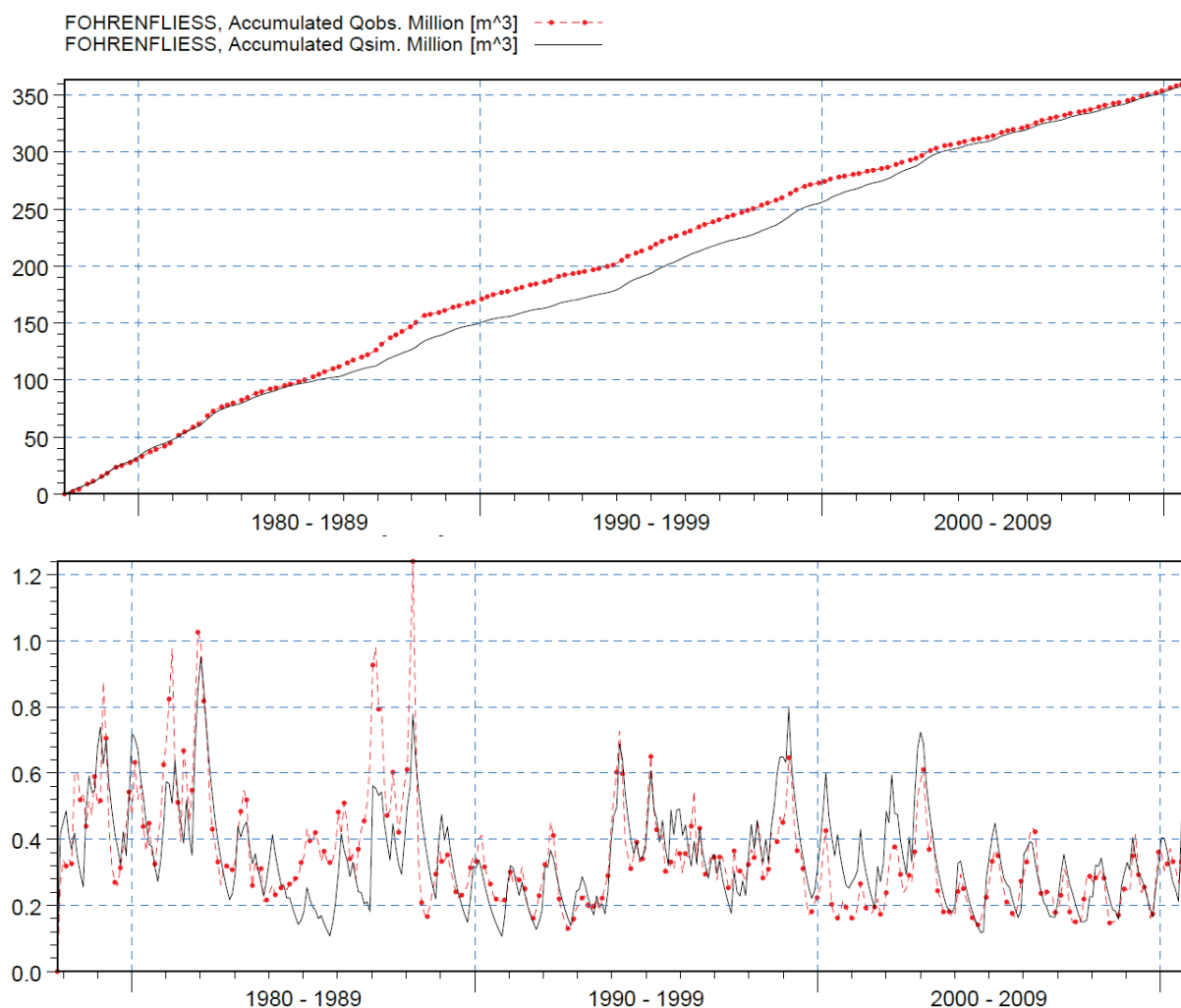
Rysunek 30: Krzywe bilansowe (górną) i hydrogram (dolną) modelu MIKE NAM dla fragmentu zlewni Nisy Łużyckiej od ujścia Skrody do ujścia Malxe-Neiße-Kanal.

Model dobrze czasowo odwzorowuje przepływy (Rysunek 30). Wysokie przepływy przeważnie są niedoszacowane przez model, natomiast przepływy niskie nieznacznie przeszacowane. Uzyskana w wyniku symulacji średnia wartość przepływu wynosi $2,30 \text{ m}^3/\text{s}$ i jest zbliżona do średniej wielkości obserwowanej, która wynosi $2,27 \text{ m}^3/\text{s}$ (Tabela 10).

Na wykresie skumulowanym (Rysunek 30) model dobrze odwzorowuje wartości obserwowane. Zaznacza się systematyczne niedoszacowanie wartości z okresu 2001-2004. Na końcu symulowanego okresu bilans wodny jest nieznacznie przeszacowany.

Zlewnia 11: Zlewnia rzeki Föhrenfließ

Model typu opad-odpływ dla zlewni rzeki Föhrenfließ od źródła do ujścia poprawnie czasowo odwzorowuje zmienność natężenia przepływu obserwowaną na wodowskazię Zschorno.

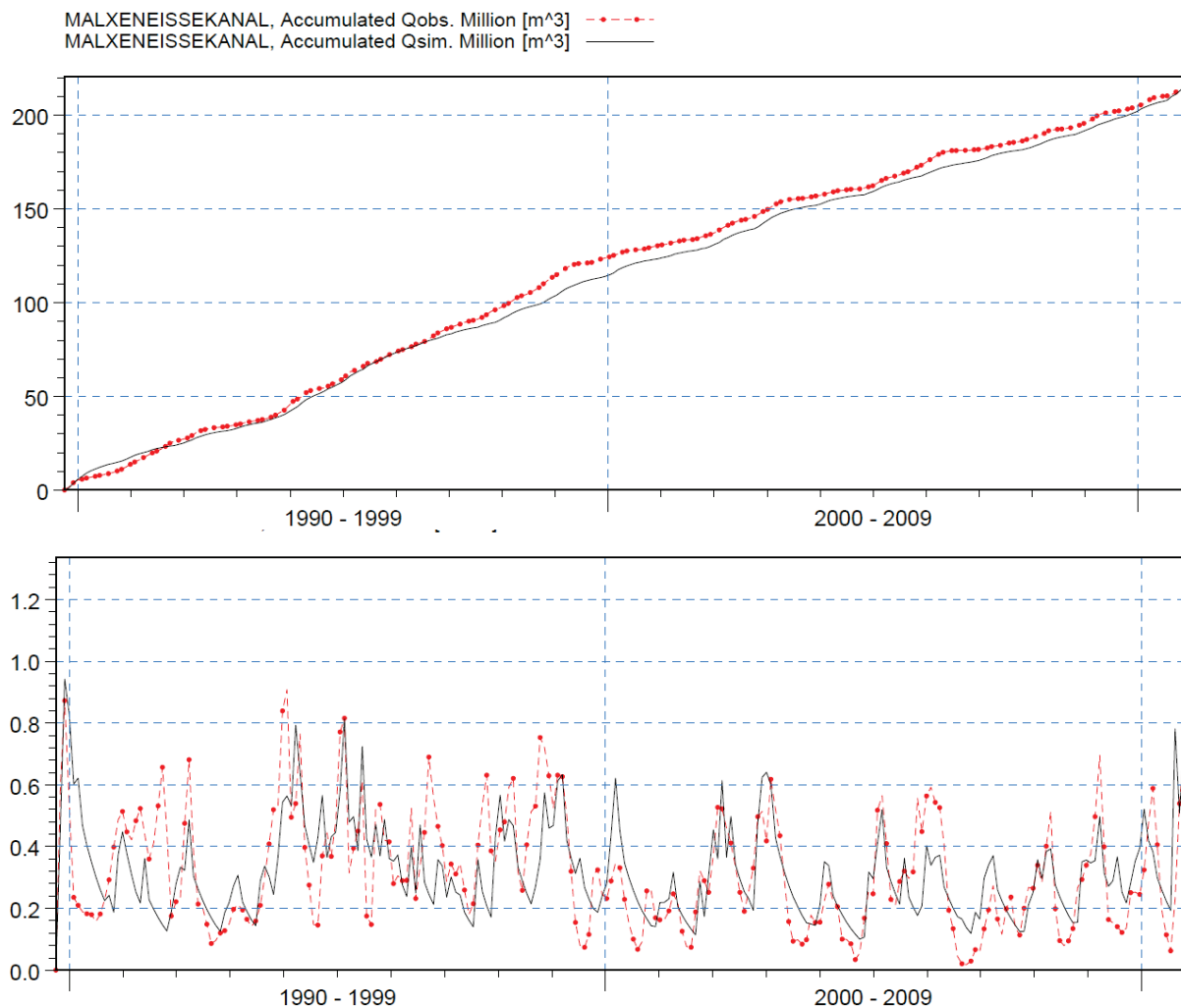


Rysunek 31: Krzywe bilansowe (górną) i hydrogram (dolną) modelu MIKE NAM zlewni rzeki Föhrenfließ

Model dobrze czasowo sygnalizuje wysokie przepływy, które najczęściej są niedoszacowane, podobnie jest w przypadku przepływów niskich. Na wykresie skumulowanym (Rysunek 31) model systematycznie niedoszacowuje wielkości obserwowane w okresie 1985-2003. Ostatecznie bilans wodny jest nieznacznie niedoszacowany na końcu symulowanego okresu, a uzyskana w wyniku symulacji średnia wartość przepływu wynosi $0,35 \text{ m}^3/\text{s}$ jest bardzo zbliżona do przepływu obserwowanego na wodowskazię Zschorno (Tabela 10).

Zlewnia 12: Zlewnia rzeki Malxe-Neiße-Kanal

Model typu opad-odpływ dla zlewni rzeki Malxe-Neiße-Kanal od źródła do ujścia poprawnie czasowo odwzorowuje zmienność natężenia przepływu obserwowaną na wodowskazie Mulknitz.

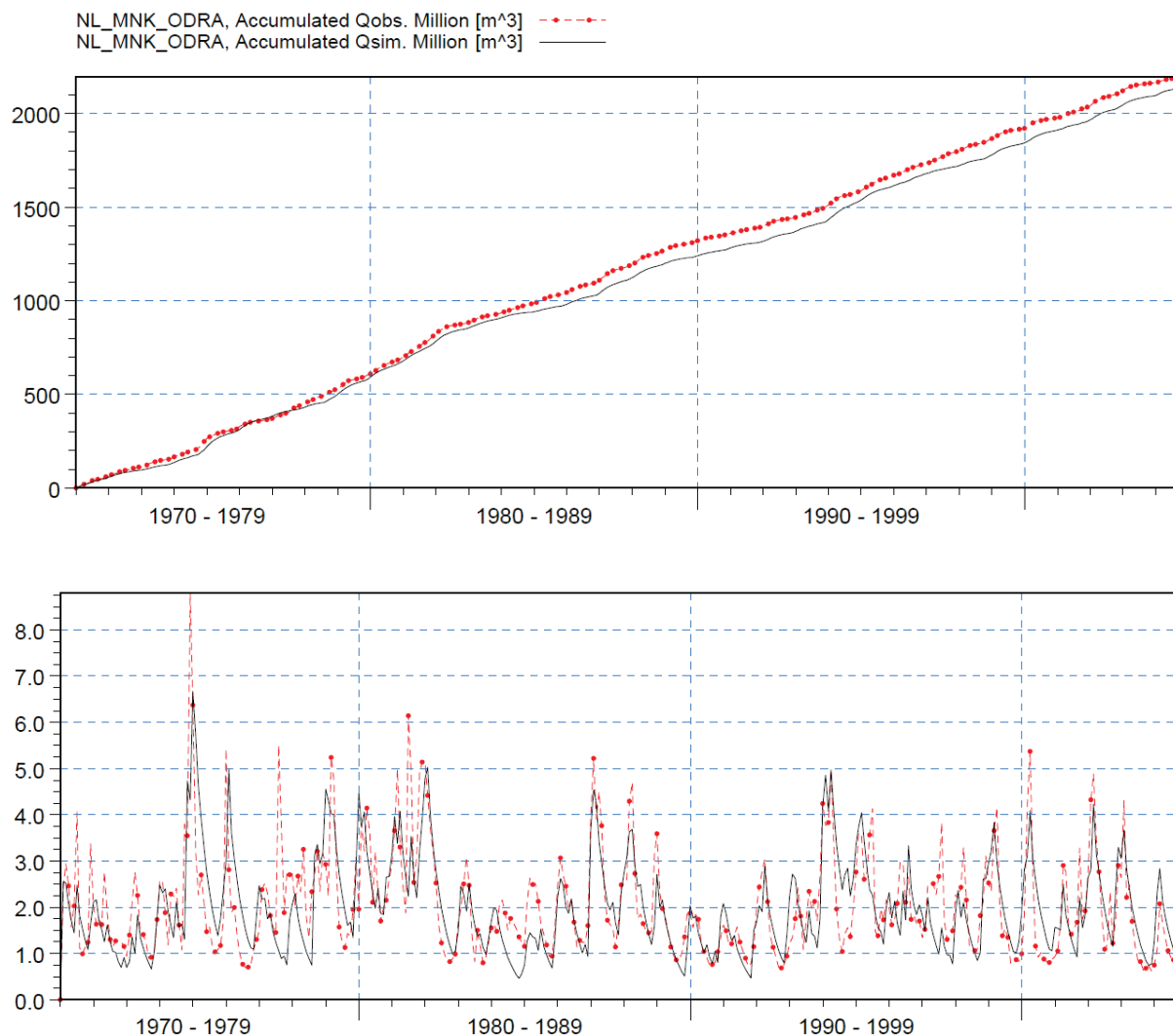


Rysunek 32: Krzywe bilansowe (górną) i hydrogram (dolną) modelu MIKE NAM zlewni rzeki Malxe-Neiße-Kanal.

Model poprawnie sygnalizuje wysokie przepływy, jednak w większości przypadków są one nieznacznie niedoszacowane. Przepływy niskie są przeważnie niedoszacowane. Na wykresie skumulowanym (Rysunek 32) model systematycznie niedoszacowuje wartości obserwowane w okresie 1997-2009. Ostatecznie bilans wodny jest nieznacznie niedoszacowany na końcu symulowanego okresu, a uzyskana w wyniku symulacji średnia wartość przepływu wynosi $0,32 \text{ m}^3/\text{s}$ i jest zbliżona do wielkości obserwowanej na wodowskazie Mulknitz ($0,33 \text{ m}^3/\text{s}$) (Tabela 10).

Zlewnia 13: Odcinek zlewni bezpośredniej Nisy Łużyckiej od Malxe-Neiße-Kanal do ujścia do Odry

Model typu opad-odpływ dla części zlewni Nisy Łużyckiej od ujścia Malxe-Neiße-Kanal do ujścia do rzeki Odry poprawnie czasowo odwzorowuje zmienność natężenia przepływu na analizowanym odcinku, wynikającą z hydrogramu różnicowego.



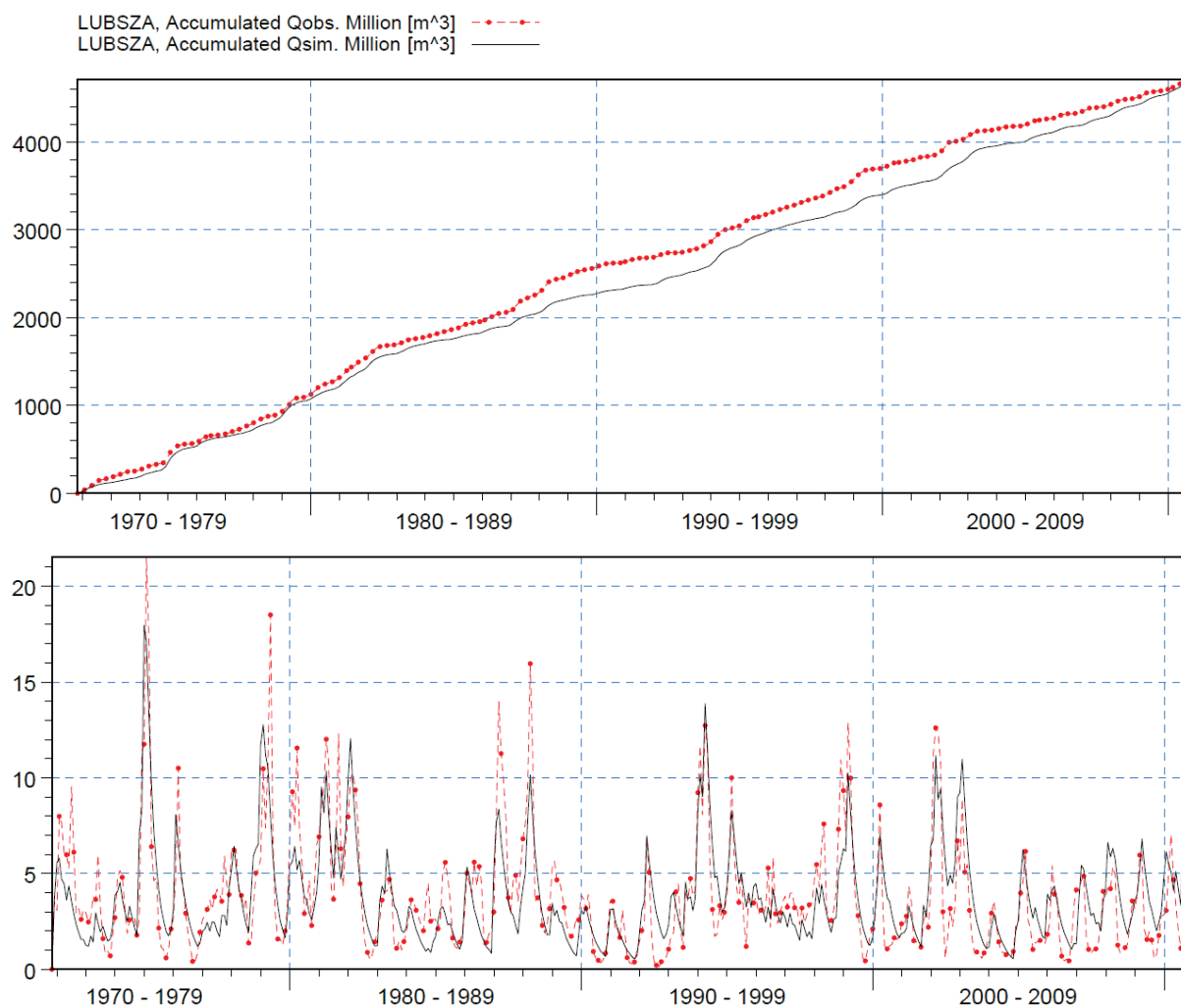
Rysunek 33: Krzywe bilansowe (górną) i hydrogram (dół) modelu MIKE NAM dla fragmentu zlewni Nisy Łużyckiej od Malxe-Neiße-Kanal do ujścia do Odry.

Model dobrze czasowo odwzorowuje przepływy (Rysunek 33). Model przeważnie niedoszacowuje wysokie przepływy, natomiast przepływy niskie są nieznacznie przeszacowane. Uzyskana w wyniku symulacji średnia wartość przepływu wynosi $2,00 m^3/s$ i jest zbliżona do średniej wielkości obserwowanej, która wynosi $2,05 m^3/s$ (Tabela 10).

Na wykresie skumulowanym (Rysunek 33) model dobrze odwzorowuje wartości obserwowane. Zaznacza się systematyczne niedoszacowanie wartości od roku 1982 do końca symulowanego okresu. Na końcu symulowanego okresu bilans wodny jest nieznacznie niedoszacowany.

Zlewnia 14: Zlewnia rzeki Lubszy

Opracowany model typu opad-odpływ dla zlewni rzeki Lubszy od źródła do ujścia poprawnie odwzorowuje czasową zmienność przepływu mierzonego na wodowskazie Pleśno.



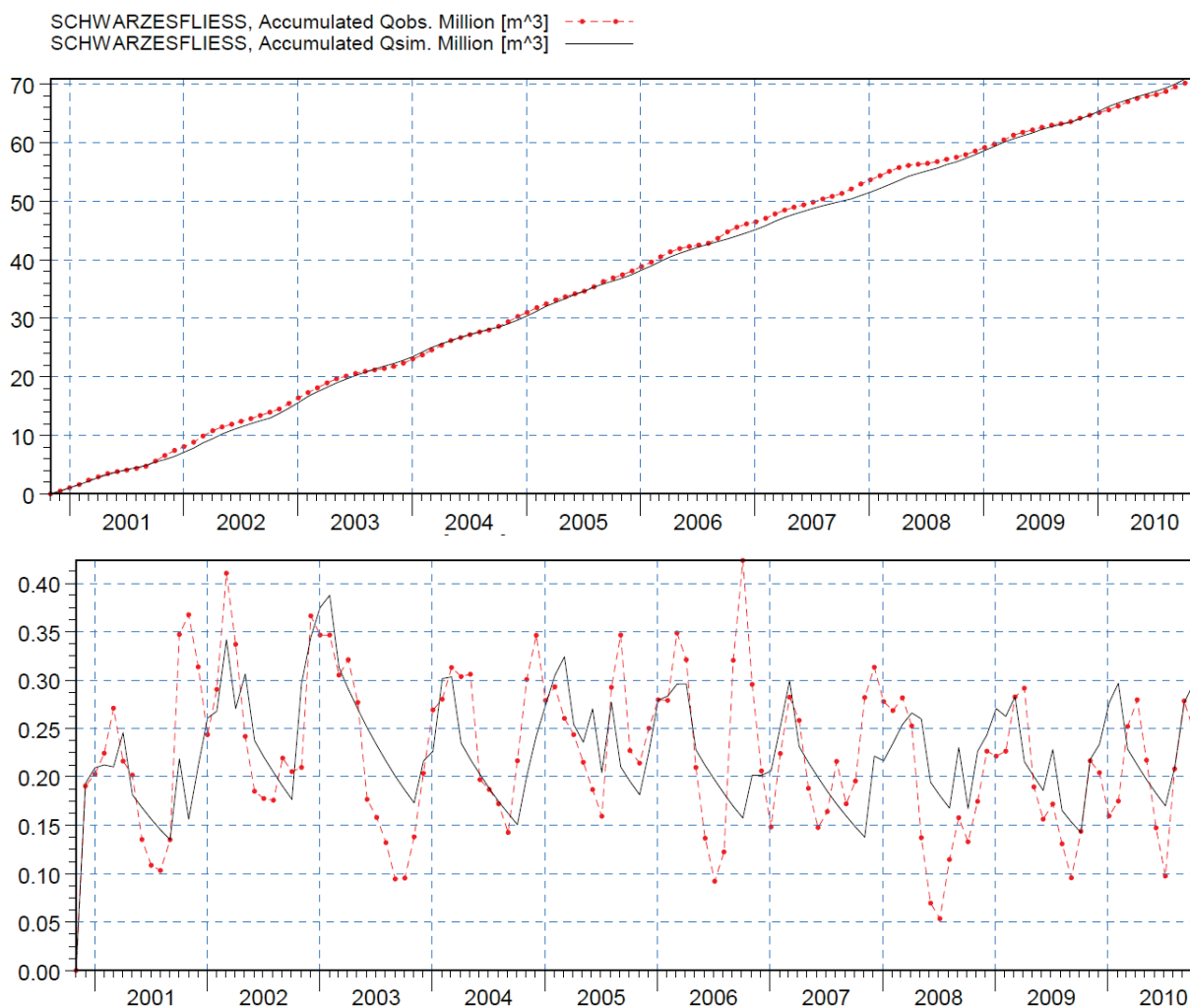
Rysunek 34: Krzywe bilansowe (górną część) i hydrogram (dolną część) modelu MIKE NAM zlewni rzeki Lubszy.

Model zgodnie czasowo sygnalizuje wysokie przepływy (Rysunek 34), jednak w większości są one nieznacznie niedoszacowane. Uzyskana w wyniku symulacji średnia wartość przepływu wynosi $3,82 \text{ m}^3/\text{s}$ i jest zbliżona do średniej wielkości obserwowanej na wodowskazie Pleśno ($3,81 \text{ m}^3/\text{s}$; Tabela 10).

Na wykresie skumulowanym (Rysunek 34) model zgodnie odwzorowuje wartości obserwowane. Zaznacza się systematyczne niedoszacowanie wartości w całym okresie prowadzonych symulacji i ostatecznie na końcu symulowanego okresu bilans wodny jest nieznacznie przeszacowany.

Zlewnia 15: Zlewnia rzeki Schwarzes Fließ

Opracowany model typu opad-odpływ dla zlewni Schwarzes Fließ od źródła do ujścia poprawnie odwzorowuje czasową zmienność przyrostu natężenia przepływu obserwowaną na wodowskazie Guben 5 Sprucke.



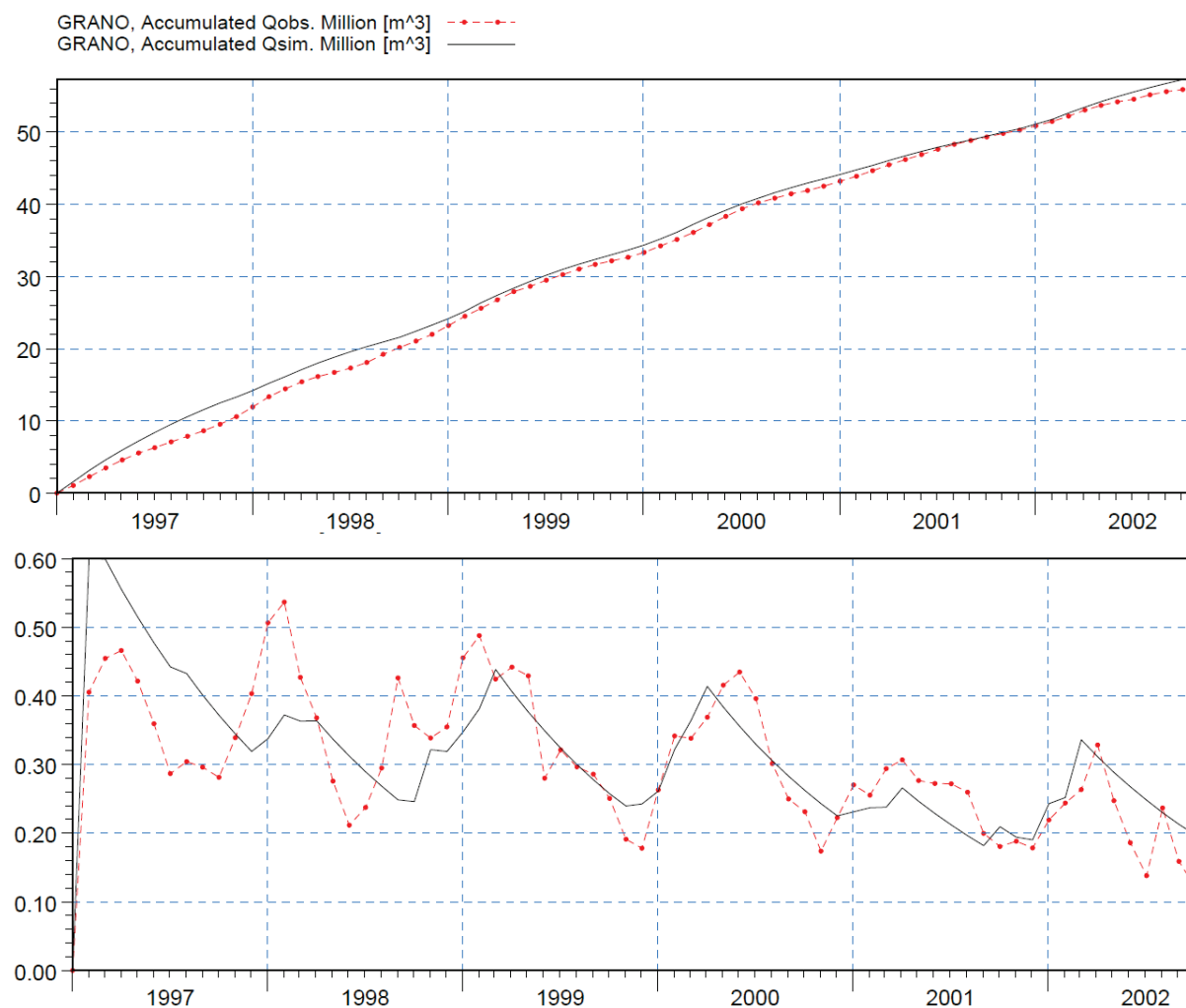
Rysunek 35: Krzywe bilansowe (góra) i hydrogram (dół) modelu MIKE NAM zlewni rzeki Schwarzes Fließ.

Model dobrze czasowo odwzorowuje przepływy, wysokie przepływy są przeważnie niedoszacowane, natomiast przepływy niskie przeszacowane. Uzyskana w wyniku symulacji średnia wartość przepływu wynosi 0,22 m³/s i jest niemal równa ze średnią wielkością obserwowaną na Guben 5 Sprucke (Tabela 10).

Na wykresie skumulowanym (Rysunek 35) zaznacza się systematyczne niedoszacowanie wartości w okresie 2007-2008. Ostatecznie na końcu symulowanego okresu bilans wodny jest nieznacznie przeszacowany.

Zlewnia 16: Zlewnia rzeki Grano-Buderoser-Mühlenfließ

Model typu opad-odpływ dla zlewni rzeki Grano-Buderoser-Mühlenfließ od źródła do ujścia poprawnie czasowo odwzorowuje zmienność natężenia przepływu obserwowaną na wodowskazię Granoer Hammer.



Rysunek 36: Krzywe bilansowe (górną) i hydrogram (dolną) modelu MIKE NAM zlewni rzeki Grano-Buderoser-Mühlenfließ.

Model poprawnie sygnalizuje wysokie przepływy, jednak większość z nich jest niedoszacowana. Na wykresie skumulowanym (Rysunek 36) model systematycznie przeszacowuje w całym okresie prowadzonych symulacji. Ostatecznie bilans wodny jest nieznacznie przeszacowany na końcu symulowanego okresu, a uzyskana w wyniku symulacji średnia wartość przepływu wynosi $0,31 \text{ m}^3/\text{s}$ i jest zbliżona do wielkości obserwowanej na wodowskazię Granoer Hammer ($0,30 \text{ m}^3/\text{s}$) (Tabela 10).

3.1.6. Ocena poprawności rzeczylwistych modeli typu opad-odpływ

Na etapie kalibracji i oceny poprawności modeli dokonano porównania wyników symulacji z obserwacjami zarówno w formie graficznej (Rysunek 21 - Rysunek 36) jak i wartości liczbowych symulowanego i obserwowanego przepływu. Do oceny poprawności modeli przyjęto kryterium

zgodności wyników modeli z rzeczywistymi przepływami w przekrojach zamykających zlewnie bilansowe w oparciu o statystyki podsumowujące błędy modeli. Kryterium kalibracji stanowiły statystyki NSE (statystyka przyjęta za DHI i IMGW-PIB 2011), R oraz BIAS.

Statystyka NSE (Nash-Sutcliffe Efficiency) opracowana przez Nash and Sutcliffe jest szeroko stosowana do oceny błędów symulacji długoterminowych (DHI 2011). Statystyka NSE pozwala na ocenę poprawności symulowanych wartości w porównaniu do wartości obserwowanych i jest wyrażona wzorem:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n [Q_{obs,i} - Q_{sim,i}]^2}{\sum_{i=1}^n [Q_{obs,i} - \bar{Q}_{obs}]^2}$$

gdzie:

$Q_{obs,i}$ jest przepływem obserwowanym w czasie i , natomiast $Q_{sim,i}$ jest odpowiadającą mu wielkością przepływu symulowanego, \bar{Q}_{obs} to wartość średnia obserwowanego przepływu.

Kolejną miarą, która jest powszechnie stosowana przy weryfikacji modeli to współczynnik korelacji Pearsona, wyrażający współzmiennność wielkości obserwowanych (h_o) i symulowanych (h_s). Statystyka wyrażona jest wzorem:

$$R = \frac{cov(h_o, h_s)}{S_o \times S_s}$$

gdzie:

cov - kowariancja,

S_o, S_s - odchylenie standardowe wielkości obserwowanych i symulowanych.

Statystyka BIAS (Mean Bias Error) jest to średnia arytmetyczna różnic między wielkością symulowaną, a obserwowaną:

$$BIAS = \bar{Q}_{sim} - \bar{Q}_{obs}$$

Miara przyjmuje wielkości od $-\infty$ do $+\infty$. BIAS=0 wskazuje na brak tendencji modelu do przeszacowywania lub niedoszacowywania modelowanej charakterystyki. BIAS>0 wskazuje na przeszacowanie przez model wielkości obserwowanych, a ujemny na ich niedoszacowanie.

Obliczenia statystyczne miarą NSE (Tabela 9), stosowane do oceny błędów symulacji długoterminowych, mające na celu ocenę poprawności opracowanych w programie MIKE NAM modeli typu opad-odpływ dla 16 zlewni bilansowych zestawionych w tabeli 7 wykazały, że niemal wszystkie modele prawidłowo odzwierciedlają czasową zmienność przepływu.

Potwierdzeniem poprawnej symulacji czasowej zmienności przepływów jest uzyskanie stosunkowo wysokiej wartości współczynnika korelacji R (Tabela 9) we wszystkich modelowanych zlewniach, co wskazuje na dobrą współzmiennność analizowanych cech. Modele prawidłowo odzwierciedlają czasową zmienność przepływów, zarówno dla stanów wysokich jak i niskich, co zostało zobrazowane na hydrogramach i krzywych bilansowych zaprezentowanych na rysunkach 21-36. Wyjątek stanowią

modele zlewni Grano-Buderoser-Mühlenfließ i Schwarzes Fließ, pomimo dobrej czasowej zmienności symulowanych wartości przepływu. Jednak wcześniej prowadzone badania na tych zlewniach (DHI i IMGW-PIB 2011, Fischer B. i in. 2013) wykazały, że znajdują się one pod silnym oddziaływaniem kopalni odkrywkowej. Wiąże się to z antropogenicznym zaburzeniem przepływu rzeczno, a tym samym trudnością w prowadzeniu symulacji transformacji opadu atmosferycznego w przepływy modelami numerycznymi.

Obliczona statystyka BIAS (Tabela 9) wskazuje, że modele dla zlewni Miedzianki, Witki, Pließnitz, Czerwonej Wody, Föhrenfließ, Malxe-Neiße-Kanal oraz Nysy Łużyckiej na odcinkach od źródła do Mandau i od Malxe-Neiße-Kanal do ujścia do rzeki Odry mają ogólną tendencję do niedoszacowania wartości, pozostałe modele typu opad-odpływ mają ogólną tendencję do przeszacowania wartości. Uzyskane wartości statystyki BIAS wykazują, że tendencje modeli do przeszacowywania czy niedoszacowywania są niewielkie.

Tabela 9: Statystyki błędów modeli typu opad-odpływ zlewni bilansowych Nysy Łużyckiej

Zlewnia nr	Statystyki poprawności modeli		
	Współczynnik korelacji R [-]	NSE [-]	BIAS [%]
1	0,69	0,5	-0,55
2	0,75	0,6	1,47
3	0,70	0,5	0,91
4	0,68	0,5	-2,10
5	0,68	0,5	-2,13
6	0,71	0,5	-2,44
7	0,73	0,5	-0,42
8	0,69	0,5	4,23
9	0,78	0,6	6,28
10	0,68	0,5	1,26
11	0,74	0,5	-0,38
12	0,68	0,5	-1,09
13	0,70	0,5	-2,59
14	0,79	0,6	0,17
15	0,57	0,3	1,03
16	0,73	0,4	2,44

Uzyskane wartości statystyki NSE oznaczają, że opracowane modele typu opad-odpływ dla większości zlewni bilansowych Nysy Łużyckiej, spełniają założone warunki ich akceptowalności - uzyskano wartości dla miary błędu $NSE \geq 0,5$. Gorsze wyniki dla zlewni nr 15 i 16 nie wykluczają ich zastosowania do dalszych analiz bilansowych (Fischer B. i in. 2013).

Systematyczne niedoszacowania, czy przeszacowania niskich i wysokich wartości przepływu są nieznaczące z punktu widzenia celu opracowania modeli typu opad-odpływ. Ostateczne dobre dopasowanie bilansu wodnego oraz średnich wartości przepływu w poszczególnych zlewniach (Tabela 10), a także przeprowadzone statystyczne oceny przeprowadzonych symulacji wskazują na dobre wykalibrowanie modeli na potrzeby opracowania bilansu wodnego zlewni Nysy Łużyckiej. Wykalibrowane modele stanowią gotowe narzędzie do analizy danych z projekcji klimatycznych, w celu wygenerowania prognozowanych ciągów natężenia przepływu w 16 zlewniach bilansowych.

Tabela 10: Porównanie średnich przepływów symulowanych i obserwowanych dla okresu prowadzonych symulacji

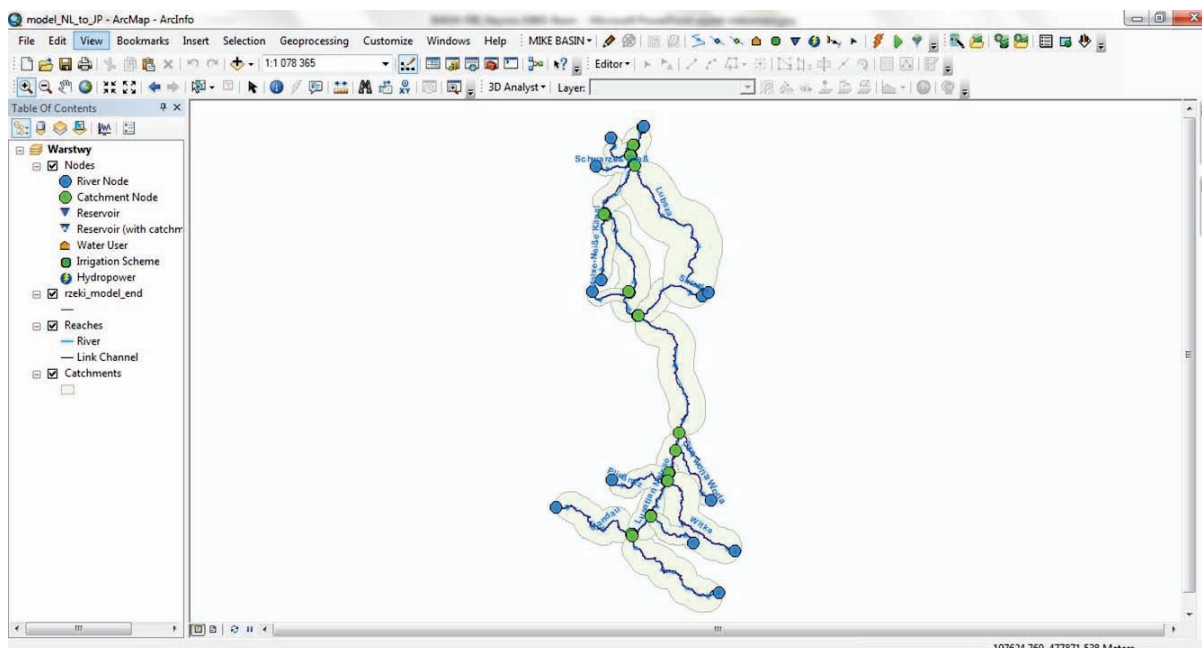
Zlewnia nr	Średnie przepływy [m^3/s]	
	obserwowane	symulowane
1	6,05	6,02
2	3,41	3,46
3	1,28	1,29
4	0,94	0,92
5	3,60	3,52
6	1,09	1,07
7	0,77	0,77
8	3,04	3,17
9	1,02	1,08
10	2,27	2,30
11	0,35	0,35
12	0,33	0,32
13	2,05	2,00
14	3,81	3,82
15	0,22	0,22
16	0,30	0,31

3.1.7. Modelowanie bilansu wodnego

MIKE BASIN jest komputerowym systemem wspomaganie decyzji w zakresie gospodarowania zasobami wodnymi w zlewniach rzecznych. Program ten umożliwia prowadzenie ilościowych i jakościowych analiz bilansowych w zlewni rzecznej lub jej części. Dla każdego kroku czasowego model dokonuje rozrzędu wody pomiędzy poszczególnych użytkowników z uwzględnieniem wymagań dotyczących zachowania przepływów nienaruszalnych i hierarchii użytkowania zasobów wodnych. Głównym obszarem działania związanym z bilansowaniem ilościowym obsługiwany przez program MIKE BASIN jest modelowanie: scenariuszy rozdziału wody, działania zbiorników/elektrowni wodnych, hydrologiczne, zapotrzebowanie na wodę w rolnictwie oraz zarządzanie i analiza danych.

W MIKE BASIN wbudowany jest model sieci, w której rzeki i ich dopływy są reprezentowane przez poligony i węzły obliczeniowe np. węzły użytkowników wody, węzły irygacyjne. Ponadto wprowadza się zlewnie hydrologiczne, zbiorniki, elektrownie wodne oraz kanały (MIKE BASIN, 2009).

Zachowanie modułów obliczeniowych oraz interakcje między nimi są definiowane za pomocą wbudowanych reguł. Program MIKE BASIN, tworzy projekt Arc Map w środowisku ESRI oraz generuje geobazę (Rysunek 37).



Rysunek 37: Widok ekranu roboczego MIKE BASIN

MIKE BASIN symuluje zachowanie systemu wodnego poprzez obliczanie bilansu wodnego dla każdego węzła. Symulacja uwzględnia rozdział wody dla różnorodnych celów w poszczególnych węzłach obliczeniowych w całym systemie wodnym.

Konstrukcja i dane wejściowe

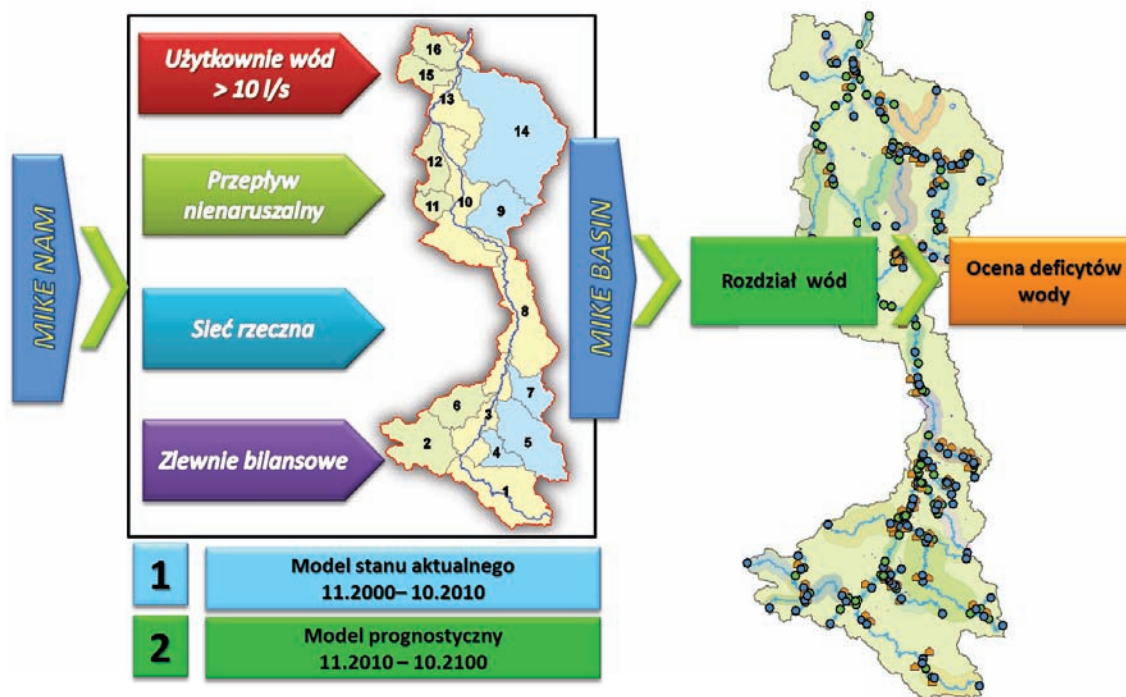
W modelach skonstruowanych na potrzeby realizacji projektu NEYMO podstawowymi wejściowymi seriami czasowymi były miesięczne wartości spływu jednostkowego wyliczonego z natężenia przepływu, wygenerowanego w oparciu o modele typu opad-odpływ (MIKE NAM) dla wydzielonych w ramach projektu NEYMO 16 zlewni cząstkowych Nysy łużyckiej, rozdział 3.2.1. (Rysunek 20; Tabela 7).

Modele MIKE BASIN został wykonany w dwóch horyzontach czasowych:

1. Model dla stanu aktualnego – 11.2000 – 10.2010
2. Model prognostyczny – 11.2010 – 10.2100;

Ze względu na dostępność danych dla wyznaczonych zlewni bilansowych model dla stanu aktualnego został wykonany dla okresu 11.2000 – 10. 2010. Model obejmuje wszystkie zlewnie bilansowe, zatem horyzont czasowy tego modelu bilansowego został dostosowany do najkrótszej serii danych.

Do konstrukcji modeli dla stanu aktualnego i prognostycznego uwzględniono następujące elementy: zlewnie bilansowe, sieć rzeczna, użytkowanie wód powierzchniowych oraz przepływ nienaruszalny. W każdym przypadku modele symulują rozdział wody w utworzonym systemie, umożliwiając uzyskanie wartości natężenia przepływu w każdym odcinku i węźle oraz wielkości poborów wody przez użytkowników. Modele umożliwiają również ocenę deficytów wody w analizowanej zlewni. (Rysunek 38).



Rysunek 38: Schemat modelowania przy użyciu MIKE BASIN

Na potrzeby konstruowania bilansów wodno-gospodarczych bardzo istotnym aspektem jest uwzględnienie wielkości użytkowania wody w zlewni, w tym: ilości pobieranej/zrucanej wody, rozmieszczenie użytkowników w profilu podłużnym analizowanego cieku i jego dopływów. Informacje te pozwalają na określenie zasobów wodnych w analizowanej zlewni oraz na symulację dostępności wody dla zlokalizowanych w niej użytkowników.

Wspólna polsko-niemiecka baza danych klimatycznych i hydrologicznych projektu NEYMO obejmuje okres 1971-2000, dlatego też baza danych użytkowników wodnych obejmuje ten sam horyzont czasowy. Dane niemieckie pozyskano od LfULG i LUGV. Natomiast dane odnoszące się do polskich użytkowników zostały pobrane z katastru wodnego Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej we Wrocławiu (RZGW). Źródłem informacji dotyczących użytkowania zasobów wodnych były pozwolenia wodnoprawne.

W bazie danych o użytkownikach umieszczono m.in. następujące informacje:

- Nazwa użytkownika.
- Adres użytkownika.
- Ogólna lokalizacja poboru/zrzutu (województwo, powiat, gmina, miejscowość).
- Nazwa cieku/rowu.
- Kilometraż profilu poboru wody lub zrzutu.
- Cel i okres poboru wody lub zrzutu ścieków.
- Średnia roczna, dobowa, godzinowa wielkość poboru wody lub zrzutu.
- Maksymalna roczna, dobowa, godzinowa wielkość poboru wody lub zrzutu ścieków.

Uzyskane informacje cechowały się niekompletnymi danymi, w szczególności dotyczącymi lokalizacji, np. braku podanej miejscowości poboru/zrzutu. W większości przypadków brak było podanego kilometrażu, w szczególności dla użytkowników na dopływach Nysy Łużyckiej. Niezbędnym krokiem było ustalenie dokładnej lokalizacji użytkowników.

W tym celu wykorzystano:

- Mapę topograficzną Polski w skali 1:10 000.
- Ortofotomapę cyfrową w skali 1:26 000.
- Mapę hydrograficzną Polski w skali 1:50 000.
- Zasoby internetowe.
- Informacje uzyskane telefonicznie.
- Wywiad terenowy na miejscu.

Dla każdego użytkownika przypisano kilometraż oraz wyznaczono powierzchnię zlewni powyżej profilu jego lokalizacji. Ponadto dokonano obliczeń, weryfikacji, bądź też korekty wielkości poboru wody lub zrzutu (np. gdy w pozwoleniu wodnoprawnym pobór dozwolony był dla okresu krótszego niż 1 miesiąc).

W pozyskanej bazie danych dane odnoszące się do ilości pobieranej/zrzuconej wody/ścieków podane są z różną dokładnością i rozdzielczością czasową. W celu przygotowania bazy danych projektu ustalono hierarchizację danych. W pierwszej kolejności wprowadzono do bazy wartości średnie miesięczne. W przypadku braku średniej miesięcznej ustalono następującą hierarchię wprowadzania danych: wartość maksymalna miesięczna i maksymalna roczna. Gdy pozwolenie wodno-prawne podawało tylko wartość roczną użytkownika dla kolejnych miesięcy w wieloleciu 1971-2010 obliczono wg okresu ważności.

Uwzględniając jakość polskich, jak i niemieckich danych dotyczących użytkownika wód ustalono, że kryterium uwzględnienia użytkownika do modelowania bilansu wodnego jest wielkość poboru wody lub zrzutu nie mniejsza niż 10 l/s. Pominięto użytkowników odprowadzających wodę roztopową, bądź opadową.

Pominięto również użytkowników, dla których uzyskano jedynie maksymalną wartość zrzutu ścieków, wynikającą z błędnego wpisu, przy braku możliwości ustalenia wiarygodnych wartości użytkownika.

4. Rozwój zasobów wodnych – wyniki modelowania bilansu wodnego

4.1. Metodologia

Symulacja bilansu wodnego na obszarze objętym projektem prowadzona jest przy pomocy modeli fizycznych. Celem badań jest ocena przyszłych zmian dyspozycyjności zasobów wodnych. Dane uzyskane z projekcji klimatycznych wykonanych w ramach regionalnego modelu klimatycznego WETTREG wykorzystane zostaną między innymi przy opracowywaniu ukierunkowanych regionalnie działań dostosowawczych w zakresie gospodarki wodnej. Prognozowane zmiany dyspozycyjności zasobów wodnych są wynikiem zmieniających się klimatycznych warunków brzegowych, które stanowią podstawę do obliczenia bilansu wodnego zlewni w ramach modelu hydrologicznego. W modelu nie uwzględnia się interakcji zwrotnych pojawiających się w związku ze zmianami klimatycznymi. Ze względu na fakt, iż wykorzystywany model hydrologiczny nie uwzględnia zależności przyczynowej pomiędzy zmianami klimatu i roślinności przyjęto również stałe właściwości dla roślinności i gleby. Zakres prognozowanych zmian klimatycznych opisuje 5 wybranych przed rozpoczęciem modelowania realizacji scenariuszy klimatycznych. W ten sposób powstaje możliwość zaprezentowania niezależnie od danych prognostycznych dostępnych w ramach innych modeli czy realizacji scenariuszy klimatycznych możliwego przebiegu zmian bilansu wodnego dla mokrej, normalnej i skrajnie suchej projekcji klimatu. Wyniki niniejszych badań pokażą zmiany zasobów wodnych na obszarze projektowym, jakich można oczekiwać przy zaistnieniu opisanych specyficznych warunków klimatycznych. W procesie tworzenia regionalnych działań w zakresie gospodarki wodnej nie należy jednakże opierać się na konkretnych wartościach będących wynikiem modelowania klimatu i bilansu wodnego, jako że wartości te obarczone są niepewnością procesu modelowania. Celem niniejszego projektu jest raczej analiza procesów zmian prognozowanych wielkości hydrologicznych, co pozwoli na ich podstawie zidentyfikować wyraźny sygnał zmian pojawiający się na tle naturalnej zmienności danych. W tym celu konieczne jest ustalenie poziomu ufności w stosunku do wartości średniej obliczanego przy pomocy standardowej różnicy wartości danej zmiennej w okresie referencyjnym 1971-2000. Przekroczenie poziomu ufności przez daną zmienną hydrologiczną w odpowiednim rozkładzie czasowym oznacza, że wielkość ta wykazuje zmienność większą niż naturalne wahania jej wartości, co pozwala na stwierdzenie wyraźnego sygnału diagnostycznego.

4.2. Zasoby wodne w odniesieniu do warunków klimatycznych w przeszłości

Zastosowanie w skalibrowanym i sprawdzonym modelu danych obserwowalnych z wielolecia 1971-2010 dostarczyło w oparciu o dane z pomiarów meteorologicznych wyników w formie składowych bilansu wodnego takich jak opad P, parowanie efektywne E, odpływ powierzchniowy H_s , odpływ

podpowierzchniowy H_H i zasilanie wód podziemnych ALN. Suma przepływów jest wypadkową składowych przepływów. Otrzymane wyniki dotyczyły poziomu zlewni cząstkowych, które można połączyć w części zlewni objęte pomiarem danego wodowskazu. Dane dostępne są dla okresów dziennych, na podstawie których można uzyskać wartości miesięczne i roczne oraz wieloletnie wartości średnie. W ramach niniejszej broszury niemożliwa jest pełna, uwzględniająca cały wachlarz aspektów ocena wszystkich składowych w różnych stopniach szczegółowości przestrzennej i czasowej. Z tego względu zdecydowano się na prezentację wybranych wyników. Pozostałe dane oraz wyniki można znaleźć na stronie internetowej projektu NEYMO.

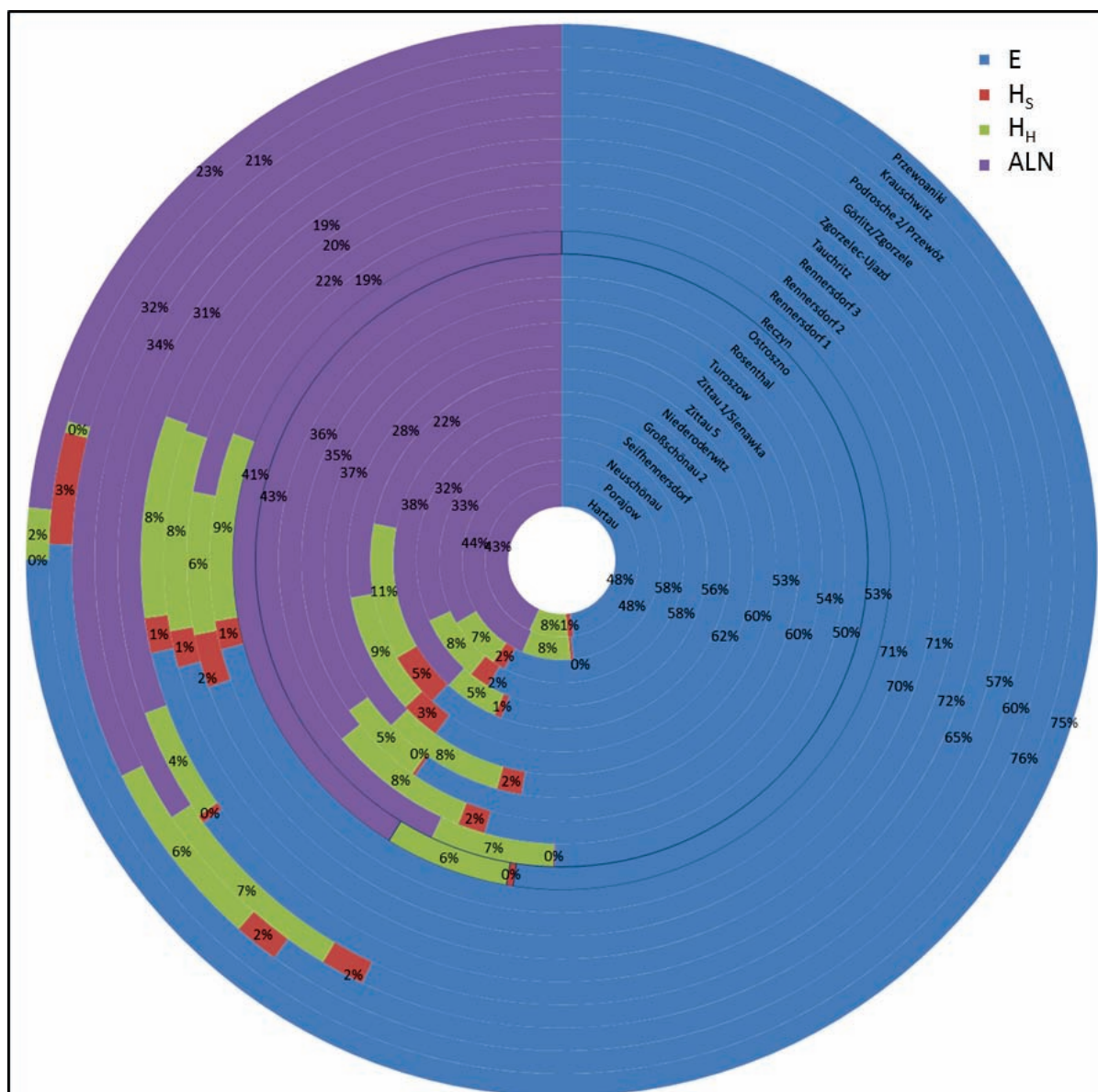
Składowymi wieloletniego bilansu wodnego dla całego badanego obszaru zlewni obejmującego teren sięgający aż do granicy kraju związkowego Saksonia dla wielolecia 1971-2010, według modelu ArcEGMO, są:

P	E	H_s	H_H	ALN
890,8 mm/rok	556,9 mm/rok	12,4 mm/rok	49,2 mm/rok	270,3 mm/rok
100 %	62,5 %	1,4 %	5,5 %	30,3 %

H
331,9 mm/rok
37,3 %

Średnia wielkość opadu atmosferycznego na poziomie prawie 900 mm/rok jest względnie wysoka. Prawie dwie trzecie wody opadowej odparowuje, a jedna trzecia wypływa ze zlewni. Odpływ całkowity składa się w 80 % z zasilania wód podziemnych i w 15 % z odpływu podpowierzchniowego. Odpływ powierzchniowy stanowi jedynie pięć procent wód odpływowych. Tym samym wśród składowych odpływu dominuje zasilanie wód podziemnych wraz z zachodzącym równolegle przepływem wód podziemnych. Ze względu na wysoką heterogeniczność ukształtowania całości obszaru pod względem rzeźby terenu, gleby i formy użytkowania gruntu, niemożliwe jest dokonanie oceny zlewni cząstkowych na podstawie uzyskanych wyników. Struktura składowych odpływu zmienia się na terenie zlewni. Na rysunku 39 przedstawiono podział opadów atmosferycznych na poszczególne składowe w odniesieniu do poszczególnych części zlewni przyporządkowanych do danego wodowskazu. W przypadku wszystkich obszarów cząstkowych udział parowania stanowi ponad połowę ogólnej wartości opadów. Udział ten zwiększa się wraz ze spadkiem wysokości terenu i jest większy na obszarach źródłowych. Część ilości wody opadowej zasilająca wody podziemne jest większa na wyższych piętrach wysokościowych niż na terenach położonych niżej. Udział odpływu powierzchniowego i podpowierzchniowego kształtuje się na porównywalnym poziomie niezależnie od wysokości terenu. Przy interpretacji poniższego schematu należy pamiętać, że w przypadku porównywania ze sobą części zlewni przyporządkowanych do danych wodowskazów szerokość segmentów diagramu nie odzwierciedla udziału poszczególnych składowych w całości odpływu, gdyż

wielkość obręczy zwiększa się w kierunku zewnętrznym. Do celów porównawczych należy wykorzystać dane procentowe.



Rysunek 39: Składowe odpływy w odniesieniu do części zlewni przyporządkowanych do danego wodowskazu w okresie 1971-2010 wg modelu ArcGMO

Na rysunku 40 i rysunku 41 przedstawiono rozkład składowych bilansu wodnego takich jak opad atmosferyczny, parowanie rzeczywiste, odpływ powierzchniowy, odpływ podpowierzchniowy oraz zasilanie wód podziemnych w zlewniach cząstkowych jako wartość średnią dla wielolecia 1971-2000. Wartości składowe przyporządkowano do pięciu grup odpowiednio do ich wysokości. Na mapach widoczne jest wyraźne zróżnicowanie struktury rozkładu wartości wynikające ze zróżnicowania rzeźby terenu, różnicy wysokości i odmiennej charakterystyki gleb. Na wyżej położonych terenach na południu i południowym wschodzie zlewni Nysy Łużyckiej odnotowuje się najwyższe sumy opadów. Na terenach położonych bardziej na północ ilość opadów spada. Istotnymi czynnikami wpływającymi

na rozkład opadu atmosferycznego są obok wymienionych powyżej warunków wielkość parowania oraz składowe odpływu. Na terenach położonych niżej parowanie jest większe niż na obszarach górskich, co wynika z silnego wpływu temperatury, jako kolejnego obok opadu atmosferycznego i użytkowania terenu czynnika kształtującego procesy parowania. Wielkość odpływu powierzchniowego uzależniona jest przede wszystkim od uszczelnienia i wykorzystania terenu oraz od właściwości gleby. W przypadku uszczelnienia terenu oraz wysokiej zwięzłości gleby powstaje znaczny odpływ powierzchniowy spowodowany brakiem możliwości przesiąkania wody do gleby. Zjawisko to można zaobserwować na rysunku 24 głównie w samych miastach oraz w okolicach Görlitz i Zittau. W pozostałych lokalizacjach odnotowuje się nieznaczne wielkości odpływu powierzchniowego. W tej sytuacji większa część wody opadowej nieobjętej parowaniem przesiąka do gleby i tworzy w przypadku odpowiedniego nachylenia dna zbiornika odpływ podpowierzchniowy. Znaczny odpływ podpowierzchniowy powstaje głównie w części południowo-wschodniej i południowo-zachodniej badanego obszaru. Wielkość odpływu podpowierzchniowego zmniejsza się na obszarach położonych wzdłuż Nysy Łużyckiej.

Woda, która nie spływa w formie odpływu podpowierzchniowego, zasila zbiorniki wód podziemnych. Wysokie symulowane wartości zasilania wód podziemnych pojawiły się na południowym wschodzie badanego obszaru. Regiony z dużą ilością opadów atmosferycznych, niewielkim parowaniem oraz odpływem powierzchniowym wykazują pomimo zwiększonego odpływu podpowierzchniowego korzystne warunki dla zasilania wód podziemnych. Na terenach nizinnych stopień zasilania wód podziemnych jest mniejszy. Na odpływ całkowity składają się składowe odpływu w danej zlewni cząstkowej, co oznacza, że stanowi on wartość średnią dla obszaru danej zlewni. „Wartość odpływu z terenu jednej zlewni jest wynikiem transformacji przestrzennej i czasowej opadu atmosferycznego przez hydrosferę (atmosferę, biosferę, pedosferę i litosferę [powietrze, roślinność, glebę i warstwy geologiczne]) danego obszaru. Całkowita ilość wody opuszczającej zlewnię pod powierzchnią gruntu w danej jednostce czasu określana jest pojęciem odpływu, podczas gdy przepływem oznacza się objętość wody przepływającej przez przekrój cieków i wód powierzchniowych w danej jednostce czasu” (bfg, 2014).

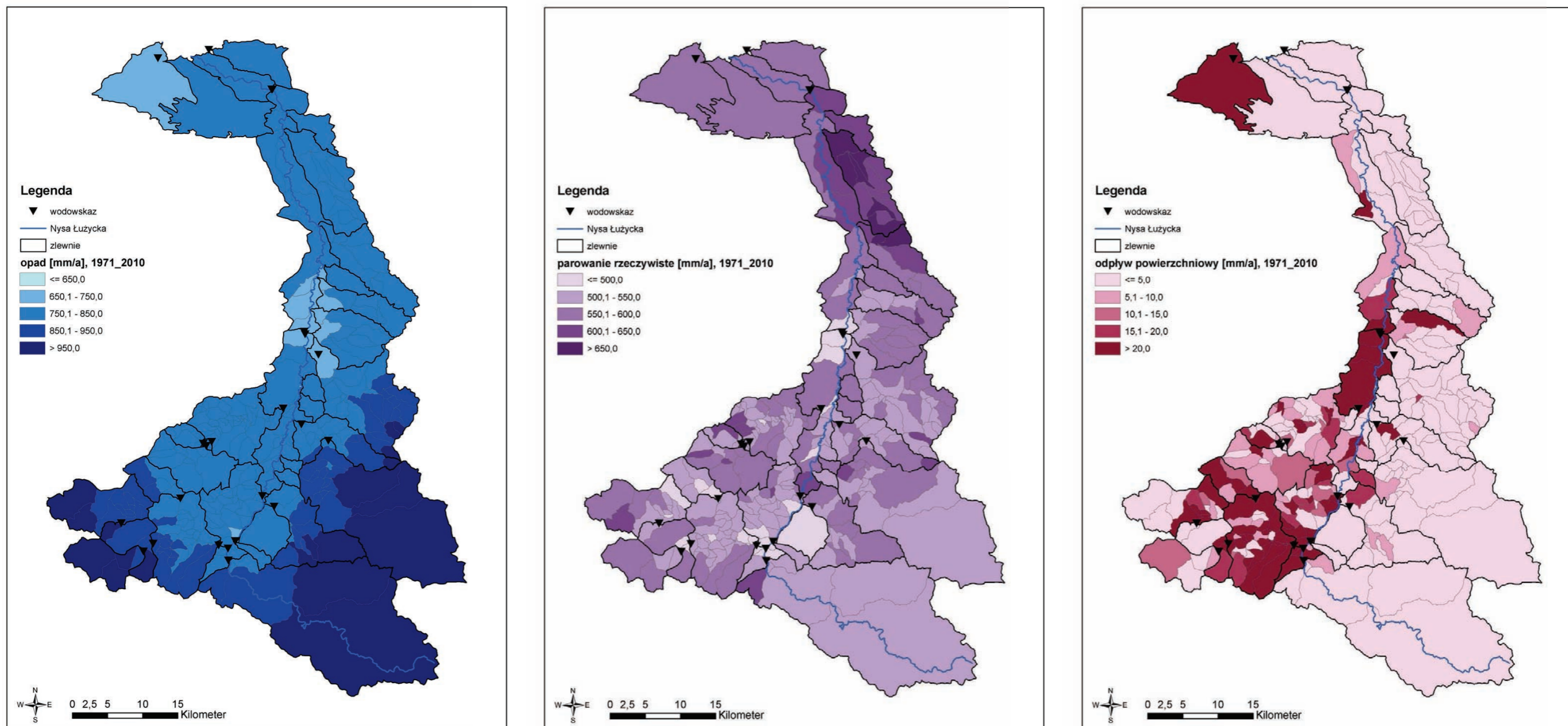
Wpływ na kształtowanie się odpływu całkowitego mają jego składowe. Wysokie wartości odpływu całkowitego występują w południowej i południowo-wschodniej części badanego obszaru zmniejszając się wraz ze spadkiem wysokości terenu.

Analiza trendów dla obszarów przyporządkowanych do danych wodowskazów przeprowadzona została dla letniego i zimowego półrocza hydrologicznego, co pozwoliło na zbadanie przebiegu zmian składowych bilansu wodnego w okresie rzeczywistym. W tabeli 11 przedstawiono wartości średnie oraz trendy absolutne w okresie od 1971 do 2000 dla wszystkich wodowskazów. Obszary przyporządkowane do danych wodowskazów podzielono na dwie grupy w zależności od wysokości i cech lokalizacji wykorzystując do ich oznaczenia odmienną kolorystykę. Trend absolutny oznacza wartość absolutną dla okresu 40 letniego. Trendy negatywne, tj. spadki wartości oznaczono kolorem czerwonym, a trendy pozytywne (wzrost wartości) kolorem niebieskim. Trendy istotne statystycznie zostały pogrubione, co oznacza, że wartości niepogrubione opisują jedynie tendencje (zob. ramka 5 i 6). Analiza trendu pokazała, że w odniesieniu do opadu atmosferycznego dla wszystkich obszarów

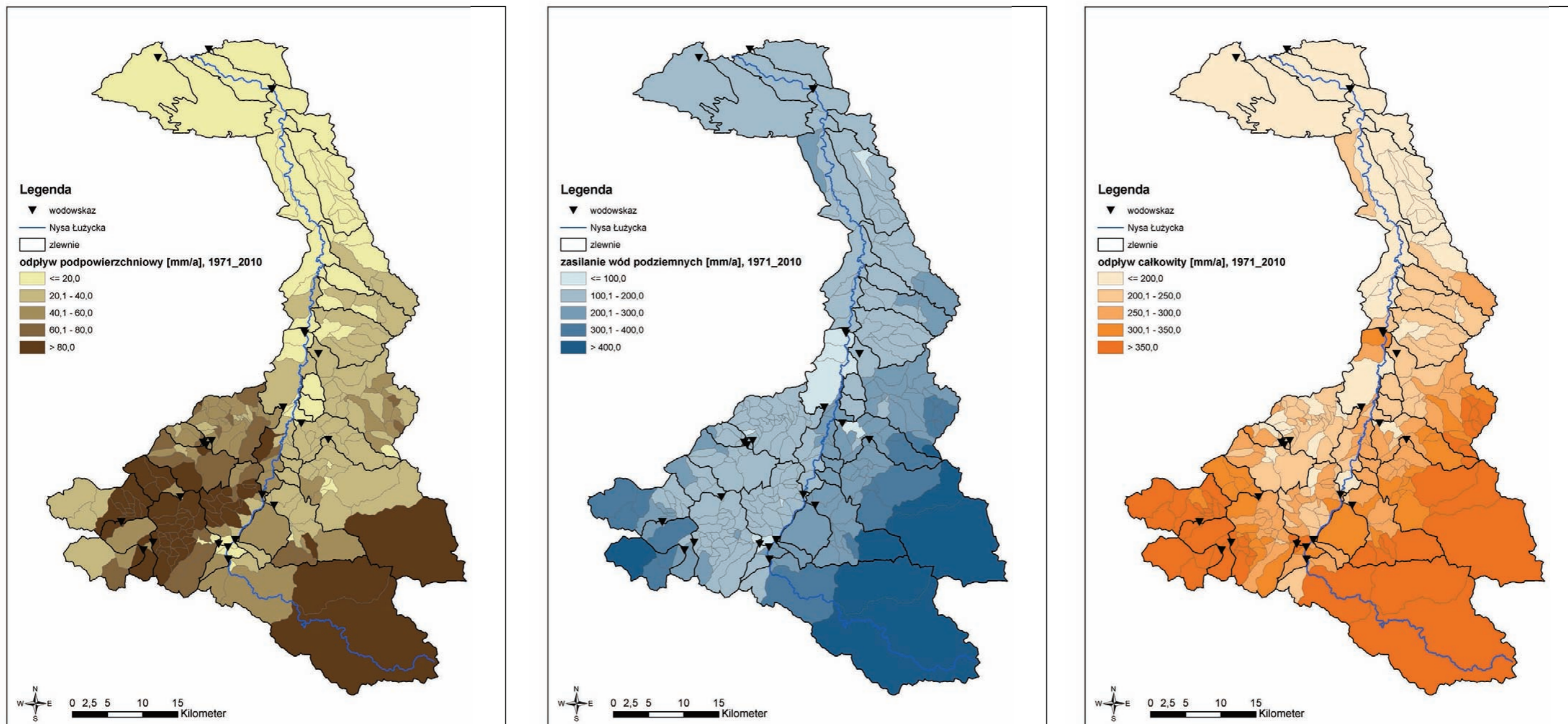
przyporządkowanych do wodowskazów pojawił się trend pozytywny. Trend ten oznacza lekki wzrost ilości opadów atmosferycznych w okresie ostatnich 40 lat, lecz zanotowany wzrost nie był istotny statystycznie i może zostać uznany za przypadkowy. W odniesieniu do parowania stwierdzono wyraźny trend rosnący uwidaczniający się jasno dla okresu całego roku i półrocza zimowego na wszystkich obszarach przyporządkowanych do wodowskazów. W półroczu letnim ukształtowanie wartości na obszarach wodowskazowych było dość zróżnicowane. Odcinki źródłowe położone na większej wysokości oraz wodowskazy usytuowane wzdłuż Nysy Łużyckiej wykazywały istotny statystycznie wzrost wartości, podczas gdy obszary wodowskazowe położone na terenach nizinnych odnotowywały jedynie tendencje wzrostowe. Odpływ powierzchniowy cechował się na wszystkich obszarach wodowskazowych nieistotnym statystycznie wzrostem wartości. Jedynie w półroczu letnim pojawiały się nieznacznie bądź słabo negatywne tendencje. Odpływ podpowierzchniowy nie wykazywał w okresie całego roku żadnych istotnych zmian. Nie odnotowano żadnych istotnych wzrostów wartości. W półroczu letnim zaznaczają się spadki wartości odpływu podpowierzchniowego niewykazujące jednakże istotności statystycznej. Istotny statystycznie wzrost wartości zaobserwowano w półroczu zimowym jedynie na obszarach wodowskazowych Porajów i Hartau. Wodowskazy usytuowane wzdłuż Nysy Łużyckiej wykazują w półroczu zimowym istotne zmiany stopnia zasilania wód podziemnych. W półroczu letnim odnotowano natomiast na wszystkich obszarach tendencje spadkowe stopnia zasilania wód podziemnych. W okresie całego roku widoczne są jedynie nieistotne wzrosty wartości na wszystkich wodowskazach. Wartości przepływów na wodowskazach nie wykazują zauważalnych zmian. Widoczne są jedynie minimalne tendencje spadkowe.

Ramka 6: Test trendów i ich istotności

Kierunek trendu określono według tak zwanej metody regresji liniowej Theil-Sen-Slope lub Kendall's Slope' a. Obok kierunku trendu sprawdzana jest również jego siła. Test istotności trendu przeprowadzono metodą Mann-Kendall'a przyjmując prawdopodobieństwo błędu na poziomie 10 %. W przypadku prawdopodobieństwa błędu poniżej 10 % badany trend jest określany jako istotny statystycznie. Jeżeli test nie potwierdzi istotności statystycznej trendu to określany jest on jako tendencja.



Rysunek 40: Składowe bilansu wodnego opad atmosferyczny, parowanie i odpływ powierzchniowy dla zlewni cząstkowych – wartość średnia dla lat 1971 do 2010 obliczona przy pomocy modelu ArcEGMO



Rysunek 41: Składowe bilansu wodnego odpływ powierzchniowy, zasilenie wód podziemnych i odpływ całkowity dla zlewni cząstkowych – wartość średnia dla lat 1971 do 2010 obliczona przy pomocy modelu ArcEGMO

Tabela 11: Średnie wartości roczne składowych bilansu wodnego oraz trendy absolutne w mm/40 lat (dodatnie, ujemne) z istotnymi wartościami (trendy istotne statystycznie pogrubiono) dla okresu pomiarowego 1971-2010 w okresach rocznych, półrocze letnie i zimowe Wodowskazy pogrupowano zgodnie z piętrami wysokościowymi (ciemnoniebieskie: obszary nizinne, jasnoniebieskie: obszary górskie)

	P						E						H _s						H _h						ALN					
	rok		letnie		zimowe		rok		letnie		zimowe		rok		letnie		zimowe		rok		letnie		zimowe		rok		letnie		zimowe	
	wartość średnia [mm/rok]	trend [mm/ 40 lat]	wartość średnia [mm/rok]	trend [mm/ 40 lat]	wartość średnia [mm/rok]	trend [mm/ 40 lat]	wartość średnia [mm/rok]	trend [mm/ 40 lat]	wartość średnia [mm/rok]	trend [mm/ 40 lat]	wartość średnia [mm/rok]	trend [mm/ 40 lat]	wartość średnia [mm/rok]	trend [mm/ 40 lat]	wartość średnia [mm/rok]	trend [mm/ 40 lat]	wartość średnia [mm/rok]	trend [mm/ 40 lat]	wartość średnia [mm/rok]	trend [mm/ 40 lat]	wartość średnia [mm/rok]	trend [mm/ 40 lat]	wartość średnia [mm/rok]	trend [mm/ 40 lat]	wartość średnia [mm/rok]	trend [mm/ 40 lat]	wartość średnia [mm/rok]	trend [mm/ 40 lat]	wartość średnia [mm/rok]	trend [mm/ 40 lat]
Przewóniki*	779.25	135.13	409.00	62.98	370.86	39.54	583.09	24.48	417.18	16.60	166.59	15.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.11	4.21	1.90	0.21	10.21	3.86	182.02	76.47	25.66	-1.85	156.13	74.16
Krauschwitz*	740.64	80.71	402.21	54.57	338.01	14.04	559.07	26.87	410.29	13.44	149.32	14.75	25.96	2.89	13.16	1.45	12.76	0.17	2.63	0.39	0.49	0.04	2.13	0.48	152.71	38.98	-9.54	-4.70	161.53	47.36
Podrosche 2/ Przewóz	915.04	73.71	496.88	56.56	416.99	31.48	547.62	40.45	423.05	29.56	125.02	13.26	13.52	1.09	6.67	0.34	6.83	1.00	57.52	7.68	17.67	-4.06	39.73	8.43	294.32	49.29	86.42	-31.17	207.15	60.89
Görlitz/ Zgorzelec	948.96	74.76	513.23	38.99	434.05	38.33	540.20	44.99	419.42	32.29	121.03	14.66	14.22	0.99	6.90	0.25	7.30	1.29	68.19	8.23	21.17	-5.01	46.85	9.37	324.46	46.74	101.08	-35.62	222.51	58.40
Zgorzelec- Ujazd*	847.72	96.18	480.58	49.52	366.27	49.52	549.06	5.51	424.48	4.04	125.53	6.25	2.41	0.02	1.80	0.00	0.66	0.15	35.22	10.32	11.28	0.85	23.99	11.94	258.54	67.35	68.54	-7.79	189.10	82.87
Tauchritz	789.72	23.49	431.97	27.64	356.14	-13.23	562.03	37.53	426.95	19.89	135.58	14.36	10.52	0.27	4.25	-0.10	6.23	0.45	60.90	4.97	14.51	-1.20	46.12	5.89	152.91	-6.13	36.58	-10.16	115.51	13.10
Rennerdorf 1	800.28	17.84	434.51	25.19	363.79	-0.03	565.34	37.52	429.12	15.36	136.62	14.61	10.37	0.63	4.13	-0.05	6.19	0.82	68.77	4.48	15.67	-1.46	52.76	8.06	152.47	-2.54	33.88	-7.00	117.56	20.37
Rennerdorf 2	809.38	47.84	439.51	38.79	367.73	1.38	560.57	38.73	423.46	21.90	137.49	14.28	18.40	0.46	8.66	0.36	9.66	0.49	49.41	5.92	12.20	0.22	36.94	6.45	177.90	10.93	38.78	-11.12	138.13	29.58
Rennerdorf 3	801.22	18.27	435.16	27.50	364.06	0.82	563.94	39.11	427.79	15.24	136.55	14.58	11.81	0.40	4.96	0.27	6.80	0.87	64.91	5.39	14.97	-1.17	49.61	8.24	157.30	1.12	34.59	-8.69	121.69	18.30
Réczyn	1056.06	102.89	582.60	60.06	471.71	57.32	552.28	36.83	428.40	30.11	124.06	15.02	3.56	0.16	2.02	0.06	1.54	0.14	64.37	8.62	22.90	-2.96	41.38	7.56	434.60	74.45	136.07	-37.43	298.10	73.33
Ostróžno	1091.16	98.12	599.00	55.58	490.33	53.91	549.32	41.84	427.07	33.95	122.36	15.46	0.54	0.05	0.42	0.02	0.12	0.03	71.27	8.79	25.55	-3.71	45.61	7.05	468.91	81.35	151.26	-43.10	317.26	75.76
Rosenthal	974.16	93.34	516.11	32.44	456.10	39.49	529.07	52.68	413.59	37.97	115.57	14.97	15.08	2.28	7.07	0.17	7.94	1.89	79.75	12.55	24.62	-7.15	54.89	13.73	348.56	32.24	116.08	-53.20	231.36	69.60
Turoszów	938.22	97.18	528.39	43.51	407.92	49.32	557.59	47.39	438.17	40.55	119.61	15.68	1.73	0.06	1.21	-0.20	0.50	0.26	51.58	7.42	16.79	-3.85	34.73	9.12	325.68	42.91	89.84	-38.75	234.96	69.58
Zittau 1/ Sienawka	1005.39	98.07	525.59	33.25	477.79	41.45	529.42	55.04	414.46	40.87	114.97	15.26	16.66	2.06	7.82	0.29	8.78	2.00	84.19	9.26	26.24	-7.26	57.71	14.99	373.52	31.59	127.03	-57.57	245.30	66.18
Zittau 5	910.66	99.48	476.07	27.98	431.88	35.70	545.41	32.95	415.13	19.14	130.41	9.55	27.01	4.62	12.09	0.10	14.80	3.51	83.66	20.67	18.29	-2.13	65.04	19.34	252.39	46.87	50.11	-7.29	201.08	46.07
Porajów	1080.64	107.36	564.53	26.37	514.62	40.59	519.72	70.36	415.94	52.89	103.69	19.94	4.51	0.50	2.39	-0.01	2.12	0.38	85.77	7.64	32.62	-11.51	52.96	14.73	469.47	37.82	187.00	-89.13	281.26	95.35
Hartau	1089.50	105.51	568.47	21.42	519.57	41.43	520.03	70.41	416.52	52.99	103.41	20.00	2.96	0.18	1.65	-0.01	1.31	0.09	87.24	7.82	33.35	-11.91	53.69	15.02	478.15	38.20	191.41	-91.69	285.53	97.62
Großschönau 2	960.61	111.94	497.21	41.42	460.53	35.49	554.04	30.94	422.02	19.69	132.09	9.66	15.70	2.09	7.29	0.28	8.34	0.75	67.79	12.21	15.34	-0.74	52.22	12.45	321.21	69.62	63.14	-12.75	256.73	58.43
Niederoder- witz 3	849.98	30.38	449.55	40.53	397.78	6.36	524.55	33.94	399.40	18.54	125.61	10.78	39.25	0.93	17.75	0.63	21.33	0.94	98.13	5.87	21.49	-1.73	76.16	12.01	185.83	5.95	37.40	-13.96	147.13	22.79
Seiffenners- dorf	939.05	104.98	486.83	46.30	449.22	29.33	548.01	29.91	416.48	16.33	131.66	9.32	20.81	1.73	9.70	0.76	11.01	0.67	70.25	10.56	15.58	-2.42	54.37	12.58	297.92	54.70	59.96	-12.02	236.53	52.84
Neuschönau 2	1017.08	157.41	525.47	57.52	488.82	49.82	567.49	38.70	431.04	24.01	136.46	10.91	6.58	0.97	3.03	0.30	3.53	0.48	52.88	9.25	13.53	-0.05	39.21	9.31	388.72	102.58	77.05	-6.01	310.38	85.94

* trudności z dostępnością danych, brak możliwości kalibracji danych na wodowskazach; dla wodowskazu Zgorzelec-Ujazd nie udało się osiągnąć dobrego wyniku kalibracji

4.3. Model dla stanu rzeczywistego

Do modelu dla stanu rzeczywistego wprowadzono serie czasowe dla 91 poborów/zrzutów należących do 72 użytkowników zasobów wód powierzchniowych reprezentujących wszystkie trzy kraje znajdujące się w obrębie zlewni Nisy Łużyckiej (Rysunek 42). Ponieważ model dodaje wartość przepływu poniżej węzła w zlewni, dlatego też 16 zlewni bilansowych podzielono na ponad 100 mniejszych powierzchni. Pozwoliło to na dokładne obliczenie natężenia przepływu w określonych miejscach, np. miejscu poboru wody przez użytkownika, w przekroju wodowskazowym oraz w przekroju, gdzie znajduje się elektrownia wodna.



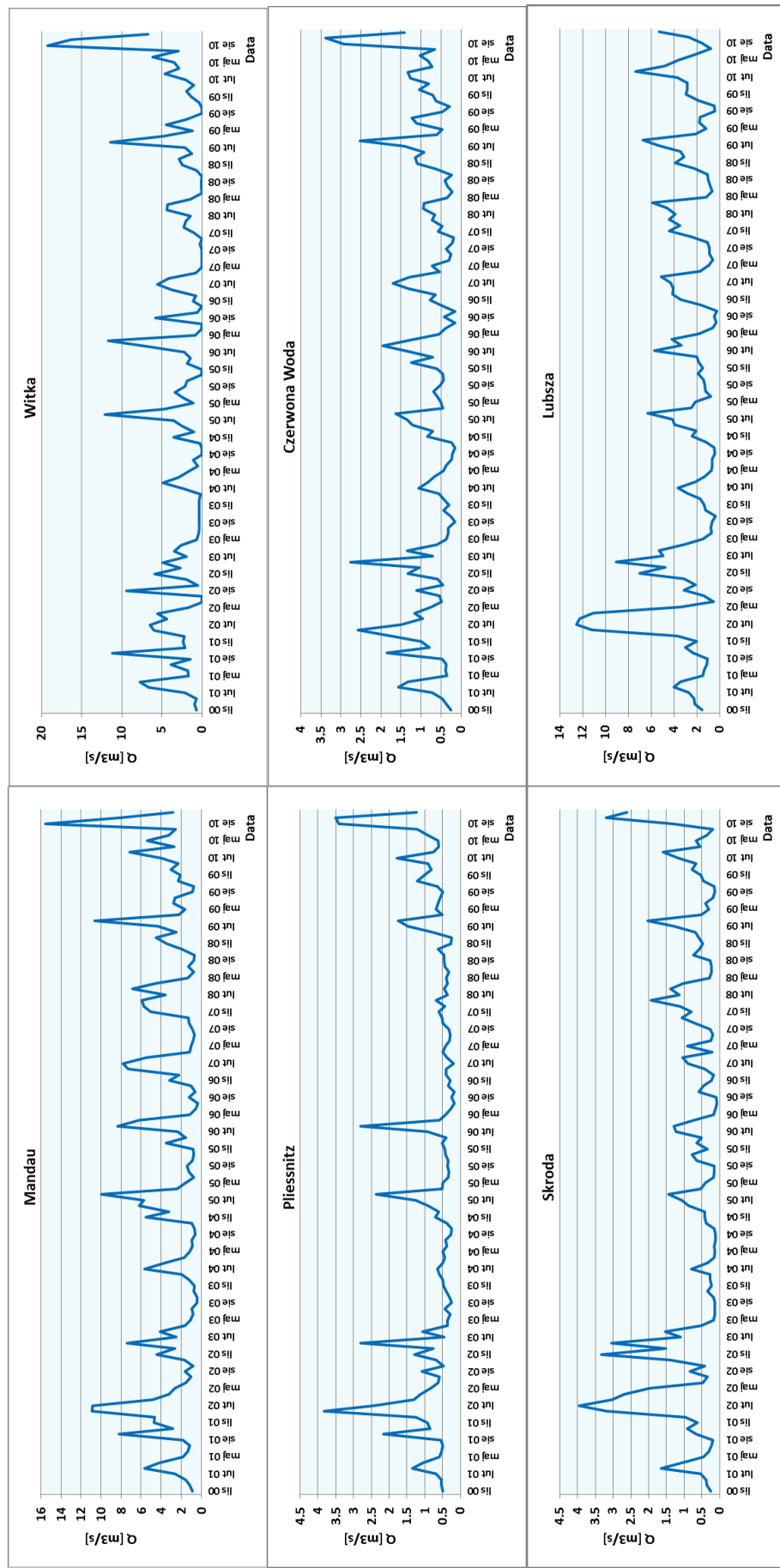
Rysunek 42: Mapa rozmieszczenia użytkowników wód powierzchniowych wprowadzonych do MIKE BASIN

Zinventaryzowanych 91 użytkowników zasobów wód powierzchniowych zaszeregowano do jednej z 5 kategorii:

- Kopalnie (KOP)
- Komunalne (KOM)
- Rolnicze (ROL)
- Przemysłowe (PRZEM)
- Elektrownie wodne (EW).

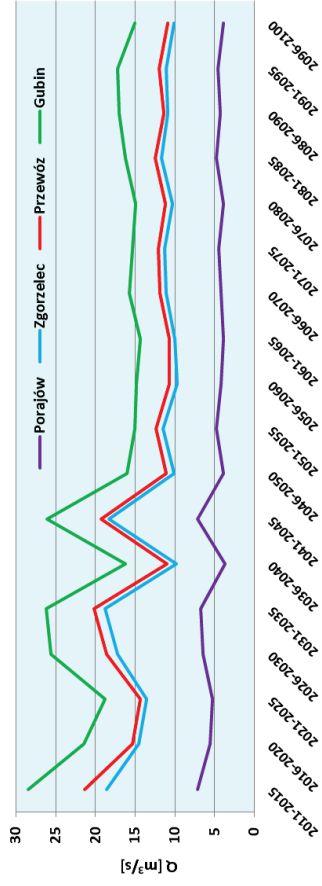
W wyniku przeprowadzonej symulacji dla okresu 2001-2010 model obliczył wartości natężenia przepływu dla każdego węzła i każdego odcinka ciekłu zaprezentowane dla Nysy Łużyckiej (Rysunek 45) i jej dopływów (Rysunek 43). Zaprezentowane wykresy przedstawiają sytuację hydrologiczną w zlewni w okresie lat hydrologicznych 2001-2010. Skonstruowany model był punktem wyjściowym do stworzenia modeli prognostycznych. Jego wykonanie pozwoliło na przetestowanie zastosowanych rozwiązań na danych rzeczywistych.

4 Rozwój zasobów wodnych

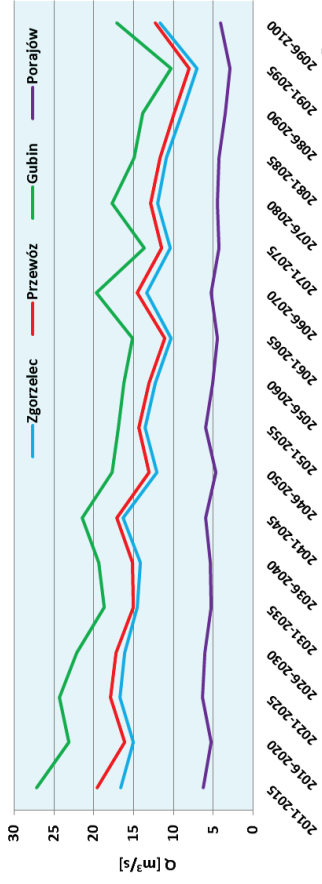


Rysunek 43: Natężenie przepływu w odcinkach ujściowych wybranych dopływów Nysy Łużyckiej – dane z modelu bilansu wodnego dla danych rzeczywistych (wg modelu MIKE BASIN)

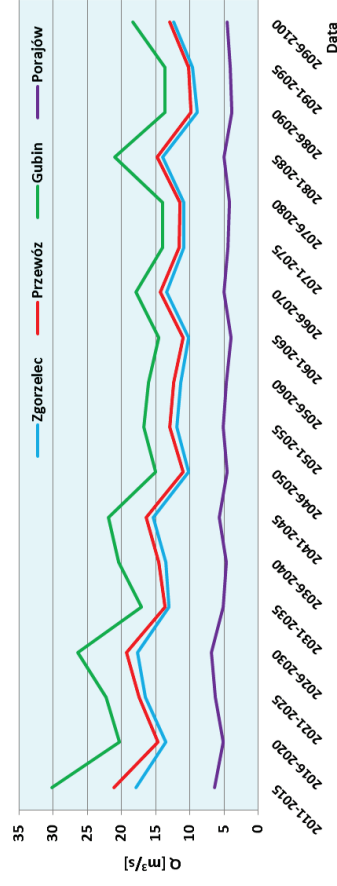
Nysa Łużycka A1B 01



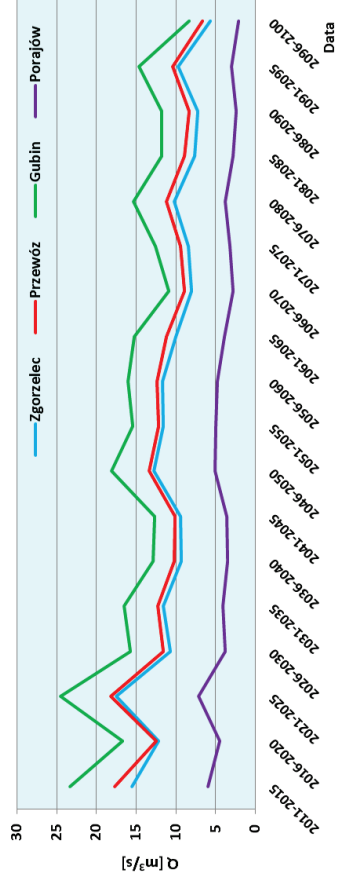
Nysa Łużycka A1B 04



Nysa Łużycka A1B 06

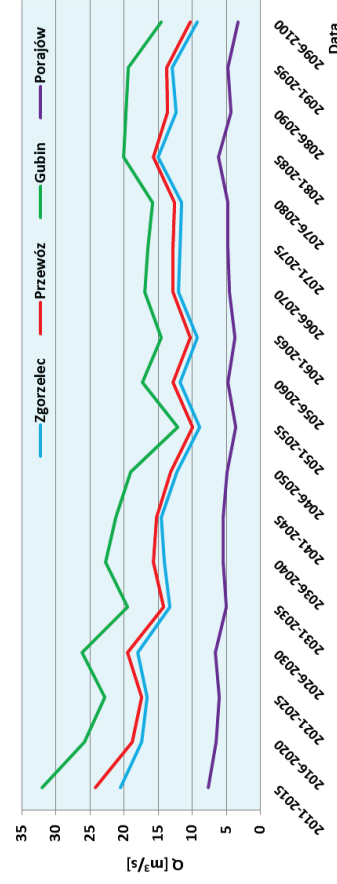


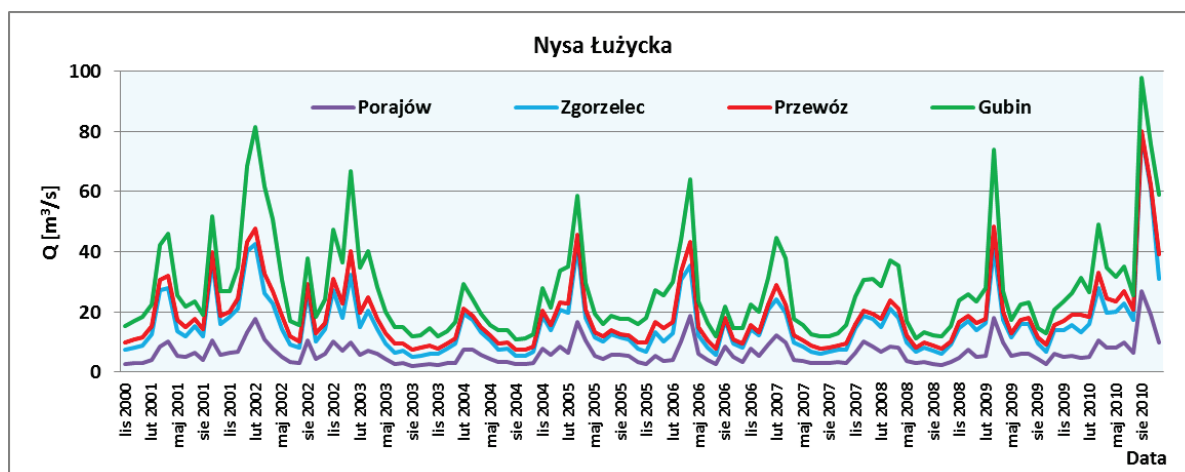
Nysa Łużycka RCP85 09



Rysunek 44: Prognozowane średnie natężenie przepływu w wybranych wodowskazach w profilu podłużnym Nysy Łużyckiej w okresach pięcioletnich 2011-2100 przy zastosowaniu serii danych wejściowych z projekcji zmian klimatu [m³/s], wg modelu MIKE BASIN)

Nysa Łużycka RCP85 05





Rysunek 45: Natężenie przepływu w wybranych wodowskazach na Nysie łużyckiej – dane z modelu bilansu wodnego dla danych rzeczywistych (wg modelu MIKE BASIN)

W rozpatrywanym okresie najniższe średnie miesięczne przepływy odnotowano w latach 2003 (sierpień) i 2004 (sierpień), a najwyższe w sierpniu 2010 roku (Rysunek 45).

Na dopływach średnie miesięczne przepływy kształtowały się podobnie, jak na Nysie łużyckiej, z tym że na Pliessnitz, Skrodzie i Lubszy maksymalna wartość średnia miesięczna natężenia przepływu wystąpiła w roku 2002 (Rysunek 43).

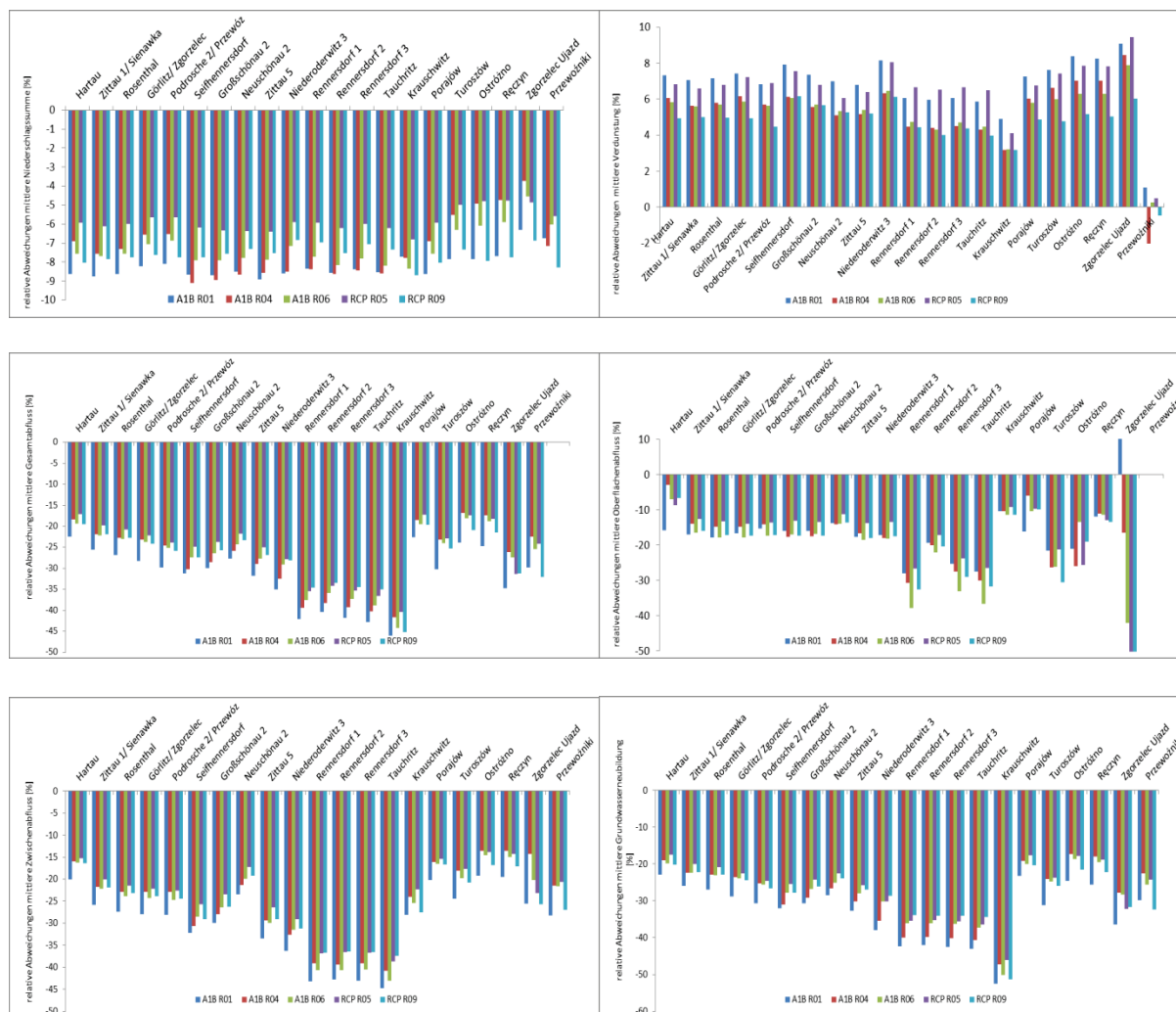
4.4. Zasoby wodne w odniesieniu do zmienionych warunków klimatycznych – projekcji klimatu

4.4.1. Weryfikacja wybranych projekcji klimatycznych – sprawdzenie wiarygodności projekcji

W ramach modelowania hydrologicznego zlewni Nysy łużyckiej zdecydowano się na wykorzystanie projekcji klimatycznych. W chwili obecnej istnieje wiele scenariuszy klimatycznych prezentujących odmienne projekcje przyszłych zmian klimatu wynikające z wyboru różnych warunków wejściowych i brzegowych symulacji. Zróżnicowanie projekcji powoduje znaczną rozpiętość potencjalnych stanów bilansu wodnego. W ramach projektu NEYMO wybrano przed rozpoczęciem modelowania kilka projekcji klimatycznych (zob. rozdz. 1.5), pozwalających na odzwierciedlenie w symulacji całej palety możliwych zmian bilansu wodnego.

W związku z dostępnością danych dla obszaru modelowego za normę klimatyczną przyjęto okres 1971-2000, która wykorzystana została w analizie przyszłych zmian klimatu jako okres referencyjny. Projekcje klimatu zostały przygotowane dla okresu 1971-2100. Dane prognostyczne muszą być wiarygodne dla wspomnianego okresu normy klimatycznej tzn. gwarantować wystarczającą jakość odwzorowania panującego obecnie klimatu. W celu uwiarygodnienia danych ze scenariusza są one porównywane z wynikami pomiarów wartości klimatycznych. Wiarygodność danych klimatycznych pochodzących ze scenariusza została sprawdzona w ramach modelowania klimatu (Kreienkamp et. al,

2013). Ponadto dane prognostyczne bilansu wodnego zostały zweryfikowane pod względem wiarygodności przy pomocy projekcji klimatu dla okresu referencyjnego 1971-2000. W tym celu porównano przy uwzględnieniu danych pomiarowych ze stacji klimatycznych prognozowane wartości składowych bilansu wodnego z wynikami projekcji klimatycznych. Na rysunku 46 przedstawiono procentowe różnice średniej wartości opadów dla całego obszaru z 30 lecia 1971-2000 pomiędzy projekcjami klimatu a okresem normy klimatycznej oraz składowe bilansu wodnego. Model prezentuje wartości opadów na całym obszarze ze średnim niedoszacowaniem na poziomie -65 mm (-7 %). Największym niedoszacowaniem opadów cechuje się realizacja 01 scenariusza A1B odnoszącym się szczególnie do odcinków źródłowych położonych na wyższych piętrach wysokościowych. Parowanie uzyskane w oparciu o dane ze scenariusza odbiega o +31 mm (16 %) od parowania obliczonego na podstawie danych z pomiarów klimatycznych. Największe niedoszacowanie wartości parowania wykazują projekcje A1B, R01 i RCP8.5, R05, natomiast realizacja 09 scenariusza RCP8.5 lekko je przeszacowuje. Wartości opadu atmosferycznego jak i parowania rzeczywistego uzyskane we wszystkich projekcjach klimatycznych wykazują odchylenie poniżej 10 % od wartości obliczonych na podstawie danych pomiarowych. Wyniki te potwierdzają wiarygodność odwzorowania obydwu wielkości w projekcjach wykonanych dla okresu referencyjnego. Niedoszacowanie wielkości wejściowych opadu atmosferycznego oraz przeszacowanie parowania rzeczywistego powoduje powstanie różnic w odniesieniu do składowych odpływu. Przebiegające w przeciwnych kierunkach odchylenia wartości opadu atmosferycznego i parowania wpływają negatywnie na składowe odpływu, gdyż w procesie tworzenia się odpływu dostępna jest mniejsza ilość wody niż zanotowano w pomiarach. Powstałe w ten sposób odchylenia składowych odpływu wynoszą dla odpływu powierzchniowego - 2 mm (- 18 %), odpływu podpowierzchniowego - 16 mm (- 26 %) i zasilania wód podziemnych - 76 mm (- 28 %). Dane te pokazują, że błąd wynikający z niedoszacowania powielany jest w kolejnych, zachodzących coraz głębiej procesach odpływu wód. Stwierdzone różnice danych nie wykroczyły jednakże poza przedział akceptowalności. W wyniku kontroli osiągnięto na podstawie danych pochodzących z projekcji wystarczająco dokładne odwzorowanie wielkości opadów z całego obszaru, parowania oraz składowych odpływu w modelowanym regionie. W związku z tym w ramach badania zmian i kształtowania się klimatu oraz bilansu wodnego w zlewni Nysy Łużyckiej można wykorzystać zarówno dane klimatyczne pochodzące z projekcji jak i uzyskane na tej podstawie dane dotyczące bilansu wodnego odnosząc je do okresu referencyjnego modelowanego scenariusza. Stwierdzone odchylenia należy oczywiście uwzględnić przy ocenie i interpretacji projekcji. W wyniku niedoszacowania wartości składowych bilansu wodnego „zafałszowany” zostaje sygnał zmian dla bliższej i dalszej przyszłości. Z tego względu zmiany wyrażone w wartościach procentowych należy porównywać jedynie w odniesieniu do prognozowanych, a nigdy do obserwowanych wartości uzyskanych dla okresu referencyjnego. Analizie należy poddać wyłącznie sygnał zmian bez szczegółowego badania absolutnych wartości składowych odpływu.



Rysunek 46: Odchylenie względne średniej składowych bilansu wodnego z 30 lecia 1971-2000 z uwzględnieniem projekcji klimatu w porównaniu z wartościami uzyskanymi z wykorzystaniem danych pomiarowych (od góry, od lewej do prawej: opad atmosferyczny, parowanie rzeczywiste, odpływ całkowity, odpływ powierzchniowy, odpływ podpowierzchniowy, zasilenie wód podziemnych)

4.4.2. Wyniki modelowania bilansu wodnego przy pomocy modelu ArcEGMO z uwzględnieniem projekcji klimatu

Po zakończeniu analizy wyników bilansu wodnego dla okresu rzeczywistego oraz weryfikacji wiarygodności projekcji klimatycznych przeprowadzono modelowanie bilansu wodnego dla pięciu wybranych projekcji klimatu. W wykorzystanym modelu nie zmieniono parametrów ani ustawień. Zmianie uległy jedynie dane klimatyczne oraz okres symulacji bilansu wodnego, który wydłużono do roku 2100. Poniżej zaprezentowano wybrane wyniki modelowania. W ramach niniejszej broszury niemożliwe jest przedstawienie szerszego opisu uzyskanych wyników. Pełną prezentację wyników modelowania oraz przeprowadzonych analiz znaleźć można na stronie internetowej projektu pod adresem www.neymo-project.eu. Przebieg zmian składowych oraz ocenę wyników uzyskanych w oparciu o projekcje klimatyczne należy zawsze rozpatrywać w odniesieniu do okresu referencyjnego właściwego dla danej projekcji. Wieloletni bilans wodny dla całego badanego wspólnie obszaru

sięgającego do granicy kraju związkowego Saksonia dla lat 2021-2050 i 2071-2100 przedstawia się dla pięciu wybranych projekcji następująco:

2021-2050, A1B, R01

P	E	H _s	H _H	ALN
810,1 mm/rok	588,7 mm/rok	9,5 mm/rok	39,3 mm/rok	173,9 mm/rok
100 %	72,7 %	1,2 %	4,9 %	21,5 %
H				
222,7 mm/rok				
27,5 %				

2071-2100, A1B, R01

P	E	H _s	H _H	ALN
751,9 mm/rok	597,3 mm/rok	8,4 mm/rok	29,2 mm/rok	117,4 mm/rok
100 %	79,4 %	1,1 %	3,9 %	15,6 %
H				
155,0 mm/rok				
20,6 %				

2021-2050, A1B, R04

P	E	H _s	H _H	ALN
834,2 mm/rok	599,9 mm/rok	10,3 mm/rok	41,3 mm/rok	184,3 mm/rok
100 %	71,9 %	1,2 %	5,0 %	22,1 %
H				
235,9 mm/rok				
28,3 %				

2071-2100, A1B, R04

P	E	H _s	H _H	ALN
740,9 mm/rok	596,1 mm/rok	8,1 mm/rok	27,6 mm/rok	108,5 mm/rok
100 %	80,5 %	1,2 %	3,7 %	14,6 %
H				
144,2 mm/rok				
19,5 %				


2021-2050, A1B, R06

P	E	H _s	H _H	ALN
816,2 mm/rok	596,8 mm/rok	9,3 mm/rok	37,7 mm/rok	174,3 mm/rok
100 %	73,1 %	1,2 %	4,6 %	21,4 %
H				
221,3 mm/rok				
27,1 %				


2071-2100, A1B, R06

P	E	H _s	H _H	ALN
749,6 mm/rok	592,6 mm/rok	8,3 mm/rok	29,7 mm/rok	120,2 mm/rok
100 %	79,1 %	1,2 %	4,0 %	16,0 %
H				
158,2 mm/rok				
21,1 %				


2021-2050, RCP85, R05

P	E	H _s	H _H	ALN
828,3 mm/rok	596,6 mm/rok	9,5 mm/rok	40,3 mm/rok	183,1 mm/rok
100 %	72,0 %	1,2 %	4,9 %	22,1 %
 H 232,9 mm/a 28,1 %				

2071-2100, RCP85, R05

P	E	H _s	H _H	ALN
796,8 mm/rok	609,4 mm/rok	8,9 mm/rok	33,9 mm/rok	145,3 mm/rok
100 %	76,5 %	1,1 %	4,3 %	18,2 %
 H 188,1 mm/a 23,6 %				

2021-2050, RCP85, R09

P	E	H _s	H _H	ALN
801,8 mm/rok	630,5 mm/rok	8,7 mm/rok	31,0 mm/rok	132,4 mm/rok
100 %	78,6 %	1,2 %	3,9 %	16,5 %
 H 172,1 mm/a 21,5 %				

2071-2100, RCP85, R09


P	E	H _s	H _H	ALN
717,6 mm/rok	608,6 mm/rok	7,7 mm/rok	23,1 mm/rok	78,3 mm/rok
100 %	84,8 %	1,1 %	3,2 %	10,9 %
 H 109,1 mm/a 15,2 %				

Tabela 12 do Tabela 16 przedstawiają zmienność poszczególnych składowych bilansu wodnego w formie wartości średnich z 30 lecia dla okresu referencyjnego oraz bliższej (2021-2050) i dalszej (2071-2100) przyszłości. Wyniki przedstawiono w oparciu o zlewnie cząstkowe dla pięciu wspomnianych powyżej kategorii. W tabeli 12 widoczny jest spadek wartości opadu atmosferycznego zaznaczający się dla wszystkich projekcji. Realizacje A1B, R06 oraz RCP8.5, R09 wykazują największe spadki w bliższej przyszłości. Zmiany ilości odpadów uwidaczniają się w zastosowanej klasyfikacji wyłącznie na średnich piętrach wysokościowych. W odniesieniu do dalszej przyszłości bardziej wyraźny spadek ilości opadów pojawił się również na wyżej położonych obszarach. Kiedy dla bliższej przyszłości odnotowano jeszcze niewielkie różnice pomiędzy projekcjami, to różnice wyników poszczególnych projekcji dla dalszej przyszłości były już bardzo wyraźne. Najbardziej mokrą okazała się realizacja 05 scenariusza RCP8.5, której wyniki znacznie odbiegały od innych projekcji. W przypadku tej realizacji prawie wszystkie zlewnie cząstkowe wykazują wartości o klasę wyższe niż wartości uzyskane z pozostałych realizacji. Warunki z najmniejszą ilością opadów odnotowano w projekcji RCP8.5, R09, przy czym wynik ten najwyraźniej uwidacznia się na wyższych piętrach wysokościowych. Realizacje scenariusza A1B różnią się od siebie jedynie wynikami w zlewniach cząstkowych położonych na terenach nizinnych. Najmniejszą ilość opadów wykazuje realizacja R06. Wyniki projekcji poddano również analizie trendów metodą opisaną w rozdz. 4.1. Analizę trendu zaprezentowano w niniejszej broszurze na przykładzie realizacji R09 scenariusza RCP8.5, jako że w

przypadku powyższej projekcji można spodziewać się największych zmian wartości. Zgodnie z analizowanym trendem (zob. Tabela 17) ilość opadu atmosferycznego zmniejszy się w realizacji RCP8.5 R09 w bliższej przyszłości na wszystkich obszarach, choć spadek ten nie będzie znaczący. Z analizy trendu stwierdzonego w realizacji RCP8.5, R09 wynika ponadto, że opad atmosferyczny wykazywał będzie w bliższej przyszłości tendencję wzrostową w półroczu letnim oraz tendencję spadkową w półroczu zimowym (Tabela 18). W sumie oznacza to spadek ilości opadów na przestrzeni całego roku. Opisane powyżej zmiany mają jednakże jedynie charakter tendencji a nie istotnych trendów statystycznych. Analiza trendu opadu atmosferycznego uwiadcza zmianę warunków opadowych w półroczu letnim w horyzoncie czasowym wspomnianej realizacji.

Zmiany wartości parowania rzeczywistego pokazano w tabeli 13. Parowanie zwiększy się w odniesieniu do okresu referencyjnego w bliższej przyszłości we wszystkich projekcjach, choć skala zmian będzie dość zróżnicowana. Największy wzrost parowania przewiduje się w realizacjach A1B, R04 oraz RCP8.5, R09. Wartości parowania zmniejszą się natomiast w okresie 30 letnim w odniesieniu do dalszej przyszłości, przy czym poszczególne zlewnie cząstkowe wykazują odmienną skalę zmian. Najmniejsze spadki parowania przewidywane są w projekcji RCP85, R09.

Analiza trendu w projekcji RCP85, R09 wykazuje nieistotny statystycznie spadek parowania w półroczu letnim oraz nieistotny wzrost wartości w półroczu zimowym dla okresu 2021-2050. Ze względu na większy spadek parowania w półroczu letnim od wzrostu parowania w zimie należy dla całego roku założyć tendencję spadkową parowania. Spadek parowania w przeciągu 30 lat w okresie 2021-2050 nie oznacza jednakże obniżenia się parowania w stosunku do okresu referencyjnego. W rzeczywistości parowanie zwiększy się nawet średnio o 60 mm. W okresie 30 lecia 2021-2050 pojawią się jedynie wahania trendu z okresowym spadkiem i wzrostem wartości. W dalszej przyszłości przewidywany jest ponowny tendencyjny wzrost parowania, jednakże wzrost ten nie będzie już tak silny. W niektórych zlewniach cząstkowych parowanie zostanie ograniczone ze względu na dostępne w tych lokalizacjach zasoby wodne.

Zarówno odpływ powierzchniowy jak i podpowierzchniowy zmniejszać się będą w bliższej przyszłości we wszystkich zlewniach cząstkowych w porównaniu do okresu referencyjnego. Trend ten utrzyma się niezmiennie dla dalszej przyszłości. Analiza wykazała w obydwu rozpatrywanych okresach zmniejszenie się odpływu powierzchniowego i podpowierzchniowego. W półroczu letnim wielolecia 2071-2100 wartości odpływu powierzchniowego lekko wzrosną, nie wykazując jednakże istotnych zmian. Dla odpływu podpowierzchniowego, w przeciwieństwie do odpływu powierzchniowego, przewiduje się w obydwu rozpatrywanych okresach istotny spadek wartości na wodowskazach usytuowanych wzdłuż Nysy Łużyckiej.

Prognozy w ramach wszystkich projekcji klimatycznych wykazują do 2100 roku spadek zasilania wód podziemnych w porównaniu do okresu referencyjnego. Projekcje A1B, R04 i RCP8.5 R09 przewidują największe spadki zasilania wód podziemnych we wszystkich zlewniach cząstkowych. Analiza trendu pokazuje dla bliższej i dalszej przyszłości znaczne spadki zasilania wód podziemnych obserwowane w półroczu letnim na wodowskazach usytuowanych wzdłuż Nysy Łużyckiej. W ramach analizy trendu nie stwierdzono żadnych innych istotnych zmian w kształtowaniu się wartości zasilania wód podziemnych.

Wskutek spadku wartości składowych odpływu prognozowane jest do roku 2100 zmniejszenie się odpływu całkowitego we wszystkich zlewniach cząstkowych. W obydwu badanych okresach nie stwierdzono jednakże żadnych trendów istotnych statystycznie.

Na rysunkach od 48 do 51 przedstawiono odchylenia wartości składowych bilansu wodnego w poszczególnych latach od średniej wieloletniej w okresie referencyjnym dla wszystkich lat z okresu 1971-2100. Prezentowane wartości odnoszą się do całego obszaru. Rysunki przedstawiają wieloletnią wartość średnią oraz poziom ufności dla poszczególnych projekcji i składowych. Jeżeli wartości wyjdą poza obszar wyznaczany przez krzywą zmian (krzywą przebiegu stanów) i przekroczą poziom ufności to można przyjąć, że pojawił się sygnał zmian. W przypadku, gdy krzywa przebiegu stanów wykazuje wahania niewykraczające poza poziom ufności obserwowane wychylenia uznaje się za naturalną zmienność wartości. W takim przypadku nie występują żadne rzeczywiste zmiany wartości. Na rysunkach prezentowane są wartości odchylenia dla roku oraz dla półrocza letniego i zimowego. W półroczu letnim zauważyć można dla okresu rozpoczynającego się około roku 2050 przekroczenie przez wartości opadu atmosferycznego poziomu ufności, co oznacza pojawienie się sygnału zmian. Wartości parowania nie wykraczają poza poziom ufności z wyjątkiem prognoz w ramach projekcji RCP 8.5, R09, które okresowo wykazują wartości powyżej poziomu ufności. Krzywa wartości odpływu powierzchniowego przekracza po roku 2060 poziom ufności we wszystkich projekcjach klimatu z wyjątkiem realizacji R01 scenariusza A1B, której wartości nigdy nie wychodzą poza obszar ufności. Począwszy od roku 2050 wszystkie projekcje wykazują sygnał zmian w odniesieniu do odpływu podpowierzchniowego. Sygnał zmian w przypadku wartości zasilania wód podziemnych pojawia się po roku 2045. Wspomniany istotny trend wykazuje stały spadek wartości zasilania wód podziemnych we wszystkich projekcjach.

W półroczu zimowym silny sygnał zmian pojawiający się po roku 2030 obserwowany jest jedynie w przypadku parowania. Krzywa zmian opadu atmosferycznego i odpływu powierzchniowego przebiega zawsze poniżej poziomu ufności. W przypadku odpływu podpowierzchniowego i zasilania wód podziemnych wartości wykraczające ponad poziom ufności zanotowano jedynie w projekcji RCP85, R09.

W odniesieniu do całego roku zauważyć można począwszy od roku 2050 powstanie we wszystkich projekcjach sygnału zmian jedynie w przypadku odpływu podpowierzchniowego i zasilania wód podziemnych. Wartości opadu atmosferycznego, parowania i odpływu powierzchniowego kształtują się w całym okresie w granicach poziomu ufności i nie powodują pojawienia się wyraźnego sygnału zmian. Wyjątek stanowią tutaj jedynie projekcje RCP, R09 i A1B, R06, w których pod koniec wieku pojawia się sygnał zmian.

Prezentowane wyniki odzwierciedlają możliwy przebieg zmian wynikający z warunków założonych w ramach wybranych projekcji klimatycznych. Inne projekcje klimatu mogą oczywiście prowadzić do całkowicie odmiennych zmian składowych bilansu wodnego.

Podsumowanie

Wszystkie składowe odpływu wykazują tendencje spadkowe. W zależności od rozpatrywanego horyzontu czasowego (okres roczny, półrocze letnie lub zimowe) oraz projekcji klimatu pojawiający się sygnał zmian wykazuje większą lub mniejszą intensywność. Prognozowany sygnał zmian pojawia się w zasadzie dopiero w drugiej połowie wieku. Wartości uzyskane w projekcji RCP85, R09 wykazywały różnice w odniesieniu do wszystkich analizowanych wielkości prognozując największe zmiany. Najwyraźniejsze zmiany odnotowano w przypadku zasilania wód podziemnych i odpływu podpowierzchniowego w półroczu letnim. Odpływ powierzchniowy cechuje się w projekcjach jedynie niewielką zmiennością wartości. Dopiero w ostatniej dekadzie wieku wartości wychodzą w kilku projekcjach ponad poziom ufności i uwidaczniają sygnał zmian.

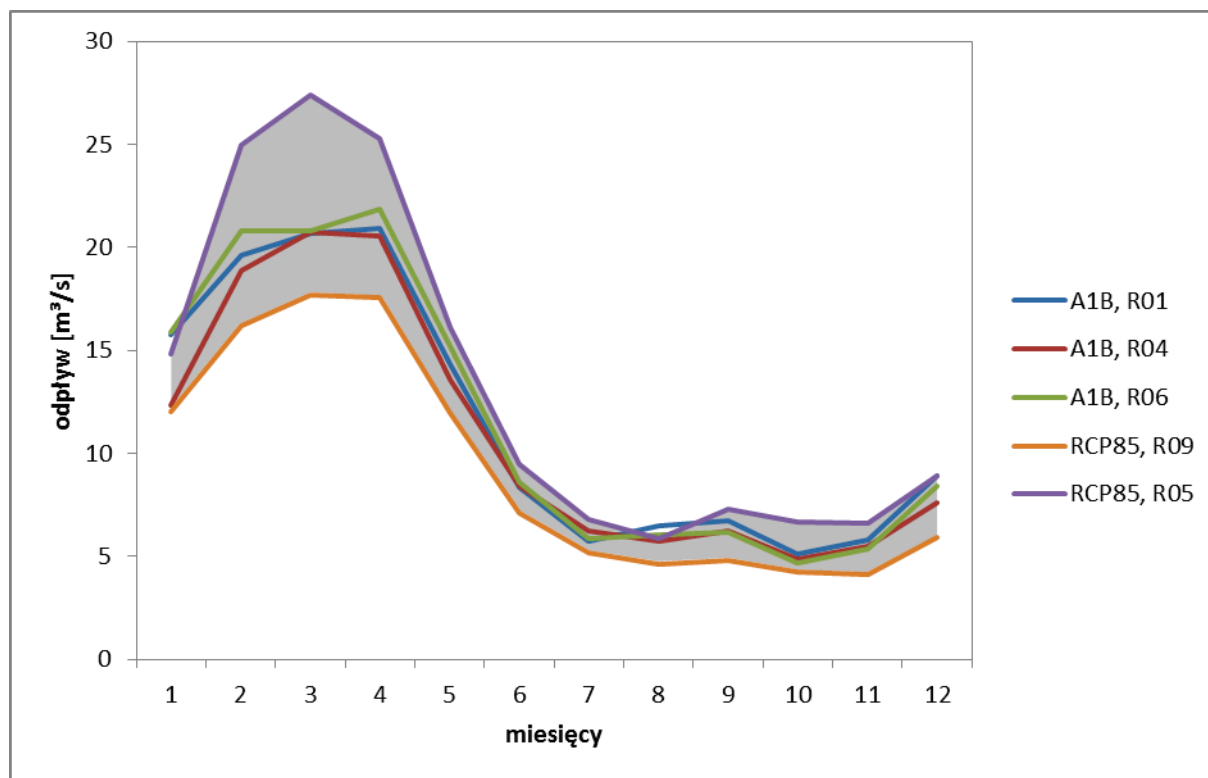
Natomiast wartości parowania rosną i wykazują w półroczu zimowym wyraźny sygnał zmian zauważalny już od roku 2035.

W odniesieniu do opadu atmosferycznego nie odnotowano wyraźnego sygnału zmian. Jedynie w półroczu letnim pojawia się począwszy od roku 2060 we wszystkich projekcjach zmiana wskazująca spadek ilości opadów w okresie letnim oraz tendencję spadkową na przestrzeni całego roku. W półroczu zimowym zmiany opadu atmosferycznego nie wykraczają poza poziom zmienności naturalnej.

Stwierdzenia dotyczące kształtowania się bilansu wodnego należy traktować jako opis potencjalnych tendencji, których wystąpienie zależy wyłącznie od warunków klimatycznych prognozowanych przez pięć wybranych projekcji klimatu. Niedopuszczalne jest wykorzystywanie pojedynczych wartości absolutnych do wysnuwania wniosków dotyczących specyficznych aspektów bilansu w danej lokalizacji. Należy zawsze brać pod uwagę całą rozpiętość wartości bilansu wodnego. Wyniki analiz stanowią jedynie wartości prognozowane uzyskane w procesie modelowania, które zawsze obarczone będą niepewnością wynikającą z błędów modelu, niedokładności danych, założeń dotyczących zmian klimatu itp. Należy przypomnieć, że model wykorzystuje stałe poziomy zwierciadła wód podziemnych niepodlegające zmianom czasowym lub w wyniku zmieniających się warunków klimatycznych. Oznacza to, że lokalizacje z wysokim poziomem zwierciadła wód podziemnych charakteryzowały się będą również w przyszłości bliskością wód podziemnych i wykazywały związane z tym właściwości, nawet wówczas, gdy warunki ramowe ulegną zmianie. W modelu oznacza to, że wody podziemne objęte będą procesami kapilarnymi i związanym z nim parowaniem w wyniku transpiracji roślin, chociaż w rzeczywistości lokalizacja ta może w pewnych okolicznościach przekształcić się w obszar cechujący się dużą głębokością zwierciadła wód podziemnych, na którym nie zachodzą już procesy kapilarne. W takim przypadku w symulacji przeszacowane zostanie parowanie przy niedoszacowaniu zasilania wód podziemnych, co nie odpowiada sytuacji rzeczywistej przy zastosowaniu dynamicznego odwzorowania zmian poziomu zwierciadła wód podziemnych.

W procesie interpretowania danych ważną rolę odgrywają informacje na temat rodzaju i stopnia niepewności prezentowanych wyników. Wykres na rysunku 47 pokazuje stopień niepewności na przykładzie wykorzystania różnych projekcji klimatu do modelowania przepływu na wodowskaziu Podrosche 2. Z przebiegu krzywych wynika, że szczególnie w ostatnich miesiącach zimowych i

miesiącach wiosennych pojawiają się duże różnice wartości prognozowanych przepływów. Wartości przepływu uzyskane w marcu w wyniku modelowania przy pomocy projekcji RCP8.5 R09 są prawie dwukrotnie wyższe od wartości dla projekcji RCP8.5 R05. Przykład ten pokazuje wyraźnie różnicę, jaka może powstać pomiędzy rzędami wartości danej wielkości składowej bilansu wodnego. Zmiany te będą różnić się również w zależności od analizowanego obszaru.



Rysunek 47: Rozpiętość pomiędzy średnimi wartościami miesięcznymi przepływów na wodowskaziu Podrosche 2 w okresie 2071-2100 uzyskane przy pomocy różnych projekcji klimatu (wg modelu ArcEGMO)

Tabela 12: Prognoza opadu atmosferycznego dla różnych projekcji obliczona przy pomocy modelu ArcEGMO

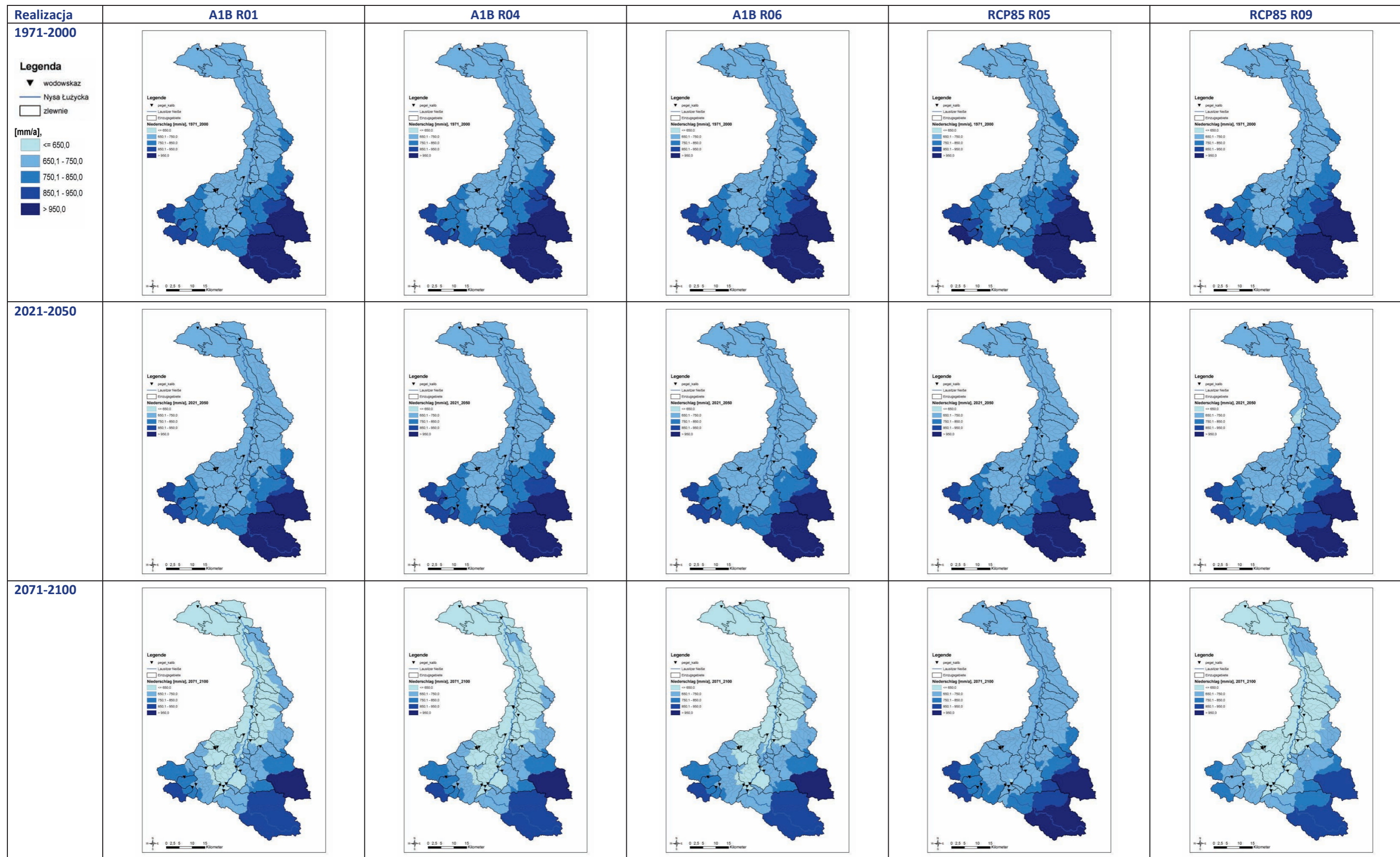


Tabela 13: Prognoza parowania dla różnych projekcji obliczona przy pomocy modelu ArcEGMO

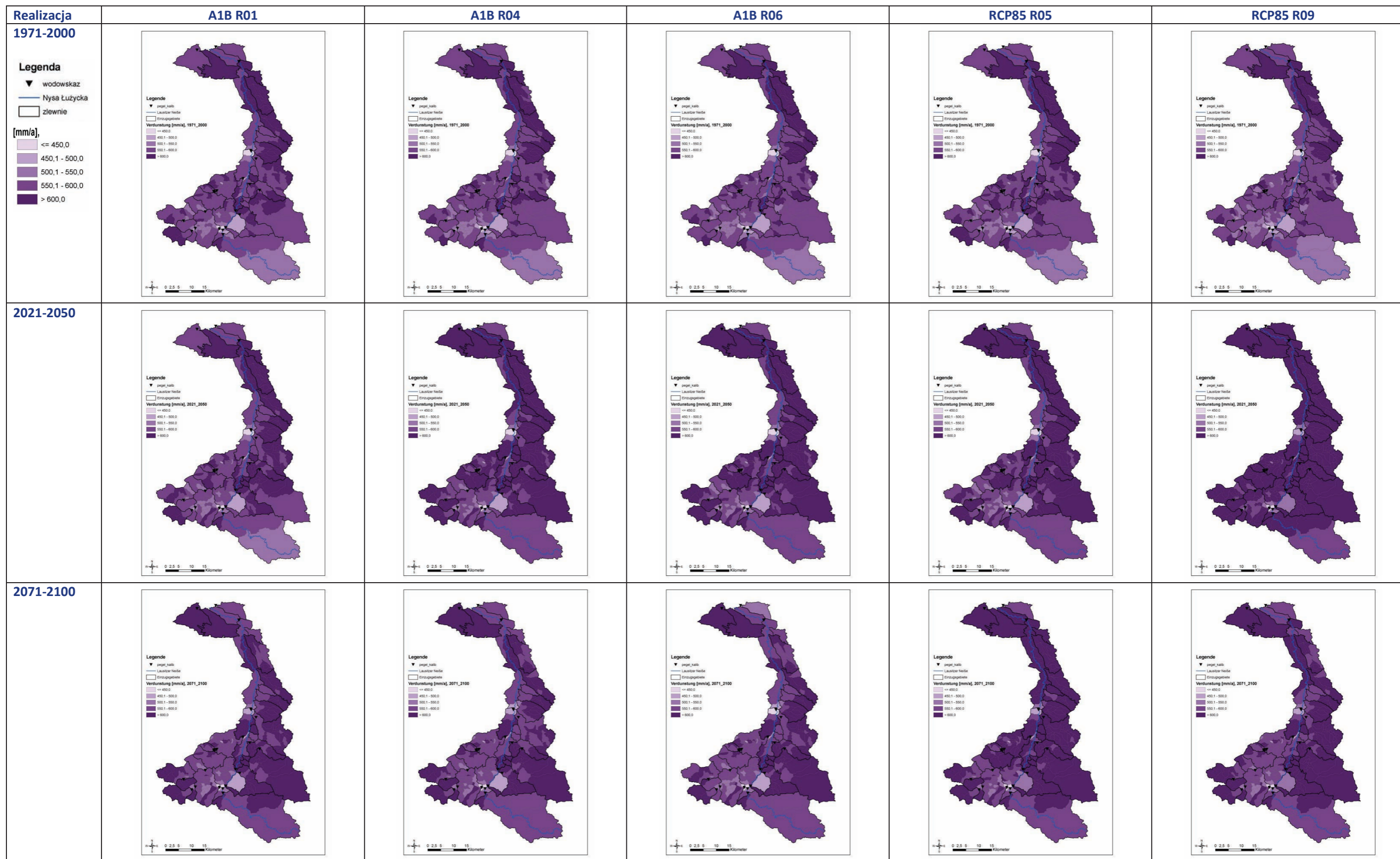


Tabela 14: Prognoza wartości odpływu powierzchniowego dla różnych projekcji obliczona przy pomocy modelu ArcEGMO



Tabela 15: Prognoza wartości odpływu podpowierzchniowego dla różnych projekcji obliczona przy pomocy modelu

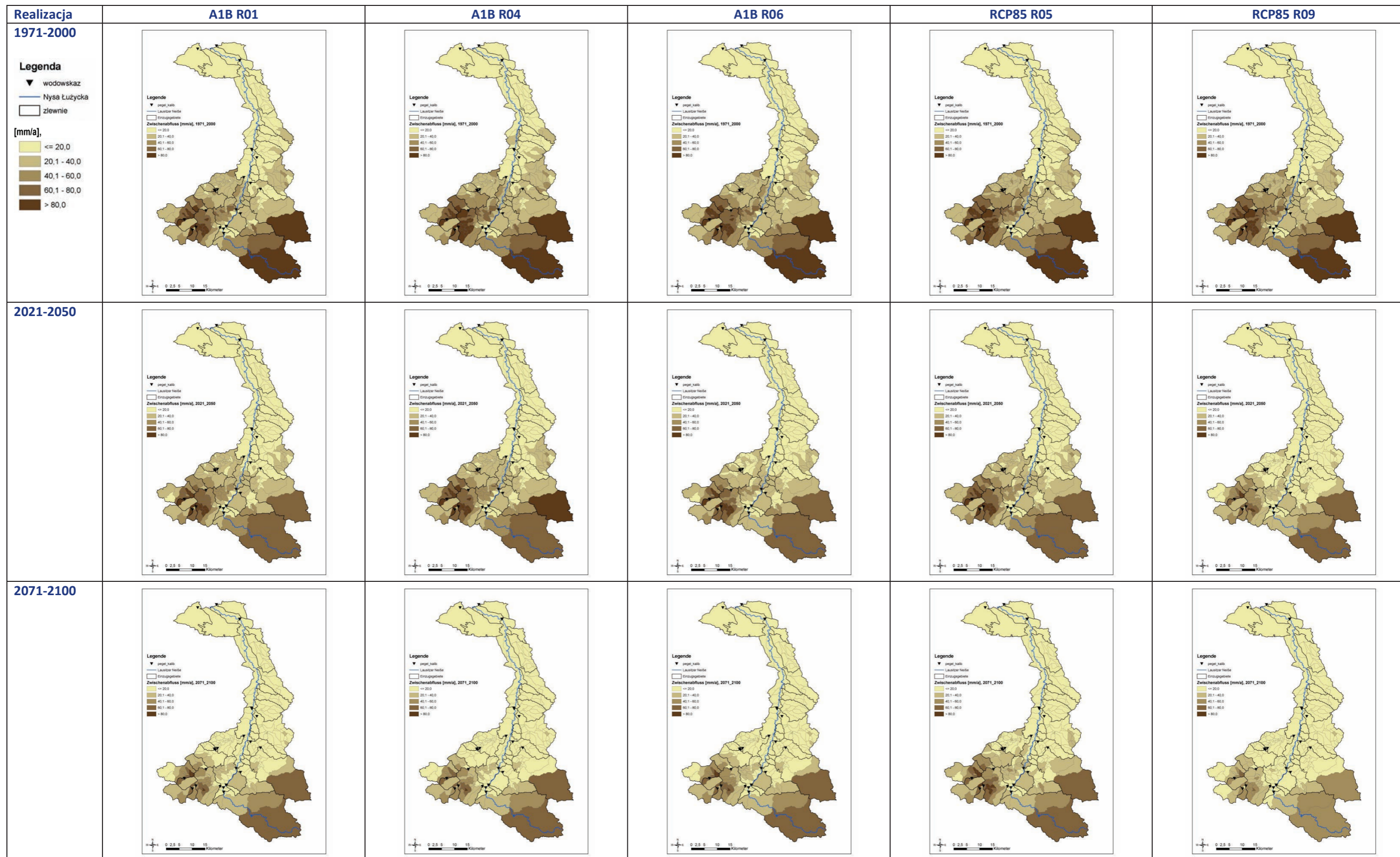


Tabela 16: Prognoza wartości zasilania wód podziemnych dla różnych projekcji obliczona przy pomocy modelu ArcGMO

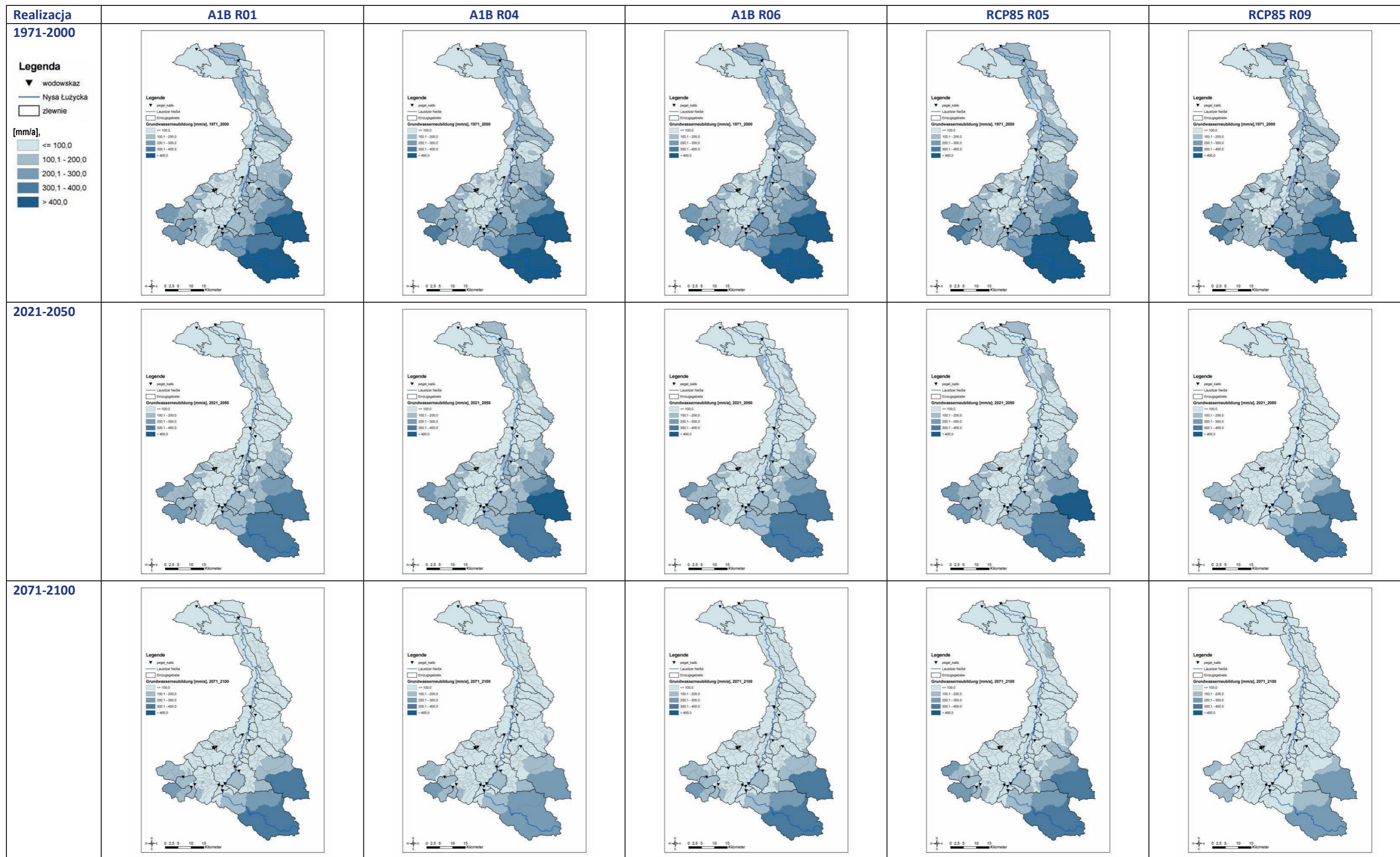
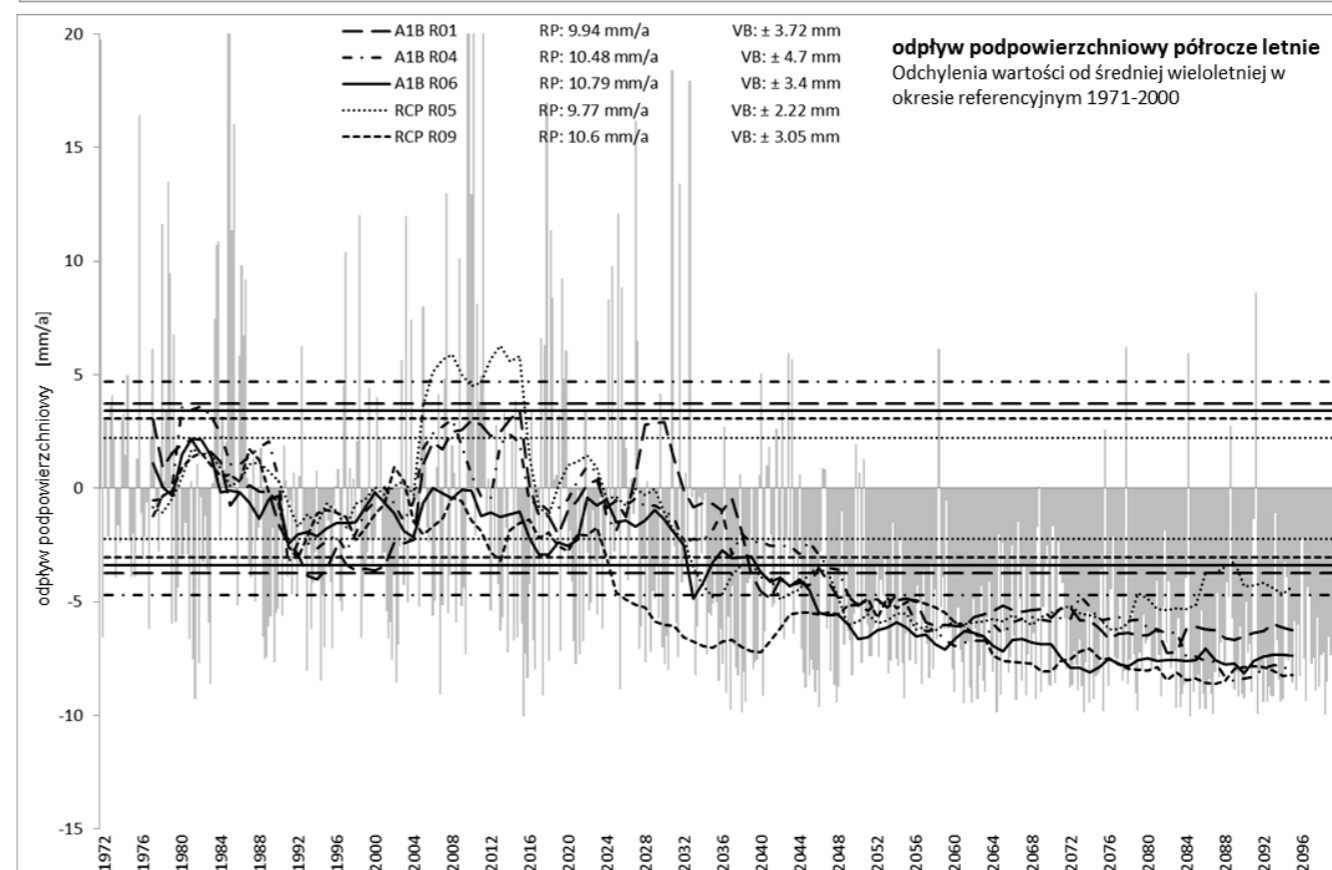
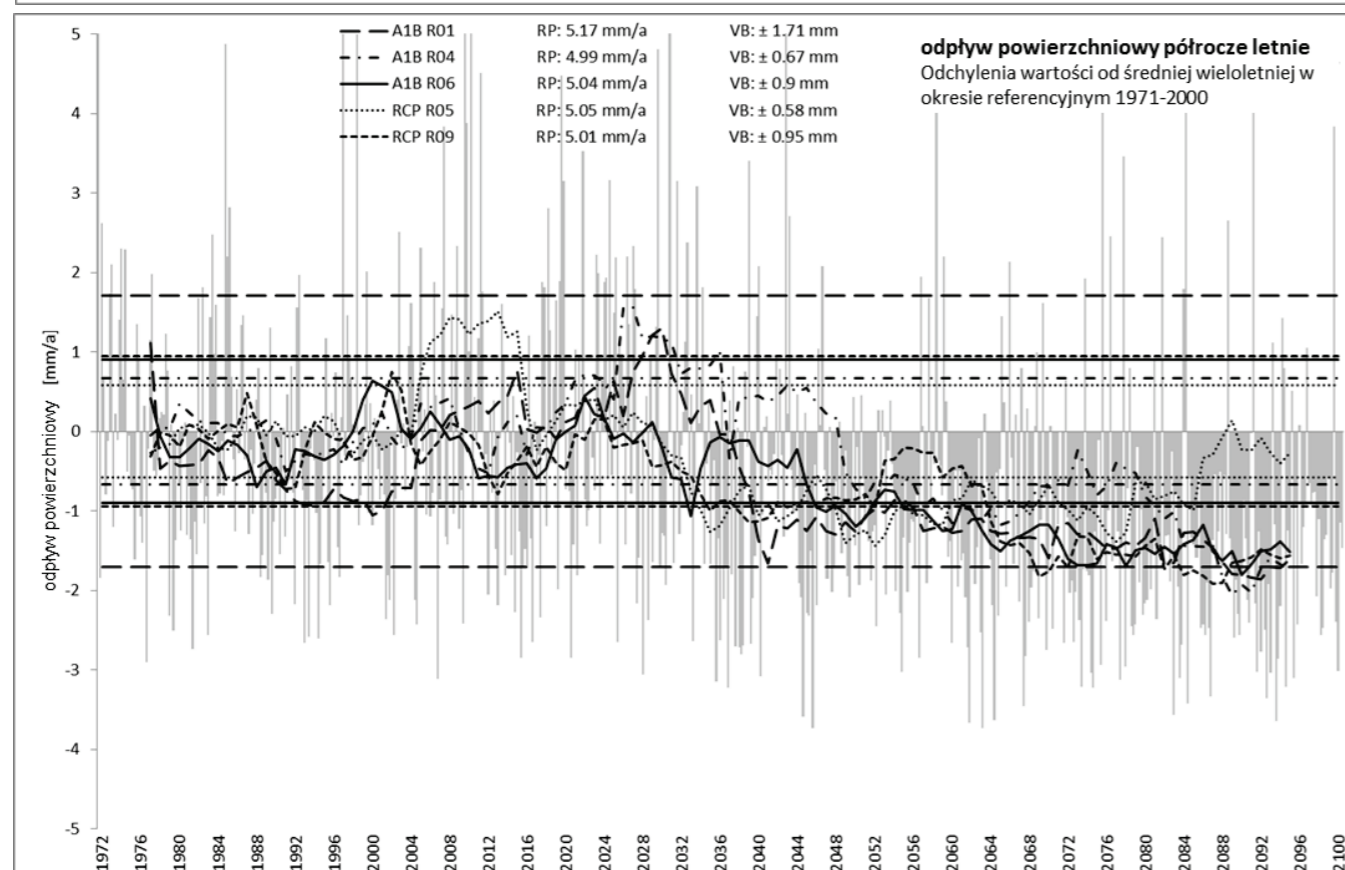
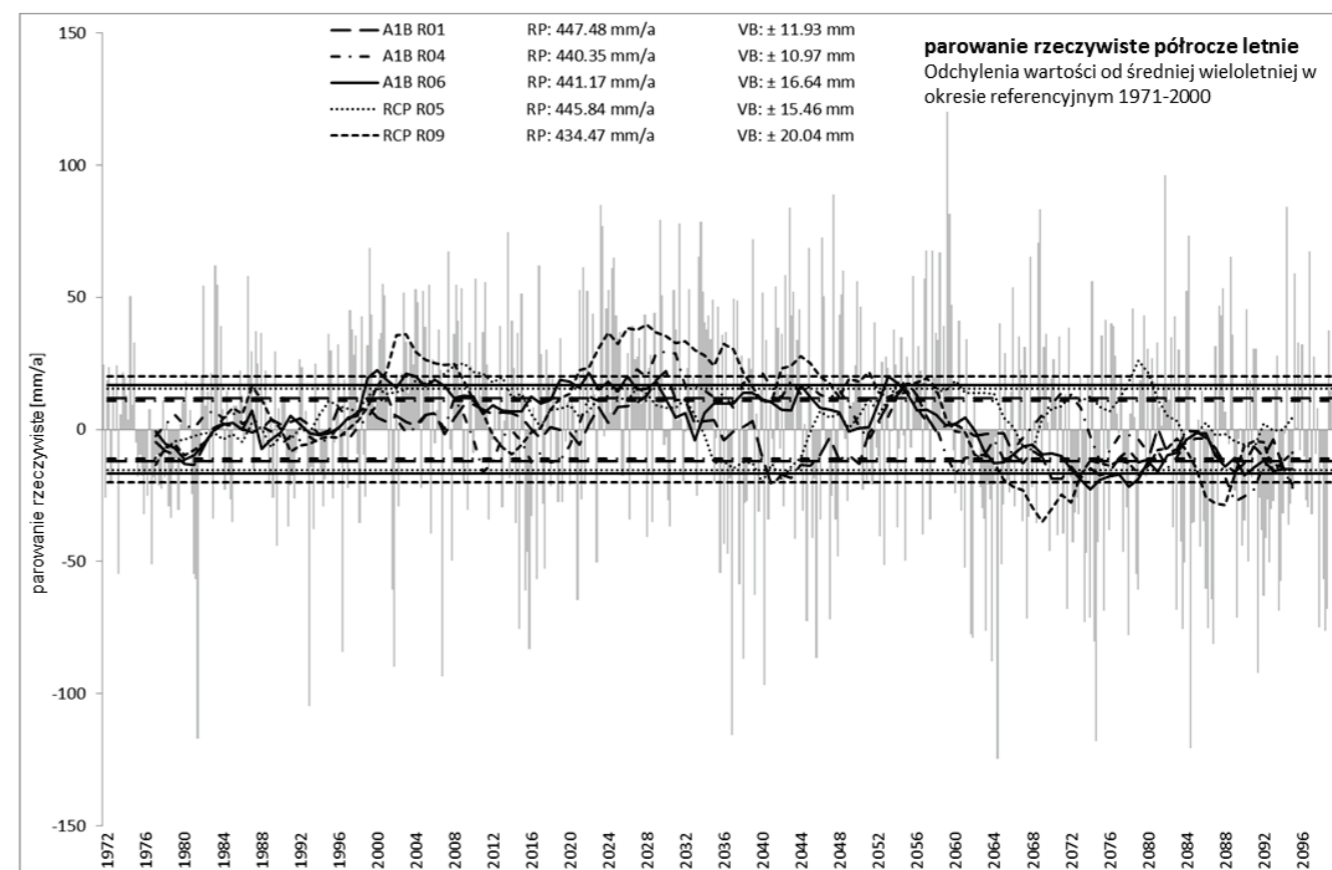
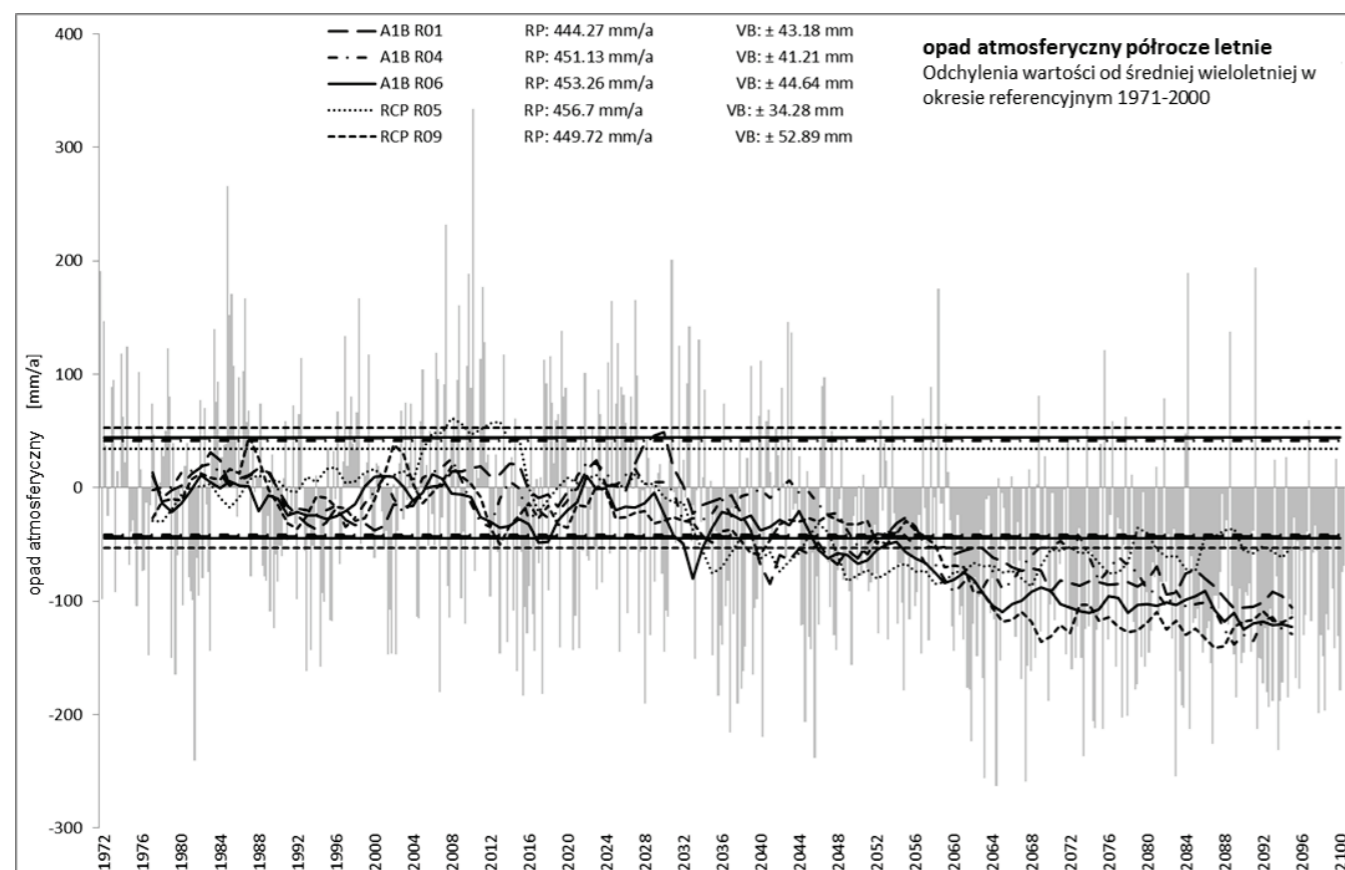


Tabela 17: Średnie wartości roczne składowych bilansu wodnego oraz trendy absolutne w mm/30 lat (dodatknie, **ujemne**) z oznaczeniem istotności statystycznej (istotne trendy pogrubiono) dla przyszłego okresu 2021-2050 dla okresów rocznych oraz półroczna letniego i zimowego projekcji RCP85, R09; wodowskazy pogrupowano zgodnie z piętrami wysokościowymi (ciemnoniebieskie: obszary nizinne, jasnoniebieskie: obszary górskie)

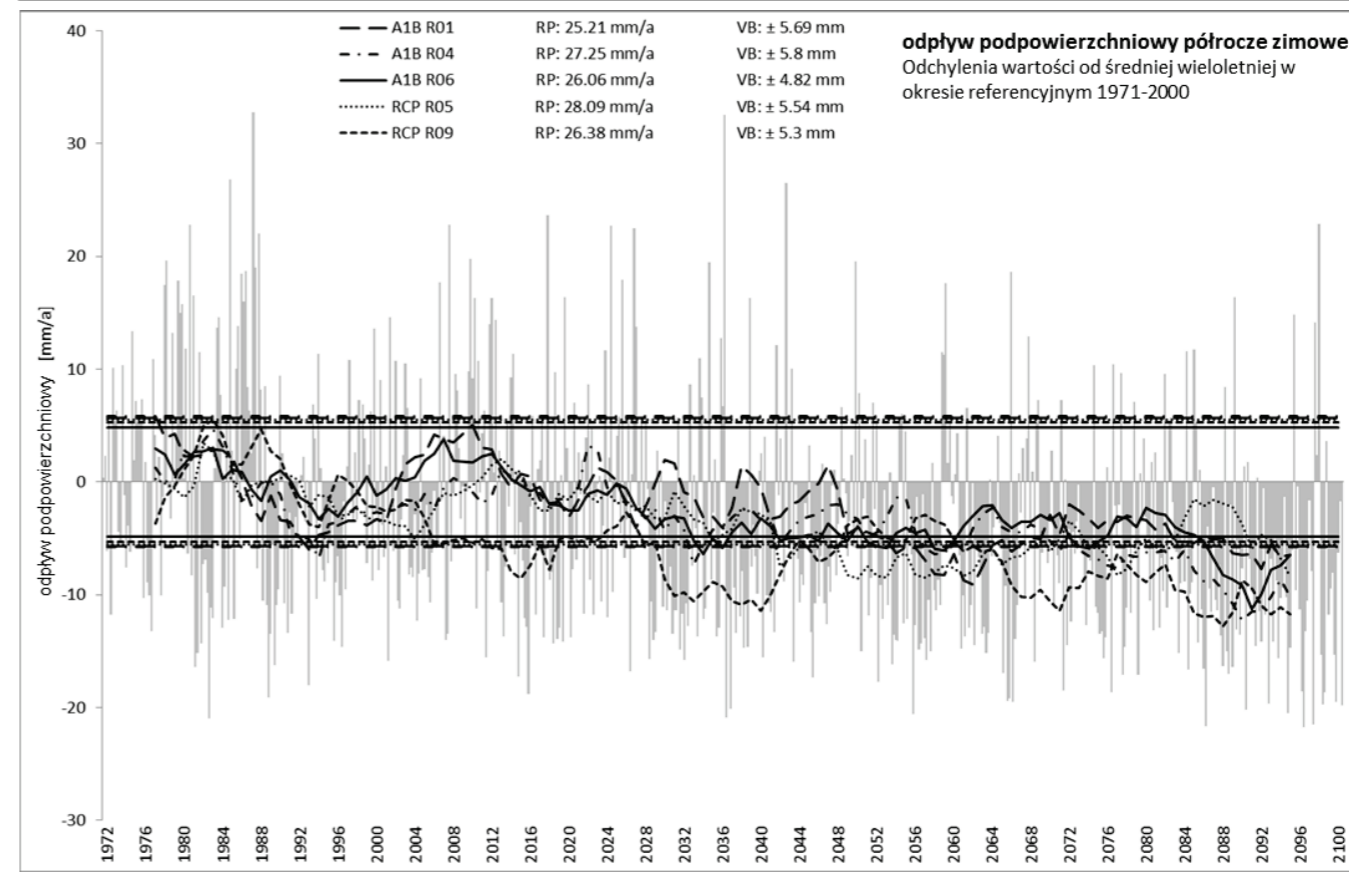
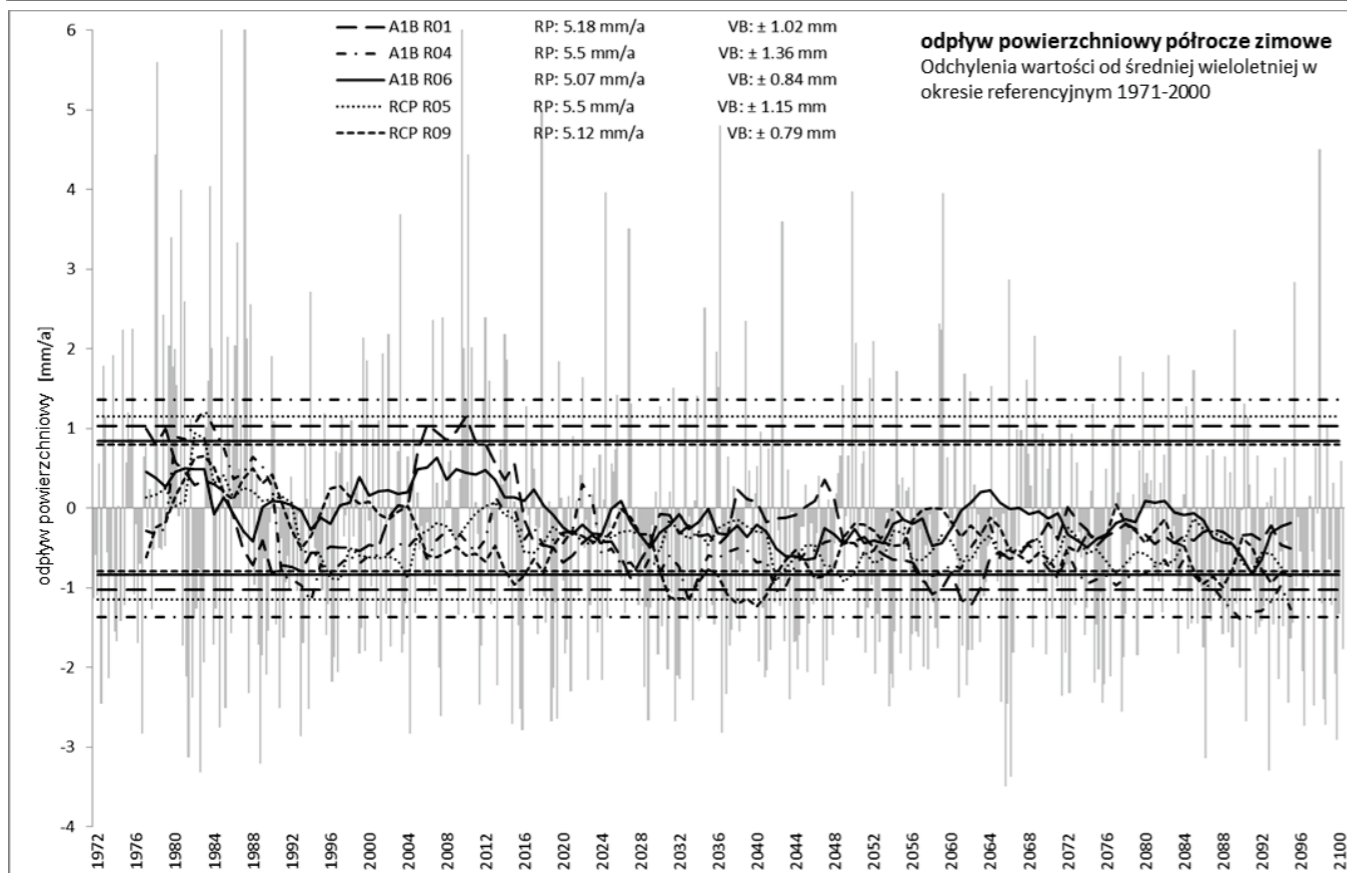
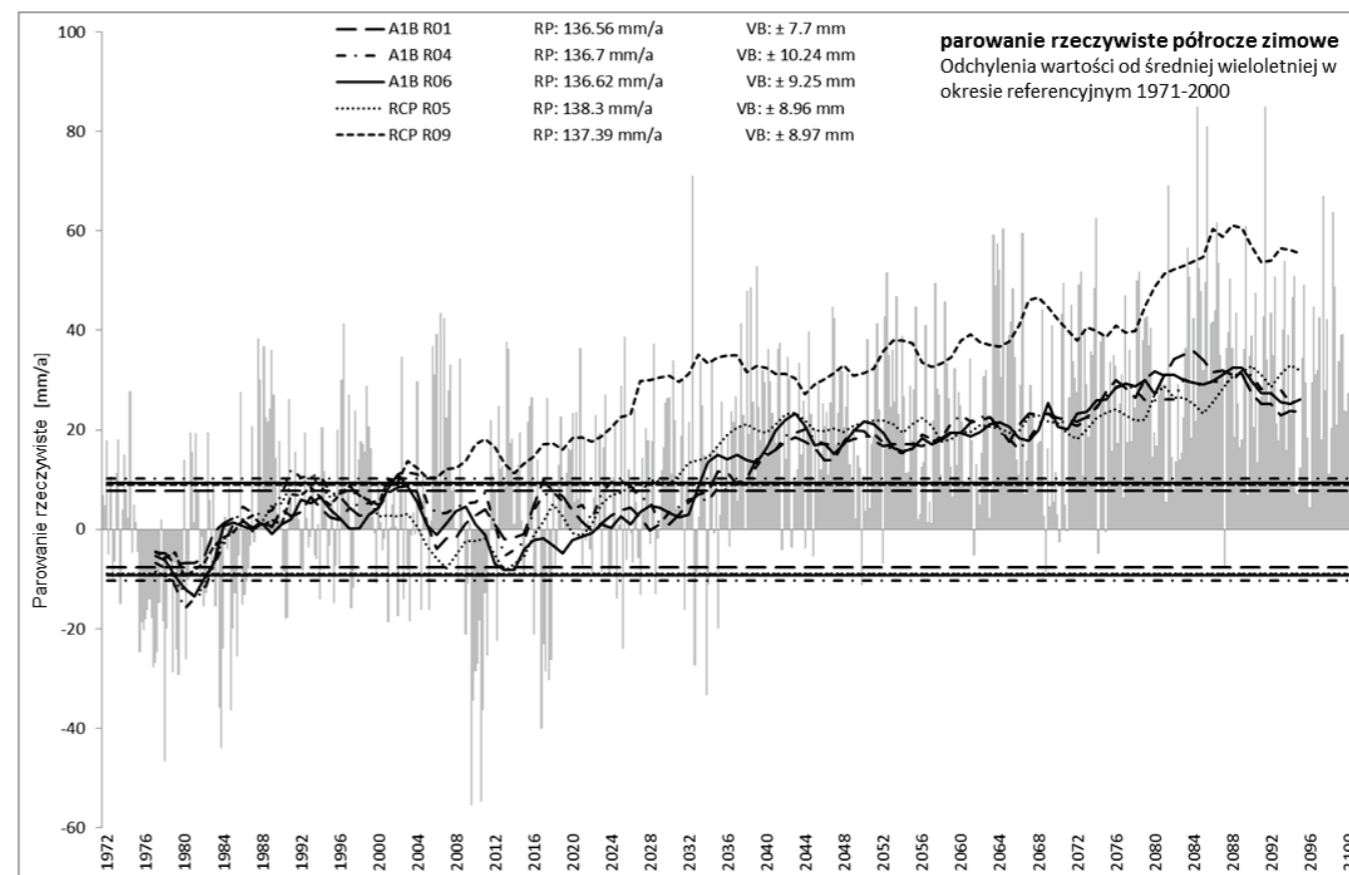
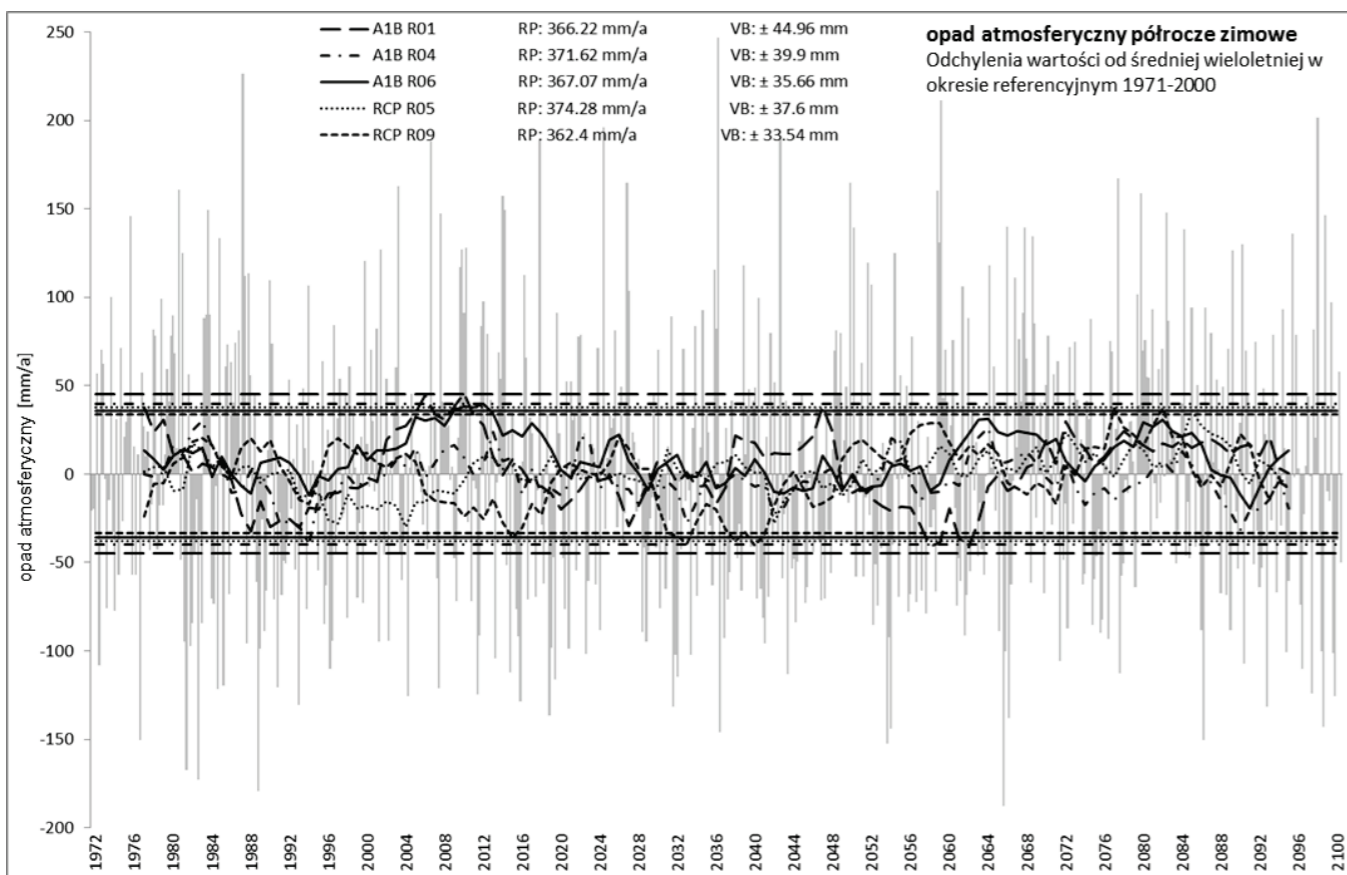
	P						E						H _s						H _H						ALN					
	rok		letnie		zimowe		rok		letnie		zimowe		rok		letnie		zimowe		rok		letnie		zimowe		rok		letnie		zimowe	
	wartość średnia [mm/rok]	trend [mm/ 30 lat]	wartość średnia [mm/rok]	trend [mm/ 30 lat]	wartość średnia [mm/rok]	trend [mm/ 30 lat]	wartość średnia [mm/rok]	trend [mm/ 30 lat]	wartość średnia [mm/rok]	trend [mm/ 30 lat]	wartość średnia [mm/rok]	trend [mm/ 30 lat]	wartość średnia [mm/rok]	trend [mm/ 30 lat]	wartość średnia [mm/rok]	trend [mm/ 30 lat]	wartość średnia [mm/rok]	trend [mm/ 30 lat]	wartość średnia [mm/rok]	trend [mm/ 30 lat]	wartość średnia [mm/rok]	trend [mm/ 30 lat]	wartość średnia [mm/rok]	trend [mm/ 30 lat]	wartość średnia [mm/rok]	trend [mm/ 30 lat]	wartość średnia [mm/rok]	trend [mm/ 30 lat]		
Przewóniki*	686.61	-67.12	358.64	-12.26	327.97	-32.45	600.69	-45.82	396.33	-47.18	204.36	4.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.41	-2.13	0.91	-0.26	5.51	-1.59	80.71	-21.96	15.12	-6.37	65.60	-16.30
Krauschwitz*	651.83	-96.92	351.71	-27.89	300.12	-20.10	616.69	-24.74	436.68	-25.17	180.01	3.84	21.87	-4.03	10.88	-2.07	11.00	-0.87	1.42	-0.44	0.17	-0.05	1.25	-0.24	13.17	-66.30	-67.62	-20.60	80.80	-14.62
Podrosche 2/ Przewóz	791.52	-101.24	428.79	-42.86	362.72	-48.18	630.13	-16.98	468.82	-30.28	161.31	10.37	9.48	-2.14	4.64	-1.51	4.83	-0.89	28.74	-9.11	5.76	-2.52	22.98	-4.54	124.01	-63.32	7.26	-34.89	116.75	-15.63
Görlitz/ Zgorzelec	819.66	-106.58	442.50	-39.50	377.15	-45.19	628.68	-20.23	471.80	-26.22	156.88	10.59	9.90	-2.36	4.81	-1.51	5.09	-0.84	34.91	-10.90	7.07	-3.36	27.84	-6.22	147.09	-72.84	13.57	-37.55	133.52	-15.71
Zgorzelec- Ujazd	726.77	-112.96	410.99	-21.70	315.79	-61.05	651.45	-30.23	485.40	-30.22	166.05	8.34	0.40	-0.13	0.28	-0.04	0.12	-0.02	12.07	-5.74	2.29	-0.66	9.78	-3.86	63.99	-45.16	-11.58	-21.74	75.57	-30.16
Tauchritz	696.21	-120.57	388.19	-42.45	308.02	-47.09	629.54	-35.98	457.40	-42.26	172.14	5.96	5.58	-2.11	2.67	-0.97	2.90	-0.58	17.92	-6.76	2.99	-3.19	14.93	-2.40	44.45	-33.16	-1.95	-20.27	46.40	-11.41
Rennersdorf 1	703.08	-103.90	388.71	-45.79	314.37	-45.09	634.82	-37.07	461.65	-38.18	173.17	8.81	5.17	-2.21	2.33	-1.14	2.83	-0.43	20.98	-7.42	3.14	-3.20	17.84	-3.09	43.27	-37.71	-6.18	-20.90	49.45	-11.39
Rennersdorf 2	715.73	-129.71	398.14	-44.78	317.59	-42.35	628.49	-35.96	455.58	-43.10	172.91	7.40	12.93	-3.93	6.48	-2.26	6.45	-0.86	16.47	-8.20	2.76	-3.63	13.71	-2.60	59.05	-40.77	1.14	-19.30	57.91	-11.14
Rennersdorf 3	704.79	-111.78	390.19	-44.69	314.60	-44.03	633.48	-35.72	460.60	-37.45	172.88	8.88	6.61	-2.51	3.11	-1.53	3.50	-0.54	20.12	-7.80	3.06	-3.51	17.05	-2.55	45.75	-38.73	-5.36	-21.25	51.11	-11.45
Réczyn	897.66	-110.99	485.77	-53.60	411.89	-60.05	655.46	-19.37	492.10	-26.22	163.36	8.83	2.47	-0.66	1.27	-0.36	1.20	-0.20	38.87	-10.71	8.88	-3.06	29.98	-3.81	201.61	-99.87	19.26	-29.08	182.35	-35.91
Ostróžno	926.60	-117.54	497.40	-66.08	429.20	-59.92	654.26	-15.53	492.87	-26.49	161.39	10.05	0.17	-0.10	0.09	-0.07	0.07	-0.01	44.09	-11.35	10.15	-2.94	33.94	-3.80	228.75	-95.33	27.53	-31.30	201.23	-43.15
Rosenthal	844.19	-89.62	447.77	-45.48	396.43	-32.88	614.67	-17.03	465.43	-31.46	149.25	12.35	10.46	-2.74	4.93	-2.14	5.53	-0.81	42.76	-11.72	8.47	-4.39	34.29	-7.77	177.13	-67.22	26.11	-37.13	151.02	-10.57
Turoszów	805.53	-99.42	452.02	-53.57	353.51	-39.94	659.51	-16.90	503.75	-28.33	155.76	9.35	0.43	-0.32	0.22	-0.18	0.21	-0.06	26.51	-9.87	5.04	-1.24	21.47	-3.80	120.36	-80.24	-8.14	-38.19	128.50	-28.93
Zittau 1/ Sienawka	871.40	-93.91	455.71	-35.68	415.69	-30.85	614.22	-18.38	465.86	-31.69	148.36	12.78	11.94	-2.90	5.62	-2.11	6.32	-0.94	47.52	-12.23	9.54	-4.89	37.98	-6.97	198.40	-67.26	32.26	-38.75	166.13	-8.74
Zittau 5	803.86	-84.57	425.76	-32.95	378.11	-13.84	628.96	-15.96	463.80	-21.87	165.16	7.87	19.27	-3.88	8.86	-3.35	10.41	-1.60	38.54	-9.68	4.87	-2.27	33.67	-7.10	117.68	-41.34	-3.53	-18.92	121.21	-9.98
Porajów	925.52	-98.61	479.53	-41.58	446.00	-37.53	606.05	-17.24	469.78	-25.77	136.27	11.71	3.02	-0.85	1.41	-0.60	1.61	-0.27	54.98	-14.59	13.20	-4.80	41.77	-2.54	262.21	-76.66	60.22	-45.75	201.99	-6.40
Hartau	932.74	-99.52	482.42	-39.71	450.32	-39.76	606.89	-15.92	470.89	-25.76	136.00	11.94	1.87	-0.50	0.84	-0.31	1.04	-0.17	56.27	-14.63	13.56	-4.96	42.71	-2.76	268.41	-76.19	62.34	-46.73	206.08	-5.45
Großschönau 2	851.05	-81.50	446.74	-31.18	404.31	-4.51	643.54	-15.91	476.19	-20.75	167.35	7.94	11.68	-2.21	5.46	-1.81	6.22	-0.25	35.39	-7.74	4.76	-1.56	30.63	-2.80	160.83	-54.00	-1.35	-21.26	162.18	-0.69
Niederoder- witz 3	741.75	-89.17	398.92	-44.32	342.83	-39.43	609.88	-18.94	449.93	-28.64	159.95	9.92	27.70	-7.18	12.88	-3.48	14.82	-2.21	39.17	-14.19	4.98	-3.05	34.18	-6.16	65.78	-52.95	-12.48	-22.59	78.26	-17.08
Seiffhenners- dorf	828.50	-87.88	435.31	-26.56	393.19	-14.74	637.30	-11.25	469.94	-16.94	167.36	8.75	15.41	-3.19	7.22	-1.82	8.19	-0.67	33.77	-9.03	4.29	-1.69	29.48	-2.04	142.48	-51.67	-0.53	-23.46	143.01	-9.95
Neuschönau 2	904.88	-65.32	473.85	-26.91	431.03	4.31	658.52	-16.52	487.26	-21.28	171.27	6.25	5.18	-0.67	2.38	-0.53	2.81	0.04	33.34	-6.64	5.39	-0.72	27.95	-2.81	208.11	-55.35	0.89	-21.49	207.21	-14.87

Tabela 18: Średnie wartości roczne składowych bilansu wodnego oraz trendy absolutne w mm/30 lat (dodatnie, ujemne) z oznaczeniem istotności statystycznej (istotne trendy pogrubiono) dla przyszłego okresu 2071-2100 dla okresów rocznych oraz półroczza letniego i zimowego projekcji RCP85, R09; wodowskazy pogrupowano zgodnie z piętrami wysokościowymi (ciemnoniebieskie: obszary nizinne, jasnoniebieskie: obszary górskie)

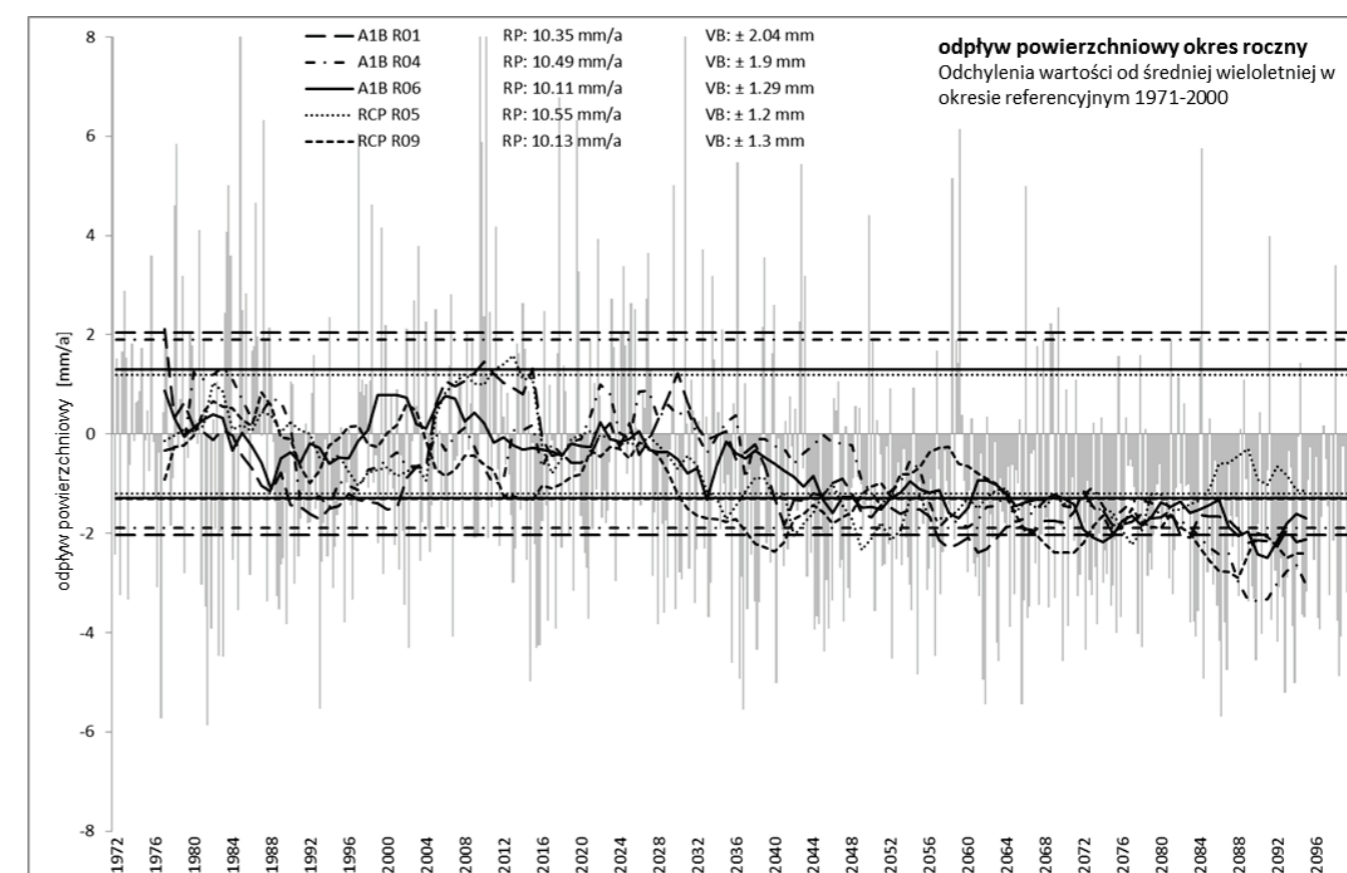
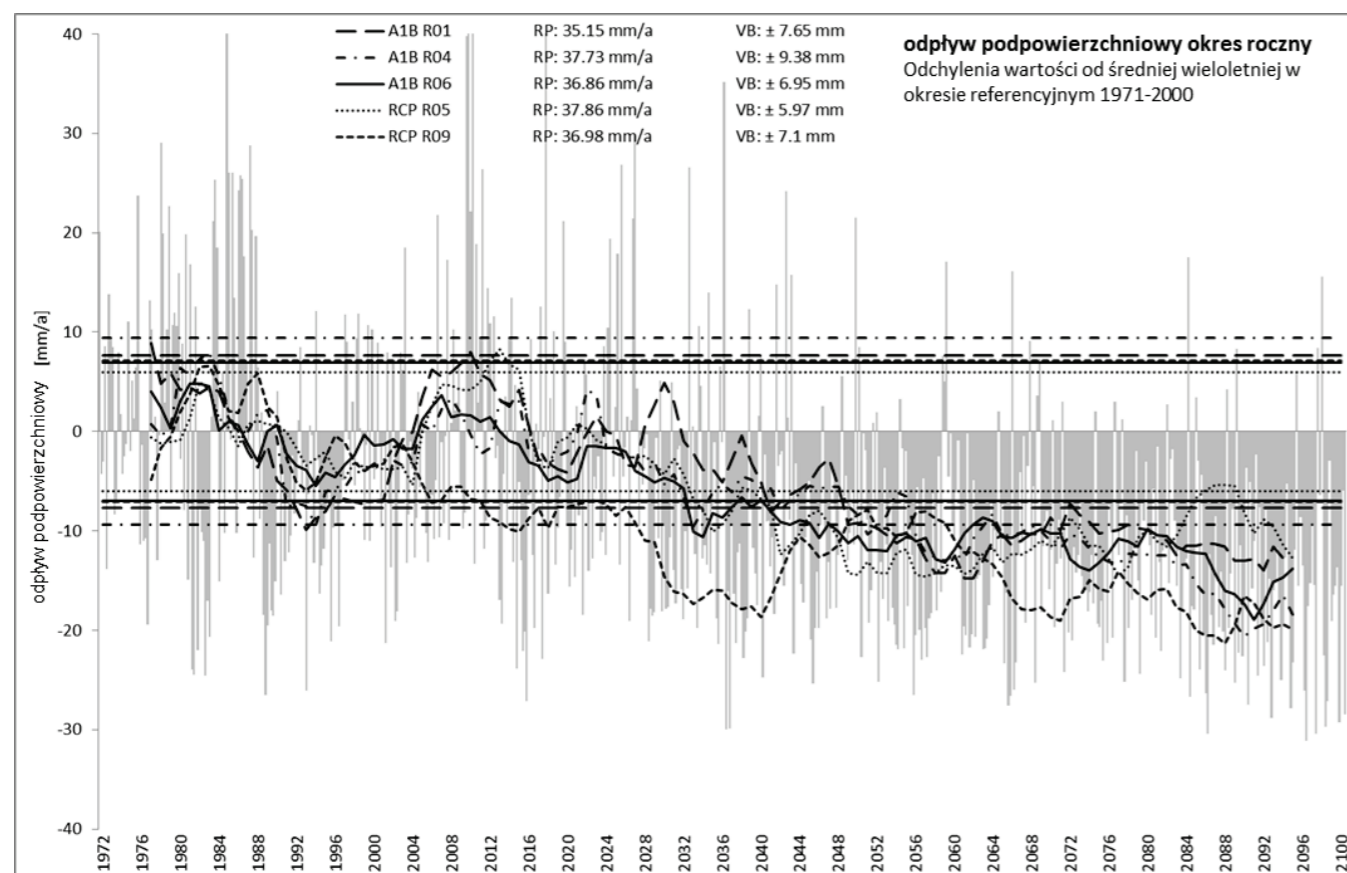
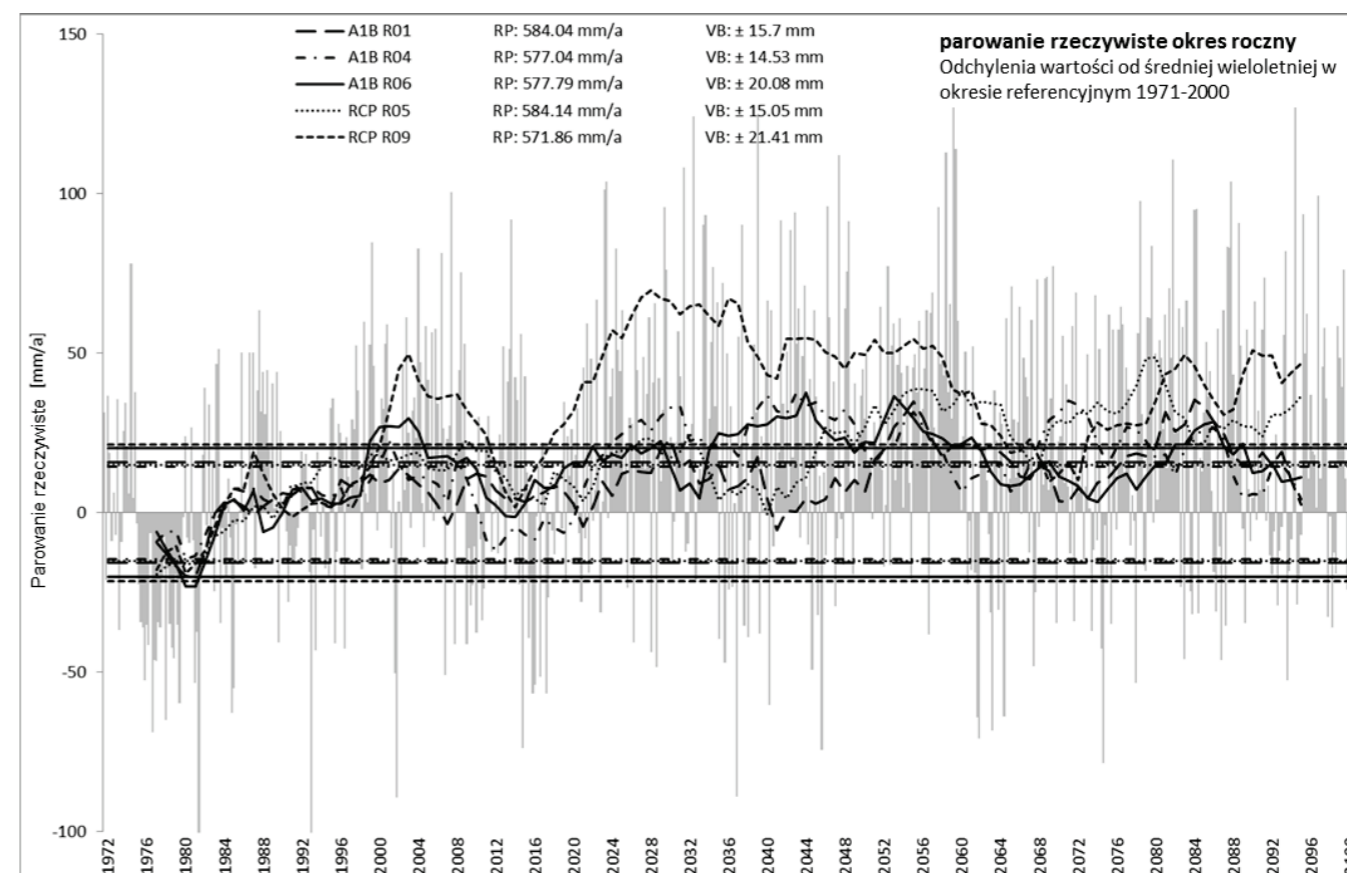
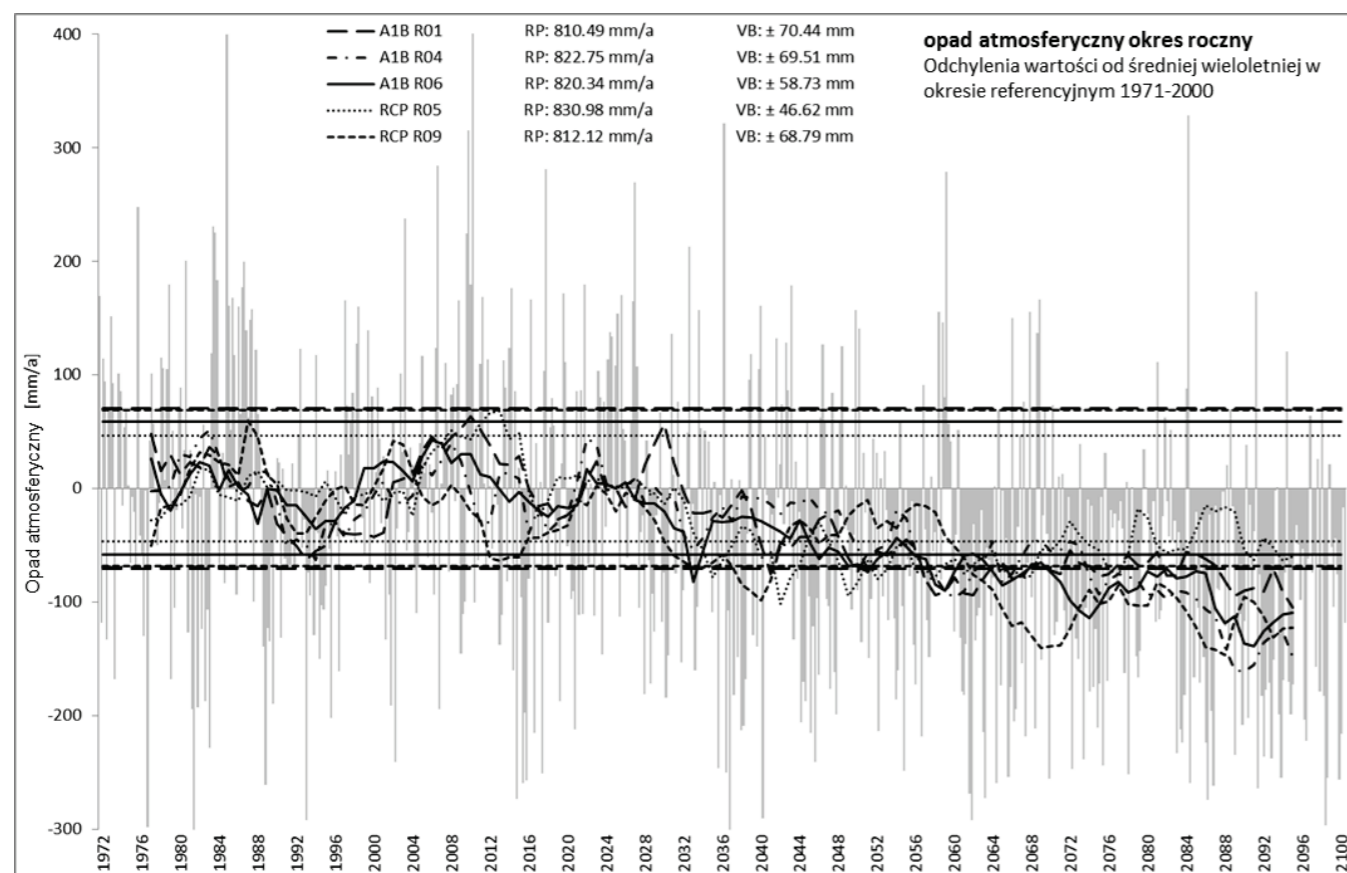
	P						E						H _s						H _h						ALN					
	rok		letnie		zimowe		rok		letnie		zimowe		rok		letnie		zimowe		rok		letnie		zimowe		rok		letnie		zimowe	
	wartość średnia [mm/rok]	trend [mm/30 lat]	wartość średnia [mm/rok]	trend [mm/30 lat]	wartość średnia [mm/rok]	trend [mm/30 lat]	wartość średnia [mm/rok]	trend [mm/30 lat]	wartość średnia [mm/rok]	trend [mm/30 lat]	wartość średnia [mm/rok]	trend [mm/30 lat]	wartość średnia [mm/rok]	trend [mm/30 lat]	wartość średnia [mm/rok]	trend [mm/30 lat]	wartość średnia [mm/rok]	trend [mm/30 lat]	wartość średnia [mm/rok]	trend [mm/30 lat]	wartość średnia [mm/rok]	trend [mm/30 lat]	wartość średnia [mm/rok]	trend [mm/30 lat]	wartość średnia [mm/rok]	trend [mm/30 lat]	wartość średnia [mm/rok]	trend [mm/30 lat]	wartość średnia [mm/rok]	trend [mm/30 lat]
Przewóniki*	645.26	-15.31	296.43	20.44	348.84	-34.69	566.88	17.23	345.88	15.21	221.00	-7.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.63	-2.37	0.72	0.04	4.91	-2.70	72.74	-30.65	12.31	-1.35	60.43	-30.18
Krauschwitz*	626.74	-18.15	305.02	21.35	321.72	-36.78	633.39	41.58	435.50	28.05	197.89	4.36	21.11	-2.34	9.41	-0.96	11.70	-2.13	1.26	-0.47	0.11	-0.02	1.14	-0.51	-28.53	-56.93	-103.97	-10.86	75.44	-40.04
Podrosche 2/ Przewóz	708.83	-43.72	335.37	31.44	373.45	-23.34	608.61	40.21	424.71	26.77	183.90	21.26	8.32	-0.63	3.55	0.53	4.77	-0.89	21.53	-10.12	2.96	-0.67	18.57	-9.10	70.56	-72.96	-22.98	-10.00	93.54	-55.29
Görlitz/ Zgorzelec	730.74	-32.23	344.36	41.27	386.38	-24.20	608.52	54.20	428.68	25.90	179.84	22.66	8.60	-0.56	3.61	0.49	4.99	-1.09	26.15	-11.69	3.62	-0.80	22.53	-10.83	87.73	-79.13	-19.66	-9.24	107.39	-62.02
Zgorzelec-Ujazd	659.28	-30.87	326.49	35.46	332.79	-37.36	637.67	48.63	447.92	31.01	189.76	19.46	0.48	0.06	0.36	0.07	0.12	-0.03	8.49	-6.25	1.16	-0.09	7.33	-4.99	12.77	-53.69	-41.27	-13.54	54.04	-40.08
Tauchritz	611.19	4.04	298.08	56.39	313.11	-13.36	585.36	33.44	393.39	14.71	191.97	17.87	4.73	-0.11	2.04	0.58	2.69	-0.50	10.56	-4.28	1.74	-0.11	8.82	-3.84	10.41	-27.83	-18.05	-9.62	28.46	-17.64
Rennersdorf 1	620.16	-0.53	299.35	45.43	320.81	-11.14	595.18	30.68	402.37	11.39	192.81	18.60	4.42	-0.04	1.83	0.62	2.59	-0.67	13.04	-4.27	1.98	-0.09	11.06	-4.42	7.44	-31.05	-24.48	-11.02	31.92	-20.58
Rennersdorf 2	629.77	4.39	305.67	38.51	324.10	-17.89	585.03	40.87	393.31	20.89	191.72	17.48	11.06	0.10	4.86	1.37	6.20	-0.91	10.06	-4.92	1.55	0.03	8.51	-4.50	23.31	-32.40	-13.83	-5.27	37.13	-24.65
Rennersdorf 3	621.30	0.87	300.31	46.56	320.99	-12.11	593.44	32.99	401.05	12.60	192.39	18.52	5.65	-0.06	2.39	0.72	3.26	-0.65	12.49	-4.24	1.90	-0.09	10.59	-4.44	9.61	-29.88	-23.31	-9.97	32.91	-20.35
Réczyn	813.38	-45.79	389.27	19.35	424.11	-40.59	650.31	55.31	464.46	46.68	185.86	21.75	2.23	-0.19	1.04	0.08	1.19	-0.21	30.79	-12.25	4.91	-0.27	25.88	-10.15	130.64	-118.76	-16.74	-4.94	147.38	-89.81
Ostržno	840.01	-59.52	399.00	11.75	441.01	-43.22	650.76	61.39	467.05	45.41	183.71	22.75	0.22	-0.01	0.15	0.01	0.07	-0.03	35.10	-14.27	5.61	-0.42	29.49	-11.00	154.59	-121.91	-9.81	-4.52	164.40	-94.06
Rosenthal	748.29	-35.74	343.74	22.16	404.55	-34.42	592.09	56.47	418.94	30.31	173.16	23.88	9.01	-0.96	3.57	0.35	5.44	-1.24	32.23	-14.12	4.16	-0.80	28.08	-12.90	115.20	-81.04	-10.13	-9.98	125.33	-67.28
Turoszów	721.20	-12.22	357.17	23.83	364.03	-0.72	655.95	53.95	477.41	25.37	178.54	23.54	0.42	0.03	0.27	0.07	0.16	-0.06	19.31	-9.21	2.71	0.22	16.60	-6.30	45.67	-68.18	-49.43	-4.40	95.10	-46.62
Zittau 1/ Sienawka	771.82	-44.63	347.92	14.69	423.90	-41.17	590.76	53.97	417.99	34.94	172.76	24.03	10.29	-1.23	4.03	0.28	6.26	-1.33	36.34	-15.56	4.61	-0.98	31.74	-14.01	134.73	-87.88	-6.32	-9.90	141.05	-71.10
Zittau 5	710.77	-29.02	319.12	8.97	391.65	-30.44	598.37	40.31	414.21	22.94	184.16	23.34	16.56	-1.77	6.18	0.54	10.38	-2.10	28.50	-13.57	2.89	-1.06	25.61	-12.73	67.48	-66.46	-30.85	-12.49	98.33	-55.70
Porajów	820.74	-59.23	370.52	32.18	450.23	-52.41	587.83	53.19	422.92	43.45	164.91	25.04	2.65	-0.36	1.10	-0.02	1.55	-0.37	42.79	-15.65	5.97	-1.08	36.82	-11.62	187.90	-108.15	12.86	-11.70	175.03	-83.85
Hartau	827.33	-62.88	372.83	31.58	454.50	-54.85	588.96	55.03	424.12	42.12	164.85	25.23	1.68	-0.35	0.69	-0.12	0.99	-0.21	43.85	-15.78	6.13	-1.07	37.73	-12.09	193.28	-108.52	14.25	-11.20	179.03	-85.88
Großschönau 2	755.83	-51.06	336.37	9.84	419.45	-26.93	618.01	47.53	431.73	19.53	186.28	23.65	10.09	-0.81	3.82	0.02	6.27	-0.86	26.96	-12.90	2.56	-0.54	24.40	-12.09	100.95	-90.34	-34.18	-12.98	135.13	-69.92
Niederoderwitz 3	657.40	-10.87	305.38	37.66	352.02	-19.29	586.74	46.43	407.26	25.98	179.47	20.92	24.24	-2.01	9.68	2.00	14.56	-2.54	27.29	-12.38	3.32	-0.58	23.97	-13.50	19.14	-55.83	-39.99	-13.92	59.13	-32.51
Seiffhennersdorf	740.77	-36.49	332.66	13.40	408.11	-20.61	615.10	45.48	428.51	16.86	186.60	22.69	13.45	-0.82	5.20	0.40	8.25	-1.08	25.17	-13.00	2.60	-0.83	22.57	-11.40	87.17	-73.18	-30.02	-12.21	117.19	-60.14
Neuschönau 2	803.43	-67.81	356.50	-9.63	446.93	-26.80	632.30	50.81	442.35	26.30	189.95	22.97	4.51	-0.59	1.66	-0.16	2.85	-0.31	26.52	-10.33	2.54	-0.28	23.99	-8.91	140.46	-112.19	-35.44	-11.11	175.90	-91.71



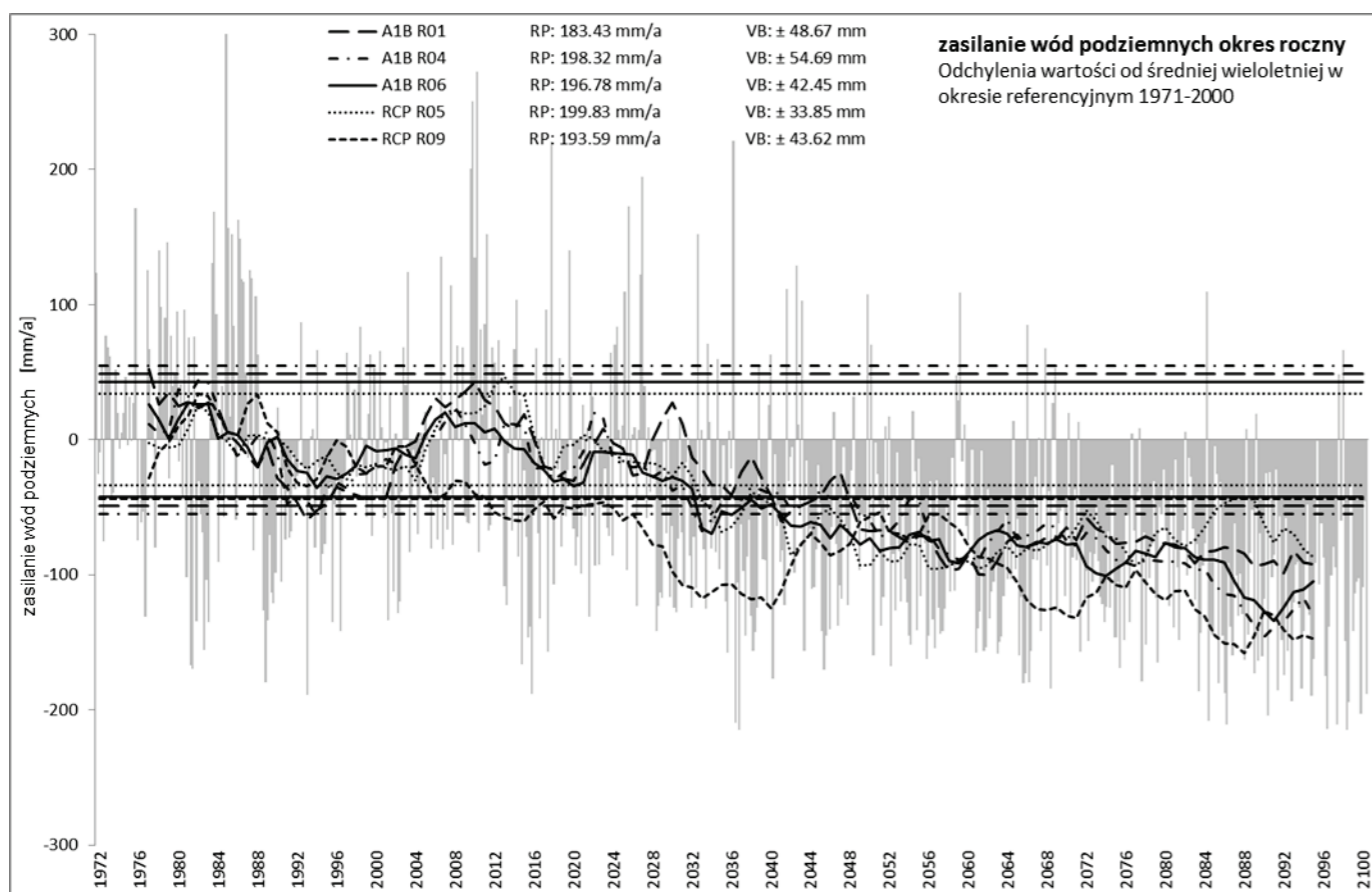
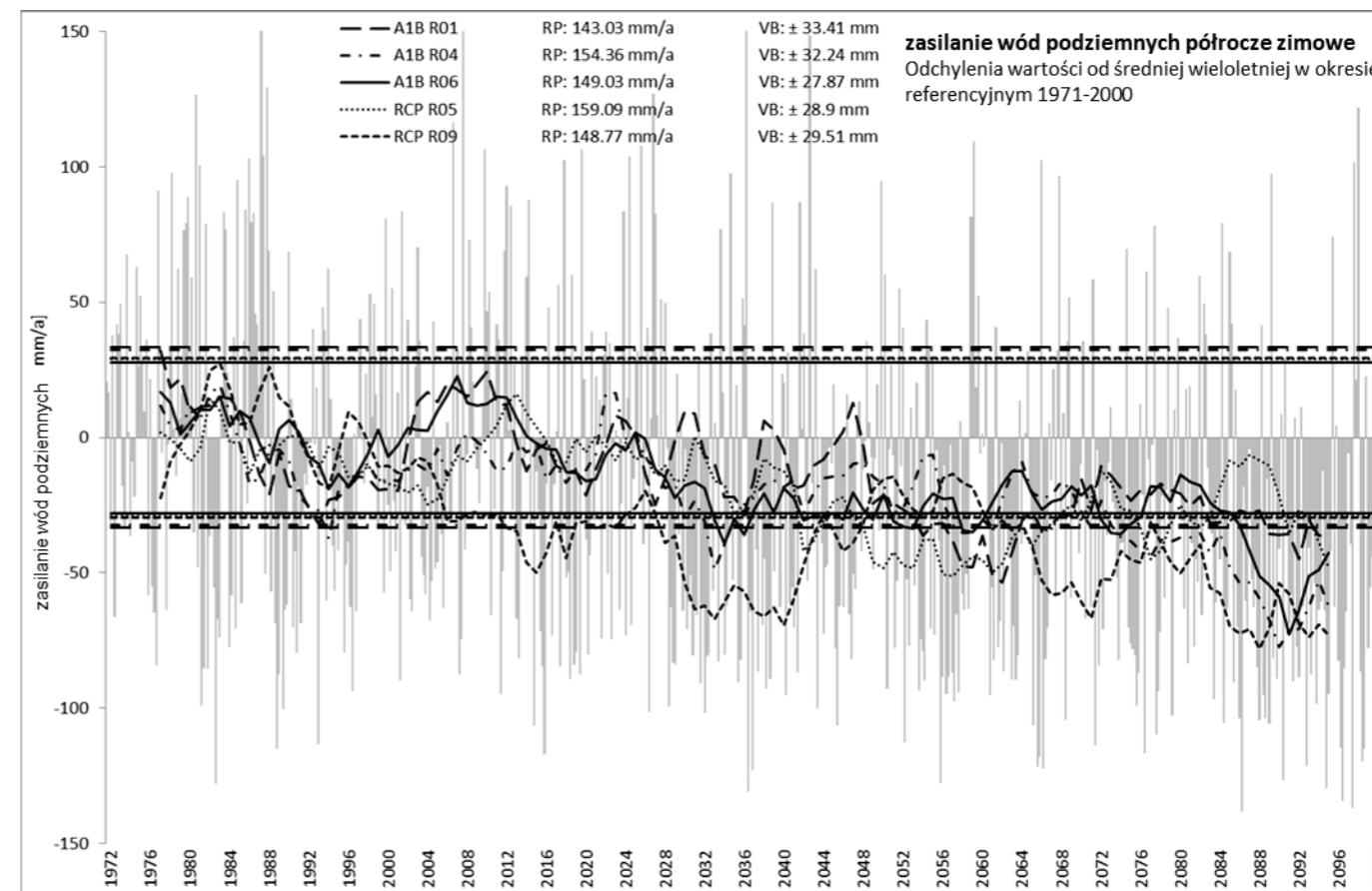
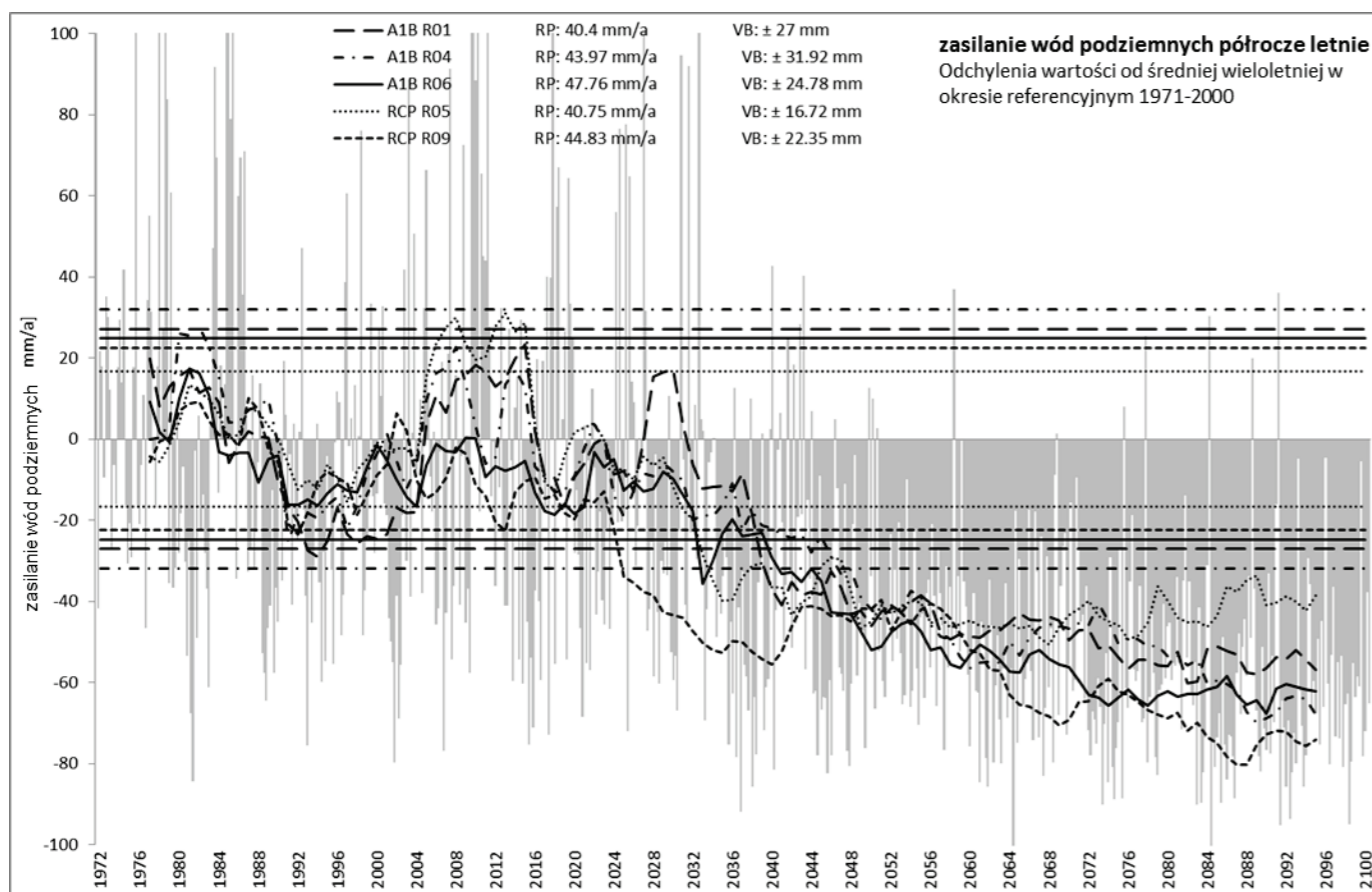
Rysunek 48: Odchylenia wartości od średniej wieloletniej w okresie referencyjnym 1971-2000, półrocze letnie, całość modelowanego obszaru zlewni Nysy łużyckiej, opad atmosferyczny na całym obszarze P, parowanie rzeczywiste E, odpływ powierzchniowy H_s, odpływ podpowierzchniowy H_p



Rysunek 49: Odchylenia wartości od średniej wieloletniej w okresie referencyjnym 1971-2000, półrocze zimowe, całość modelowanego obszaru zlewni Nysy Łużyckiej, opad atmosferyczny na całym obszarze P, parowanie rzeczywiste E, odpływ powierzchniowy H_s, odpływ podpowierzchniowy H_H



Rysunek 50: Odchylenia wartości od średniej wieloletniej w okresie referencyjnym 1971-2000, okres roczny, całość modelowanego obszaru zlewni Nysy łużyckiej, opad atmosferyczny na całym obszarze P, parowanie rzeczywiste E, odpływ powierzchniowy H_s, odpływ podpowierzchniowy H_H



Rysunek 51: Odchylenia wartości od średniej wieloletniej w okresie referencyjnym 1971-2000, półrocze letnie, zimowe, okres roczny, całość modelowanego obszaru zlewni Nysy łużyckiej, zasilenie wód podziemnych ALN

4.4.3. Symulacje prognostyczne modelami typu opad-odpływ MIKE NAM

Przepływy średnie roczne dla okresu referencyjnego (1971-2010) oraz dwóch okresów prognostycznych: bliższa (2021-2050) i dalsza (2071-2100) przyszłość, przeanalizowane zostały dla pięciu realizacji wybranych z dwóch projekcji klimatu (A1B i RCP85).

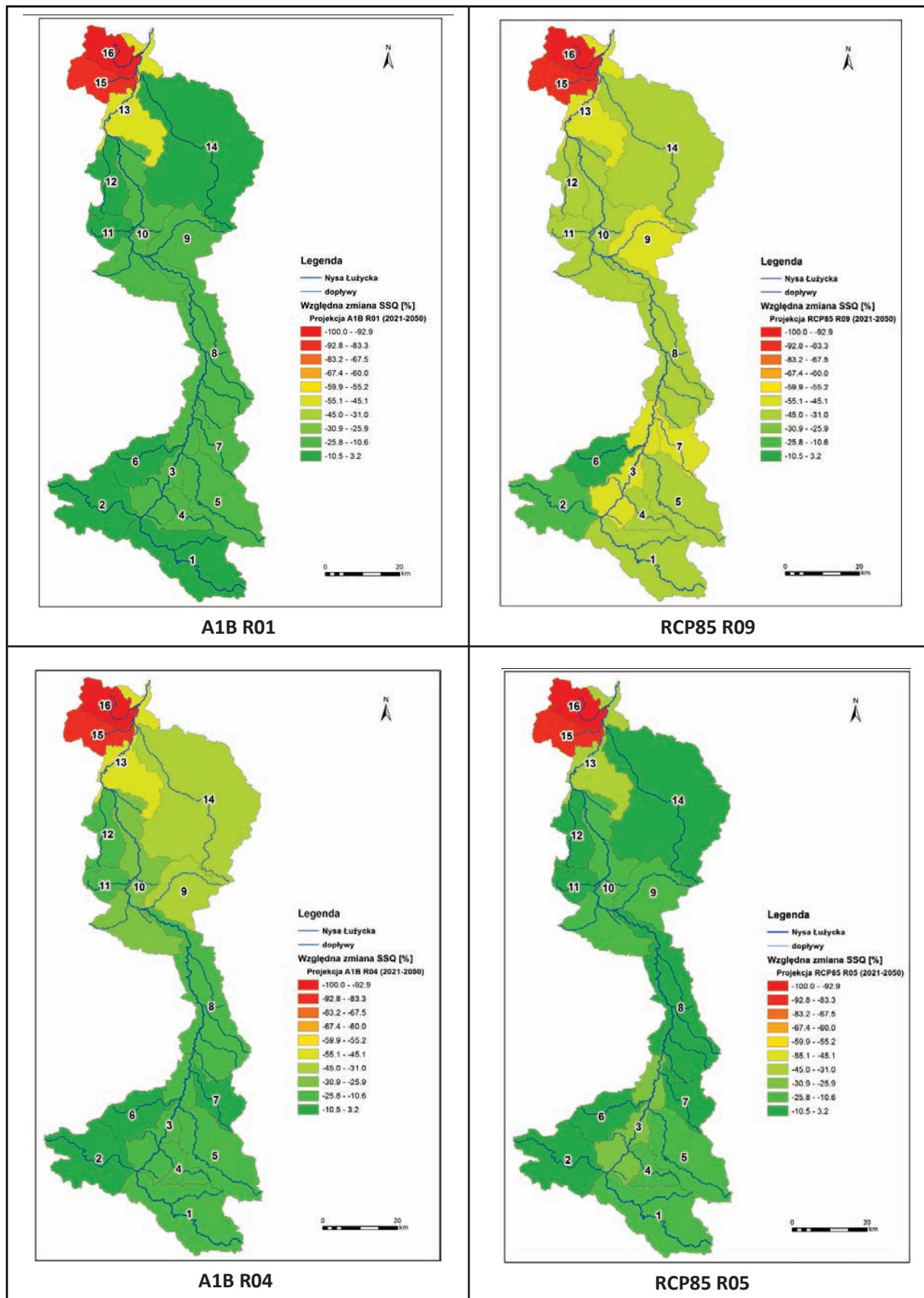
Prognozy wielkości natężenia przepływu we wszystkich 16 zlewniach bilansowych obliczono przy użyciu opisanych powyżej modeli typu opad-odpływ, wykonanych w programie MIKE NAM. Materiałem wejściowym do modeli prognostycznych były wytypowane do dalszych analiz serie z projekcjami opadu atmosferycznego i ewapotranspiracji w poniższych realizacji. Jako materiał wejściowy do modeli prognostycznych przyjęte zostały serie danych z ewapotranspiracją, która obliczona została przy użyciu modelu ArcEGMO.

Kierunek i intensywność symulowanych zmian przepływu są ściśle zależne od intensywności zmian zjawisk meteorologicznych, które stanowią wejście do modeli prognostycznych typu opad-odpływ. Bazując na prognozach średniego rocznego przepływu, przeanalizowano tendencje jego zmian na terenie 16 obszarów bilansowych w zlewni Nysy Łużyckiej (Rysunek 20). Względne zmiany przestrzenne przepływu dla wybranych projekcji klimatu dla okresu suchego i mokrego przedstawione zostały na rysunku 52, rysunku 53 oraz tabeli 19 i tabeli 20. Dodatkowo wszystkie badane charakterystyki z wybranych projekcji klimatu, w odniesieniu do obszarów bilansowych Nysy Łużyckiej, przedstawiono w tabeli 19 i tabeli 20.

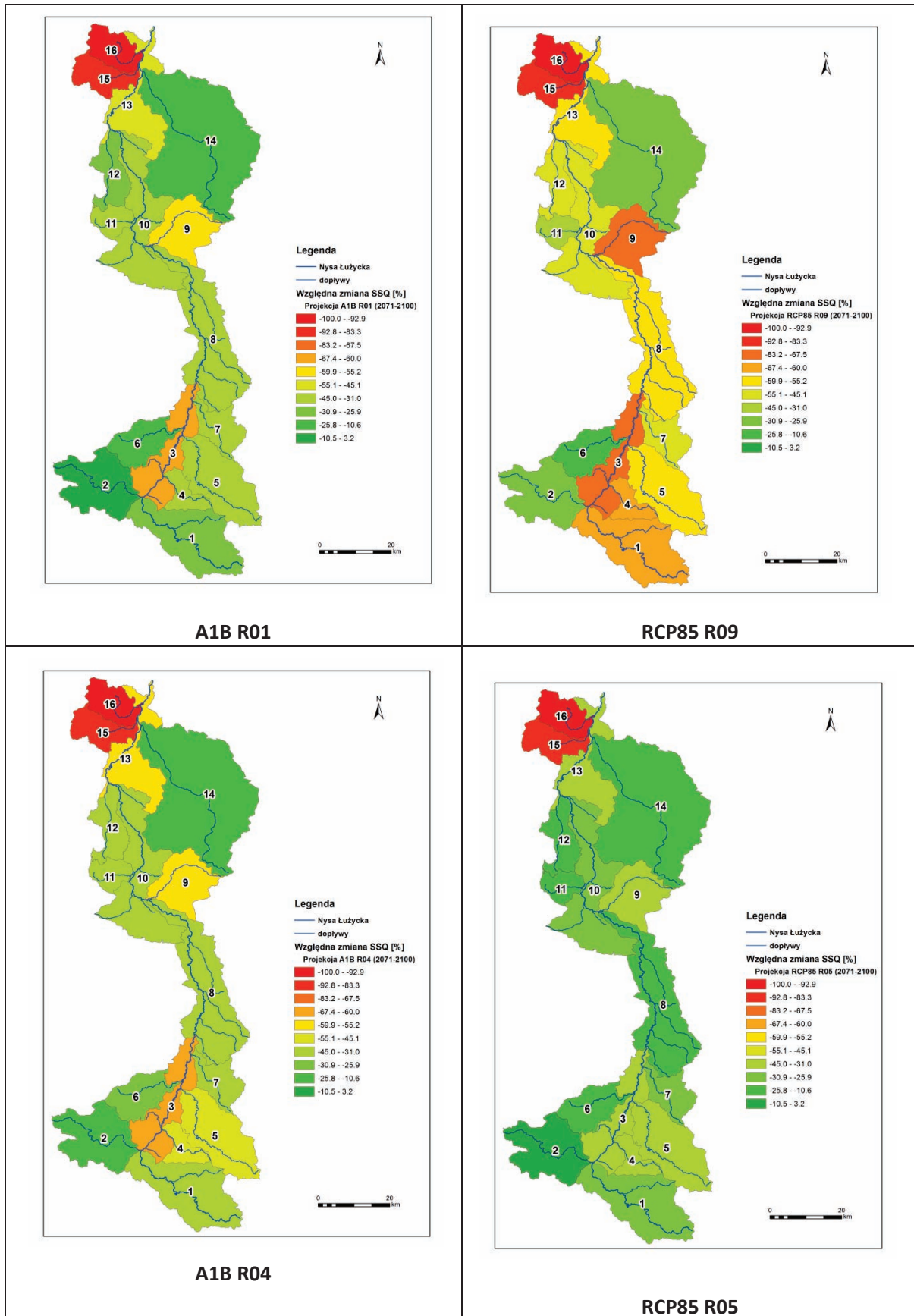
Względne zmiany przepływu w postaci minimalnej, średniej, maksymalnej i mediany wskazują przeważnie na negatywny kierunek zmian we wszystkich zlewniach bilansowych (Tabela 19 i Tabela 20). W przypadku projekcji A1B, realizacje 01 i 06 wskazują na generalny wzrost przepływów minimalnych w zlewni Nysy Łużyckiej, jednak analizowane projekcje (A1B realizacje 01, 04 i 06 oraz RCP85 realizacje 05 i 09) wskazują na generalny spadek średniego rocznego przepływu, zarówno w odniesieniu do bliższej (2021-2050), jak i dalszej (2071-2100) przyszłości (Rysunek 52, Rysunek 53 oraz Tabela 19 i Tabela 20).

Niedostateczna kalibracja modeli dla zlewni Schwarzes Fließ (nr 15) i Grano-Buderoser-Mühlenfließ (nr 16), która wynika ze znacznego wpływu oddziaływania antropogenicznego, co wpływa również na zaburzenia przepływu rzeczno, stwarza trudności w transformacji opadu atmosferycznego w przepływ modelami numerycznymi. Dlatego wyniki symulacji prognostycznych prowadzone na tych zlewniach mocno odbiegają od analiz prowadzonych pozostałymi modelami. Uwzględnienie w analizach zlewni nr 15 i 16 może wpływać na wzrost intensywności zachodzących zjawisk. Przeprowadzone analizy wskazują na generalne obniżenie się przepływu wód powierzchniowych w zlewni Nysy Łużyckiej w przyszłości (Tabela 19), jednak wraz z upływem czasu zmiany te będą coraz bardziej intensywne (Tabela 20).

Na rysunku 52 oraz rysunku 53 zaprezentowane zostały mapy ze względnymi zmianami przestrzennymi przepływów średnich rocznych z uwzględnieniem danych meteorologicznych z wybranych projekcji klimatu – górne mapy projekcje dla okresu suchego, dolne mapy projekcje dla okresu mokrego.



Rysunek 52: Względna zmiana średniego rocznego przepływu dla okresu 2021-2050



Rysunek 53: Względna zmiana średniego rocznego przepływu dla okresu 2071-2100

Konstrukcja modeli typu opad-odpływ pozwala na wykorzystanie serii danych opadowych z reprezentatywnej stacji meteorologicznej. Podobnie jest w przypadku modeli opracowanych dla 16 zlewni bilansowych Nisy Łużyckiej (Rysunek 20). Analizy meteorologiczne prowadzone na danych z projekcji klimatu, w celu ostatecznego wyboru pięciu projekcji do analiz bilansu wodnego, oparto o analizy statystyczne dla wszystkich, ujętych w bazie projektu NEYMO, stacji meteorologicznych. W przypadku modeli typu opad-odpływ transformacja zjawisk wymaga wykorzystania danych z analizowanego obszaru bilansowego lub jego sąsiedztwa, stąd w przypadku niektórych modeli, do dalszych analiz na danych z projekcji klimatycznych, mogły zostać wykorzystane serie danych, które pod względem statystycznym odstawały od większości stacji analizowanych podczas wyboru pięciu projekcji klimatu. Stąd analizy względnych zmian średniego przepływu prezentowane dla bliższej (Rysunek 52) i dalszej przyszłości (Rysunek 53) oparte o serie danych prognostycznych z wytypowanych realizacji mokrej (A1B R04) i suchej (A1B R01) z projekcji A1B wskazują, na znacznie większe deficyty wody przy zastosowaniu serii czasowej wygenerowanej dla tzw. projekcji okresu mokrego niż dla projekcji okresu suchego. Wszystkie analizy jednak zgodnie wskazują, że w przyszłości nastąpi zmniejszenie się przepływów w zlewni Nisy Łużyckiej. Zatem istnieje dalsza potrzeba kontynuacji prac związanych z analizą wszystkich projekcji, jakie powstały w ramach projektu Neymo. Badania takie pozwolą na sprawdzenie, jaka jest reakcja systemu hydrologicznego na symulowane zmiany klimatu. Obecnie możemy stwierdzić, że nie wszystkie zmiany klimatu dadzą negatywną odpowiedź hydrologiczną. W przypadku analiz prowadzonych na symulacjach modelowych należy pamiętać, że narzędzia numeryczne oparte są na szeregu założeń wejściowych, które mogą być obarczone różnym stopniem niepewności. Także podejście metodyczne zastosowane w modelach klimatycznych, wykorzystywanych do predykcji zmian klimatu, oraz modelach hydrologicznych powoduje zwiększenie niepewności wyników, z uwagi na zastosowanie przez modele różnych metod interpolacji wyników w odniesieniu do skali regionalnej. Dlatego podczas stosowania szeregu modeli numerycznych do analiz prognostycznych, należy mieć na uwadze możliwość kumulacji błędów (Sadowski M. red. 2013).

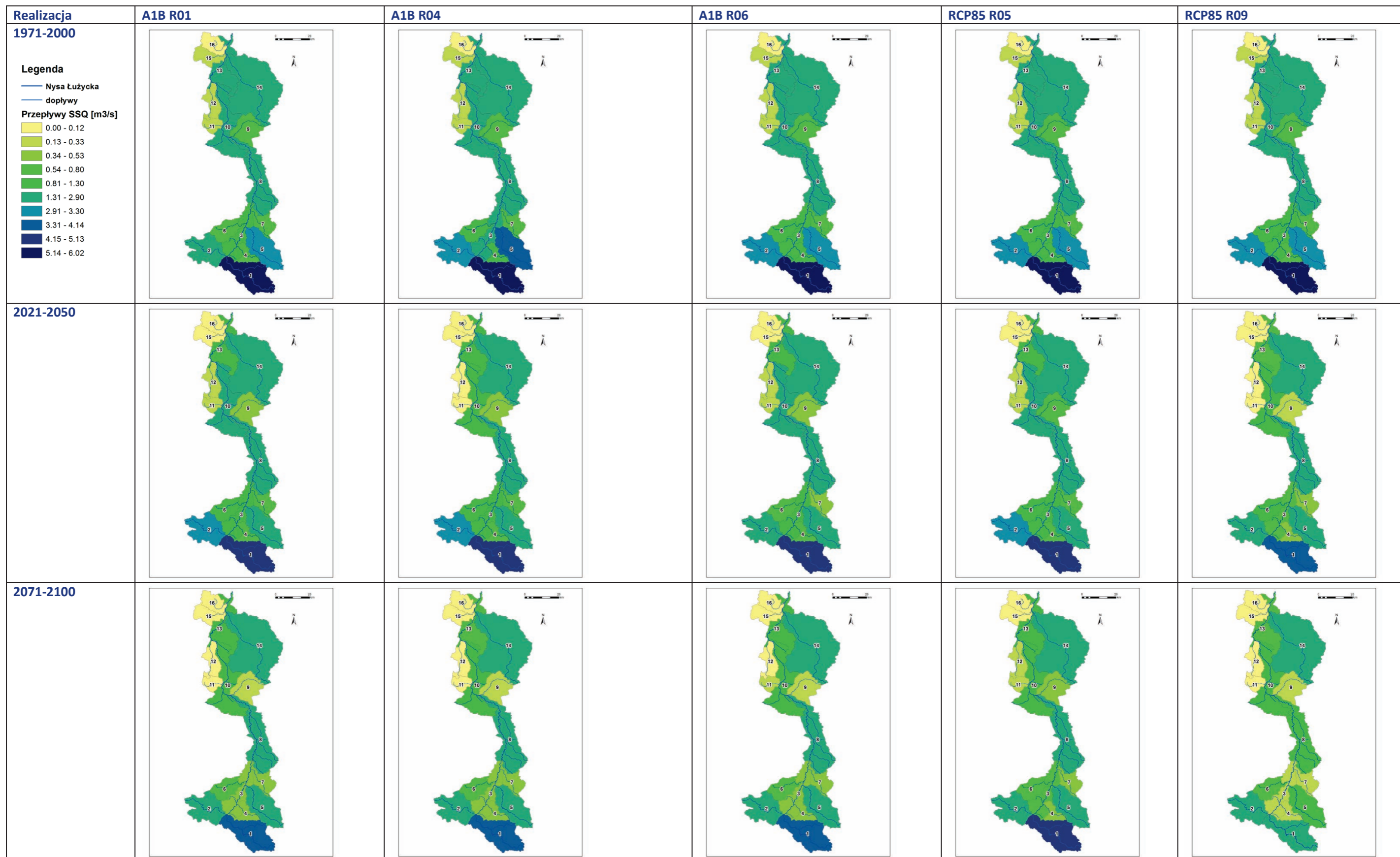
Rysunek 54 oraz tabela 21 prezentują zakresy zmienności przepływów w zlewniach bilansowych Nisy Łużyckiej uzyskane w wyniku symulacji modelami typu opad-odpływ opartymi na danych wejściowych z wybranych pięciu projekcji klimatu. Uzyskane wyniki dla zlewni Schwarzes Fließ (nr 15) i Grano-Buderoser-Mühlenfließ (nr 16), które znajdują się pod wpływem oddziaływania antropogenicznego, mocno odbiegają od analiz prowadzonych pozostałymi modelami. Zbyt niskie wartości przepływów średnich mogą wynikać z niedostatecznej kalibracji modeli, przez trudności w odwzorowaniu transformacji opadu w przepływ będący pod wpływem oddziaływań górniczych.

Tabela 19: Względne charakterystyczne wartości (min, śr, max, mediana) przepływów średnich rocznych prognozowanych dla okresu 2021-2050 [%]

Zlewnia nr	A1B R01				A1B R04				A1B R06				RCP85.3 R05				RCP85.2 R09			
	min	śr	max	mediana	min	śr	max	mediana	min	śr	max	mediana	min	śr	max	mediana	min	śr	max	mediana
1	60.3	-4.2	-14.7	-14.7	45.4	-14.8	-15.0	1.5	36.3	-14.2	6.2	-10.3	-23.7	-14.3	-8.2	-19.3	-28.5	-34.8	-21.2	-47.8
2	22.4	0.5	-2.7	1.1	-35.9	2.2	6.4	-0.5	189.9	-3.9	-8.4	-4.3	-3.1	-2.3	-10.7	-5.3	52.7	-20.0	19.6	-22.7
3	13.4	-17.1	-35.6	-20.1	-20.8	-24.9	-32.3	-19.2	-2.8	-24.0	-8.5	-22.4	-66.1	-26.7	-17.8	-31.2	-58.4	-49.9	-31.3	-53.3
4	-21.2	-17.7	-5.7	-27.7	26.1	-16.1	-20.7	-20.1	23.1	-22.3	4.7	-28.3	-50.5	-25.7	-8.0	-36.6	-80.6	-42.9	-9.0	-50.1
5	-10.3	-13.8	-0.7	-29.5	-35.6	-20.0	-32.6	-13.4	84.8	-19.4	-10.3	-23.9	-40.8	-20.2	-16.0	-34.6	-56.2	-41.8	-15.8	-51.5
6	205.3	3.1	-2.9	-1.1	21.4	2.2	11.9	19.5	121.7	-4.7	-11.8	-3.0	-16.2	-10.3	-18.0	-12.9	-16.2	-10.3	-18.0	-12.9
7	24.3	-11.4	-12.3	-37.0	-21.5	0.6	-21.5	19.4	65.7	-20.7	-23.7	-21.5	-33.6	-7.6	3.6	-9.2	-87.1	-45.4	12.1	-57.5
8	-15.9	-12.0	-22.8	-9.4	-15.9	-12.0	-22.8	-9.4	-16.4	-11.9	-32.2	-4.4	37.8	-10.3	-22.8	-12.6	-75.2	-38.5	-38.5	-36.4
9	93.2	-23.6	-20.7	-31.9	-74.7	-38.5	-44.7	-34.1	164.8	-29.4	-5.9	-38.6	-49.0	-21.9	-32.0	-20.1	-84.3	-51.1	-40.2	-60.6
10	-10.5	-15.5	-15.2	-17.1	-31.2	-28.2	-34.1	-18.2	273.2	-19.4	-9.1	-18.1	-22.7	-12.0	-23.8	-8.5	-79.3	-42.5	-23.0	-45.0
11	1.2	-3.7	9.7	-3.1	-5.7	-23.5	-25.3	-29.8	124.3	-4.9	10.5	-4.8	26.0	-9.0	-11.9	-13.9	-31.7	-32.1	-31.2	-35.2
12	12.5	-8.4	7.2	-7.2	20.1	-23.1	-38.7	-31.2	127.5	-14.2	-23.0	-8.5	192.7	-8.5	-9.0	-14.2	-44.1	-42.3	-24.1	-48.3
13	11.0	-46.5	-54.2	-36.1	-50.7	-50.3	-61.4	-40.4	-6.6	-47.7	-58.8	-43.7	90.5	-36.6	-49.4	-39.4	-59.5	-53.4	-40.3	-55.0
14	26.5	-9.9	-8.3	-8.2	-60.6	-32.0	-33.7	-28.0	195.9	-24.4	-20.6	-27.8	26.5	-9.9	-8.3	-8.2	-83.1	-36.4	-23.7	-42.6
15	-100.0	-89.8	-92.7	-100.0	-100.0	-90.0	-92.7	-100.0	-100.0	-90.6	-93.0	-100.0	-100.0	-89.3	-92.3	-100.0	-100.0	-89.1	-92.9	-100.0
16	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0
zlewnia Nt	13.3	-23.1	-24.7	-27.6	-27.5	-29.3	-34.8	-25.2	73.8	-28.2	-24.0	-28.7	-8.3	-25.3	-26.5	-29.1	-58.2	-45.7	-29.8	-51.2

Tabela 20: Względne charakterystyczne wartości (min, śr, max, mediana) przepływów średnich rocznych prognozowanych dla okresu 2071-2100 [%]

Zlewnia nr	A1B R01				A1B R04				A1B R06				RCP85.3 R05				RCP85.2 R09			
	min	śr	max	mediana	min	śr	max	mediana	min	śr	max	mediana	min	śr	max	mediana	min	śr	max	mediana
1	44.7	-28.9	-41.5	-26.3	-10.7	-44.0	-39.9	-43.1	25.9	-34.8	-24.2	-35.5	-56.9	-29.0	-15.0	-34.1	-61.7	-60.9	-54.8	-66.4
2	-34.0	-8.5	-1.0	-9.9	-38.5	-13.6	-8.3	-16.0	146.3	-9.7	24.7	-8.1	-21.2	-8.1	0.2	-24.6	-7.3	-29.1	12.4	-41.8
3	-67.8	-65.9	-75.6	-64.9	-78.9	-62.9	-58.4	-61.0	-27.9	-58.1	-54.8	-59.3	-61.6	-43.2	-40.5	-46.1	-86.7	-80.4	-48.8	-85.5
4	-14.2	-43.4	-48.4	-51.0	-51.2	-54.1	-41.0	-63.2	-16.0	-47.2	-18.0	-52.0	-19.6	-39.1	-35.1	-43.1	-83.8	-63.7	-51.4	-73.1
5	-29.1	-36.1	-24.6	-51.8	-62.0	-50.8	-46.4	-57.2	34.5	-42.5	-17.4	-50.4	-48.7	-34.6	-29.0	-40.7	-71.6	-58.0	-34.0	-62.3
6	117.4	-18.8	-24.3	-10.9	-20.1	-30.6	-10.7	-21.8	67.8	-21.9	6.5	-29.4	-38.6	-23.8	-5.8	-26.3	-38.6	-23.8	-5.8	-26.3
7	14.9	-40.9	-26.9	-54.7	-65.3	-35.3	-29.7	-31.6	-1.0	-42.2	-19.8	-44.0	-46.8	-27.0	-7.4	-39.9	-82.6	-54.1	-23.0	-63.6
8	-42.2	-42.3	-64.2	-37.7	-54.9	-44.6	-46.2	-41.3	-36.6	-45.7	-34.0	-49.0	-7.4	-25.1	-38.3	-25.5	-78.9	-57.5	-55.1	-53.0
9	14.2	-56.4	-60.4	-53.3	-90.8	-55.2	-48.1	-55.4	-44.2	-55.8	-28.1	-63.4	-78.5	-43.5	-44.8	-47.1	-98.0	-68.1	-58.5	-71.0
10	-36.1	-36.9	-34.3	-39.3	-62.8	-40.8	-33.0	-38.7	33.7	-39.0	-12.0	-43.6	-69.0	-28.1	-23.7	-31.6	-92.8	-48.5	-37.7	-43.7
11	-33.3	-31.8	-42.1	-23.5	-52.6	-34.1	-35.3	-31.3	41.4	-23.2	-19.8	-22.8	-18.7	-25.0	-26.6	-33.6	-53.3	-44.3	-53.1	-50.6
12	-2.1	-27.6	-40.7	-25.2	-43.2	-35.1	-42.6	-37.3	24.6	-25.7	-19.8	-16.3	158.4	-25.9	-7.3	-31.3	-80.5	-50.4	-47.2	-45.6
13	-14.9	-48.5	-69.7	-33.4	-82.7	-57.8	-56.8	-51.3	2.2	-50.9	-60.6	-53.8	14.6	-42.3	-53.6	-39.2	-74.2	-57.9	-55.3	-62.8
14	-59.0	-11.7	-10.0	-16.9	-87.7	-25.2	-17.2	-26.2	134.9	-17.7	6.6	-21.8	-59.0	-11.7	-10.0	-16.9	-77.2	-30.0	-25.5	-25.7
15	-100.0	-90.3	-92.7	-100.0	-100.0	-90.6	-92.7	-100.0	-100.0	-90.8	-93.0	-100.0	-100.0	-90.2	-92.4	-100.0	-100.0	-92.9	-92.9	-100.0
16	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-99.9	-97.7	-100.0
zlewnia Nt	-21.3	-43.0	-47.3	-43.7	-62.6	-48.4	-44.1	-48.5	11.6	-44.1	-29.0	-46.8	-34.6	-37.3	-33.1	-42.5	-74.2	-57.5	-45.5	-60.7



Rysunek 54: Średnie wartości roczne składowych bilansu wodnego odpływ MIKE BASIN

Tabela 21: Prognozowane przepływy średnie przy zastosowaniu serii danych wejściowych z projekcji zmian klimatu [m³/s]

Zlewnia nr	okres referencyjny 1971-2000									okres 2021-2050									okres 2071-2100								
	A1B			RCP85			A1B			RCP85			A1B			RCP85			A1B			RCP85					
	R01	R04	R06	R05	R09	R01	R04	R06	R05	R09	R01	R04	R06	R05	R09	R01	R04	R06	R05	R09	R01	R04	R06	R05	R09		
1	5.32	6.01	5.86	5.84	6.00	5.10	5.12	5.03	5.01	3.92	3.78	3.37	3.82	4.15	2.35												
2	2.90	2.92	3.00	3.10	3.11	2.91	2.98	2.88	3.03	2.49	2.65	2.52	2.71	2.84	2.20												
3	1.22	1.32	1.25	1.27	1.30	1.01	0.99	0.95	0.93	0.65	0.42	0.49	0.52	0.72	0.26												
4	0.75	0.82	0.82	0.82	0.79	0.62	0.69	0.64	0.61	0.45	0.43	0.38	0.43	0.50	0.29												
5	2.95	3.34	3.22	3.22	3.08	2.54	2.68	2.60	2.57	1.80	1.89	1.65	1.85	2.11	1.29												
6	0.80	0.83	0.81	0.90	0.90	0.82	0.84	0.77	0.81	0.81	0.65	0.57	0.63	0.69	0.69												
7	0.61	0.56	0.63	0.60	0.62	0.54	0.56	0.50	0.55	0.34	0.36	0.36	0.36	0.44	0.29												
8	2.47	2.46	2.55	2.48	2.33	2.17	2.16	2.17	2.22	1.43	1.43	1.36	1.39	1.86	0.99												
9	0.67	0.70	0.70	0.70	0.69	0.52	0.43	0.49	0.55	0.34	0.29	0.31	0.31	0.39	0.22												
10	1.69	1.71	1.74	1.69	1.70	1.42	1.23	1.40	1.48	0.98	1.06	1.01	1.06	1.21	0.87												
11	0.17	0.16	0.17	0.20	0.18	0.17	0.12	0.16	0.18	0.12	0.12	0.10	0.13	0.15	0.10												
12	0.15	0.16	0.17	0.19	0.17	0.14	0.12	0.14	0.17	0.10	0.11	0.10	0.12	0.14	0.09												
13	1.66	1.64	1.68	1.65	1.56	0.89	0.81	0.88	1.05	0.73	0.86	0.69	0.82	0.95	0.66												
14	2.74	2.59	2.63	2.74	2.48	2.47	1.76	1.99	2.47	1.57	2.42	1.94	2.16	2.42	1.73												
15	0.20	0.19	0.21	0.20	0.17	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01												
16	0.09	0.08	0.10	0.08	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00												
łącznie dla zlewni Nł	20.94	21.99	21.93	21.98	21.55	17.63	15.94	16.07	17.83	11.20	13.23	11.85	12.99	14.58	7.58												

4.4.4. Przyszłości scenariuszy w modelu prognostycznego MIKE BASIN

Następnym krokiem było opracowanie modeli wodnogospodarczych dla okresu prognostycznego 2011 – 2100 dla wybranych do dalszych obliczeń realizacji.

Wprowadzone zostały obliczone wartości spływu jednostkowego dla okresu prognostycznego 2011-2100 wyliczonego z natężenia przepływu, wygenerowanego w oparciu o modele typu opad-odpływ (MIKE NAM). Do modeli zostały wprowadzone również objętości pobieranej/zrucanej wody. Struktura użytkowania wprowadzona do modelu dla danych rzeczywistych charakteryzowała się dość sporą dynamiką w okresie lat hydrologicznych 2001-2010, tak więc do modeli prognostycznych na lata 2011-2100 wprowadzono powielone dane odnoszące się do poborów i zrzutów z roku 2010, przy założeniu niezmienności tych danych. Ponadto zostało uwzględnione przyszłe użytkowanie zasobów wodnych w zlewni – głównie związane z działalnością kopalń, w tym przede wszystkim odwadnianiem i zalewaniem odkrywek. Do modelu zostały również wprowadzone wartości przepływu nienaruszalnego, które w programie MIKE BASIN mają lokalnie najwyższy priorytet (Tabela 22). Uwzględniono również pobór wody z rzeki Pließnitz, którego celem jest zrekompensowanie strat wody na parowanie z powierzchni zbiornika po zrekultywowanej kopalni Berzdorf. W modelach odwzorowana została również dynamika zrzutów związanych z odwadnianiem kopalń oraz poborami realizowanymi przez elektrownię Turów. Mapę rozmieszczenia poszczególnych kopalni, w różnych stadiach eksploatacji, od kopalni już zrekultywowanych (Berzdorf, Olbersdorf), obecnie działających (Turów, Jänschwalde, Reichwalde, Nochten) i planowanych (Gubin, Jänschwalde Nord) przedstawia rysunek 55. Rysunek ten przedstawia również lokalizację przerzutu wody do zlewni Szprewy oraz kopalnię Cottbus Nord, która nie jest zlokalizowana w zlewni Nysy Łużyckiej, ale tworzy z kopalnią Jänschwalde wspólny lej depresji.

Tabela 22: Dane odnoszące się do poborów wody związanych z górnictwem odkrywkowym w zlewni Nysy Łużyckiej wprowadzone do prognostycznych modeli wodnogospodarczych

Lp.	Pobór lub transfer wody	Ciek	Początek poboru	Czas trwania poboru [lata]	Maks. objętość poboru [m ³ /s]	Przepływ nienaruszalny [m ³ /s]
1	Pobór wody do zalewania kopalni Turów	Nysa Łużycka	I 2046	30	2.82	9
2	Pobór wody do zalewania kopalni Turów	Miedzianka	I 2046	30	0,3	0,8
3	Pobór do Jez. Berzdorf	Pließnitz	XI 2000	cały czas	wg roku 2010	0,4
4	Przerzut w Steinbach	Nysa Łużycka	I 2015	do 2100	2	17,6/10
5	Pobór wody do zalewania kopalni Jänschwalde Nord	Nysa Łużycka	I 2050	12	2	10
6	Pobór wody do zalewania kopalni Gubin	Nysa Łużycka	I 2065	20	2	10

Założone użytkowanie zasobów wód powierzchniowych związane z zalewaniem wyrobisk poeksploatacyjnych włącznie z sygnałem zmian klimatu może mieć znaczący wpływ na zasoby wodne w bliższej i dalszej przyszłości.

Dodatkowo stworzone zostały modele bilansu wodno-gospodarczego dla okresu referencyjnego 2001-2010 z wykorzystaniem wyników projekcji klimatycznych dla wszystkich pięciu wybranych scenariuszy. Wybranie wielolecia 2001-2010 jako okresu referencyjnego było podyktowane przygotowaniem struktury wejściowej bazy danych użytkowników dla tych lat w modelu dla stanu rzeczywistego. Przygotowanie modeli dla okresu 1971-2000, ze względu na zmiany w użytkowaniu wód powierzchniowych, wymagałoby przygotowania innej struktury modelu. Do modeli wprowadzono wartości spływu jednostkowego wyliczonego z natężenia przepływu, wygenerowanego w oparciu o modele typu opad-odpływ (MIKE NAM) dla okresu referencyjnego 2001-2010 dla danych z projekcji klimatycznych dla 5 wybranych scenariuszy oraz rzeczywiste użytkowanie zasobów wodnych z tego czasu. Wykonanie tych modeli było niezbędne w celu porównania wyników prognoz dotyczących bliższej (2021-2050) i dalszej (2071-2100) przyszłości z okresem referencyjnym, służących ocenie kierunku zmian wielkości zasobów wód w zlewni Nysy Łużyckiej.

Wyniki modeli wodno-gospodarczych wykonanych przy użyciu oprogramowania MIKE BASIN dla wszystkich 5 wybranych realizacji wskazują na zmniejszanie się natężenia przepływu w całym okresie badawczym. Na wykresach przedstawiających prognozowane średnie natężenie przepływu w wybranych wodowskazach w profilu podłużnym Nysy Łużyckiej w okresach pięcioletnich w horyzoncie czasowym 2011-2100 przy zastosowaniu serii danych wejściowych z projekcji zmian klimatu w większości realizacji (oprócz RCP8.5 R09) wartością maksymalną jest wartość średnia z pierwszej pięcioletki 2011-2015 (Rysunek 44). Do dalszej analizy sporządzono wykresy średnich przepływów pięcioletnich. Większość wykresów ma podobny przebieg, w drugiej pięcioletce obserwowany jest znaczny spadek zasobów wodnych. Po czym obserwowany jest wzrost w okresie 2021-2025, bądź 2026-2030. W drugiej połowie XXI wieku średnie pięcioletnie wykazują dość wyrównany przebieg z tendencją malejącą natężenia przepływu. Na wodowskazach poniżej Porajowa uwidaczniają się zmiany wywołane poborem do zalewania kopalń, najbardziej widoczne w profilu pomiarowym w Gubinie.

W tabeli 23 przedstawiono prognozowane przepływy średnie dla okresu referencyjnego (2001-2010) oraz bliższej (2021-2050) i dalszej (2071-2100) przyszłości dla wybranych wodowskazów w profilu podłużnym Nysy Łużyckiej z wykorzystaniem projekcji zmian klimatu. W bliskiej przyszłości dla przedstawionych wodowskazów dla wszystkich wybranych scenariuszy obserwowane jest zmniejszanie się natężenia przepływu w korycie Nysy Łużyckiej. Najmniejsze obniżenie przepływu obserwowane jest dla scenariusza RCP8.5 przebieg 05, które wahało się od -1,3 %, dla wodowskazu w Zgorzelcu do -10.9 % w Przewozie. Największe zmiany w stosunku do okresu referencyjnego dał model uwzględniający wyniki ze scenariusza RC85 R09, gdzie obniżenie natężenia przepływu były najniższe dla Zgorzelca (-10.8 %), a najwyższe dla Gubina (-21,3 %). W dalszej przyszłości prognozowane jest pogłębianie zmniejszania się zasobów wodnych w zlewni spowodowane głównie

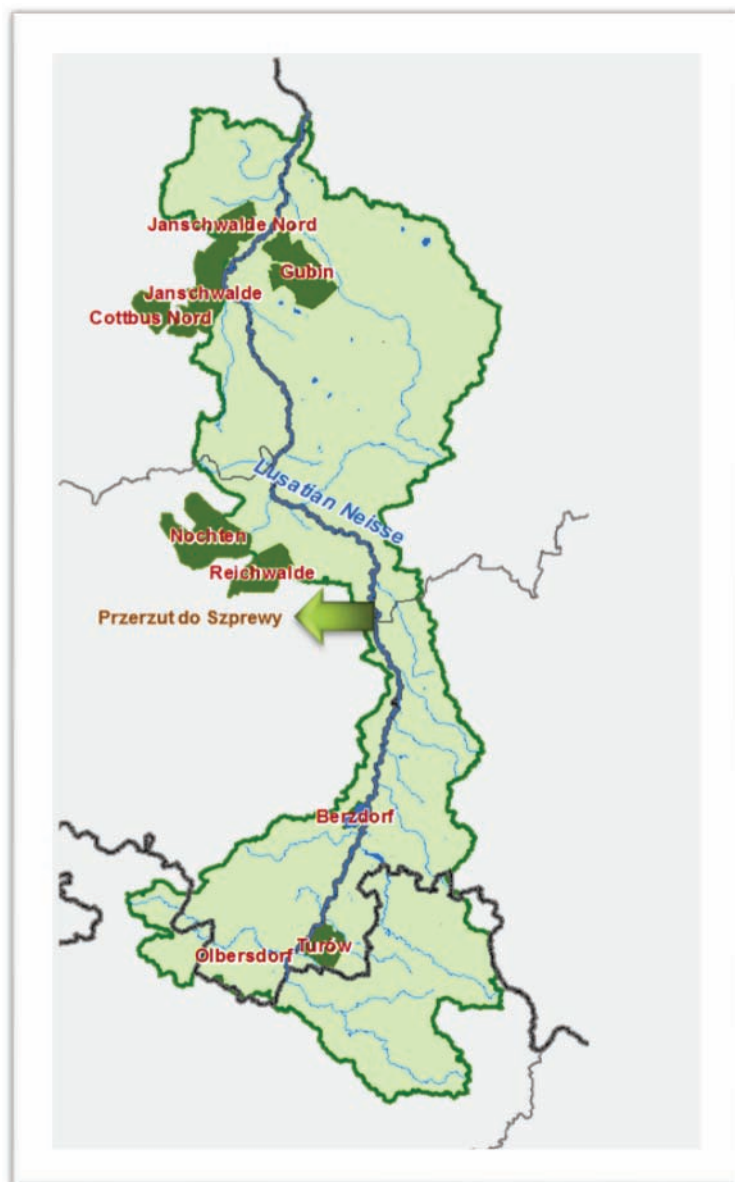
sygnałem zmian klimatu, zmniejszanie się przepływu w najbardziej niekorzystnych scenariuszach może wynieść nawet powyżej 40 % (A1B R04 i RCP8.5 R09), (Tabela 24).

Tabela 23: Prognozowane przepływy średnie dla okresu referencyjnego (2001-2010) oraz bliższej (2021-2050) i dalszej (2071-2100) przyszłości dla wybranych wodowskazów w profilu podłużnym Nysy Łużyckiej z wykorzystaniem projekcji zmian klimatu [m³/s]

wodowskaz	okres referencyjny 2001-2010				
	A1B R01	A1B R04	A1B R06	RCP R05	RCP R09
Porajów	6.342	6.778	6.184	6.038	5.469
Zgorzelec	15.921	16.288	15.560	15.001	13.314
Przewóz	18.687	18.909	18.613	17.823	15.773
Gubin	25.209	25.442	25.371	24.494	21.250
okres 2021-2050					
	A1B R01	A1B R04	A1B R06	RCP R05	RCP R09
Porajów	5.579	5.647	5.539	5.590	4.535
Zgorzelec	14.646	14.977	14.403	14.809	11.870
Przewóz	15.754	15.911	15.396	15.884	12.622
Gubin	21.482	20.584	20.533	21.915	16.716
okres 2071-2100					
	A1B R01	A1B R04	A1B R06	RCP R05	RCP R09
Porajów	4.350	3.947	4.389	4.712	2.916
Zgorzelec	10.927	10.197	11.127	12.202	8.196
Przewóz	11.718	11.060	11.815	13.143	9.184
Gubin	15.977	14.627	15.780	17.697	12.465

Tabela 24: Względne zmiany [%] prognozowanych przepływów średnich dla okresu referencyjnego (2001-2010) oraz bliższej (2021-2050) i dalszej (2071-2100) przyszłości dla wybranych wodowskazów w profilu podłużnym Nysy Łużyckiej z wykorzystaniem projekcji zmian klimatu

wodowskaz	okres 2021-2050				
	A1B R01	A1B R04	A1B R06	RCP R05	RCP R09
Porajów	-12.0	-16.7	-10.4	-7.4	-17.1
Zgorzelec	-8.0	-8.0	-7.4	-1.3	-10.8
Przewóz	-15.7	-15.9	-17.3	-10.9	-20.0
Gubin	-14.8	-19.1	-19.1	-10.5	-21.3
okres 2071-2100					
	A1B R01	A1B R04	A1B R06	RCP R05	RCP R09
Porajów	-31.4	-41.8	-29.0	-22.0	-46.7
Zgorzelec	-31.4	-37.4	-28.5	-18.7	-38.4
Przewóz	-37.3	-41.5	-36.5	-26.3	-41.8
Gubin	-36.6	-42.5	-37.8	-27.7	-41.3



Rysunek 55: Mapa rozmieszczenia kopalni węgla brunatnego oraz przerzutu do Szprewy

5. Znaczenie zmieniającej się dostępności zasobów wodnych dla użytkowników

W ramach projektu NEYMO przeprowadzono liczne analizy symulacji zasobów wodnych zgodnie z wybranymi projekcjami zmian klimatu. Analizy te niezbędne są do oceny deficytów wody oraz planowania gospodarki wodnej w warunkach zmieniającego się klimatu.

W pierwszym etapie prowadzonych analiz w zlewni Nysy Łużyckiej zidentyfikowano główne problemy gospodarki wodnej.

W przypadku wód podziemnych:

- Obniżanie poziomu zwierciadła wód podziemnych;

W przypadku wód powierzchniowych:

- Zmiany naturalnego reżimu hydrologicznego wód powierzchniowych;
- Brak drożności;
- Niezachowanie przepływu nienaruszalnego;
- Występujące okresowe niedobory wodne;
- Zmiany hydromorfologiczne (np. na skutek przeprowadzonych regulacji cieków, prac utrzymaniowych);

Ponadto zidentyfikowano również liczne niedoskonałości w zarządzaniu i gospodarowaniu wodami:

- Szereg komplikacji i trudności w procesie wykonywania bilansu wodnego, w tym z inwentaryzacją użytkowników (patrz rozdz. 3.2.5.);
- Brak rzeczywistych wartości poborów i zrzutów (dla wszystkich użytkowników);
- Niedostatki (nieścistości) w aktach prawnych związanych bezpośrednio lub pośrednio z gospodarką wodną (np. bezterminowe pozwolenia wodno-prawne, pozwolenia wodno-prawne dla budowli wodnych bez określonych wartości przepływu nienaruszalnego);

W modelowaniu zasobów wodnych prowadzonym w ramach prac w projekcie NEYMO uwzględniono wyniki wybranych projekcji zmian klimatu oraz planowane zmiany w użytkowaniu zasobów wodnych. Wyniki przeprowadzonego modelowania mogą stać się podstawą do prognozowania i poszukiwania rozwiązań w przypadku najistotniejszych problemów związanych z gospodarką wodną oraz wskażą na te elementy, które wymagają podjęcia działań służących ochronie zasobów wodnych. Podstawą do prowadzenia analiz nad dostępnością zasobów wodnych w bliższej (2021-2050) i dalszej (2071-2100) przyszłości były wyniki części analiz klimatycznych uzyskane w ramach prac z wykorzystaniem wspólnej polsko-niemieckiej bazy danych (dla okresu 1971-2000) przygotowanej w projekcie NEYMO (patrz: Broszura nr 1). Najważniejsze wnioski wskazują, iż:

- do połowy XXI w sygnał zmian klimatu jest niewyraźny lub słaby.
- średnia temp. roczna w dalszej przyszłości (2071-2100) wzrośnie o ok. 3,2 – 3,7 °C.
- wzrosną także dobowe amplitudy temperatury powietrza.
- w dalszej przyszłości (2071-2100) suma opadów w półroczu letnim maleje o ok. 12 %. Wspomniany spadek obejmie w zależności od realizacji części zlewni (RCP 8.5) lub całą zlewnię (A1B).
- w dalszej przyszłości (2071-2100) suma opadów w półroczu zimowym wzrośnie od kilku do 10 % (RCP 8.5) ale jedynie w dolnej części zlewni Nysy Łużyckiej (obszar części zlewni).
- wskaźnikiem określającym przyszłe zasoby wodne jest KBW (klimatyczny bilans wodny – różnica między opadem a parowaniem potencjalnym). Rozpatrywany jest on dla półroczu letniego. Wartości określone dla poszczególnych regionów w przeprowadzonych analizach w projekcie NEYMO wskazują na spadek wartości KBW na całym obszarze zlewni Nysy Łużyckiej. Przy czym dla okresu bliskiej przyszłości (2021-2050) wartości KBW zmniejszają się o -40 do -100 mm, zaś dla okresu dalszej przyszłości (2071-2100) wartości KBW zmniejszają się o -40 do -260 mm.
- kolejny wskaźnik - standaryzowanego opadu (SPI) określa przyszłe warunki wilgotnościowe. Wskaźnik SPI 12 pozostanie stały lub lekko zmaleje, co wskazywać może na występowanie bardziej suchych warunków. Nie stwierdzono istotnej zmiany częstotliwości występowania okresów bezopadowych (odbiegających od naturalnej zmienności).
- trendy wzrostu temperatury i usłonecznienia (w konsekwencji prowadzące do wzrostu ewapotranspiracji), przy jednoczesnym malejącym trendzie wysokości opadów atmosferycznych, wskazuje na potencjalne zmniejszanie się dostępnych zasobów wodnych w półroczu letnim.

Informacje o użytkownikach do wodowskazu Gubin, pozwalają na objęcie największej części zlewni Nysy Łużyckiej. Zestawienie ilościowe użytkowników do wodowskazów zlokalizowanych na Nysie Łużyckiej (Porajów, Zgorzelec, Przewóz i Gubin) przedstawiono w tabeli 25.

Tabela 25: Zestawienie ilościowe użytkowników do wodowskazów na Nysie Łużyckiej

kategoria	komunalne KOM	kopalnie KOP	przemysł PRZEM	rolnictwo ROL	elektrownie MEW	łącznie
Porajów	3	0	1	0	0	4
Zgorzelec	12	3	6	7	2	30
Przewóz	5	1	1	6	7	20
Gubin	6	2	3	16	10	37
łącznie	26	6	11	29	19	91

Do pierwszej kategorii (KOP) zaliczono pobory i zrzuty związane z rekultywacją i odwodnieniem kopalń, przerzutami wody pomiędzy ciekami, poborami związanymi z uzupełnianiem strat na parowanie z pokopalnianych zbiorników wodnych. Do tej kategorii należy 6 użytkowników, przy czym do najważniejszych należy polski użytkownik - Kopalnia Węgla Brunatnego Turów, która ma 16 punktów zrzutów (ale pobiera bardzo mało wód powierzchniowych) oraz niemiecki użytkownik - LMBV, która charakteryzuje się z kolei największym poborem. Do kategorii drugiej (KOM) zakwalifikowano pobory i zrzuty związane z działalnością oczyszczalni ścieków i zakładów komunalnych. Kategoria ta obejmuje 26 użytkowników z Czech, Polski i Niemiec. Najistotniejszym użytkownikiem są WW Görlitz, charakteryzujące się większym poborem wód powierzchniowych niż pozostali użytkownicy razem wzięci oraz Liberec COV, który wprowadza największy zrzut wód do Nysy Łużyckiej. Do kolejnej kategorii (ROL) zaliczono pobory i zrzuty związane z nawodnieniami upraw oraz użytkowaniem wód związane z funkcjonowaniem stawów rybnych. Jest to najliczniej reprezentowana kategoria. Zestawiono tu 29 użytkowników. Pomimo to kategoria ma najmniejsze znaczenie w użytkowaniu wód omawianej zlewni, dodatkowo użytkowanie w tej kategorii jest równocześnie najbardziej zmienne w czasie. W czwartej kategorii (PRZEM) objęto pobory i zrzuty związane z funkcjonowaniem zakładów przemysłowych (za wyjątkiem górnictwa). Do kategorii tej zalicza się 11 użytkowników, a najważniejszym z nich jest Elektrownia Turów, która charakteryzuje się zarówno największym poborem jak i zrzutem, przy czym pobór jest zdecydowanie większy. Do ostatniej kategorii (EW) zaliczono 9 polskich i 10 niemieckich elektrowni wodnych zlokalizowanych na Nysie Łużyckiej. Począwszy od górnej części Nysy Łużyckiej po polskiej stronie są to następujące elektrownie wodne: Pieńsk (z jazem stałym), Sobolice (z jazem klapowym), Bukówka (z jazem zasuwowo-zastawkowym), Przysieka (z jazem zasuwowo-zastawkowym), Żarki Wielkie (z jazem zasuwowym), Siedlec / Zieliska (z jazem zasuwowo-zastawkowym), Zasieki (z jazem zasuwowo-zastawkowym) oraz Gubin (z jazem ruchomym segmentowym). Po stronie niemieckiej znajdują się następujące elektrownie wodne: Görlitz Obermühle (z jazem stałym), Görlitz-Vierradenmühle (z jazem stałym), Ludwigsdorf II (z jazem stałym), Nieder Neudorf (z jazem powłokowym), Bremenwerk (z jazem stałym), Lodenau (z jazem klapowym), Bad Muskau (z jazem zastawkowym), Forst (z jazem zastawkowym), Griessen (z jazem zasuwowym), Gross Gastrose (z jazem zasuwowym).

Ze względu na transgraniczny charakter zlewni Nysy Łużyckiej ważna jest proporcja użytkowania wód. Podsumowanie informacji dotyczącej użytkowania w latach hydrologicznych 2001-2010 zasobów wód powierzchniowych w zlewni Nysy Łużyckiej wskazuje, iż zrzuty przeważają nad poborami. Łączna suma zrzutów dla wspomnianego okresu wyniosła ok. 1357 milionów m³, natomiast suma poborów z wód powierzchniowych jest blisko dwa razy mniejsza i wynosi ok. 755 milionów m³. Mimo że większa część zlewni leży po stronie polskiej, to użytkowanie strony niemieckiej i czeskiej jest, biorąc pod uwagę ostatnią dekadę jest większe. Dysproporcja ta wynika głównie z większego znaczenia górnictwa węgla brunatnego po stronie niemieckiej i rekultywacji byłych kopalń węgla brunatnego. W ramach prac zaproponowano następującą propozycję hierarchii potrzeb wodnych w zlewni Nysy Łużyckiej:

- Zaopatrzenie w wodę ludności (woda do spożycia oraz woda na cele socjalno-bytowe, przy czym pierwszeństwo w zaspokojeniu na wodę wskazuje się dla zakładów zajmujących się dostawą wody pitnej dla mieszkańców);
- Zapewnienie wymagań ekosystemów wodnych i od wody zależnych;
- Zaopatrzenie w wodę dla przemysłu (do produkcji artykułów żywnościowych);
- Korzystanie z wód, które przyczyni się do zwiększenia retencji wód w zlewni;
- Pozostałe potrzeby wodne.

Uwzględniając powyższe informacje dotyczące kategorii użytkowników występujących w zlewni, wspomniane powyżej trendy zmian wskaźników klimatycznych oraz wyniki wybranych projekcji zmian klimatycznych przeprowadzono modelowanie hydrologiczne za pomocą oprogramowania MIKE NAM i MIKE BASIN w celu próby określenia dostępności zasobów wodnych.

Oceniając kierunek i intensywność prognozowanych zmian przepływu uzyskanych na podstawie projekcji zmian klimatu należy pamiętać, iż wyniki są ściśle zależne od intensywności zmian zjawisk meteorologicznych (projekcjami opadu atmosferycznego i ewapotranspiracji), które stanowią wejście do modeli prognostycznych typu opad-odpływ w modelowaniu z wykorzystaniem MIKE NAM. Bazując na prognozach średniego rocznego przepływu, przeanalizowano tendencje jego zmian na terenie 16 obszarów bilansowych w zlewni Nisy Łużyckiej.

Wszystkie analizy wykonane w modelu MIKE NAM zgodnie wskazują, że w przyszłości nastąpi zmniejszenie się przepływów w zlewni Nisy Łużyckiej. Analizy względnych zmian przepływu, w postaci minimalnej, średniej, maksymalnej i mediany, wskazują przeważnie na negatywny kierunek zmian we wszystkich 16 zlewniach bilansowych (patrz rozdział 4.4.3 Tabela 20). Modelowanie pozwala na stwierdzenie spadku średniego rocznego przepływu w odniesieniu do bliższej przyszłości (2021-2050), zarówno przy uwzględnieniu projekcji suchych (odpowiednio dla A1B R01 do 84 % wartości przepływu średniego dla zlewni Nisy Łużyckiej w stosunku do określonego dla okresu referencyjnego 1971-2000, zaś dla RCP8.5 R09 odpowiednio spadek do wartości 52 %) jak i mokrych (odpowiednio dla A1B R04 do 73 % wartości przepływu średniego dla zlewni Nisy Łużyckiej w stosunku do określonego dla okresu referencyjnego 1971-2000, zaś dla RCP8.5 R05 odpowiednio spadek do wartości 81%) (patrz rozdział 4.4.3, Tabela 21). Ponadto stwierdzono na podstawie modelowania MIKE NAM względny spadek średniego rocznego przepływu w zlewni Nisy Łużyckiej także w odniesieniu do dalszej przyszłości (2071-2100), w przypadku uwzględnienia danych z wybranych 5 projekcji. Spadki względne przepływu w przypadku projekcji RCP8.5 R09 wykazały wartość przepływu stanowiącą ok. 35 % przepływu szacowanego dla okresu referencyjnego 1971-2000 (patrz rozdział 4.4.3, Tabela 21) zwłaszcza w górnej części zlewni. Podsumowując, na podstawie przeprowadzonego modelowania z wykorzystaniem MIKE NAM można stwierdzić, iż wyniki wskazują na generalne obniżenie się przepływu wód powierzchniowych w przyszłości, jednak wraz z upływem czasu zmiany te będą coraz bardziej intensywne. Należy jednak pamiętać, że w przypadku analiz prowadzonych na symulacjach modelowych narzędzia numeryczne oparte są na szeregu założeń wejściowych, które mogą być obarczone różnym stopniem niepewności i możliwością kumulacji błędów.

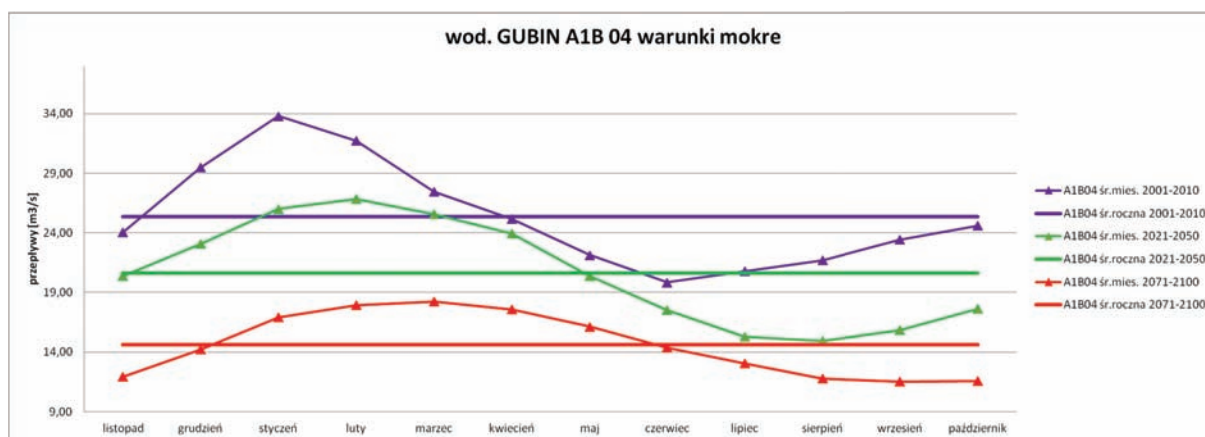
Natomiast modelowanie z wykorzystaniem oprogramowania MIKE BASIN pozwoliło na uzyskanie wyników symulacji przepływów dla okresu referencyjnego (2001-2010) oraz dla bliższej (2021-2050) i dalszej (2071-2100) przyszłości z uwzględnieniem użytkowników wód (łącznie 91 użytkowników polskich, niemieckich i czeskich). Prognoza przepływów średnich rocznych [m^3/s] dla wymienionych powyżej okresów została zestawiona w rozdz. 3.2.5, (w tabeli 23). Dla analizowanych 4 wodowskazów (Porajów, Zgorzelec, Przewóz, Gubin) w okresie referencyjnym (2001-2010) skrajne wartości przepływów rocznych w [m^3/s] uzyskano dla projekcji A1B R04 (warunki mokre) oraz dla projekcji RCP 8.5 R09 (warunki skrajnie suche). Natomiast dla bliższej przyszłości (2051-2070) podobnie skrajne wartości prognozowanych przepływów wykazały wyniki z projekcji A1B 04 (warunki mokre) oraz dla projekcji RCP8.5 09 (warunki skrajnie suche). Zmianą w kolejnym analizowanym okresie (2071-2100) było wystąpienie skrajnych wartości przepływu średniego rocznego na wszystkich 4 wodowskazach dla projekcji RCP8.5, przy czym dla RCP8.5 realizacji R05 otrzymano przepływy wyższe (od $4,71 \text{ m}^3/\text{s}$ w Porajowie do $17,69 \text{ m}^3/\text{s}$ w Gubinie) niż dla RCP8.5 realizacji R09 (od $2,91 \text{ m}^3/\text{s}$ w Porajowie do $12,46 \text{ m}^3/\text{s}$ w Gubinie). Wyniki wskazują więc na obniżanie się natężenia przepływów w kolejnych analizowanych okresach.

W rozdziale 4.4.4 (Tabela 24) zestawiono wyniki względnej zmiany [%] prognozowanych przepływów średnich rocznych dla okresu referencyjnego (2001-2010) oraz dla bliższej (2021-2050) i dalszej (2071-2100) przyszłości. Podsumowując, najmniejsze obniżenie przepływu obserwowane jest dla scenariusza RCP8.5 przebieg R05, które wahało się od $-1,3 \%$ dla wodowskazu w Zgorzelcu do $-10,9 \%$ w Przewozie. Największe zmiany w stosunku do okresu referencyjnego dał model uwzględniający wyniki ze scenariusza RC8.5 R09, gdzie obniżenie natężenia przepływu były najniższe dla Zgorzelca ($-10,8 \%$), a najwyższe dla Gubina ($-21,3 \%$). W dalszej przyszłości prognozowane jest więc pogłębianie zmniejszania się zasobów wodnych w zlewni spowodowane głównie sygnałem zmian klimatu, zmniejszanie się przepływu w scenariuszu RCP8.5 R09 może wynieść nawet powyżej 40% .

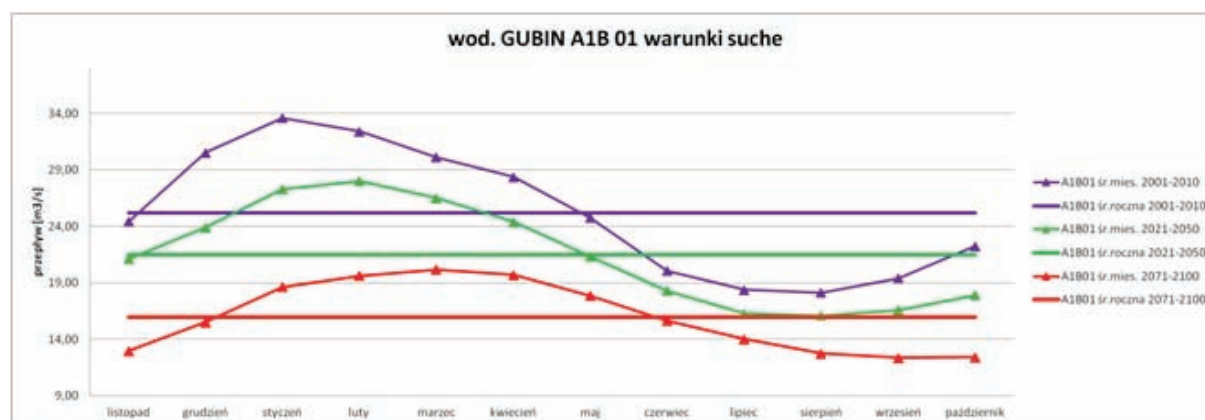
Analizowano także wyniki prognozowanych wartości średnich miesięcznych uzyskanych przy użyciu oprogramowania MIKE BASIN dla wszystkich 5 wybranych realizacji (tj. A1B - R01, R04, R06 oraz RCP 8.5 – R05, R09). W wyniku porównania przebiegu zwierciadła wód powierzchniowych Nysy Łużyckiej w poszczególnych miesiącach (a także porównania wartości prognozowanego natężenia przepływów) uzyskanych na podstawie modelowania MIKE BASIN dla okresu referencyjnego (2001-2010) i prognoz dla okresu bliższej (2051-2070) i dalszej przyszłości (2071-2100) wskazują, iż można spodziewać się obniżenia przepływów dla wybranych w projekcie NEYMO realizacji. Poniżej zamieszczono przykładowe wykresy na podstawie prognozowanych średnich miesięcznych wartości przepływu i wartości średniej rocznej dla wodowskazu Gubin dla projekcji A1B R04 (warunki mokre) i A1B R01 (warunki suche) (Rysunek 56, Rysunek 57).

Jak widać na przykładowych wykresach stany maksymalne w dalszej przyszłości występują o dwa miesiące później niż na początku XXI w. W kolejnych okresach prognostycznych spada też prognostyczna wartość średnia roczna przepływu. Względny procentowy spadek Q dla okresu 2071-2100 wynosi $> 30 \%$ w porównaniu do okresu referencyjnego (2001-2010). Uzyskane wyniki wskazują,

iz planowanie ewentualnej retencji (gromadzenie wód) powinno się prowadzić w pierwszym półroczu roku hydrologicznego ponieważ wtedy prognostyczne wartości przepływów są wyższe od średniej rocznej i od prognostycznych przepływów dla drugiego półroczu roku hydrologicznego. Wyniki prognozowanych wartości przepływów wskazują na obniżanie się wartości przepływów w analizowanych przekrojach wodowskazowych na Nysie Łużyckiej co objawi się pogłębianiem zmniejszania się zasobów wodnych w zlewni spowodowane głównie sygnałem zmian klimatu. Obecni i przyszli użytkownicy wód powierzchniowych powinni liczyć się z prognozowanym zmniejszaniem się przepływu, które w najbardziej niekorzystnych scenariuszach może wynieść nawet powyżej 40 % (A1B R04 i RCP8.5 R09). Powyższe wyniki prognoz i dane obserwacyjne z minionych lat wskazują na występowanie problemów związanych z wodą i gospodarką wodną. Nasilenie się obniżania się zasobów wodnych zwłaszcza w drugiej połowie XXI w. (dalsza przyszłość) wskazuje, iż można się spodziewać nasilenia tych zjawisk. Zmniejszanie się zasobów wodnych odczuwalne będzie przez wszystkich użytkowników należących do wszystkich kategorii (KOP, KOM. ROL, PRZEM, EW). W ramach projektu NEYMO zajęto się opracowaniem Katalogu działań, w którym zamieszczono wskazówki i przykłady działań, których podjęcie pozwoli na przystosowanie się do prognozowanych zmian klimatycznych.



Rysunek 56: Średnie miesięczne i roczne wartości prognozowanego przepływu Q [m^3/s] dla Gubina z modelu MIKE BASIN dla modelu prognostycznego A1B 04



Rysunek 57: Średnie miesięczne i roczne wartości prognozowanego przepływu Q [m^3/s] dla Gubina z modelu MIKE BASIN dla modelu prognostycznego A1B 01

6

Podsumowanie

6. Podsumowanie

NEYMO stanowi akronim pełnego tytułu projektu: Nysa Łużycka/Lausitzer Neiße – modelowanie klimatyczne i hydrologiczne, analiza i prognoza w zlewni Nysy Łużyckiej finansowanego z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego (EFRR). W broszurze zaprezentowano wyniki badań kształtowania się zmienności zasobów wodnych w zlewni Nysy Łużyckiej. Celem badań, które w ramach projektu NEYMO koncentrowały się wokół analizy bilansu wodnego było stworzenie przy pomocy odpowiednich narzędzi systemowych modelu bilansu wodnego dla przeszłych i przyszłych warunków klimatycznych z uwzględnieniem wpływów antropogenicznych w formie poborów i zrzutów wody. Do modelowania bilansu wodnego wykorzystano systemy ArcEGMO oraz MIKE NAM + MIKE BASIN. W wyniku opracowania modelu określono przepływ całkowity oraz strukturę odpływu w podziale na poszczególne składowe: odpływ powierzchniowy, podpowierzchniowy oraz zasilanie wód podziemnych. W ramach prac przygotowano i opracowano odpowiednio do wymogów danego systemu modelowego wejściowe dane klimatyczne, hydrologiczne i geologiczne, konieczne do skonstruowania modelu.

Tabela 26: Kształtowanie się składowych bilansu wodnego w okresie 1971-2010

	okres całego roku	półrocze letnie	półrocze zimowe
opad atmosferyczny	tendencja wzrostowa	tendencja wzrostowa	tendencja wzrostowa
parowanie	istotny wzrost na wszystkich obszarach wodowskazowych	istotny wzrost na odcinkach źródłowych oraz w profilu podłużnym Nysy Łużyckiej tendencja wzrostowa na obszarach nizinnych	istotny wzrost na wszystkich obszarach wodowskazowych
odpływ całkowity	słaba tendencja spadkowa	słaba tendencja spadkowa	słaba tendencja spadkowa
odpływ powierzchniowy	słaba tendencja wzrostowa	słaba tendencja wzrostowa	słaba tendencja wzrostowa
odpływ podpowierzchniowy	tendencja wzrostowa	tendencja wzrostowa	tendencja wzrostowa
zasilanie wód podziemnych	tendencja wzrostowa na wszystkich obszarach wodowskazowych	tendencja spadkowa na wszystkich obszarach wodowskazowych	istotny wzrost w profilu podłużnym Nysy Łużyckiej, tendencja wzrostowa na odcinkach źródłowych

Badanie bilansu wodnego w minionym okresie 1971-2010 uwidoczniało znaczne zróżnicowanie zlewni Nysy Łużyckiej. W położonych na południu partiach szczytowych oraz regionach podgórskich składowe bilansu wodnego kształtują się zgoła odmiennie niż na terenach nizinnych. Rozwój przeanalizowanych trendów dla średnich wartości wieloletnich w okresie 1971-2010 składowych bilansu wodnego na obszarach wodowskazowych przedstawiono w zestawieniu zawartym w tabeli 26.

W celu stworzenia możliwości oszacowania wartości bilansu wodnego do końca wieku w modelu wykorzystano pięć wybranych projekcji klimatycznych. W warunkach prognozowanych, w ramach przyjętych projekcji klimatycznych składowe bilansu wodnego kształtować się będą do końca wieku w sposób przedstawionych w tabeli 27.

Tabela 27: Kształtowanie się składowych bilansu wodnego do roku 2100 przy założeniu zmienionych warunków klimatycznych (projekcji klimatu)

	okres całego roku	półrocze letnie	półrocze zimowe
opad atmosferyczny	istotny spadek	istotny spadek	tendencja wzrostowa
parowanie	Istotny wzrost na wyżej położonych obszarach w profilu podłużnym Nysy łużyckiej, tendencja wzrostowa na terenach nizinnych	istotny wzrost na wszystkich obszarach wodowskazowych	istotny wzrost na wszystkich obszarach wodowskazowych
odpływ całkowity	istotny spadek	istotny spadek	istotny spadek
odpływ powierzchniowy	istotny spadek	istotny spadek	słaba tendencja spadkowa
odpływ podpowierzchniowy	istotny spadek	istotny spadek	tendencja spadkowa
zasilanie wód podziemnych	istotny spadek	istotny spadek	tendencja spadkowa

Przedstawione powyżej zmiany bilansu wodnego stanowią potencjalny scenariusz rozwoju sytuacji przy założeniu warunków klimatycznych prognozowanych w ramach wspomnianych powyżej wybranych projekcji klimatu. Przyjęcie odmiennych warunków może prowadzić do zgoła odmiennych reakcji składowych bilansu wodnego. W trakcie analiz należy zatem uwzględnić wiele możliwych scenariuszy rozwoju bilansu wodnego.

Prognozowany spadek odpływu całkowitego będzie wpływał na sytuację użytkowników wód. W wyniku zmniejszenia się dyspozycyjności zasobów wodnych, uwidaczniającym się szczególnie w ostatnich dekadach wieku w półroczu letnim, użytkowanie wód możliwe będzie w przyszłości jedynie w ograniczonym zakresie. Przy interpretacji danych nie wolno zapominać, że są to jedynie wyniki modelowania obarczone ryzykiem niepewności. W całym procesie począwszy od danych wejściowych poprzez wybór podejścia oraz założeń aż po ustawienie parametrów może pojawić się różny stopień niepewności oraz błędy prowadzące do akumulacji ryzyka.

W oparciu o wynik modelowania bilansu wodnego przygotowane zostaną zalecenia oraz działania dostosowawcze w zakresie gospodarki wodnej, które zostaną zebrane w formie katalogu działań i udostępnione podmiotom działającym na obszarze Nysy łużyckiej jako zalecenia i pomoc w planowaniu ich działań w przyszłości.

Wykaz literatury

Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung, Hrsg.: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Zusammenarbeit mit den Staatlichen Geologischen Diensten, 5. Aufl., 438 S.; 41 Abb., 103 Tab., 31 Listen, Hannover

Bundesanstalt für Gewässerkunde (2014): Datengrundlagen zur Einordnung und Bewertung hydrologischer Extreme, <http://undine.bafg.de/servlet/is/12110/> (Stand 02.12.2014)

DHI (2011): MIKE 11 NAM by DHI Software 2011

Adynkiewicz-Piragas M., Kryza J., Krasowski W., Lejcuś I., Lisowski J., Otop I., Zdralewicz I (2011): Lignite Mining in the Lusatian Nyza River Basin - Concept for detailed model based impact studies on water resources. DHI-WASY GmbH und IMGW-PIB Wroclaw im Auftrag von Vattenfall Europe Mining AG, Februar 2011.

Dyck, S. (1978): Angewandte Hydrologie, Teil I und II, VEB Verlag für Bauwesen Berlin 1978

Dyck, S.; Peschke, G. (1983) : Grundlagen der Hydrologie; VEB Verlag für Bauwesen, Berlin 1983

Fischer B., Müller F., Redetzky M. Schramm M., Walther J., Adynkiewicz-Piragas M., Kryza J., Zdralewicz I. (2013): Modellbasierte wasserwirtschaftliche Konfliktanalysen und Planungen im Einzugsgebiet der Lausitzer Neiße unter besonderer Berücksichtigung des Braunkohlenbergbaus. Abschlussbericht. DHI-WASY GmbH und IMGW-PIB Wroclaw im Auftrag von Vattenfall Europe Mining AG, Marzec 2013.

IUSS Working Group WRB (2014): World Reference Base for Soil Resources 2014. World Soil Resources Reports, 106 (in press), FAO, Rome.

Jarvis A., H.I. Reuter, A. Nelson, E. Guevara (2008): Hole-filled seamless SRTM data V4, International Centre for Tropical Agriculture (CIAT), available from <http://srtm.csi.cgiar.org>.

Kreienkamp, F.; Spekat, A. (2013): Modellierung von Klimaprojektionen für das erweiterte Neißeinzugsgebiet im Rahmen des Projektes NEYMO

Klößing, B; Pfützner, B.; Suckow, F.; Lasch, P. (2009): Das ökohydrologische PSCN-Modul innerhalb des Flussgebietsmodells ArcEGMO – Theoretische Modellbeschreibung, München

Legates D.R. & McCabe Jr. (1999): Evaluating the use of "goodness-of-fit" measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. In: Water Resources Research, 35,1, S. 233–241.

Mann und Kendall (1945, 1975):

McKee TB, Doesken NJ, Kleist J (1993): The relationship of drought frequency and duration to time scales. Eighth Conference on Applied Climatology, 17-22 January 1993, Anaheim, California

LfULG (2012): Schriftenreihe Kernkomponente

Richter, D. (1995): Ergebnisse methodischer Untersuchungen zur Korrektur des systematischen Messfehlers des Hellmann-Niederschlagsmessers. Berichte des Deutschen Wetterdienstes 194, Selbstverlag des DWD, Offenbach am Main 1995

Sadowski, M. (2013): KLIMADA - Opracowanie i wdrożenie Strategicznego Planu Adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu. Adaptacja wrażliwych sektorów i obszarów Polski do zmian klimatu do roku 2070. IOŚ-PIB. Warszawa.

Sen, Pranab Kumar (1968): Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau, Journal of the American Statistical Association 63: 1379–1389, JSTOR 228589

Umweltbundesamt und DLR-DFD (2004):, CORINE Land Cover (CLC2000)

Wykaz rysunków

Rysunek 1: Obszar badawczy projektu NEYMO	6
Rysunek 2: Rzeźba terenu zlewni Nysy Łużyckiej w oparciu o SRTM 90 (Jarvis et al. 2008)	7
Rysunek 3: Cykl hydrologiczny, ogólny i szczegółowy bilans wodny.....	8
Rysunek 4: Schemat obiegu wody.....	9
Rysunek 5: Ukształtowanie terenu oraz lokalizacje wodowskazów na terenie zlewni.....	12
Rysunek 6: Źródła danych glebowych	15
Rysunek 7: Transgraniczna mapa glebowa	16
Rysunek 8: Formy użytkowania gruntów według CORINE Land Cover (CLC2000) (Federalny Urząd ds. Ochrony Środowiska, DLR-DFD 2004)	18
Rysunek 9: Schemat rozmieszczenia wodowskazów na Nysie Łużyckiej (ciemnozielonym kolorem zaznaczono wodowskazy saksońskie, na czerwono wodowskazy polskie, a kolorem jasnozielonym wodowskazy brandenburskie).....	21
Rysunek 10: Wodowskazy i zlewnie na terenie obszaru objętego projektem.....	22
Rysunek 11: Wybrani użytkownicy wód powierzchniowych i podziemnych w zlewni	23
Rysunek 12: Stacje klimatyczne i opadowe na terenie zlewni i w jej okolicy	24
Rysunek 13: Konstruowanie odpływu w modelu ArcEGMO przy pomocy modułu PSCN (Klöcking et al. 2009).....	39
Rysunek 14: Dane konieczne do budowy modelu dla zlewni Nysy Łużyckiej Fehler! Textmarke nicht definiert.	
Rysunek 15: Wartości statystyki Nash-Sutcliff przed i po kalibracji danych dla wodowskazów w oparciu o dzienne wartości odpływu	43
Rysunek 16: Wartości statystyki Nash-Sutcliff przed i po kalibracji danych dla wodowskazów w oparciu o miesięczne wartości odpływu	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Rysunek 17: Schemat modelowania przy użyciu modelu MIKE NAM.....	44
Rysunek 18: Schemat budowy zbiornikowej modelu MIKE NAM oraz podziału zlewni Nysy Łużyckiej na bilansowe zlewnie cząstkowe.....	45
Rysunek 19: Podejście metodyczne podczas kalibracji i walidacji modeli MIKE NAM.....	46
Rysunek 20: Podział zlewni Nysy Łużyckiej na mniejsze zlewnie bilansowe.....	49
Rysunek 21: Krzywe bilansowe (góra) i hydrogram (dół) modelu MIKE NAM zlewni cząstkowej Nysy Łużyckiej od źródła do ujścia rzeki Mandau	50
Rysunek 22: Krzywe bilansowe (góra) i hydrogram (dół) modelu MIKE NAM zlewni rzeki Mandau....	51

Rysunek 23: Krzywe bilansowe (górze) i hydrogram (dół) modelu MIKE NAM dla fragmentu zlewni Nysy Łużyckiej od ujścia Mandau do ujścia Jędrzychowickiego Potoku.....	52
Rysunek 24: Krzywe bilansowe (górze) i hydrogram (dół) modelu MIKE NAM zlewni rzeki Miedzianki	53
Rysunek 25: Krzywe bilansowe (górze) i hydrogram (dół) modelu MIKE NAM zlewni rzeki Witki.....	54
Rysunek 26: Krzywe bilansowe (górze) i hydrogram (dół) modelu MIKE NAM zlewni rzeki Pließnitz ...	55
Rysunek 27: Krzywe bilansowe (górze) i hydrogram (dół) modelu MIKE NAM zlewni rzeki Czerwonej Wody	56
Rysunek 28: Krzywe bilansowe (górze) i hydrogram (dół) modelu MIKE NAM dla fragmentu zlewni Nysy Łużyckiej od ujścia Jędrzychowickiego Potoku do ujścia Skrody.	57
Rysunek 29: Krzywe bilansowe (górze) i hydrogram (dół) modelu MIKE NAM zlewni rzeki Skrody	58
Rysunek 30: Krzywe bilansowe (górze) i hydrogram (dół) modelu MIKE NAM dla fragmentu zlewni Nysy Łużyckiej od ujścia Skrody do ujścia Malxe-Neiße-Kanal.....	59
Rysunek 31: Krzywe bilansowe (górze) i hydrogram (dół) modelu MIKE NAM zlewni rzeki Föhrenfließ	60
Rysunek 32: Krzywe bilansowe (górze) i hydrogram (dół) modelu MIKE NAM zlewni rzeki Malxe-Neiße-Kanal.....	61
Rysunek 33: Krzywe bilansowe (górze) i hydrogram (dół) modelu MIKE NAM dla fragmentu zlewni Nysy Łużyckiej od Malxe-Neiße-Kanal do ujścia do Odry.....	62
Rysunek 34: Krzywe bilansowe (górze) i hydrogram (dół) modelu MIKE NAM zlewni rzeki Lubszy.	63
Rysunek 35: Krzywe bilansowe (górze) i hydrogram (dół) modelu MIKE NAM zlewni rzeki Schwarzes Fließ.....	64
Rysunek 36: Krzywe bilansowe (górze) i hydrogram (dół) modelu MIKE NAM zlewni rzeki Grano-Buderoser-Mühlenfließ.....	65
Rysunek 37: Widok ekranu roboczego MIKE BASIN.....	69
Rysunek 38: Schemat modelowania przy użyciu MIKE BASIN	70
Rysunek 39: Składowe odpływy w odniesieniu do części zlewni przyporządkowanych do danego wodowskazu w okresie 1971-2010 wg modelu ArcEGMO	74
Rysunek 40: Składowe bilansu wodnego opad atmosferyczny, parowanie i odpływ powierzchniowy dla zlewni cząstkowych – wartość średnia dla lat 1971 do 2010 obliczona przy pomocy modelu ArcEGMO	77
Rysunek 41: Składowe bilansu wodnego odpływ podpowierzchniowy, zasilenie wód podziemnych i odpływ całkowity dla zlewni cząstkowych – wartość średnia dla lat 1971 do 2010 obliczona przy pomocy modelu ArcEGMO.....	78
Rysunek 42: Mapa rozmieszczenia użytkowników wód powierzchniowych wprowadzonych do MIKE BASIN	80
Rysunek 43: Natężenie przepływu w odcinkach ujściowych wybranych dopływów Nysy Łużyckiej – dane z modelu bilansu wodnego dla danych rzeczywistych (wg modelu MIKE BASIN).....	82

Rysunek 44: Prognozowane średnie natężenie przepływu w wybranych wodowskazach w profilu podłużnym Nysy Łużyckiej w okresach pięcioletnich 2011-2100 przy zastosowaniu serii danych wejściowych z projekcji zmian klimatu [m^3/s] (wg modelu MIKE BASIN)	83
Rysunek 45: Natężenie przepływu w wybranych wodowskazach na Nysie Łużyckiej – dane z modelu bilansu wodnego dla danych rzeczywistych (wg modelu MIKE BASIN)	84
Rysunek 46: Odchylenie względne średniej składowych bilansu wodnego z 30 lecia 1971-2000 z uwzględnieniem projekcji klimatu w porównaniu z wartościami uzyskanymi z wykorzystaniem danych pomiarowych (od góry, od lewej do prawej: opad atmosferyczny, parowanie rzeczywiste, odpływ całkowity, odpływ powierzchniowy, odpływ podpowierzchniowy, zasilanie wód podziemnych)	86
Rysunek 47: Rozpiętość pomiędzy średnimi wartościami miesięcznymi przepływów na wodowskazie Podrosche 2 w okresie 2071-2100 uzyskane przy pomocy różnych projekcji klimatu (wg modelu ArcEGMO).....	92
Rysunek 48: Odchylenia wartości od średniej wieloletniej w okresie referencyjnym 1971-2000, półrocze letnie, całość modelowanego obszaru zlewni Nysy Łużyckiej, opad atmosferyczny na całym obszarze P, parowanie rzeczywiste E, odpływ powierzchniowy H_s , odpływ podpowierzchniowy H_H	100
Rysunek 49: Odchylenia wartości od średniej wieloletniej w okresie referencyjnym 1971-2000, półrocze zimowe, całość modelowanego obszaru zlewni Nysy Łużyckiej, opad atmosferyczny na całym obszarze P, parowanie rzeczywiste E, odpływ powierzchniowy H_s , odpływ podpowierzchniowy H_H	101
Rysunek 50: Odchylenia wartości od średniej wieloletniej w okresie referencyjnym 1971-2000, okres roczny, całość modelowanego obszaru zlewni Nysy Łużyckiej, opad atmosferyczny na całym obszarze P, parowanie rzeczywiste E, odpływ powierzchniowy H_s , odpływ podpowierzchniowy H_H	102
Rysunek 51: Odchylenia wartości od średniej wieloletniej w okresie referencyjnym 1971-2000, półrocze letnie, zimowe, okres roczny, całość modelowanego obszaru zlewni Nysy Łużyckiej, zasilanie wód podziemnych ALN.....	103
Rysunek 52: Względna zmiana średniego rocznego przepływu dla okresu 2021-2050.....	105
Rysunek 53: Względna zmiana średniego rocznego przepływu dla okresu 2071-2100.....	106
Rysunek 54: Średnie wartości roczne składowych bilansu wodnego odpływ MIKE BASIN	109
Rysunek 55: Mapa rozmieszczenia kopalni węgla brunatnego oraz przerzutu do Szprewy	114
Rysunek 56: Średnie miesięczne i roczne wartości prognozowanego przepływu Q [m^3/s] dla Gubina z modelu MIKE BASIN dla modelu prognostycznego A1B 04	120
Rysunek 57: Średnie miesięczne i roczne wartości prognozowanego przepływu Q [m^3/s] dla Gubina z modelu MIKE BASIN dla modelu prognostycznego A1B 01	120

Wykaz tabel

Tabela 1: Główne wskazania wodowskazów.....	19
Tabela 2: Zestawienie wyników częstości występowania warunków „suchych“, „normalnych“ i „mokrych“ dla półrocza letniego na podstawie KBW (scenariusz RCP26)	27
Tabela 3: Klasyfikacja wartości wskaźnika SPI według McKee (1993).....	28
Tabela 4: Odptyw w wieloleciu 1971-2000 oraz trendy absolutne w mm/40a (dodatnie, ujemne) dla wielolecia 1971-2010 w okresach rocznych, w podziale na półrocze letnie i zimowe, wodowskazy przyporządkowane do poszczególnych pięter wysokościowych (ciemnoniebieski: obszary nizinne, jasnoniebieski: pogórze), istotne trendy pogrubiono	34
Tabela 5: Absolutne trendy sezonowe odpływów jednostkowych dla wielolecia 1971-2010 w mm/40a (dodatnie, ujemne – różnice w jasności odcieni oddają nasilenie trendów), wodowskazy przyporządkowane do poszczególnych pięter wysokościowych (≤ 350 m n.p.m., > 350 m n.p.m.), istotne trendy pogrubiono	35
Tabela 6: Względny trend sezonowy jednostkowych odpływów niskich dla wielolecia 1971-2010 (dodatni, ujemny- różnice w jasności odcieni oddają nasilenie trendów), okres referencyjny 1971-2000, wodowskazy przyporządkowane do poszczególnych pięter wysokościowych (≤ 350 m n.p.m., > 350 m n.p.m.)	36
Tabela 7: Zestawienie zlewni bilansowych objętych modelami typu opad-odptyw	47
Tabela 8: Zestawienie stacji pomiarowych wykorzystanych do budowy i kalibracji modeli typu opad-odptyw wraz z zastosowanym zakresem symulacji.....	48
Tabela 9: Statystyki błędów modeli typu opad-odptyw zlewni bilansowych Nysy Łużyckiej.....	67
Tabela 10: Porównanie średnich przepływów symulowanych i obserwowanych dla okresu prowadzonych symulacji	68
Tabela 11: Średnie wartości roczne składowych bilansu wodnego oraz trendy absolutne w mm/40a (dodatnie, ujemne) z istotnymi wartościami (trendy istotne statystycznie pogrubiono) dla okresu pomiarowego 1971-2010 w okresach rocznych, półrocze letnie i zimowe Wodowskazy pogrupowano zgodnie z piętrami wysokościowymi (ciemnoniebieskie: obszary nizinne, jasnoniebieskie: obszary górskie).....	79
Tabela 12: Prognoza opadu atmosferycznego dla różnych projekcji obliczona przy pomocy modelu ArcEGMO	93
Tabela 13: Prognoza parowania dla różnych projekcji obliczona przy pomocy modelu ArcEGMO.....	94
Tabela 14: Prognoza wartości odpływu powierzchniowego dla różnych projekcji obliczona przy pomocy modelu ArcEGMO.....	95
Tabela 15: Prognoza wartości odpływu podpowierzchniowego dla różnych projekcji obliczona przy pomocy modelu.....	96

Tabela 16: Prognoza wartości zasilania wód podziemnych dla różnych projekcji obliczona przy pomocy modelu ArcEGMO.....	97
Tabela 17: Średnie wartości roczne składowych bilansu wodnego oraz trendy absolutne w mm/30a (dodatnie, ujemne) z oznaczeniem istotności statystycznej (istotne trendy pogrubiono) dla przyszłego okresu 2021-2050 dla okresów rocznych oraz półrocza letniego i zimowego projekcji RCP85, R09; wodowskazy pogrupowano zgodnie z piętrami wysokościowymi (ciemnoniebieskie: obszary nizinne, jasnoniebieskie: obszary górskie).....	98
Tabela 18: Średnie wartości roczne składowych bilansu wodnego oraz trendy absolutne w mm/30a (dodatnie, ujemne) z oznaczeniem istotności statystycznej (istotne trendy pogrubiono) dla przyszłego okresu 2071-2100 dla okresów rocznych oraz półrocza letniego i zimowego projekcji RCP85, R09; wodowskazy pogrupowano zgodnie z piętrami wysokościowymi (ciemnoniebieskie: obszary nizinne, jasnoniebieskie: obszary górskie).....	99
Tabela 19: Względne charakterystyczne wartości (min, śr, max, mediana) przepływów średnich rocznych prognozowanych dla okresu 2021-2050 [%].....	108
Tabela 20: Względne charakterystyczne wartości (min, śr, max, mediana) przepływów średnich rocznych prognozowanych dla okresu 2071-2100 [%].....	108
Tabela 21: Prognozowane przepływy średnie przy zastosowaniu serii danych wejściowych z projekcji zmian klimatu [m ³ /s]	110
Tabela 22: Dane odnoszące się do poborów wody związanych z górnictwem odkrywkowym w zlewni Nysy Łużyckiej wprowadzone do prognostycznych modeli wodnogospodarczych	111
Tabela 23: Prognozowane przepływy średnie dla okresu referencyjnego (2001-2010) oraz bliższej (2021-2050) i dalszej (2071-2100) przyszłości dla wybranych wodowskazach w profilu podłużnym Nysy Łużyckiej z wykorzystaniem projekcji zmian klimatu [m ³ /s].....	113
Tabela 24: Względne zmiany [%] prognozowanych przepływów średnich dla okresu referencyjnego (2001-2010) oraz bliższej (2021-2050) i dalszej (2071-2100) przyszłości dla wybranych wodowskazach w profilu podłużnym Nysy Łużyckiej z wykorzystaniem projekcji zmian klimatu	113
Tabela 25: Zestawienie ilościowe użytkowników do wodowskazów na Nysie Łużyckiej.....	116
Tabela 26: Kształtowanie się składowych bilansu wodnego w okresie 1971-2010	121
Tabela 27: Kształtowanie się składowych bilansu wodnego do roku 2100 przy założeniu zmienionych warunków klimatycznych (projekcji klimatu).....	122

Stopka redakcyjna

➤ **Wydawca:**
Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden
Telefon: +49 351 2612-0
Telefax: +49 351 2612-1099
E-Mail: lfulg@smul.sachsen.de
www.smul.sachsen.de/lfulg

➤ **Autorzy:**
Saksoński Urząd ds. Środowiska, Rolnictwa i Geologii (LfULG):
Kathleen Lünich, Michael Prasser, Corina Niemand

IMGW-PIB
Mariusz Adynkiewicz-Piragas, Iwona Zdralewicz, Irena Otop, Bartłomiej Miszuk, Joanna Kryza,
Iwona Lejcuś, Marzenna Strońska

➤ **Zakończenie redakcji:**
Kathleen Lünich, Michael Prasser, Corina Niemand, Karin Kuhn

➤ **Redaktionsschluss:**
04.12.2014

➤ **Zdjęcie na okładce:**
LfULG, LTV

➤ **Druk:**
Reprogress GmbH, Dresden

➤ **Nakład:**
200 kopii

➤ **Adres składania zamówień:**
Zentraler Broschürenversand der Sächsischen Staatsregierung
Hammerweg 30, 01127 Dresden
Telefon: +49 351 2103-671
Telefax: +49 351 2103-681
E-Mail: publikationen@sachsen.de
www.publikationen.sachsen.de

Informacje ogólne:

Niniejsza publikacja została wydana przez Rząd Saksonii w ramach konstytucyjnego obowiązku informowania społeczeństwa. Materiały nie mogą być wykorzystane przez partie polityczne, kandydatów w wyborach lub osób zaangażowanych w wybory w inny sposób w okresie sześciu miesięcy przed nadchodzącymi wyborami. Dotyczy to wszystkich wyborów.





ISBN: 978-83-64979-02-6