

# Nysa Łużycka

## – Klimat i Charakterystyka Regionu –

LANDESAMT FÜR UMWELT,  
LANDWIRTSCHAFT  
UND GEOLOGIE



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 – Klimat i Charakterystyka Regionu

## 1. Broszura projektu NEYMO finansowanego ze środków Unii Europejskiej



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

Państwowy Instytut Badawczy Oddział we Wrocławiu



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





## Przedmowa

**N**a świecie występują 263 międzynarodowe dorzecza rzek. W ramach dorzeczy niezbędne są liczne działania transgraniczne dotyczące ochrony i poprawy zasobów wodnych. Potrzeba tych działań wiąże się głównie z tym, że wody powierzchniowe nie znają granic państwowych. Działania te powinny być zgodne z zasadą zrównoważonego rozwoju i przyczyniać się do zachowania zasobów wodnych dla przyszłych pokoleń. Położenie geograficzne Polski i Niemiec sprawia, że duża część granicy państwowej przebiega wodami, w której dominują rzeki graniczne Odra i Nysa Łużycka. Celem współpracy na wodach granicznych Polski i Niemiec jest zagwarantowanie racjonalnego gospodarowania i ochrona zasobów wodnych oraz zachowanie ekosystemów wodnych. Współpracę tę reguluje umowa podpisana przez przedstawicieli obu państw. Umowa jasno określa dziedziny i kierunki współpracy oraz sposób rozwiązywania istotnych problemów rzek granicznych. Nysa Łużycka płynie wzdłuż granicy polsko-niemieckiej, przez co korzystanie z zasobów wodnych podlega ścisłym uzgodnieniom obu krajów.

Według opinii ekspertów na podstawie opracowanych projekcji klimatycznych, obszar Nysy Łużyckiej będzie w dużym stopniu dotknięty zmianami klimatycznymi. Dlatego też szczególne znaczenie w tym regionie ma efektywne korzystanie z zasobów wodnych i opracowanie koncepcji zarządzania nimi. W ramach polsko-niemieckiej komisji do spraw wód granicznych oba kraje już od 1992 roku ściśle współpracują ze sobą w dziedzinie gospodarki wodnej i prowadzą wspólne uzgodnienia.

W związku z obserwowanymi zmianami klimatycznymi na świecie prowadzi się wiele badań mających na celu określenie skutków zmian klimatycznych na różne sektory. Przeprowadzenie kompleksowej analizy bilansu wodnego zlewni Nysy Łużyckiej nie było dotychczas w pełni możliwe, ponieważ nie ujmowano zmian klimatycznych i uznawano je za mało znaczące przy projektowaniu systemów wodnogospodarczych. Aby uwzględnić transgraniczny charakter badanego obszaru, konieczna jest oprócz Nysy Łużyckiej także symulacja wszystkich jej dopływów. Prawidłowe zarządzanie zasobami wodnymi możliwe jest tylko wtedy, gdy zostaną uwzględnione wszystkie czynniki kształtujące zasoby całego obszaru. Podjęcie takich działań możliwe jest jedynie w ramach projektów bilateralnych. Wychodząc naprzeciw tym potrzebom powstał projekt NEYMO, który jest dofinansowany w ramach Programu Operacyjnego Współpracy Transgranicznej Polska-Saksonia 2007-2013.

Treścią pierwszej wspólnej broszury projektu NEYMO jest charakterystyka warunków przyrodniczych w rejonie transgranicznym Nysy Łużyckiej. Przeprowadzona analiza minionych i obecnych warunków klimatycznych jest podstawą do dalszych badań nad możliwymi zmianami klimatu w obszarze, aż do końca obecnego stulecia. Na potrzeby tych analiz stworzona została pierwsza wspólna polsko-saksońska baza danych klimatycznych, obserwacyjnych i prognozowanych, która stanowi punkt wyjścia do dalszych prac nad projektem.

Prowadzone w ramach projektu analizy dotyczą parametrów, które odzwierciedlają zachowanie opadów w regionie. Analizy odnoszące się do temperatury prowadzone były w ramach projektu KLAPS i nie są szczegółowo opisane w niniejszej broszurze. Informacje na temat zależności termicznej można przeczytać w broszurze „KLAPS – Zmiany klimatu w regionie granicznym Polski i Saksonii”.

---

## Spis treści

<b>Przedmowa</b>	<b>3</b>
<b>1. Wprowadzenie do projektu NEYMO – Cele i struktura</b>	<b>6</b>
<b>2. Charakterystyka obszaru opracowania</b>	<b>10</b>
<b>3. Analiza klimatu</b>	<b>20</b>
<b>4. Projekcje klimatyczne</b>	<b>40</b>
<b>5. Perspektywa</b>	<b>62</b>
<b>Wykaz literatury</b>	<b>64</b>
<b>Wykaz rysunków</b>	<b>66</b>
<b>Wykaz tabel</b>	<b>68</b>
<b>Stopka redakcyjna</b>	<b>69</b>

1

Wprowadzenie

## 1. Wprowadzenie do projektu NEYMO – Cele i struktura

**N** EYMO jest akronimem tytułu projektu: Lausitzer **Neiße/ Nysa** Łużycka – **M**odelowanie klimatyczne i hydrologiczne, analiza i prognoza. Projekt finansowany jest z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego (EFRR). Realizowany jest on w ramach trzeciego celu operacyjnego programu wspierania współpracy transgranicznej pomiędzy Polską i Saksonią na lata 2007-2013.

Badania transgraniczne w dziedzinie nauk przyrodniczych są zazwyczaj bardzo trudne, ponieważ nie mogą być wykorzystane niezbędne dane, bądź są one niedostępne, wiedza specjalistyczna o regionie jest ograniczona, a zrozumienie poszczególnych metod i sposobów postępowania jest różne.

Projekt NEYMO ma na celu zbadanie obecnych jak i przyszłych warunków klimatycznych i hydrologicznych oraz zasobów wodnych w zlewni Nysy Łużyckiej. Scharakteryzowanie bilansu wodnego badanego obszaru jest szczególnie skomplikowane ze względu na wpływ użytkowania wody zarówno przez kopalnie odkrywkowe jak i innych użytkowników. W ramach tego projektu dąży się do uzyskania następujących wyników:

- Wspólna, homogeniczna baza danych.
- Wspólna metodyka (polskiej, jak i niemieckiej strony).
- Wskaźniki meteorologiczne.
- Modelowane projekcje klimatycznych na przyszłe lata.
- Rozwój lub trend modelowanych danych klimatycznych.
- Całościowy bilans wodny dla stanu obecnego z uwzględnieniem poborów wody.
- Całościowy bilans wodny na przyszłe lata z uwzględnieniem poborów wody.
- Rozwój lub trend przyszłych zasobów wodnych.
- Stworzenie podstaw do uzgodnienia dotyczących gospodarki wodnej na szczeblu międzynarodowym.
- Wpływ na świadomość zainteresowanych stron i opinii publicznej.
- Wspólne strategie efektywnej gospodarki zasobami wodnymi w przygraniczu.

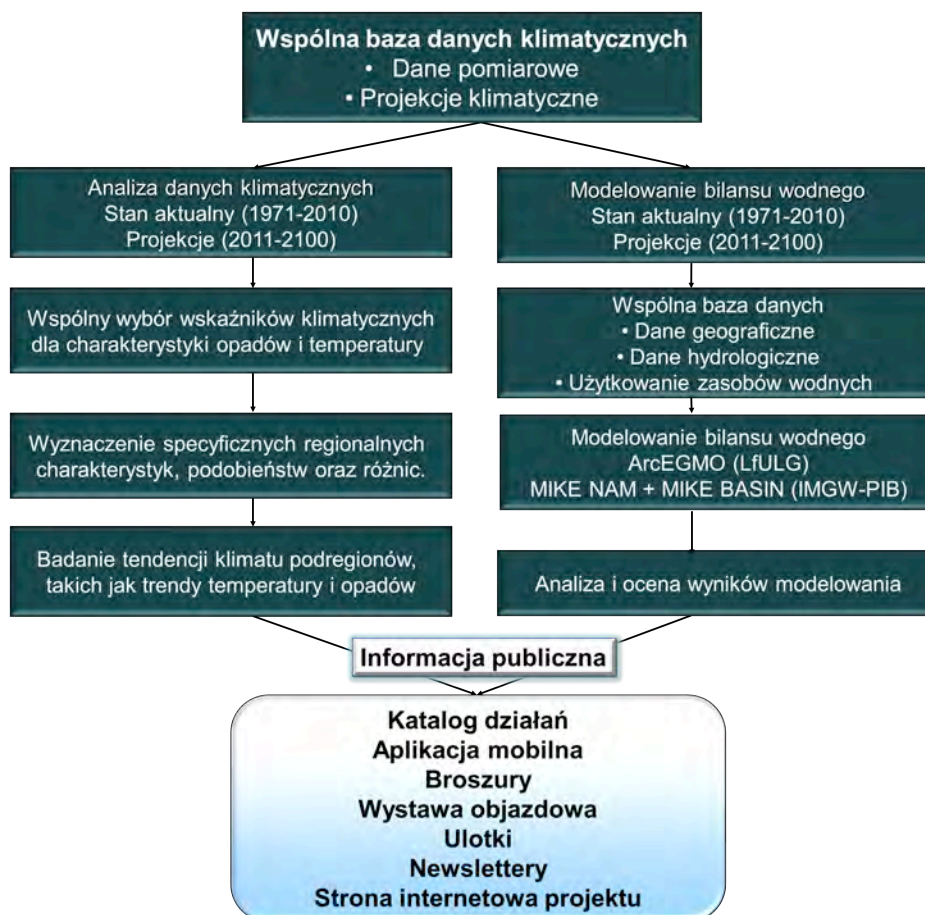
Wdrożenie założonych celów następuje w kilku pakietach roboczych: przygotowanie, diagnoza i analiza danych, włączając modelowanie klimatu oraz bilansu wodnego.

Realizacja omawianego projektu rozpoczęła się w dniu 17.07.2012 przez Kick-Off-Meeting i kończy się w grudniu 2014. Obszarem opracowania jest zlewnia Nysy Łużyckiej po polskiej i niemieckiej stronie granicy. Część zlewni położona jest Czechach, gdzie Nysa ma swoje źródło. Z tego względu obszar źródłiskowy Nysy Łużyckiej musi być uwzględniony w modelowaniu bilansu wodnego. Obszar Brandenburgii nie jest natomiast brany pod uwagę przez stronę niemiecką, ponieważ leży poza obszarem wsparcia.

Interesariusze oraz opinia publiczna są informowani o wynikach tego projektu za pomocą różnorodnych materiałów informacyjnych. Po pierwsze, poprzez prezentacje publiczne, broszury,



newslettery, ulotki, jak również poprzez działania promocyjne na dużą skalę jak np. wystawy objazdowe oraz katalog działań, w ramach, których prezentowane są najważniejsze wyniki projektu. Rysunek 1 przedstawia najważniejsze etapy wdrażania celów projektu.



Rysunek 1: Schemat wdrażania projektu





2

Charakterystyka  
obszaru  
opracowania

## 2. Charakterystyka obszaru opracowania

### 2.1. Cechy ogólne

Zlewnia Nysy Łużyckiej znajduje się na pograniczu trzech państw: Rzeczypospolitej Polskiej, Republiki Federalnej Niemiec i Republiki Czeskiej (Rysunek 2). Powierzchnia omawianej zlewni wynosi 4395 km<sup>2</sup>, z czego na terytorium Republiki Czeskiej znajduje się 9%, na terytorium Niemiec 33%, a na terytorium Polski 58%. Całkowita długość rzeki wynosi 246 km. Górny odcinek rzeki o długości 48,39 km znajduje się na terytorium Czech, a pozostały odcinek, aż do ujścia do Odry (w km 542,4 km jej biegu), stanowi granicę między Republiką Federalną Niemiec a Rzeczpospolitą Polską. Źródła rzeki znajdują się w Republice Czeskiej, na południowo-zachodnich stokach Gór Izerskich w pobliżu miejscowości Bedrichowo. Główne dopływy po stronie polskiej to: Miedzianka, Witka, Czerwona Woda, Jędrzychowicki Potok, Bielawka, Żółta Woda, Skroda, Wodra i Lubsza, natomiast po stronie niemieckiej: Mandau, Pließnitz, Floßgraben, Föhrenfließ, Malxe, Schwarze Fließ i Buderoser Mühlenfließ.

Pod względem administracyjnym obszar zlewni Nysy Łużyckiej na terenie Polski położony jest na terenie dwóch województw: dolnośląskiego (71,5%) i lubuskiego (28,5%). Po stronie niemieckiej obszar zlewni Nysy Łużyckiej położony jest w obrębie dwóch krajów związkowych: Saksonii oraz Brandenburgii.

Ze względu na ukształtowanie powierzchni terenu i budowę geologiczną zlewnię Nysy Łużyckiej można podzielić na dwie części: południową – górską wraz z pogórzem (ok. 40% zlewni) i północną – niziną (ok. 60%) (Jarvis et al. 2008, SRTM data).



Rysunek 2: Transgraniczna zlewnia Nysy Łużyckiej (Jarvis et al. 2008, SRTM data)

### 2.2. Charakterystyka klimatu

Klimat jest komponentem środowiska przyrodniczego, który odgrywa istotną rolę w funkcjonowaniu całego ekosystemu.

Klimat zlewni Nysy Łużyckiej i jej otoczenia zaliczany jest do grupy klimatów umiarkowanych. Zgodnie z klasyfikacją Koeppena obszar ten położony jest w strefie klimatu umiarkowanie ciepłego o równomiernym rozkładzie opadów (symbol Cfb).

Warunki klimatyczne obszaru badań projektu Neymo kształtowane są przez zespół czynników radiacyjnych, cyrkulacyjnych, geograficznych i antropogenicznych. Do czynników radiacyjnych, które decydują o dopływie promieniowania słonecznego należy m.in.: kąt padania promieni słonecznych i długość dnia. Z uwagi na niewielką rozciągłość południkową obszaru badań, wpływ tych czynników na różnicowanie wielkości dopływu promieniowania słonecznego jest nieznaczny. Elementem różnicującym dopływ promieniowania słonecznego jest natomiast zachmurzenie.

Klimat obszaru badań jest ściśle związany z położeniem w strefie cyrkulacji zachodniej, co wiąże się z przeważającym napływem mas powietrza z zachodu oraz szybkim przemieszczaniem się układów barycznych. Najczęściej napływają wilgotne masy powietrza polarno-morskiego, które przemieszczają się znad Oceanu Atlantyckiego. W przypadku adwekcji z sektora wschodniego napływają stosunkowo suche masy powietrza polarno-kontynentalnego. Natomiast najrzadziej występuje cyrkulacja południkowa, która sprzyja napływowi mas powietrza arktycznego z północy lub mas powietrza zwrotnikowego z południa. Napływające masy powietrza różnią się właściwościami termiczno-wilgotnościowymi, które są uzależnione od obszaru źródłowego masy.

Do czynników geograficznych kształtujących klimat obszaru badań należą: równoleżnikowy układ krain geograficznych w Europie Środkowej i Zachodniej, odległość od Oceanu Atlantyckiego i Morza Bałtyckiego oraz urozmaicona rzeźba terenu i zróżnicowanie wysokości bezwzględnej jak też rodzaj pokrycia terenu. Znaczne zróżnicowanie wysokości bezwzględnej (20-1603 m n.p.m.) obszaru badań projektu Neymo, ma istotny wpływ na warunki klimatyczne. W części południowej obszaru, zróżnicowanie hipsometryczne powoduje wyodrębnienie się charakterystycznego dla obszarów górskich piętrowego układu stref klimatycznych. Wraz ze wzrostem wysokości bezwzględnej następuje spadek temperatury powietrza, wzrost opadów, a także ich zróżnicowanie w zależności od formy terenu i ekspozycji. Powstają zastoiska chłodu i lokalne systemy cyrkulacji.

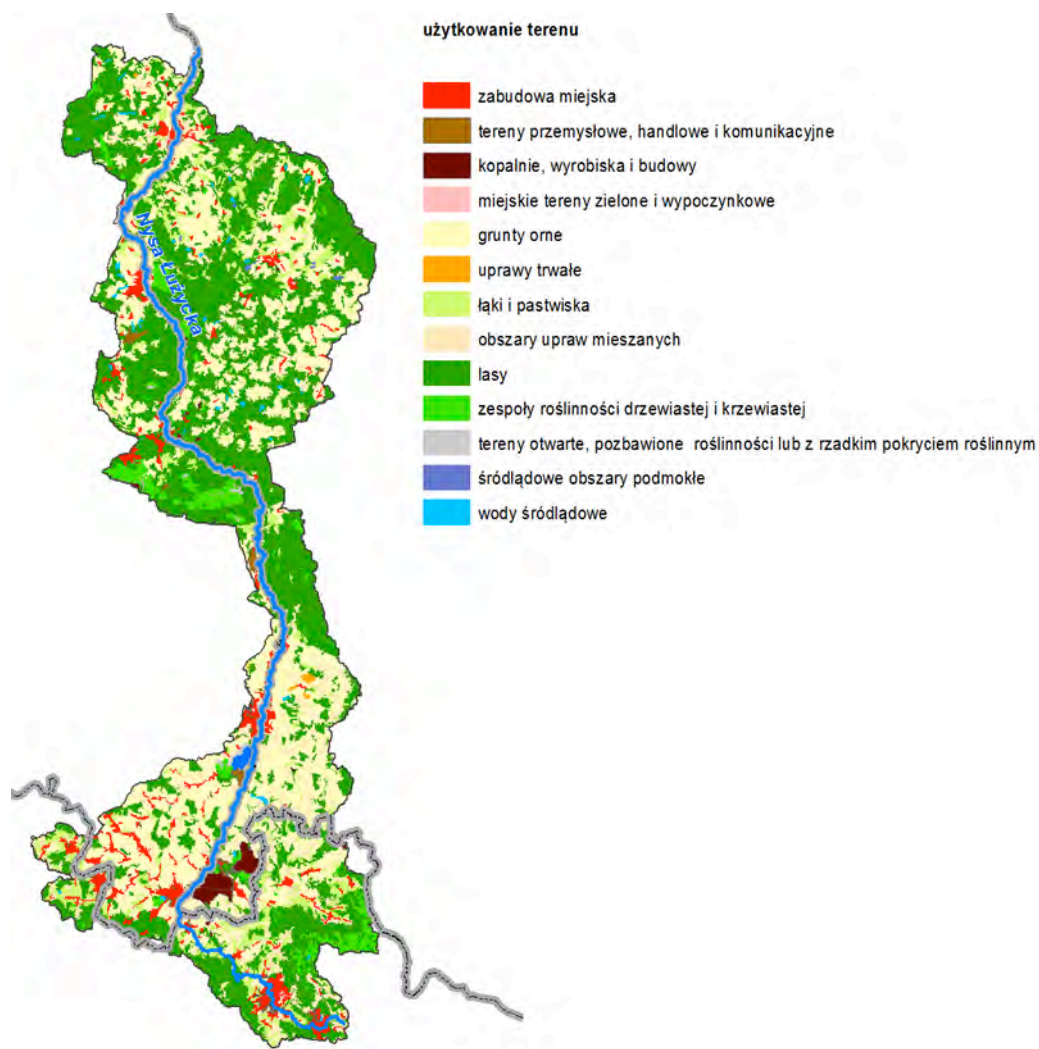
Natomiast czynniki antropogeniczne, do których należą m.in.: przekształcenia naturalnego pokrycia terenu (w tym odkrywki węgla brunatnego) oraz zmiany składu chemicznego atmosfery w wyniku emisji zanieczyszczeń, wpływają zwłaszcza na klimat obszarów miejsko-przemysłowych.

### 2.3. Użytkowanie terenu

W zlewni Nysy Łużyckiej dominują dwa typy użytkowania terenu – leśny i rolny. Procentowy udział lasów w obszarze zlewni Nysy Łużyckiej wynosi łącznie około 43,5%. Obszary użytkowane rolniczo stanowią łącznie ok. 45%, w tym grunty orne 29,5%, obszary upraw mieszanych 8%, łąki i pastwiska 7,5% (Rysunek 3). Natomiast obszary zurbanizowane nie przekraczają 5%. Największymi obszarami miejskimi są: Liberec, Zittau, Bogatynia, Zgorzelec / Görlitz, Forst, Gubin / Guben.

Dobra sieć połączeń komunikacyjnych oraz rozwój miast granicznych przyczyniają się do poprawy turystyki transgranicznej, agroturystyki (ekoturystyki) i turystyki aktywnej (ścieżki rowerowe, piesze, ścieżki turystyki konnej) rozwijanej na terenach po obu stronach granicy państwowej zarówno w Polsce, jak i w Niemczech.

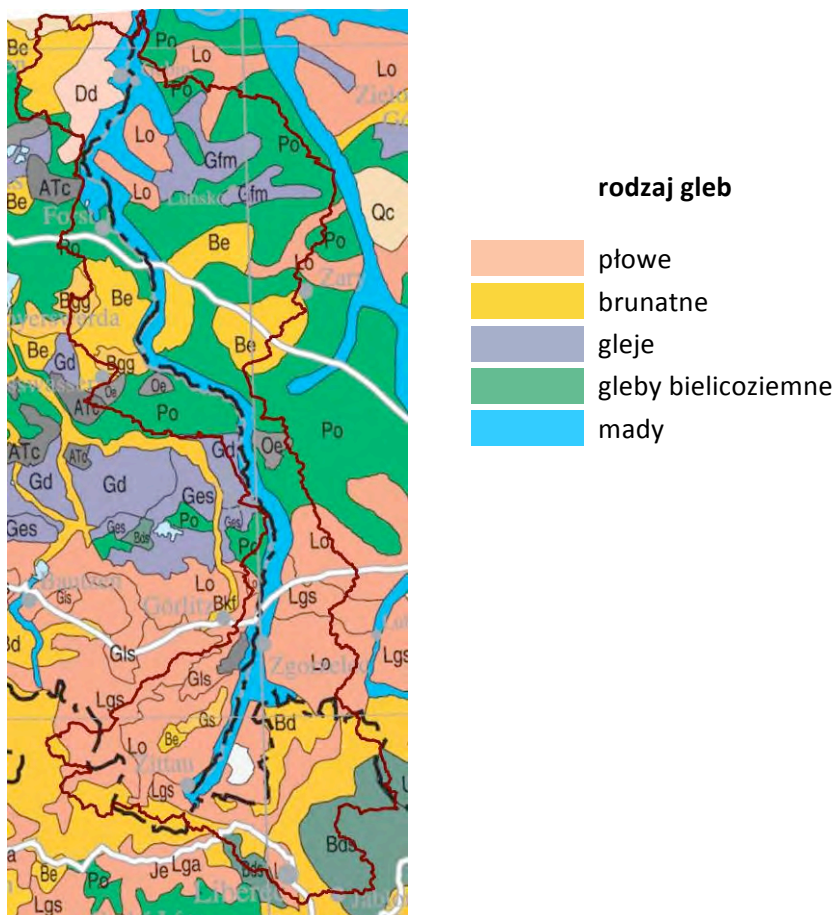
W zlewni Nysy Łużyckiej występują wielkoobszarowe tereny antropogenicznie przekształcone (w tym obszary wielkopowierzchniowych odkrywek węgla brunatnego). W niemieckiej części obszaru zlewni działają trzy odkrywki węgla brunatnego Nochten, Reichwalde i Jänschwalde, po polskiej zaś jedna: Turów.



Rysunek 3: Użytkowanie terenu (Corine Land Cover 2006)

## 2.4. Gleby

Na terenie zlewni Nysy Łużyckiej najbardziej rozpowszechnione są gleby płowe. Występują one zarówno po polskiej, jak i niemieckiej stronie omawianej zlewni. Wzdłuż rzek występują głównie mady. Poza tym występują gleby brunatne, gleje i gleby bielicoziemne. Występowanie poszczególnych typów gleb przedstawione jest na Rysunek 4 (ESDB 2004, Panagos et al. 2012).



Rysunek 4: Rodzaje gleb w zlewni Nysy Łużyckiej - wyciąg z Europejskiego Atlasu Gleb 2005

### Niemcy

Republikę Federalną Niemiec można podzielić na sześć głównych obszarów z różnymi czynnikami glebotwórczymi. Dla omawianej zlewni znaczenie ma przede wszystkim strefa przejściowa z obszaru nizinnego do centrum regionu górskiego. Obszar ten charakteryzuje się występowaniem pasa gleb lessowych z glebami płowymi i glejowymi.

### Polska

Występowanie poszczególnych typów gleb uwarunkowane jest przede wszystkim pochodzeniem materiału pierwotnego oraz ukształtowania terenu. W omawianej zlewni wyodrębnić można następujące strefy:

- Piaski fluwioglacjalne (gleby bielicoziemne).



- Szerokie, płaskie strefy peryglacjalne oddzielone poprzez szerokie, płaskie doliny równoległe, które odcięte zostały strumieniami wód roztopowych.
- Stare, zerodowane góry i wzniesienia pokryte lessem i sedymentami polodowcowymi.
- Strefa górską Sudetów.

### 2.5. Geologia

Budowa geologiczna obszaru zlewni Nysy Łużyckiej zmienia się wraz z jej biegiem. W jej obrębie można wyróżnić pięć głównych geologicznych jednostek strukturalnych. Są to: blok karkonosko-izerski, metamorfik kaczawski, depresja północnosudecka, peryklina Żar oraz monoklina przedsudecka.

W górnym biegu rzeki charakterystyczne są skały krystaliczne i metamorficzne bloku karkonosko-izerskiego, na których zlokalizowane są górnoluzyckie pokłady węgla brunatnego (utworzone w lokalnym Obniżeniu Żytawsko-Zgorzeleckim, o miąższości do 80 m). W środkowym i dolnym biegu obszar zlewni Nysy Łużyckiej obejmuje teren rozległych dolnołużyckich pokładów (stąd ich specyficzne cechy tzn. 100 km rozciągłości i ok. 10 m miąższości). Na nich znajdują się czwartorzędowe utwory lodowcowe i wodnolodowcowe w postaci glin zwałowych, iłów, mułków, piasków i żwirów glacialnych i wodnolodowcowych.

### 2.6. Hydrologia

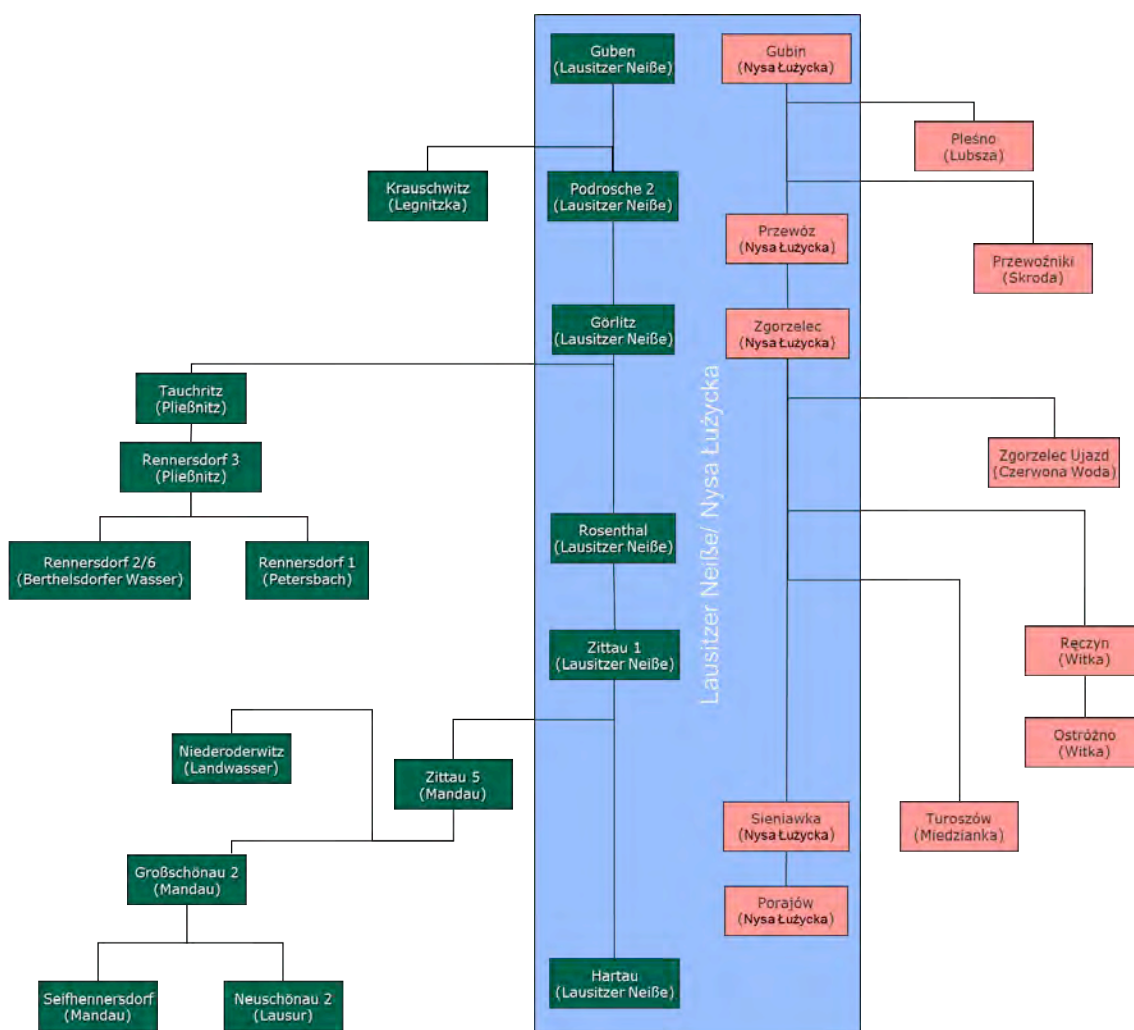
Rzeka główna w zlewni, Nysa Łużycka, jest lewym dopływem Odry o długości 246 km. Nysa Łużycka stanowi granicę pomiędzy Polską i Saksonią o długości 125 km. Swoją początek ma ona w rzekach źródłowych Weiße Neiße, Schwarze Neiße, Gablonzer Neiße, Wiesentaler Neiße wypływających z czeskich Gór Izerskich. Do najważniejszych polskich dopływów należą Miedzianka, Witka, Czerwona Woda, Jędrzychowicki Potok, Bielawka, Żółta Woda, Skroda, Wodra i Lubsza. Do niemieckich dopływów należą rzeki Mandau, Pließnitz, Floßgraben, Föhrenfließ, Malxe, Schwarzes Fließ oraz Buderoser Mühlenfließ jak i niewymienione mniej istotne dopływy.

W omawianej zlewni zlokalizowane są liczne posterunki wodowskazowe, na których dokonuje się pomiaru stanu i przepływu wody. Do wysokości wodowskazu Guben/ Gubin dostępnych jest 11 polskich i 17 niemieckich wodowskazów.

Rysunek 5 w schematyczny sposób prezentuje rozmieszczenie wodowskazów. Dane dotyczące stanu wody dostępne są w dobowych seriach czasowych dla lat od 1971 do 2010 i sprawdzone zostały pod względem jednorodności i spójności. Ewentualne luki w danych hydrologicznych zostały uzupełnione za pomocą regresji.

Dane pomiarowe natężenia przepływu nie odzwierciedlają w pełni stanu naturalnego. Na wskazania wodowskazów mają silny wpływ czynniki antropogeniczne, które związane są z poborem i zrzutem wody, co należy uwzględnić przede wszystkim przy kalibracji modelu.





Rysunek 5: Schemat rozmieszczenia wodowskazów

Tabela 1 przedstawia wartości natężenia przepływu średniego, średniego niskiego oraz średniego wysokiego dla polskich i niemieckich wodowskazów wzdłuż Nysy Łużyckiej. Łatwo zauważyć, że spływ jednostkowy maleje wraz ze zwiększającą się powierzchnią zlewni i malejącą wysokością. Podanie tego wskaźnika pozwala na porównanie zlewni o różnych powierzchniach.

Po niemieckiej stronie znajduje się 96 punktów do monitoringu wahań zwierciadła wód podziemnych, z których pomiary dostępne są od roku 1971 lub 1986. 63 punkty pomiarowe skoncentrowane są wokół miejscowości Zittau (Żytawa) i należą one do sieci pomiarowej kopalni odkrywkowej. Po polskiej stronie znajduje się 109 punktów monitoringu wód podziemnych.

Głębokość zwierciadła wód podziemnych w zlewni według Mapy Hydrograficznej Polski w skali 1:50.000 wynosi najczęściej 5 do 10 metrów pod powierzchnią terenu.

Tabela 1: Główne charakterystyki wodowskazów na Nysie Łużyckiej

wodowskaz	powierzchnia [km <sup>2</sup> ]	SSQ [m <sup>3</sup> /s]	SNQ [m <sup>3</sup> /s]	SWQ [m <sup>3</sup> /s]	wskaźnik [l/(s*km <sup>2</sup> )]
Hartau	378	5,99	1,68	68,7	15,8
Porajów	388	6,06	1,28	71,0	15,6
Zittau 1	694	9,03	2,31	128	13,01
Sieniawka	693	8,94	2,06	137	12,9
Rosenthal	879	10,6	3,08	123	12,1
Görlitz	1633	17,2	4,92	181	10,5
Zgorzelec	1630	15,5	3,47	180	9,51
Podrosche 2	2074	17,4	5,27	154	8,0
Przewóz	2108	19,3	5,43	185	9,16
Gubin	4080	28,8	9,27	179	7,06

Ogólnie rzecz biorąc omawiana zlewnia charakteryzuje się wysokim parowaniem, niewielkim wpływem powierzchniowym, znaczną infiltracją i średnim tempem odnawiania się zasobów wód podziemnych.

Region został jednak znacznie zmieniony przez człowieka. Oprócz trzech aktywnych odkrywek na zmiany zasobów wodnych mają wpływ liczne elektrownie wodne a także pobory wody, np. dla zaopatrzenia ludności w wodę pitną bądź dla przemysłu. Eksploatacja złóż węgla brunatnego przez kopalnie Turów, Reichwalde i Nochten wymaga prowadzenia odwodnień górniczych, mających na celu utrzymanie niskiego poziomu wód podziemnych. Odpompowana woda podziemna zrzucana jest do wód powierzchniowych na terenie zlewni jak i poza nią. Nieaktywne odkrywki jak np. Berzdorfer oraz Olbersdorfer See także mają wpływ na zmianę bilansu wodnego. Zostały one zapełnione wodami powierzchniowymi, co spowodowało odbudowę zwierciadła wód podziemnych. Ze względu na różnego rodzaju użytkowanie wody, pobierana jest ona zarówno z wód powierzchniowych jak i gruntowych i częściowo nie jest zwracana. Elektrownie wodne powodują jedynie zmianę biegu rzeki na krótkim odcinku.

Wszystkie wspomniane sposoby wykorzystania wody mają wpływ na całociowy bilans wodny i muszą być brane pod uwagę w trakcie modelowania hydrologicznego.

## 2.7. Obszary chronione

W obrębie zlewni Nysy Łużyckiej, zarówno po stronie polskiej jak i po stronie niemieckiej, występują liczne formy ochrony przyrody. Najwyższą rangę w polskiej części zlewni mają dwa parki krajobrazowe - Park Krajobrazowy Łuk Mużakowa (w obrębie, którego znajduje się bilateralny Geopark Łuk Mużakowa) oraz fragment Krzesińskiego Parku Krajobrazowego, w ujściowym odcinku Nysy Łużyckiej (Rysunek 6). W obrębie zlewni Nysy Łużyckiej znajdują się (w całości lub w części) liczne obszary objęte formą ochrony w postaci obszarów Natura 2000, wyznaczonych na potrzeby wypełnienia wytycznych głównie Dyrektywy Siedliskowej oraz Dyrektywy Ptasiej. Znaczny ich udział jest w środkowej i dolnej części zlewni Nysy Łużyckiej. Lokalnie tą formą ochrony przyrody objęte są najcenniejsze odcinki głównego cieku, obejmujące rzekę i tereny bezpośrednio przyległe.

**Legenda**

- Granica zlewni Nysy Łużyckiej
- Geopark
- Parki Krajobrazowe

**Natura 2000 - Polska**

- BORY DOLNOSLASKIE
- BROZEK
- DABROWY GUBINSKIE
- DOLINA LUBSZY
- JEZIORA BRODZKIE
- JEZIORO JANISZOWICE
- LAS ZARSKI
- LEGI NAD NYSĄ LUZYCKĄ
- LUBSKI LEG ŚNIEZYCOWY
- MIERKOWSKIE WYDMY
- MOPKOWY TUNEL KOŁO KRZYSTKOWIC
- PIENSKA DOLINA NYSY LUZYCKIEJ
- PRZEŁOMOWA DOLINA NYSY LUZYCKIEJ
- PRZYGIELKOWISKA KOŁO GOZDNICY
- SKRODA
- TORFOWISKA GÓR IZERSKICH
- UROCZYSKA BORÓW DOLNOSLASKICH
- UROCZYSKA BORÓW ZASIECKICH
- WILKI NAD NYSĄ

**Natura 2000 - Niemcy**

- Basalt- und Phonolithkuppen der östlichen Oberlausitz
- Eichgrabener Feuchtgebiet
- Hochlagen des Zittauer Gebirges
- Mandautal
- Muskauer Faltenbogen
- Neißengebiet
- Niederspreer Teichgebiet und Kleine Heide Hähnichen
- Pließnitzgebiet
- Raklitz und Teiche bei Rietschen
- Separate Fledermausquartiere und -habitate in der Lausitz
- Truppenübungsplatz Oberlausitz
- Wälder und Feuchtgebiete bei Weißkeißel

● Natura 2000

Separate Fledermausquartiere und -habitate in der Lausitz



Rysunek 6: Obszary Natura 2000 i parki krajobrazowe w zlewni Nysy Łużyckiej (BfN 2014, GeoBasis-De/BKG 2011)



3

# Analiza klimatu

### 3. Analiza klimatu

#### 3.1. Dane meteorologiczne

Podstawowymi danymi były szeregi czasowe dobowych wartości elementów meteorologicznych (Tabela 2) z sieci pomiarowych: Niemiec (DWD), Czech (ČHMÚ) i Polski (IMGW-PIB). Podstawę badań i analiz w projekcie, ze względu na dostępność danych dla obszaru opracowania, stanowiły dane z wielolecia 1971-2010.

Tabela 2: Podstawowe elementy klimatu (mierzone) oraz parametry wyznaczone na podstawie wartości mierzonych

Elementy klimatu	Skrót	Jednostka	Liczba stacji
<b>mierzone</b>			
temperatura maksymalna powietrza	TX	°C	18
średnia temperatura powietrza	TM	°C	24
temperatura minimalna powietrza	TN	°C	27
opad atmosferyczny	RR	mm	100
wilgotność względna powietrza	RF	%	21
uśonecznienie	SD	h	13
prędkość wiatru (10 m)	FF	m/s	18
ciśnienie atmosferyczne	PP	hPa	24
ciśnienie pary wodnej	DD	hPa	21
zachmurzenie	NN	oktan	13
<b>wyznaczone</b>			
opad atmosferyczny skorygowany	RK	mm	100
promieniowanie całkowite	GS	J/cm <sup>2</sup>	13
parowanie potencjalne	ET	mm	13
ewapotranspiracja potencjalna (powierzchnia referencyjna - trawa)	GR	mm	11

Analizy klimatu, opracowanie projekcji zmian klimatu oraz modelowanie bilansu wodnego wymagają długich, kompletnych i sprawdzonych serii czasowych. Niehomogeniczne lub błędne dane mogą prowadzić do fałszywych wniosków. Spójne, transgraniczne, o wysokiej jakości ciągi danych elementów klimatu uzyskano poprzez zastosowanie następującej procedury:

- sprawdzenie wiarygodności i korekta,
- uzupełnienie luk,
- sprawdzenie jednorodności.

#### Sprawdzenie wiarygodności i korekta

Sprawdzono uwarunkowane właściwościami fizycznymi wartości graniczne zakresu elementów klimatu, w przypadku ich przekroczenia wartości te były odrzucane i traktowane jako luki pomiarowe. Następnie sprawdzono i ewentualnie skorygowano wartości temperatury minimalnej, średniej i maksymalnej, tak aby np. temperatura minimalna była zawsze niższa od temperatury maksymalnej.

#### Uzupełnianie luk

Uzupełnianie luk zostało przeprowadzone w czterech etapach:

- Uzupełnianie elementów klimatu na podstawie danych z tej samej stacji (dotyczy: DD, RF, SD).
- Uzupełnianie elementów klimatu na podstawie danych z sąsiednich stacji (dotyczy: TX, TM, TN, RR, RF, SD, FF).
- Uzupełnianie elementów klimatu na podstawie danych z tej samej stacji, wyznaczonych przy pomocy dwóch powyższych metod (dotyczy: DD, PP).
- Obliczenie zmiennych drugorzędnych na podstawie danych z tej samej stacji (dotyczy: RK, GS, ET, GR).

Podstawowym wymogiem uzupełniania luk była dostępność danych z przynajmniej 2/3 okresu 1971 -2010. Wiarygodne uzupełnienie luk nie jest możliwe, gdy brakuje ponad 1/3 danych określonego zbioru, w takich przypadkach uzupełnianie nie było przeprowadzane. Wymienione powyżej cztery etapy uzupełnienia luk są opisane w ramce 1.

#### Ramka 1: Etapy uzupełnienia luk w szeregach czasowych

##### 1. Uzupełnianie elementów klimatu na podstawie danych z tej samej stacji

Biorąc pod uwagę średnią temperaturę dobową możliwe jest obliczenie ciśnienia pary nasyconej za pomocą wzoru Magnusa. W zależności od dostępności danych możliwe jest uzupełnienie luk w szeregach czasowych wilgotności względnej powietrza lub prężności pary wodnej. Za pomocą kompleksowej metody możliwe jest na podstawie zachmurzenia wyznaczenie promieniowania całkowitego i usłonecznienia (patrz również punkt 4). Ocenę wiarygodności algorytmów uzupełnienia luk przeprowadzono poprzez porównanie wartości mierzonych z obliczonymi.

##### 2. Uzupełnianie elementów klimatu na podstawie danych z sąsiednich stacji

Jeśli nie jest możliwe uzupełnienie danych na podstawie pomiarów z danej stacji, wykorzystuje się dane ze stacji sąsiednich. W przypadku elementów RR, TN, SD, NN, RH oraz DD korzysta się w każdym kroku czasowym z trzech najbliższych położonych stacji, z których dostępne są dane. Za pomocą metody interpolacji - odwrotnych odległości IDW (inverse distance weighting) oblicza się brakujące wartości. W przypadku elementów TM, TX oraz FF określa się zazwyczaj występującą zależność pomiędzy wartościami i wysokością stacji (regresja). Zależność ta jest wykorzystywana do obliczenia elementów klimatu dla określonej stacji i trzech sąsiednich stacji. Występujące nadal odchylenia między obserwowanymi i wyznaczonymi wartościami były interpolowane metodą IDW i dodatkowo dodawane do danych ze stacji z niekompletnymi seriami.

##### 3. Uzupełnienie elementów klimatu na podstawie danych z tej samej stacji, wyznaczonych przy pomocy dwóch powyższych metod

W tym etapie możliwe są dalsze obliczenia wybranych parametrów na podstawie wcześniej wyznaczonych elementów.

##### 4. Obliczenie drugorzędnych elementów klimatu na podstawie danych z tej samej stacji (dotyczy: RK, GS, ET, GR)

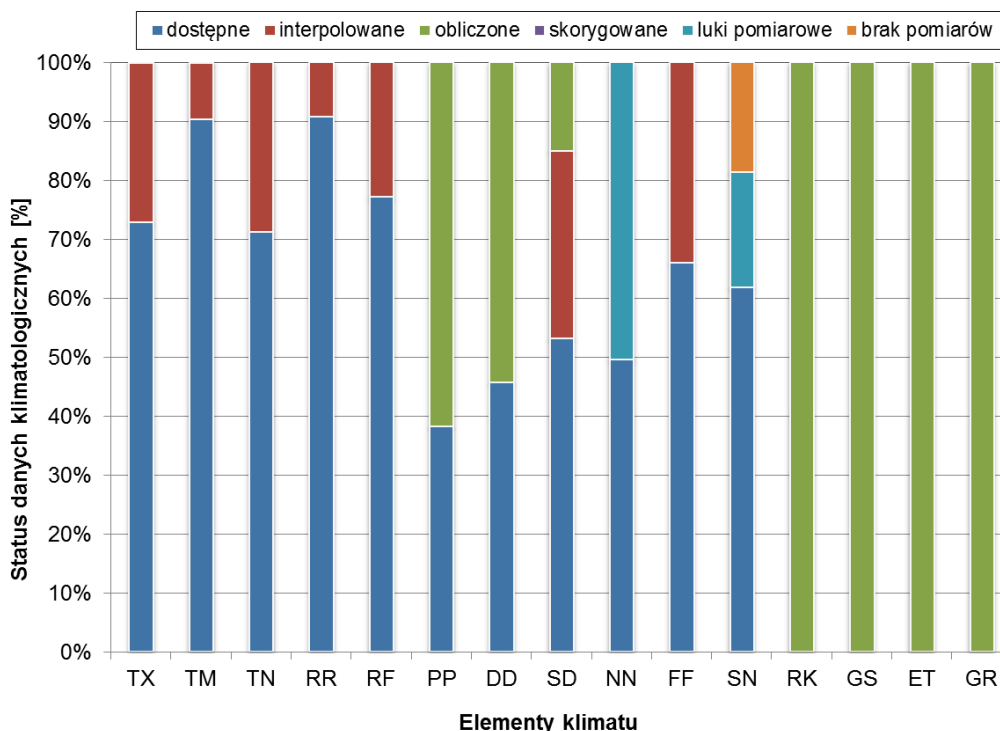
Pomiary opadów atmosferycznych obarczone są błędami (wiatr, parowanie), przy czym najbardziej istotne błędy są spowodowane wiatrem. W Niemczech dokonuje się zwykle korekty pomiarów opadów, ponieważ zaleca się w przypadku badań bilansu wodnego, uwzględnianie opadów skorygowanych. Najczęściej stosowaną metodą korekty opadów jest metoda Richtera (1995).



W celu określenia promieniowania całkowitego na podstawie zmierzonego usłonecznienia korzysta się z semi-empirycznej metody Ångströma (1924).

Parowanie potencjalne oblicza się za pomocą metody Turca-Wendlinga (DVWK, 1996). Przy tej metodzie wymagana jest niewielka liczba zmiennych wejściowych (GS, TM), co jest korzystne przy niezadawalającej dostępności danych. Ewapotranspiracja potencjalna (dla powierzchni referencyjnej – trawa) określana jest według standardu FAO (ATV-DVWK, 2002) i wymaga dużej liczby parametrów wejściowych (TM, RF, FF, GS).

Rysunek 7 przedstawia procentowy udział danych: oryginalnych, uzupełnionych i luk pomiarowych oraz danych obliczonych i skorygowanych (przez sprawdzenie wiarygodności) w szeregach czasowych poszczególnych elementów klimatu.



**Rysunek 7: Dostępność danych meteorologicznych wg poszczególnych elementów, 1971-2010, zlewnia Nysy łużyckiej**

Wyniki uzupełnienia luk zostały sprawdzone pod względem wiarygodności za pomocą kilku metod. Między innymi porównane zostały wartości statystyczne danych oryginalnych z uzupełnionymi. Wszystkie metody sprawdzające wykazały wysoką wiarygodność uzupełnionych luk, z kilkoma wyjątkami. Zidentyfikowane problemy w niektórych ciągach danych nie mogły zostać rozwiązane, dlatego też dane te zostały wykluczone z dalszych analiz. Dane dotyczące prędkości wiatru i temperatury powietrza ze stacji Szrenica nie zostały uzupełnione w sposób wiarygodny. Wartości od października 2002 są zbyt niskie i charakteryzują się zbyt wysokimi wahaniami pomiędzy poszczególnymi dniami. Ponadto stwierdzono zaniżenie wartości usłonecznienia obliczonego z promieniowania całkowitego na podstawie zachmurzenia, w porównaniu do usłonecznienia obserwowanego. Dla stacji Kubschütz, Słubice, Zgorzelec i Szczawno Zdrój nie obliczono

wiarygodnych wartości usłonecznienia. Z tego względu, dla tych stacji, nie jest możliwe wyznaczenie ewapotranspiracji potencjalnej oraz klimatycznego bilansu wodnego.

#### Sprawdzenie jednorodności

Szeregi czasowe opadów i temperatury powietrza poddane zostały kompleksowemu sprawdzeniu jednorodności. Przed uzupełnieniem luk należało sprawdzić czy nie została zerwana jednorodność, spowodowana na przykład przez zmianę urządzeń pomiarowych lub przeniesienie stacji. Ponowne sprawdzenie danych po uzupełnieniu luk pozwala na identyfikację niejednorodności, które powstały po zastosowaniu algorytmów uzupełniania danych. Szczegóły dotyczące sprawdzenia jednorodności danych przedstawione są w ramce 2. Badane szeregi czasowe temperatury powietrza i opadów mogą zostać uznane za jednorodne po wcześniejszym sprawdzeniu. Jedynie wspomniane już powyżej dane ze stacji Szrenica oraz usłonecznienie ze stacji: Kubschütz, Słubice, Zgorzelec i Szczawno Zdrój zostały wykluczone ze względu na niejednorodność.

#### Ramka 2: Sprawdzenie jednorodności

Sprawdzenie jednorodności podzielić można na analizę przygotowującą (analiza błędnych wartości i obserwacji odstających), test procesu stacjonarnego oraz względne sprawdzenia jednorodności w formie numerycznej i graficznej. Zastosowane metody bazują na porównaniu sprawdzanego szeregu z jednorodnym szeregiem referencyjnym. Zastosowane zostały następujące metody: Alexanderssona (1986), Buishanda (1982), kryterium jednorodności według Abbe (Schönwiese, 2006), a także graficzne sprawdzenia według Craddocka (1979), analiza podwójnej sumy (Dyck, 1976), linie różnicy sum (Dyck i Peschke, 1995) oraz porównanie ilorazów według Hanna (1897). Stwierdzenie jednorodności danego szeregu nie jest często jednoznaczne, ponieważ stosowane metody nie są jednakowo czułe. Z tego względu konieczna jest fachowa, subiektywna ocena wszystkich wyników testów określonego szeregu. Za najistotniejszy uważany jest test Alexanderssona, ponieważ daje on możliwość korekty stwierdzonej niejednorodności.

Po uzupełnieniu luk oraz w wyniku zastosowanych testów na badanie jednorodności, uzyskany został transgraniczny, sprawdzony i pozbawiony nieciągłości zbiór danych do dalszych analiz w projekcie (Bernhofer i Franke, 2013). Uzyskana została wysokiej jakości baza danych meteorologicznych obejmująca obszar transgraniczny uwzględniony w projekcie Neymo.

### 3.2. Metody

Warunki klimatologiczne scharakteryzowano na podstawie wybranych wskaźników, które zostały obliczone na podstawie wartości dobowych. Za pomocą tych wskaźników mogą zostać również zidentyfikowane zmiany klimatu (Nicholls i Murray, 1999; Moberg i Jones, 2005; Klein Tank *et al.*, 2009; ECA & D, 2012).

Przeanalizowane zostały następujące grupy wskaźników, dotyczące:

- opadów atmosferycznych,
- temperatury powietrza,

- suszy atmosferycznej,
- promieniowania słonecznego oraz wskaźników kompleksowych.

Analizowane wskaźniki zdefiniowano poniżej wraz z podaniem skrótów stosowanych w tekście oraz jednostek. Jeśli nie zostało to dodatkowo oznaczone, wskaźniki te zostały obliczone według metody ECA&D (2012).

#### Wskaźniki opadów atmosferycznych

##### **Opad atmosferyczny RR [mm]**

Suma ciekłych i stałych opadów w określonym czasie.

##### **Dni z intensywnym opadem – R10mm, R90p [dni]**

Liczba dni z opadem powyżej lub równym 10 mm lub liczba dni z opadem większym niż 90. percentyl dobowej sumy opadów. Percentyl oblicza się na podstawie opadów dobowych (dni z opadem większym niż 1 mm) z okresu referencyjnego 1971-2000.

##### **Dni z ekstremalnymi opadami – R20mm, R95p [dni]**

Liczba dni z opadem powyżej lub równym 20 mm lub liczba dni z opadem większym niż 95. percentyl dobowej sumy opadów. Szczegóły opisane są w R90p.

##### **Dni z opadem powyżej 99. percentyla - R99p [dni]**

Liczba dni z opadem powyżej 99. percentyla dobowej sumy opadów. Szczegóły opisane są w R90p.

##### **Maksymalny opad dobowy - RX1day [mm]**

Najwyższy opad zmierzony w czasie jednej doby.

##### **Maksymalny opad 5-cio dniowy - RX5day [mm]**

Najwyższa suma opadów, która została zmierzona w ciągu pięciu kolejnych dni.

##### **Udział opadów intensywnych - R90pT [%]**

Suma opadów powyżej 90. percentyla w odniesieniu do całkowitej sumy opadów w określonym czasie.

##### **Udział opadów ekstremalnych - R95pT [%]**

Suma opadów powyżej 95. percentyla w odniesieniu do całkowitej sumy opadów w określonym czasie.

##### **Udział opadów powyżej 99. percentyla - R99pT [%]**

Suma opadów powyżej 99. percentyla w odniesieniu do całkowitej sumy opadów w określonym czasie.

### Wskaźniki suszy atmosferycznej

#### **Częstość występowania okresów bez opadów - DPF [-]**

Do okresów bez opadów zalicza się takie, w przypadku których przez kolejnych co najmniej 11 dni suma dobową opadów wynosi mniej niż 1 mm (SMUL 2008).

#### **Czas trwania okresów bez opadów - DPD [dni]**

Czas trwania okresów bezopadowych.

#### **Wskaźnik standaryzowanego opadu – SPI [-]**

Wskaźnik SPI jest obliczany na podstawie rozkładu prawdopodobieństwa sum opadów (McKee *et.al.*, 1993). Z tego względu wskaźnik ten może być stosowany przy porównywaniu regionów o różnej charakterystyce opadowej. Dodatnie wartości SPI charakteryzują okresy wilgotne, a ujemne okresy suche. Wskaźnik SPI może być wyznaczany dla różnych okresów: 3, 6 lub 12 miesięcy. SPI dla 3 miesięcy – koreluje z wilgotnością gleby i wskazuje na zagrożenie suszą glebową lub nadmierne uwilgotnienie gleby, SPI dla 6 lub 12 miesięcy – koreluje z przepływami w rzekach i wskazuje na zagrożenie suszą hydrologiczną.

### Wskaźniki temperatury powietrza

#### **Średnia temperatura powietrza - TG [°C]**

Średnia dobową temperatura powietrza.

#### **Minimalna temperatura powietrza - TN [°C]**

Dobowa temperatura minimalna powietrza.

#### **Maksymalna temperatura powietrza - TX [°C]**

Dobowa temperatura maksymalna powietrza.

#### **Dobowa amplituda temperatury powietrza – DTR [°C]**

Różnica pomiędzy maksymalną a minimalną dobową temperaturą powietrza.

#### **Ekstremalna różnica temperatury powietrza – ETR [°C]**

Różnica pomiędzy maksymalną a minimalną temperaturą powietrza w określonym przedziale czasu.

#### **Czas trwania okresu wegetacyjnego - GSL [dni]**

Meteorologiczny okres wegetacyjny rozpoczyna się, gdy w ciągu 6-ciu kolejnych dni średnia dobową temperatura powietrza przekracza 5°C. Okres ten kończy się, gdy w ciągu 6-ciu kolejnych dni średnia dobową temperatura powietrza wynosi poniżej 5°C. Czas trwania okresu wegetacyjnego oblicza się na podstawie daty rozpoczęcia i zakończenia.

#### Promieniowanie słoneczne oraz wskaźniki kompleksowe

##### **Uśłonecznienie - SS [godz.]**

Suma godzin z promieniowaniem bezpośrednim w określonym czasie.

##### **Parowanie potencjalne – PET [mm]**

Jest to wielkość umowna, która oznacza maksymalne możliwe parowanie z danej powierzchni przy zapewnieniu stałego nasycenia wodą. W opracowaniu zastosowano metodę Turca-Wendlinga (DVWK, 1996), która wymaga niewielkiej liczby danych wejściowych (promieniowanie całkowite i temperatura powietrza).

##### **Klimatyczny bilans wodny - KWB [mm]**

KBW jest określany jako różnica pomiędzy przychodami wody w postaci opadów, a stratami w procesie parowania (ewapotranspiracji). KBW określa stan uwilgotnienia środowiska. Ujemne wartości wskazują na niedobór opadów.

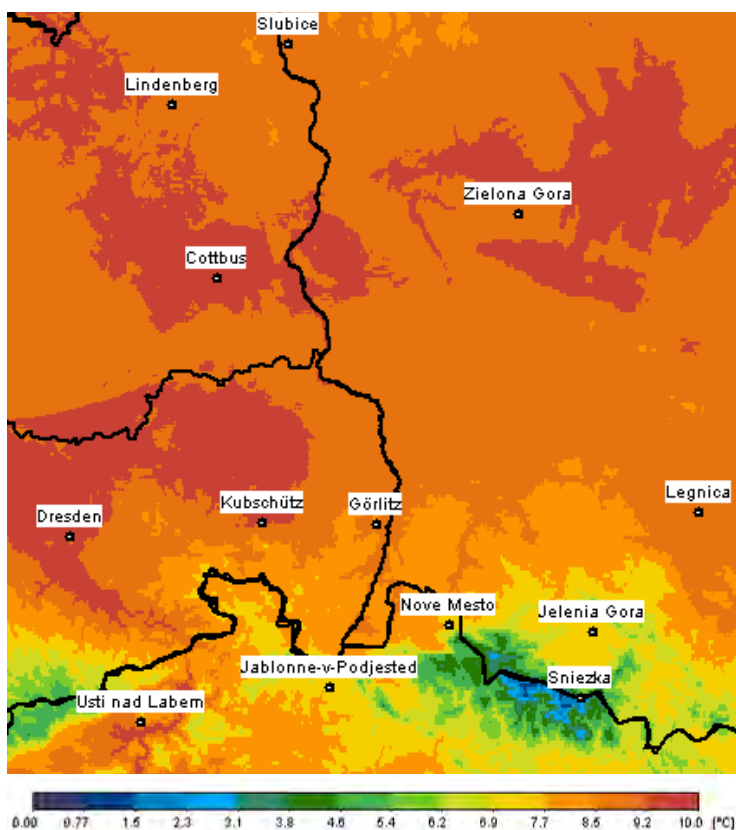
Dla wybranych wskaźników obliczono wartości średnie dla okresu referencyjnego (1971-2000). Natomiast w celu identyfikacji ewentualnych zmian klimatu określono trendy liniowe dla całego okresu 1971-2010. Istotność statystyczną trendów zmian na poziomie 0.1 sprawdzono testem Mann-Kendalla (Schönwiese, 2006). W innych przypadkach mówimy o tendencji. Niniejsza broszura obejmuje badania następujących okresów:

- Rok (od stycznia do grudnia).
- Letnie półrocze meteorologiczne (od kwietnia do września).
- Zimowe półrocze meteorologiczne (od października do marca).
- Wiosna (od marca do maja).
- Lato (od czerwca do sierpnia).
- Jesień (od września do listopada).
- Zima (od grudnia do lutego).

### 3.3. Wyniki analizy klimatu

#### 3.3.1. Temperatura powietrza

Rozkład przestrzenny temperatury powietrza w obszarze badań projektu Neymo charakteryzuje się wyraźnym zróżnicowaniem pomiędzy częścią nizinną a obszarem górskim (Sudety), Rysunek 8. Średnia roczna temperatura powietrza z wielolecia 1971-2000, wynosi od 0,6°C w strefie szczytowej Karkonoszy (Śnieżka) do ponad 9°C w części nizinnej regionu (Cottbus 9,3°C). W górach temperatura roczna obniża się wraz z wysokością o ok. 0,57°C /100 m.



Rysunek 8: Średnia temperatura roczna w okresie referencyjnym 1971-2000 (utworzony za pomocą IDP®).

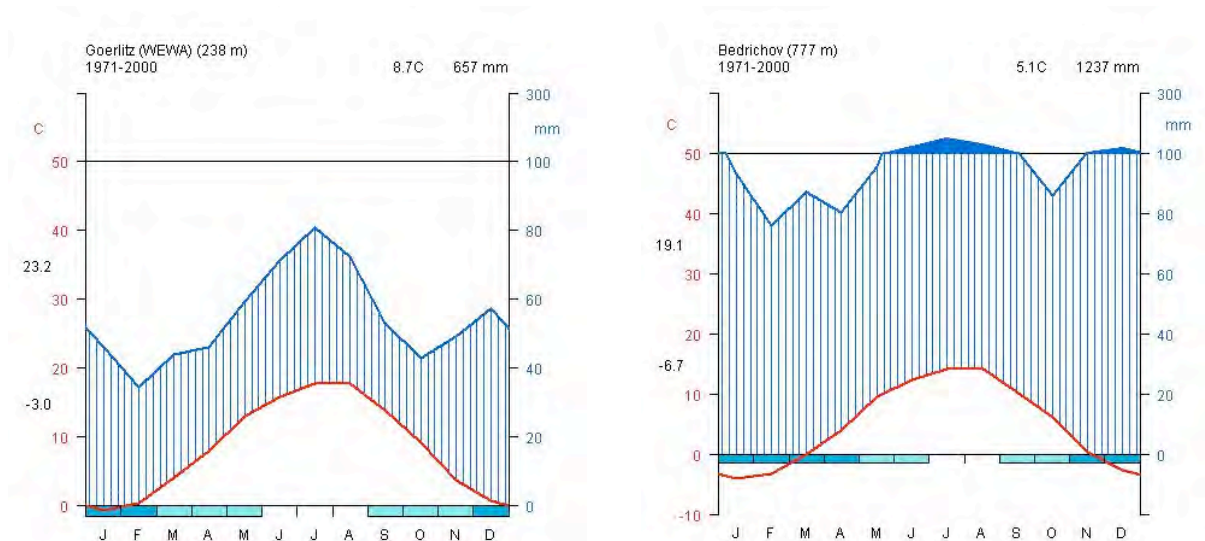
Oprócz wysokości nad poziomem morza, warunki termiczne kształtowane są przez rzeźbę terenu (nachylenie i ekspozycję stoków, formę terenu). Formy wklęsłe (dna dolin i kotlin śródgórskich) są chłodniejsze od wierzchołów i stoków, leżących na tej samej wysokości. Zjawisko to jest związane z inwersjami termicznymi o różnej genezie, typu radiacyjnego lub w wyniku adwekcji chłodnej masy powietrza (Schmuck 1969). Średnia roczna temperatura powietrza w dnach dolin i kotlin śródgórskich może być o ok. 1°C być niższa w porównaniu do stoków lub wierzchołów położonych na tej samej wysokości. Świadczy to o istotnym wpływie ukształtowania terenu na warunki termiczne w obszarach o urozmaiconej rzeźbie.

W przebiegu rocznym zwykle najchłodniejszym miesiącem jest styczeń, ze średnią temperaturą powietrza wynoszącą od  $-6,1^{\circ}\text{C}$  na Śnieżce,  $-3,9^{\circ}\text{C}$  w Bedrichovie,  $-0,6^{\circ}\text{C}$  w Görlitz do około  $0^{\circ}\text{C}$  w części nizinnej ( $0,2^{\circ}\text{C}$  Cottbus). Jednak ze względu na dużą zmienność warunków cyrkulacyjnych w sezonie zimowym, miesiącem najchłodniejszym może być również luty lub grudzień. Najcieplejszym miesiącem jest lipiec, ze średnią temperaturą w obszarze górskim od  $8,3^{\circ}\text{C}$  na Śnieżce,  $14^{\circ}\text{C}$  w Bedrichovie,  $16,3^{\circ}\text{C}$  w Jeleniej Górze do  $17-18^{\circ}\text{C}$  w części nizinnej (Cottbus, Zielona Góra), Rysunek 9.

Ważną cechą charakterystyki warunków termicznych są wartości skrajne. Temperatury ekstremalne kształtowane są zarówno przez warunki cyrkulacyjne i związane z nimi napływy mas powietrza jak również pod wpływem lokalnych czynników geograficznych (forma terenu, pokrycie terenu).

W górach najniższe temperatury powietrza istotnie zależą od rzeźby terenu i występują zazwyczaj w kotlinach śródgórkich: Kotlina Jeleniogórska ( $-31,8^{\circ}\text{C}$ , Jelenia Góra dn. 8.01.1985 r.) czy też w formach dolinnych w obrębie wierzchowy Górz Izerskich. Jest to związane z inwersyjnym rozkładem temperatury i tworzeniem się zastoisk zimnego powietrza.

Najwyższe maksima temperatury powietrza w sezonie letnim zazwyczaj związane są z układami antycyklonalnymi, przy których napływa powietrze pochodzenia zwrotnikowego z południa i południowo-zachodu lub powietrze pochodzenia kontynentalnego z południowo-wschodu i wschodu (Paszyński i Niedźwiedź, 1999). Dodatkowo anomalie termiczne, zwłaszcza w półroczu chłodnym, w Sudetach i na ich przedpolu mogą być również związane z wystąpieniem fenu (Kwiatkowski i Hołdys 1985).



**Rysunek 9: Diagramy klimatyczne według Waltera Lietha dla 2 stacji położonych na różnych wysokościach n.p.m. w obszarze opracowania. Struktura diagramu: u góry - stacja, wysokość, okres, średnia roczna temperatura i suma opadów; po lewej: średnia temperatura powietrza, po prawej: suma opadów; na dole: miesiące z możliwym wystąpieniem temperatury powietrza poniżej  $0^{\circ}\text{C}$  oraz miesiące z temperaturą poniżej  $0^{\circ}\text{C}$ .**



W Tabeli 3 przedstawione zostały wartości średnie dla 4 przedziałów wysokościowych (obszary nizinne, wzgórza, góry i grzbiety górskie) dla różnych wskaźników temperatury powietrza.

W aneksie 1 zaprezentowano absolutne wartości temperatury minimalnej i maksymalnej z pięciu reprezentatywnych stacji na terenie badanego obszaru.

Średnie dobowe amplitudy temperatury powietrza (DTR) są w całym obszarze opracowania wyższe w półroczu letnim (10,5°C) niż w zimowym (6,5°C), przy czym wahania w obszarze grzbietów górskich są mniejsze niż w obszarach położonych niżej. Ekstremalne wahania temperatury (ETR) są nieco wyższe zimą niż latem, poza tym zachowują się jednak podobnie do wahań dobowych.

Meteorologiczny okres wegetacyjny w obszarach nizinnych rozpoczyna się pod koniec marca i trwa do listopada (ok. 240 dni). Najkrócej trwa w strefie szczytowej gór (średnio 115 dni na Śnieżce).

Wszystkie analizowane wskaźniki temperatury powietrza wykazują trendy rosnące w 40-letnim szeregu obserwacji 1971-2010 (Tabela 3). W półroczu letnim trendy temperatury średniej, minimalnej i maksymalnej są w większości istotne statystycznie. Wzrost średniej temperatury dla półroczia letniego wyniósł ok. 2°C. W półroczu zimowym nie zaobserwowano wyraźnych zmian. Ponadto wydłużył się meteorologiczny okres wegetacyjny o ok. 30 dni.

**Tabela 3: Wartości średnie wskaźników temperatury powietrza dla okresu 1971-2000 i trendy absolutne (dodatni, ujemny) dla okresu 1971-2010 w czterech przedziałach wysokościowych dla roku, półroczia letniego i zimowego (J, SHJ, WHJ)**

Indeks [jednostka]	Obszary nizinne 0 do 150m n.p.m.		Wzgórza 151 do 350m n.p.m.		Góry 351 do 650m n.p.m.		Grzbiety górskie >650m n.p.m.	
	Wartość średnia	Trend	Wartość średnia	Trend	Wartość średnia	Trend	Wartość średnia	Trend
TM-J [°C]	9.0	1.2	8.4	1.0	7.8	1.1	3.6	1.2
TM-SHJ [°C]	14.7	1.9	14.1	1.8	13.4	1.9	8.9	2.0
TM-WHJ [°C]	3.3	0.6	2.6	0.3	2.1	0.3	-1.7	0.6
TX-J [°C]	13.5	1.2	12.8	0.9	11.9	1.4	7.1	1.5
TX-SHJ [°C]	20.3	2.0	19.5	1.7	18.5	2.3	12.9	2.4
TX-WHJ [°C]	6.7	0.6	6.2	0.2	5.3	0.5	1.2	0.5
TN-J [°C]	4.8	0.6	4.5	0.6	3.2	1.0	0.6	1.0
TN-SHJ [°C]	9.5	1.1	9.3	1.3	7.8	1.7	5.5	1.7
TN-WHJ [°C]	0.2	0.2	-0.2	0.1	-1.5	0.3	-4.2	0.4
DTR-J [°C]	8.7	0.6	8.3	0.3	8.8	0.4	6.1	0.5
DTR-SHJ [°C]	10.9	0.8	10.3	0.4	10.7	0.6	7.0	0.8
DTR-WHJ [°C]	6.5	0.5	6.4	0.1	6.8	0.2	5.1	0.2
ETR-J [°C]	50.0	3.4	50.0	2.3	50.4	2.1	45.1	1.6
ETR-SHJ [°C]	37.4	1.0	36.2	0.0	36.5	0.3	33.6	-0.1
ETR-WHJ [°C]	38.4	2.2	38.9	0.5	40.1	0.0	35.6	-0.6
GSL-J [d]	251	37	236	24	226	20	145	37

TM, TX, TN: Temperatura powietrza: średnia, maksymalna i minimalna; DTR, ETR: dobowe i ekstremalne amplitudy temperatury powietrza; GSL: meteorologiczny okres wegetacyjny

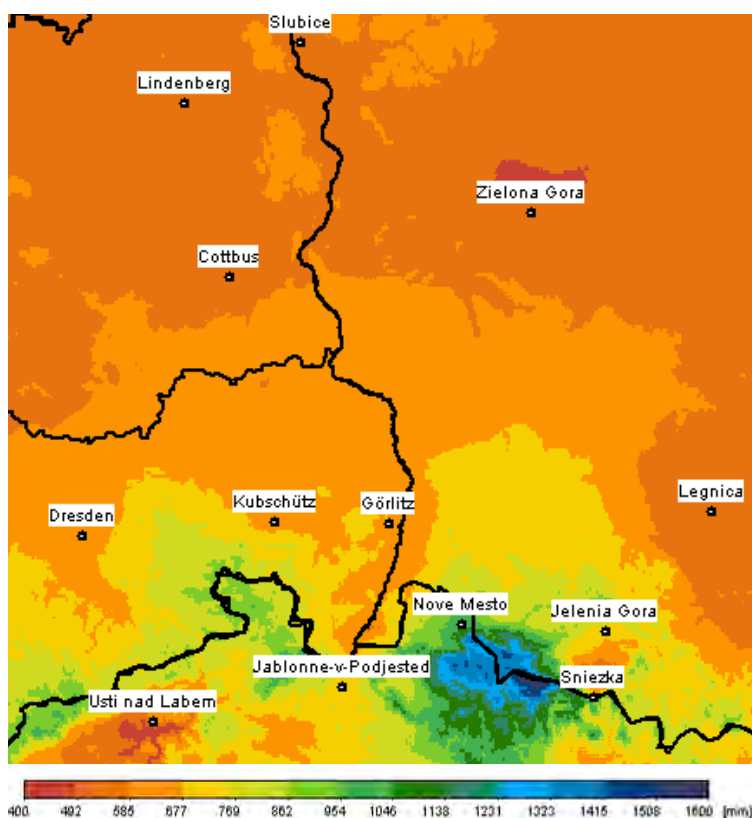
### 3.3.2. Wskaźniki opadów atmosferycznych

Średnia obszarowa suma roczna opadów (nieskorygowana), w okresie referencyjnym (1971-2000), wyniosła w badanym regionie 643 mm. Dla porównania, średnia roczna suma opadów w Saksonii wynosi 711 mm.

Rozkład przestrzenny opadów wykazuje zależność od wysokości nad poziomem morza oraz od rzeźby terenu i ekspozycji względem dominującego wiatru z sektora zachodniego (Rysunek 10). Najwyższe opady roczne, wynoszące ponad 1370 mm, występują w Sudetach Zachodnich (Góry Izerskie - Jakuszyce), a najniższe w centralnej części Niziny Śląskiej (Legnica) i wynoszą ok. 515 mm. Opady w półroczu letnim są wyższe średnio o 10-14% w porównaniu do półroczu zimowego (Tabela 4).

Na potrzeby gospodarki wodnej i bilansu wodnego istotna jest wysokość opadów skorygowana o wiatr i parowanie. Suma opadów przy uwzględnieniu korekty według Richtera wynosi 731 mm i jest wyższa o 12 % względem opadów nieskorygowanych.

Obserwuje się wzrost sum opadów we wszystkich przedziałach wysokościowych w badanym 40-leciu (Tabela 4). Wzrost jest obserwowany w obu półroczach, za wyjątkiem obszarów górskich w półroczu letnim.



Rysunek 10: Średnie roczne sumy opadów (nieskorygowane) w okresie referencyjnym 1971-2000 (utworzono za pomocą IDP®)

Ze wzrostem wysokości bezwzględnej wzrasta maksymalny opad dobowy oraz maksymalne opady 5-dniowe (RX1day, RX5day) a także liczba dni z opadem powyżej 10 i 20 mm. Opady powyżej 10 i 20 mm najczęściej są obserwowane w półroczu letnim. Natomiast wskaźniki oparte na percentylach umożliwiają porównanie opadów na stacjach położonych w różnych przedziałach wysokościowych.

Przykładowo wartość roczna R90p (liczba dni z opadem większym niż 90. percentyl z okresu referencyjnego) zmienia się w zależności od wysokości położenia stacji w znacznie mniejszym stopniu niż liczba dni z opadem powyżej 10 mm.

W przypadku wskaźników RX1day, RX5day najwyższe wartości zostały zaobserwowane w Jakuszykach (Góry Izerskie).

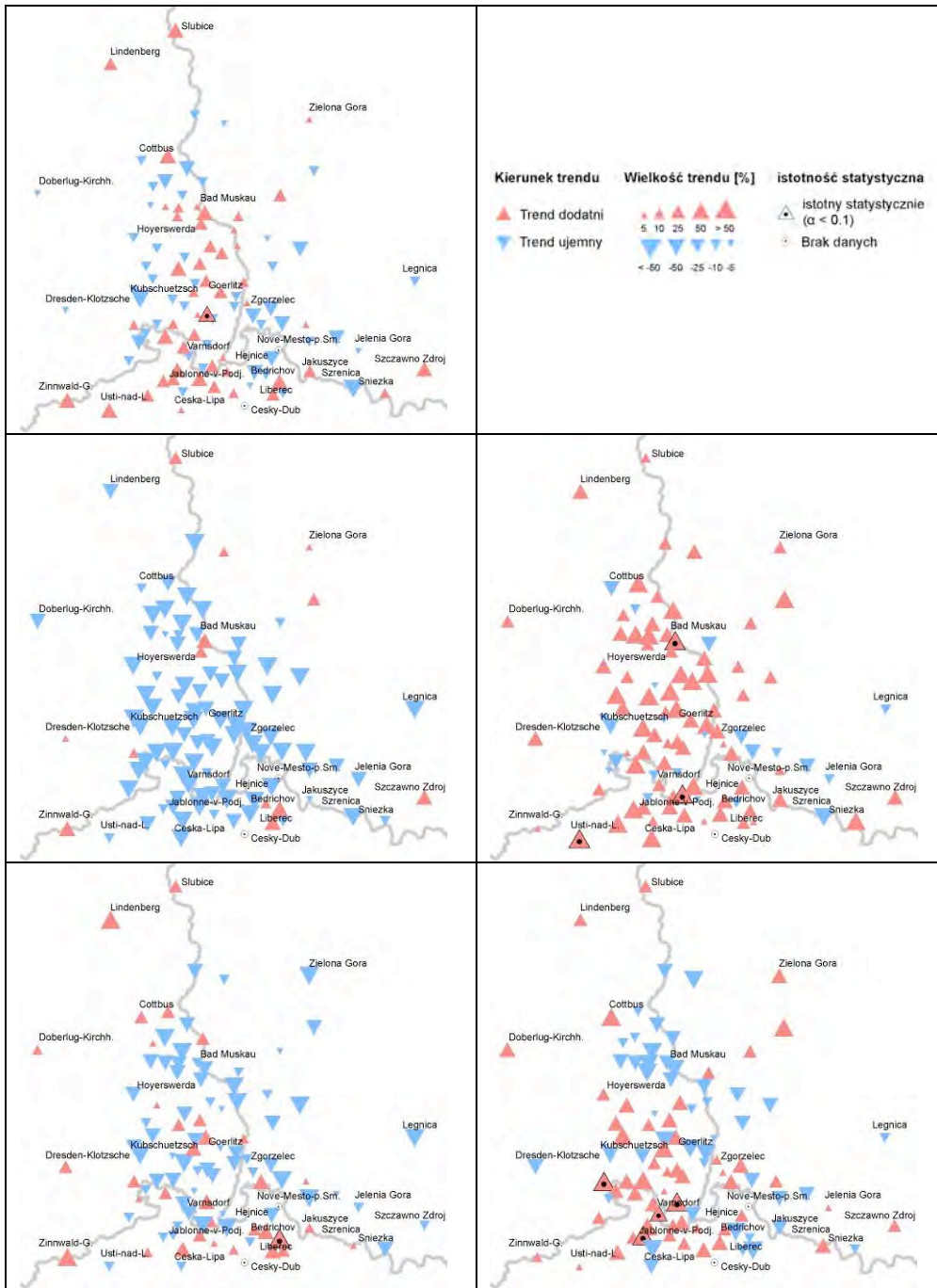
W obszarze analiz wzrastają sumy roczne opadów. Zwiększający się opad roczny jest spowodowany między innymi zwiększającą się liczbą dni z opadem. Inną przyczyną jest zmiana intensywności opadów: latem zwiększa się udział intensywnych opadów w całkowitej sumie opadów (Tabela 4; np. R90pT).

Analiza trendu wykazuje wzrost, na wielu stacjach istotny, rocznej liczby dni z opadem: R10mm, R90p we wszystkich przedziałach wysokościowych (Tabela 4). Liczba dni z opadem ekstremalnym (R20mm, R95p, R99p) zwiększała się w półroczu letnim, a w półroczu zimowym tendencja jest odwrotna. Analiza wykonana dla pór roku (Rysunek 11) wskazuje, że głównie wiosna charakteryzuje się wyraźnymi tendencjami ujemnymi, a lato dodatnimi.

W przypadku maksymalnych opadów dobowych przeważają trendy dodatnie, natomiast w przypadku maksymalnych opadów 5-dniowych ujemne. Jednak na ocenę trendu mają duży wpływ zdarzenia opadowe o charakterze ekstremalnym.

Tabela 4: Wartości średnie wskaźników opadów dla okresu 1971-2000 i trendy absolutne (dodatni, ujemny) dla okresu 1971-2010 w czterech przedziałach wysokościowych dla roku, półrocza letniego i zimowego (J, SHJ, WHJ)

Indeks [jednostka]	Obszary nizinne		Wzgórza		Góry		Grzbiety górskie	
	0 do 150m n.p.m.		151 do 350m n.p.m.		351 do 650m n.p.m.		>650m n.p.m.	
	Wartość średnia	Trend	Wartość średnia	Trend	Wartość średnia	Trend	Wartość średnia	Trend
Opad - J [mm]	608	75	701	73	861	102	1183	27
Opad - SHJ [mm]	350	31	406	26	471	42	634	-21
Opad - WHJ [mm]	258	31	295	38	390	52	548	45
R10mm - J [d]	13.5	2.5	17.2	1.7	23.3	3.5	35.1	3.4
R10mm - SHJ [d]	9.3	2.0	11.3	1.0	13.6	1.9	19.1	1.2
R10mm - WHJ [d]	4.3	0.3	5.9	0.6	9.8	1.5	16.0	2.4
R20mm - J [d]	3.1	0.3	4.1	-0.4	5.9	0.2	10.2	0.5
R20mm - SHJ [d]	2.6	0.7	3.3	0.1	4.1	0.3	6.5	-0.1
R20mm - WHJ [d]	0.4	-0.4	0.8	-0.4	1.8	-0.1	3.6	0.6
R90p - J [d]	11.2	1.7	12.1	0.2	13.3	1.3	15.7	0.5
R90p - SHJ [d]	5.5	1.0	6.0	0.3	6.4	0.6	7.4	0.0
R90p - WHJ [d]	5.9	0.4	6.2	0.4	7.0	0.7	8.2	0.7
R95p - J [d]	5.6	0.0	6.0	-0.3	6.7	0.5	7.9	0.0
R95p - SHJ [d]	2.7	0.7	3.0	0.1	3.2	0.4	3.8	-0.6
R95p - WHJ [d]	2.9	-0.4	3.1	-0.2	3.5	0.1	4.1	0.2
R99p - J [d]	1.2	0.3	1.2	0.0	1.4	0.2	1.6	-0.7
R99p - SHJ [d]	0.6	0.2	0.6	0.3	0.7	0.2	0.8	-0.3
R99p - WHJ [d]	0.6	-0.5	0.6	-0.5	0.7	-0.1	0.9	-0.2
R90pT - J [%]	33.1	0.2	33.4	-2.3	33.0	0.8	34.5	-0.1
R90pT - SHJ [%]	42.4	5.4	42.4	0.2	39.8	2.8	40.4	0.8
R90pT - WHJ [%]	19.5	-6.6	20.9	-6.6	24.1	-4.3	26.7	-1.9
R95pT - J [%]	21.4	-2.0	21.4	-2.4	21.0	0.6	22.2	-0.9
R95pT - SHJ [%]	29.7	1.5	29.3	-0.3	27.4	1.9	28.5	-1.1
R95pT - WHJ [%]	9.0	-6.7	10.3	-6.3	12.4	-3.6	13.6	-1.4
R99pT - J [%]	7.2	-0.1	6.9	-0.3	6.5	0.9	7.4	-1.9
R99pT - SHJ [%]	11.1	1.4	10.4	0.9	9.9	1.8	11.0	-3.0
R99pT - WHJ [%]	1.0	-2.6	1.3	-2.5	1.8	-1.4	2.2	-0.5
RX1day - J [mm]	38	-4	40	2	44	6	60	8
RX1day - SHJ [mm]	37	-3	39	2	42	7	57	6
RX1day - WHJ [mm]	18	-1	21	-2	26	1	34	1
RX5day - J [mm]	64	-10	73	-10	83	-1	116	-7
RX5day - SHJ [mm]	60	-7	68	-6	75	1	105	-5
RX5day - WHJ [mm]	37	-2	43	-4	55	1	76	-1



Rysunek 11: Trend względny zmian liczby dni z opadem ekstremalnym (R95p) w okresie 1971-2010  
Od lewej do prawej: 1. rząd: rok; 2. rząd: wiosna, lato; 3. rząd: jesień, zima

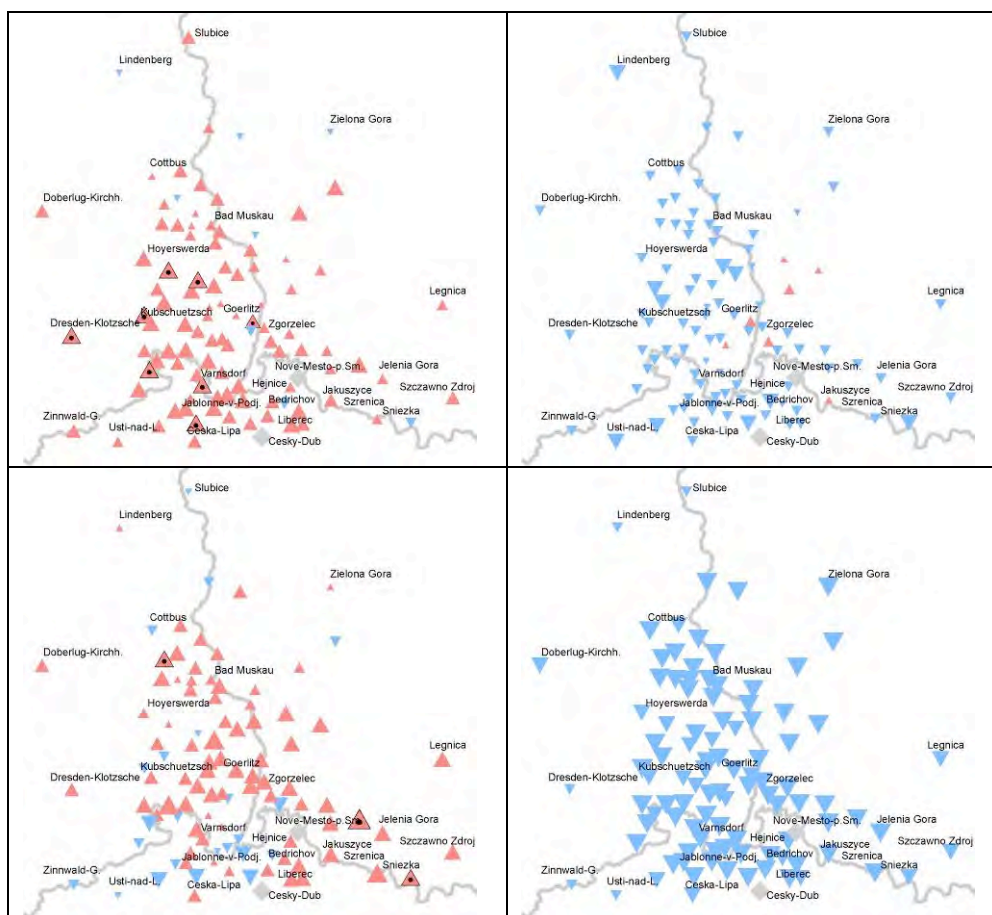


## 3.3.3. Wskaźniki suszy

Jako wskaźniki suszy analizowane są okresy bezopadowe (DP) trwające co najmniej 11-dni z sumą dobową opadów poniżej 1 mm oraz wskaźnik standaryzowanego opadu (SPI). SPI obliczany jest dla różnych przedziałów czasu: 3, 6 oraz 12 miesięcy. Wartości ujemne oznaczają niedobór a dodatnie nadmiar opadów.

Okresy bezopadowe występują częściej i trwają dłużej w regionach niżej położonych (Rysunek 12, Tabela 5). Ze wzrostem wysokości bezwzględnej zwiększa się nie tylko suma opadów, ale również liczba dni z opadem. W obszarach nizinnych występuje średnio rocznie pięć okresów bezopadowych trwających powyżej 11 dni, a w obszarze grzbietów górskich średnio trzy okresy bezopadowe. W półroczu zimowym okresy bezopadowe trwają nieco dłużej niż w półroczu letnim i występują nieznacznie częściej.

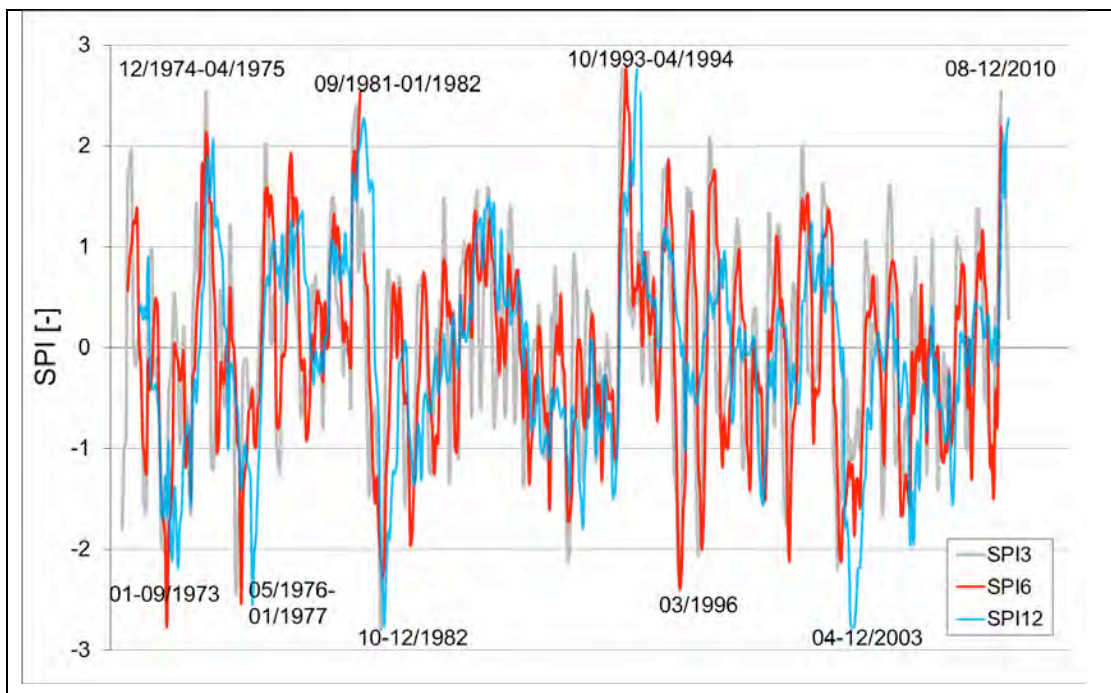
Wartości wskaźnika SPI obliczane są na podstawie okresu referencyjnego. Na podstawie wartości SPI dokonywana jest ocena i identyfikacja okresów z deficytem lub nadmiarem opadów (Rysunek 13). Okresy z niedoborem opadów mogą utrzymywać się przez dłuższy czas (3-12 miesięcy), jak np. 05/1976 - 01/1977 oraz 10-12/1982. Ocena warunków opadowych może się znacznie różnić w poszczególnych przedziałach czasu. W Görlitz, w roku 2003 dla okresu 3-6 miesięcznego, wskaźnik SPI wskazywał warunki bardzo suche, a SPI12 warunki ekstremalne (porównywalne z jesienią 1982).



Rysunek 12: Trend zmian okresów bez opadów w okresie 1971-2010

Od lewej do prawej: 1. rząd: czas trwania w półroczu letnim i zimowym; 2. rząd: częstotliwość występowania w półroczu letnim i zimowym (Legenda patrz Rysunek 11)

W okresie 03/1996 - 02/2001 miały miejsce krótkie i średnie okresy suszy, które nie przekształciły się jednak w 12-miesięczny okres suchy (Rysunek 13). Analiza trendów pokazuje, że zwiększa się czas trwania jak i częstotliwość występowania okresów bezopadowych w półroczu letnim (w szczególności wiosną), podczas gdy w półroczu zimowym wartości te zmniejszają się (Tabela 5). Wartości SPI (SPI3, SPI6 i SPI12) dla wszystkich przedziałów wysokościowych wykazują trend dodatni, tzn. warunki zmieniły się na wilgotniejsze.



Rysunek 13: Wskaźnik standaryzowanego opadu SPI dla okresów: 3, 6 i 12 miesięcznych (SPI3, SPI6 i SPI12) w latach 1971-2010 dla stacji meteorologicznej w Görlitz

Tabela 5: Wartości średnie wskaźników suszy dla okresu 1971-2000 oraz trendy absolutne (dodatni, ujemny) dla okresu 1971-2010 w czterech przedziałach wysokościowych dla roku, półrocza letniego i zimowego (J, SHJ, WHJ); \*Wartości średnie wskaźnika SPI dla okresu referencyjnego nie są wyznaczone.

Indeks [jednostka]	Obszary nizinne 0 do 150m n.p.m.		Wzgórza 151 do 350m n.p.m.		Góry 351 do 650m n.p.m.		Grzbiety górskie >650m n.p.m.	
	Wartość średnia	Trend	Wartość średnia	Trend	Wartość średnia	Trend	Wartość średnia	Trend
DPD - J [d]	16.1	-0.1	15.7	0.1	15.3	0.3	14.8	0.1
DPD - SHJ [d]	15.9	2.4	15.4	2.9	14.9	3.2	14.3	1.0
DPD - WHJ [d]	16.3	-2.5	15.9	-2.0	15.6	-2.7	15.0	-1.1
DPF - J [-]	5.4	-1.1	4.7	-1.1	4.2	-1.1	2.9	-0.4
DPF - SHJ [-]	2.4	0.3	2.0	0.3	1.7	0.2	1.2	0.2
DPF - WHJ [-]	2.9	-1.7	2.7	-1.7	2.4	-1.5	1.6	-0.7
SPI3 - J [-]	.*	0.3	-	0.2	-	0.3	-	0.1
SPI3 - SHJ [-]	-	0.2	-	0.1	-	0.2	-	-0.1
SPI3 - WHJ [-]	-	0.2	-	0.2	-	0.3	-	0.2
SPI6 - J [-]	-	0.3	-	0.2	-	0.3	-	0.1
SPI6 - SHJ [-]	-	0.3	-	0.2	-	0.3	-	0.1
SPI6 - WHJ [-]	-	0.2	-	0.2	-	0.3	-	0.0
SPI12 - J [-]	-	0.4	-	0.4	-	0.5	-	0.2
SPI12 - SHJ [-]	-	0.3	-	0.3	-	0.4	-	0.1
SPI12 - WHJ [-]	-	0.3	-	0.3	-	0.5	-	0.1



### 3.3.4. Usłonecznienie

W obszarach nizinnych obserwuje się średnio 1653 godz. usłonecznienia w roku, podczas gdy w wyższych partiach gór notowane jest znacznie niższe usłonecznienie (1377 godzin). Główną przyczyną różnicowania wartości usłonecznienia jest większe zachmurzenie w górach.

W ciągu ostatnich 40 lat (1971-2010) obserwowano rosnący trend wartości usłonecznienia. W skali roku, jak i w półroczu letnim zmiany były istotne statystycznie we wszystkich przedziałach wysokościowych, podczas gdy w półroczu zimowym nie zostały zaobserwowane istotne tendencje (Tabela 6).

**Tabela 6: Wartości średnie usłonecznienia (SS) w okresie 1971-2000 oraz trendy absolutne (dodatni, ujemny) w okresie 1971-2010 w czterech przedziałach wysokościowych dla roku, półrocza letniego i zimowego (J, SHJ, WHJ)**

Indeks [jednostka]	Obszary nizinne 0 do 150m n.p.m.		Wzgórza 151 do 350m n.p.m.		Góry 351 do 650m n.p.m.		Grzbiety górskie >650m n.p.m.	
	Wartość średnia	Trend	Wartość średnia	Trend	Wartość średnia	Trend	Wartość średnia	Trend
SS-J [h]	1653	246	1508	280	1428	267	1377	215
SS-SHJ [h]	1191	208	1074	245	1032	263	951	211
SS-WHJ [h]	461	43	434	33	397	0	427	2

### 3.3.5. Parowanie potencjalne i klimatyczny bilans wodny

Parowanie potencjalne wyznaczane jest na podstawie kilku elementów meteorologicznych. W zastosowanej metodzie Turca-Wendlinga, największy wpływ na uzyskane wartości parowania potencjalnego mają temperatura powietrza i usłonecznienie. Wyższa temperatura powietrza i usłonecznienie prowadzą do intensywnego parowania (w obszarach nizinnych 661 mm, Tabela 7). Parowanie potencjalne wraz ze wzrostem wysokości bezwzględnej maleje.

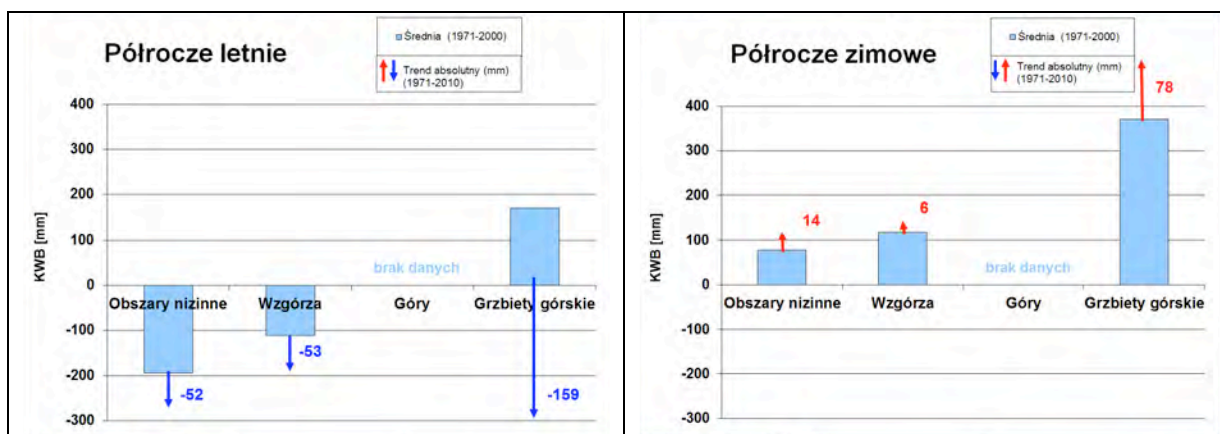
We wszystkich porach roku i przedziałach wysokościowych obserwowane są dodatnie trendy parowania potencjalnego, które na wielu stacjach są istotne statystycznie wiosną i latem. Jest to zgodne z rosnącym trendem wartości elementów meteorologicznych wpływających na wielkość parowania.

Klimatyczny bilans wodny (KBW) może być zastosowany w ocenie wpływu zmian klimatu na zasoby wodne. KBW wyznacza się na podstawie opadów oraz parowania potencjalnego<sup>1</sup>. W skali roku KBW na obszarach nizinnych jest ujemny, na co wpływa większe parowanie w stosunku do opadów, a w obszarach górskich dodatni (Tabela 7). W półroczu letnim wartości są znacznie niższe niż w zimowym, co spowodowane jest wysokim parowaniem w tym okresie (Rysunek 14). Trendy zmian wskazują na niekorzystną sytuację, w półroczu letnim obserwowany jest znaczny spadek KBW. W półroczu zimowym wzrost opadów powoduje wzrost KBW, który jedynie częściowo rekompensuje deficyt z półrocza letniego.

<sup>1</sup> Jest to wielkość, która oznacza maksymalne możliwe parowanie z danej powierzchni przy zapewnieniu stałego nasycenia wodą. Nie jest to parowanie rzeczywiste.

Tabela 7: Średnie wartości parowania potencjalnego PET oraz klimatycznego bilansu wodnego KBW dla okresu 1971-2000 oraz trendy absolutne (dodatni, ujemny) dla okresu 1971-2010 w czterech przedziałach wysokościowych dla roku, półrocza letniego i zimowego (J, SHJ, WHJ)

Indeks [jednostka]	Obszary nizinne		Wzgórza		Góry		Grzbiety górskie	
	0 do 150m n.p.m.		151 do 350m n.p.m.		351 do 650m n.p.m.		>650m n.p.m.	
	Wartość średnia	Trend	Wartość średnia	Trend	Wartość średnia	Trend	Wartość średnia	Trend
PET-J [mm]	661	69	635	76			518	62
PET-SHJ [mm]	527	65	501	74	brak danych		409	409
PET-WHJ [mm]	135	3	134	1			110	-1
KWB-J [mm]	-116	-26	8	-38			543	-81
KWB-SHJ [mm]	-194	-52	-111	-53	brak danych		172	172
KWB-WHJ [mm]	78	14	118	6			371	78



Rysunek 14: Średnie wartości klimatycznego bilansu wodnego KBW dla okresu 1971-2000 oraz trendy absolutne (dodatni, ujemny) dla okresu 1971-2010

### 3.4. Wnioski

Zróznicowanie wysokości bezwzględnej obszaru opracowania powoduje wyraźną zmienność elementów klimatu, w szczególności temperatury powietrza i opadów. Wraz ze wzrostem wysokości bezwzględnej maleje temperatura powietrza, wzrastają sumy opadów.

W okresie 1971-2010 można zaobserwować istotne zmiany w przypadku kilku elementów klimatu. Znacznie wzrosło usłonecznienie, temperatura powietrza i parowanie potencjalne. Dodatkowo tendencje widoczne są również w przypadku sum opadów oraz liczby dni z intensywnymi opadami. Opady intensywne występują zwłaszcza w półroczu letnim i są spowodowane między innymi konwekcją. Opady konwekcyjne charakteryzują się krótkim okresem występowania i znaczną wydajnością. Jednocześnie częściej występują okresy bezopadowe. Natomiast wskaźnik SPI wskazuje na wzrost uwilgotnienia w ostatnich latach. Oznacza to, że opady wzrastają, jednak charakteryzują się niekorzystnym rozkładem, częściej występują okresy bezopadowe. Dobrym wskaźnikiem oceny okresów suchych i wilgotnych jest klimatyczny bilans wodny, ponieważ uwzględnia on wpływ kilku elementów klimatycznych. Analizy trendów klimatycznego bilansu wodnego wykazują zmniejszenie dostępności wody w lecie oraz nieznaczne zwiększenie w zimie. Należy jednak zaznaczyć, że

zaobserwowane trendy silnie reagują na wartości występujące na początku oraz końcu analizowanego ciągu.

Skutki zmian klimatu w wybranych sektorach gospodarki zostały przedstawione na kilku przykładach. Dla rolnictwa korzystne jest wydłużenia się okresu wegetacyjnego. Jednak negatywny wpływ mają częstsze krótkotrwałe okresy bezopadowe jak i mniejsza dostępność wody w lecie. Dla gospodarki wodnej istotne są dodatnie tendencje intensywnych opadów, które mogą powodować wezbrania oraz erozję powierzchniową. Dodatkowo wyższe parowanie latem oraz zmiana rozkładu opadów zwiększają niebezpieczeństwo występowania niskich stanów wody.

Z klimatologicznego punktu widzenia dostępność wody poprawiła się w zimie, a w lecie znacznie pogorszyła. Podsumowując, w ciągu ostatnich 40 lat nastąpiło pogorszenie dostępności zasobów wody. Za pomocą modeli hydrologicznych należy sprawdzić, jak przedstawione warunki klimatologiczne wpływają na bilans wodny. Będzie to miało miejsce w dalszym etapie tego projektu.



## 4. Projekcje klimatyczne

### 4.1. Wprowadzenie

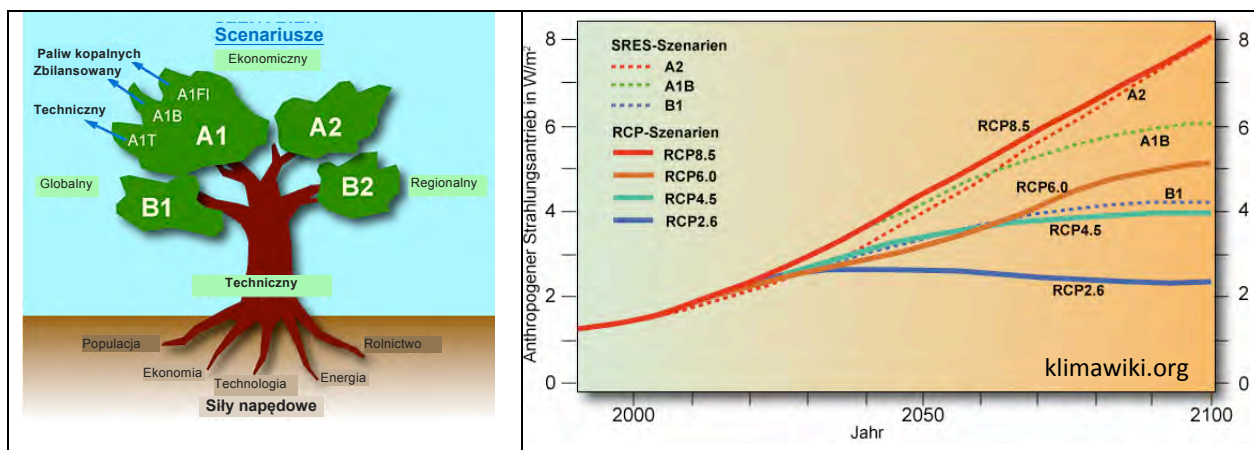
Piąty raport IPCC wskazuje na niewątpliwy wpływ działalności człowieka na zmiany klimatu (IPCC 2013). Koncentracja gazów cieplarnianych w atmosferze (dwutlenku węgla, metanu i tlenków azotu) nie była na tak wysokim poziomie w ciągu ostatnich 800.000 lat. Przyczyną tego stanu jest przede wszystkim spalanie paliw kopalnianych, a także emisje spowodowane zmianą użytkowania gruntu. Do najważniejszych skutków wzrostu koncentracji gazów cieplarnianych należą: ocieplenie atmosfery i oceanów, zmiana bilansu wodnego, topnienie lodowców, podwyższanie się poziomu mórz i oceanów itd.

W celu określenia przyszłych warunków klimatycznych wykorzystuje się globalne modele klimatu (GCM). Ze względu na niską rozdzielczość przestrzenną modeli globalnych nie są one wystarczająco dokładne do analiz w skali lokalnej. W tym celu tworzy się tak zwane regionalne modele klimatu (RCM). Wyróżnia się regionalne modele statystyczne i dynamiczne. Modele statystyczne wykorzystują zależności statystyczne pomiędzy modelowanymi wielkościami atmosferycznymi modelu GCM, jak np. parametry wilgotności powietrza i wiatru oraz interesującymi nas wielkościami klimatycznymi, jak np. opady i temperatura powietrza. Regionalne modele dynamiczne są podobnie jak modele GCM modelami trójwymiarowymi, które dokonują obliczeń na ograniczonej przestrzeni w wyższej rozdzielczości przestrzennej.

Przyszły klimat jest odwzorowywany w projekcjach, które bazują na scenariuszach emisji. Scenariusze emisji określają możliwy rozwój emisji i koncentracji gazów cieplarnianych przy uwzględnieniu wielu różnych czynników (np. rozwój demograficzny, postęp naukowo-techniczny, rozwój gospodarczy). Od roku 2000 do konstrukcji projekcji zmian klimatu wykorzystywane są scenariusze SRES (Nakicenovic et al. 2000). Oszacowana została w nich emisja gazów cieplarnianych (Rysunek 15).

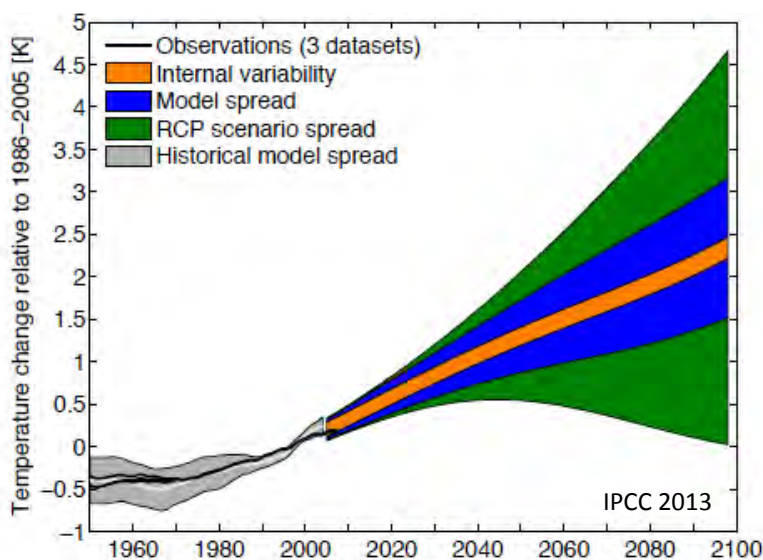
Od około roku 2008 nastąpiła zmiana w podejściu do scenariuszy emisji. Wprowadzone zostały scenariusze koncentracji - representative concentration pathways (RCP), które szacują rozwój w czasie koncentracji gazów cieplarnianych jak i wymuszanie radiacyjne<sup>2</sup> (Moss et al. 2010). Leżące u podstaw scenariuszy założenia społeczno-ekonomiczne uwzględniają rozwój demograficzny, produkt narodowy brutto, zużycie energii jak i inne czynniki. Scenariusze RCP przyjęły się dobrze i są podstawą obecnej pracy zespołu IPCC (Rysunek 15).

<sup>2</sup> Wymuszanie radiacyjne podaje zmianę przepływu energii w atmosferze na podstawie porównania lat 1850 i 2100, która spowodowana jest gazami cieplarnianymi. Punktem wyjściowym rozwoju scenariuszy były zdefiniowane wymuszenie radiacyjne pod koniec XXI wieku (2.6, 4.5, 6.0 oraz 8.5W/m<sup>2</sup>). Za pomocą specjalnych modeli i we współpracy z twórcami modeli klimatycznych i tzw. modelling of effects zostały opracowane możliwe przebiegi wymuszenia radiacyjnego jak i rozwój emisji gazów cieplarnianych i ich koncentracji w atmosferze. Te z kolei reprezentują różne scenariusze rozwoju społeczno-gospodarczego, użytkowania terenu itd.



Rysunek 15: Po lewej: scenariusze emisji gazów cieplarnianych (scenariusze SRES) (<http://klimawiki.org/klimawandel/index.php/Klimaszenarien>); po prawej: scenariusze koncentracji gazów cieplarnianych (scenariusze RCP), <http://klimawiki.org/klimawandel/index.php/RCP-Szenarien>)

W ciągu ostatnich 15 lat przyjęto podejście, że rozważane są różne możliwości rozwoju zmian klimatu przez analizowanie wyników wielu symulacji, wiązki projekcji klimatycznych. Poprzez przedstawienie wiązki symulacji rozwoju klimatu możliwe jest wzięcie pod uwagę niepewności, która wynika z: a) wyboru globalnych i regionalnych modeli klimatu, b) wybranego scenariusza emisji gazów cieplarnianych (SRES, RCP) jak i c) inicjalizacji modelu<sup>3</sup> (Rysunek 16). Obecnie wychodzi się z założenia, że tylko przy uwzględnieniu tych niepewności uzyskuje się wiarygodne informacje dotyczące przyszłego klimatu i skutków jego zmian.



Rysunek 16: Rozwój w czasie niepewności, które bazują na globalnych wynikach CMIP5 (IPCC 2013). Pomarańczowy: wewnętrzna rozbieżność modelu, niebieski: różnice pomiędzy modelami, zielony: uwarunkowania scenariuszy RCP, szary: niepewności modelu w przeszłości.

<sup>3</sup> Przy wykorzystaniu określonego modelu i określonego scenariusza generuje się wiele przebiegów, których punkty początkowe mają miejsce w różnych okresach sprzed rewolucji przemysłowej. W ten sposób uwzględnia się możliwe stany wyjściowe atmosfery.



## 4.2. Metody

W celu określenia przewidywanych zmian klimatu w obszarze opracowania wykorzystano regionalny model klimatu WETTREG (Version: WR13\_v02) (Kreienkamp, Spekat und Enke 2013). Model WETTREG wykorzystuje wiązkę scenariuszy z modeli GCM. Ze względu na ograniczenia finansowe i czasowe możliwe było jedynie wykonanie obliczeń dla ograniczonej liczby scenariuszy. Postanowiono wykorzystać rozwijane w Hamburgu modele GCM: ECHAM5 oraz MPI-ESM-LR. ECHAM był już z powodzeniem wielokrotnie stosowany do prognoz dla Europy Środkowej. Aktualny model znany jest pod nazwą MPI-ESM-LR i dostarcza dla Saksonii bardziej wiarygodne wyniki niż pozostałe międzynarodowo uznane modele takie jak HAD czy MIROC. Te ostatnie prognozowały ekstremalne wzrosty temperatury i letnie susze do roku 2100. W przypadku WETTREG ze względów metodologicznych nie jest możliwe uwzględnienie takich skrajności. Jako scenariusze emisji bądź koncentracji gazów cieplarnianych przyjęto z jednej strony scenariusz A1B SRES, aby umożliwić porównanie z licznymi pracami z zakresu zmian klimatu i ich skutków w Niemczech i Europie. Natomiast aby podążać za obecnym podejściem zespołu IPCC, przyjęto również scenariusze koncentracji RCP. W celu pokazania przedziału rozbieżności przyszłych zmian zalecane jest wykorzystanie przynajmniej scenariuszy RCP 2.6 oraz RCP 8.5. Scenariusz RCP 2.6 określa warunki atmosferyczne przy dotrzymaniu celu ograniczenia globalnego ocieplenia do końca XXI wieku poniżej 2 stopni w odniesieniu do poziomu sprzed epoki przemysłowej. Wzrost temperatury o 2 stopnie został jednak w międzyczasie osiągnięty. Poprzez działania polegające na wychwytywaniu i akumulacji dwutlenku węgla zmniejsza się jego koncentracja, co może prowadzić do spadku temperatury. Natomiast scenariusz RCP 8.5 przyjmuje znaczny wzrost populacji i dalszy wzrost 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")

Ponieważ tylko wybrane modele zostały wykorzystane do analizy, dlatego nie obejmują one całego przedziału możliwych przebiegów oraz niepewności.

Metoda tworzenia regionalnych projekcji klimatu za pomocą WETTREG składa się z trzech zasadniczych etapów (Kreienkamp et al. 2013a), które wyjaśnione zostały w ramce nr 3.



### Ramka 3: Tworzenie regionalnych projekcji klimatu za pomocą WETTREG

1. Punktem wyjścia jest założenie, że wzorce cyrkulacji są łącznikiem pomiędzy skalą wielkoobszarową i regionalną. W przypadku WETTREG określa się przedziały wartości określonego regionalnego parametru meteorologicznego. Analizuje się, jakie warunki pogodowe przynależą do poszczególnych przedziałów wartości. W dalszej kolejności tworzy się przykładowo 12 różnych „zimnych” lub „ciepłych” wzgl. 8 różnych „suchych” lub „obfitujących w opady” klas. Do zdefiniowania charakterystycznych dla poszczególnych klas warunków pogodowych korzysta się ze współczesnych danych klimatycznych. W następnym kroku ma miejsce przejście od danych klimatycznych do wyników z modeli klimatu. Są one dostępne w postaci dobowych „map pogodowych”, tzn. rozmieszczenia wartości atmosferycznych. Następnie przeprowadza się obiektywne poszukiwanie podobieństw, aby w możliwie najlepszy sposób przyporządkować zasymulowane warunki atmosferyczne w określonym dniu w przyszłości do określonej klasy. Otrzymuje się w ten sposób rozkład prawdopodobieństwa klas, które są charakterystyczne dla scenariuszy i zmieniają się na przestrzeni czasu symulacji. Służą one do zasilania drugiego etapu.

2. Posegmentowane szeregi czasowe parametrów meteorologicznych z teraźniejszości są grupowane do nowych szeregów czasowych. Dzieje się to najpierw losowo. Następnie nanoszone są na szeregi czasowe zmieniające częstotliwości występowania warunków pogodowych w przyszłości. Za pomocą stochastycznego generatora pogody generowane są alternatywne warianty współczesnego klimatu – w zależności od projekcji klimatycznych i bazując na scenariuszu gazów cieplarnianych.

3. Wychodzi się z założenia, że przyszłe zmiany klimatu w symulacjach modelowych nie będą się odwzorowywały jedynie w postaci „makro-wielkości”, takich jak symulowane warunki pogodowe. W dodatkowym etapie ma miejsce wdrożenie zmian wielkości fizycznych, bezpośrednio z symulacji modelowych dzięki statystycznym związkom regresji. Dla pewnej wielkości docelowej (np. temperatury przy gruncie) określana jest kombinacja z maksymalnie czterech różnych wielkości atmosferycznych (np. wysokość geopotencjału na poziomie 850 hPa, dywergencja 700 hPa), która gwarantuje możliwie najlepszą korektę zsyntetyzowanych szeregów czasowych.

Metody statystyczne nie wymagają wysokich nakładów, dlatego łatwo można wykonać wiele jednakowo prawdopodobnych przebiegów, tzw. realizacji, określonej projekcji klimatycznej. Z 10 wygenerowanych realizacji, do dalszych zastosowań mogą zostać wykorzystane pojedyncze realizacje. Często wykorzystuje się jednak wartości średnie ze wszystkich realizacji. Wartości średnie powinny być wykorzystywane dopiero od agregacji na poziomie miesiąca. Przykładowo, aby otrzymać średni sygnał klimatyczny temperatury powietrza, można dokonać agregacji wartości do poziomu miesiąca i wtedy je uśrednić. Inaczej postępuje się w przypadku tzw. dni charakterystycznych, dokonuje się oddzielnych obliczeń w dziesięciu realizacjach na przykład dla dni z opadem większym niż 10 mm. Następnie oblicza się średnią arytmetyczną z dziesięciu realizacji. Jeśli nie jest podane inaczej, wykorzystane zostały wartości średnie z dziesięciu przebiegów WETTREG.

W przypadku ECHAM5 mamy do czynienia, aż do modelowanego roku 2001, z tzw. re-symulacjami współczesnego klimatu (do 2006 roku w przypadku MPI-ESM). Są one niezbędne do wyznaczenia sygnału klimatycznego, który określa różnice pomiędzy parametrami meteorologicznymi współczesnego symulowanego oraz przyszłego symulowanego okresu. Jeśli aktualne dane pomiarowe porównane zostaną z danymi symulowanymi dla przyszłości, to istnieje ryzyko, że wyniki zostaną zniekształcone przez błędy systematyczne modelu.

Aby stwierdzić, czy zachowanie się zmian określonej symulowanej zmiennej meteorologicznej przedstawia sygnał czy też odpowiada naturalnej zmienności klimatu w teraźniejszości, należy określić przedziały ufności wartości średniej (Kreienkamp und Spekat 2011). Za pomocą odchylenia standardowego zmiennych w okresie referencyjnym 1971-2000, określa się przedziały ufności wartości średniej. Przedział ufności podaje za pomocą zakresu prawdopodobieństwa błędu (w tym przypadku 10%), który jeśli zostanie przekroczony przez czasową ewolucję określonej prognozowanej zmiennej klimatycznej, jest uznany za wyraźny sygnał.

### 4.3. Wyniki

#### Walidacja regionalizacji WETTREG

W celu sprawdzenia jakości modelu porównuje się obserwowane i modelowane za pomocą WETTREG wielkości klimatologiczne dla okresu 1971-2000. Jeżeli różnica jest bliska zeru, oznacza to, że wielkości klimatologiczne zostały odwzorowane w sposób adekwatny. Zgodność obu symulacji ECHAM5 A1B-przebieg oraz MPI-ESM RCP-przebieg 1 z obserwacjami jest następująca:

- dla temperatury średniej, minimalnej i maksymalnej dobra do bardzo dobrej ( $\pm 0,3$  °C),
- dla opadów dobra ( $\pm 5\%$ , zimą  $\pm 10\%$ ),
- dla usłonecznienia dobra ( $\pm 0,2$  godzin),
- dla wiatru średnia do dobrej ( $\pm 0,2$  m/s, obszary górzyste  $\pm 0,4$  m/s).

Uzyskana jakość modelowania jest porównywalna z wieloma innymi regionalnymi modelami klimatu (Jacob et al. 2007).

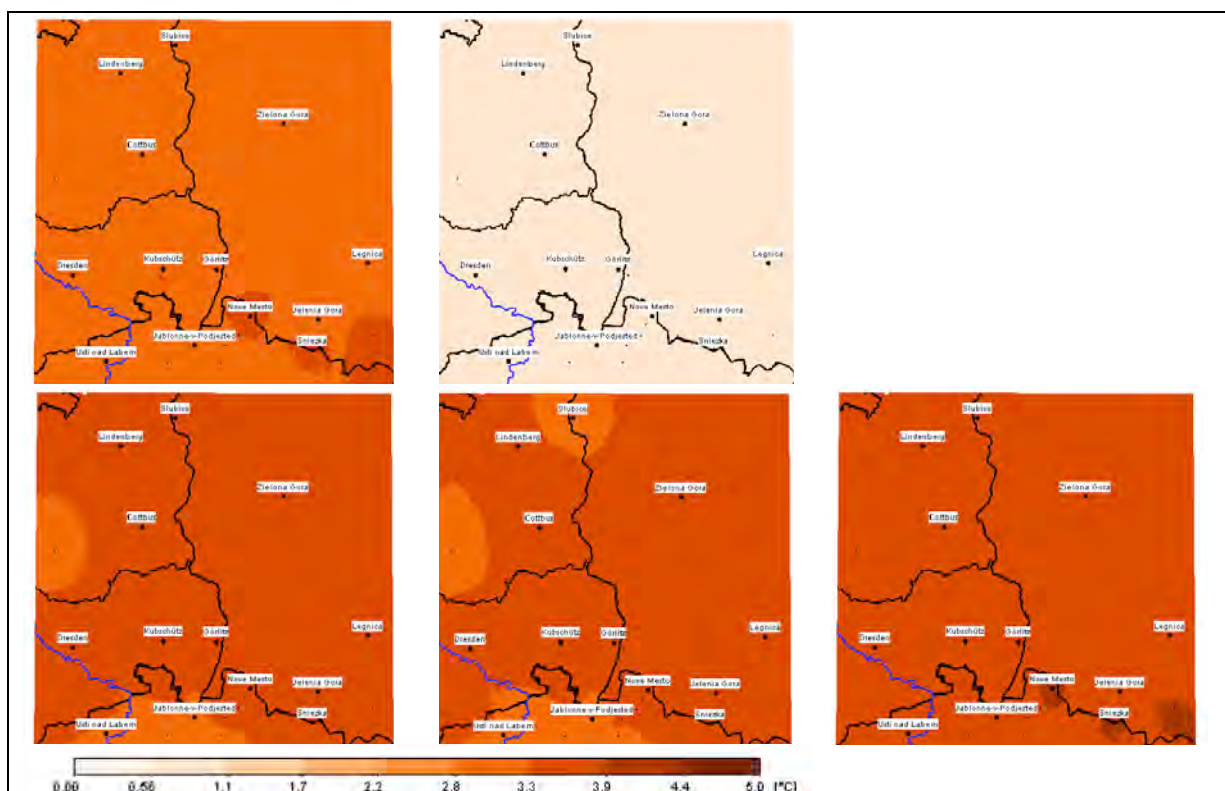
#### Projekcje klimatyczne

Skutki zmian klimatu przedstawiane są często w dwóch przedziałach: nieodległa przyszłość 2021-2050 oraz dalsza przyszłość 2071-2100. Do połowy XXI wieku sygnał zmian klimatu jest często niewyraźny lub bardzo słaby. Aby umożliwić długoterminową adaptację do zmian klimatu, które będą wyraźniejsze od połowy tego stulecia, skoncentrowano się na okresie 2071-2100. Dodatkowo przedstawiane są przykładowe wyniki dla nieodległej przyszłości lub dla całego okresu. Zaletą opracowywanych prognoz dla bliskiej przyszłości jest niewielka niepewność co do scenariusza emisji, bądź koncentracji.

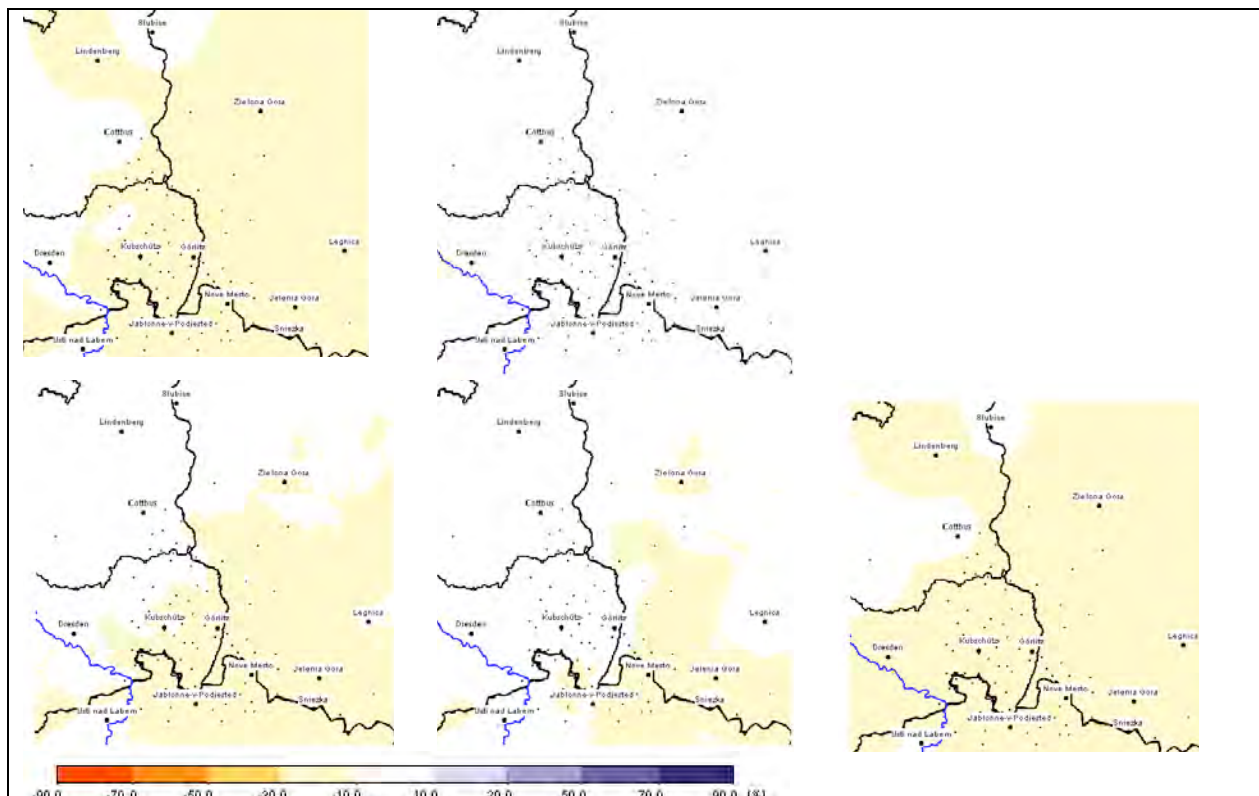
Tam, gdzie w poniższej części jest mowa o określonym przebiegu scenariusza, np. ECHAM 5 A1B, dotyczy to wyników regionalnego modelu WETTREG, których podstawą są podane przebiegi modelu globalnego z podanym scenariuszem. Symulacje opadów i temperatury powietrza przedstawiają się następująco:

- W przypadku średniej temperatury rocznej przy uwzględnieniu scenariuszy A1B oraz RCP 8.5 oczekiwany jest wzrost rzędu 3,2 - 3,7 °C dla dalszej przyszłości (Rysunek 17). Trzeci przebieg scenariusza RCP 8.5 prognozuje średni sygnał o wartości 3,7 °C, który jest o 0,3 °C wyższy niż w dwóch pozostałych przebiegach. W przypadku projekcji RCP 2.6 obserwowany jest znacznie niższy wzrost temperatury i wynosi 1°C.

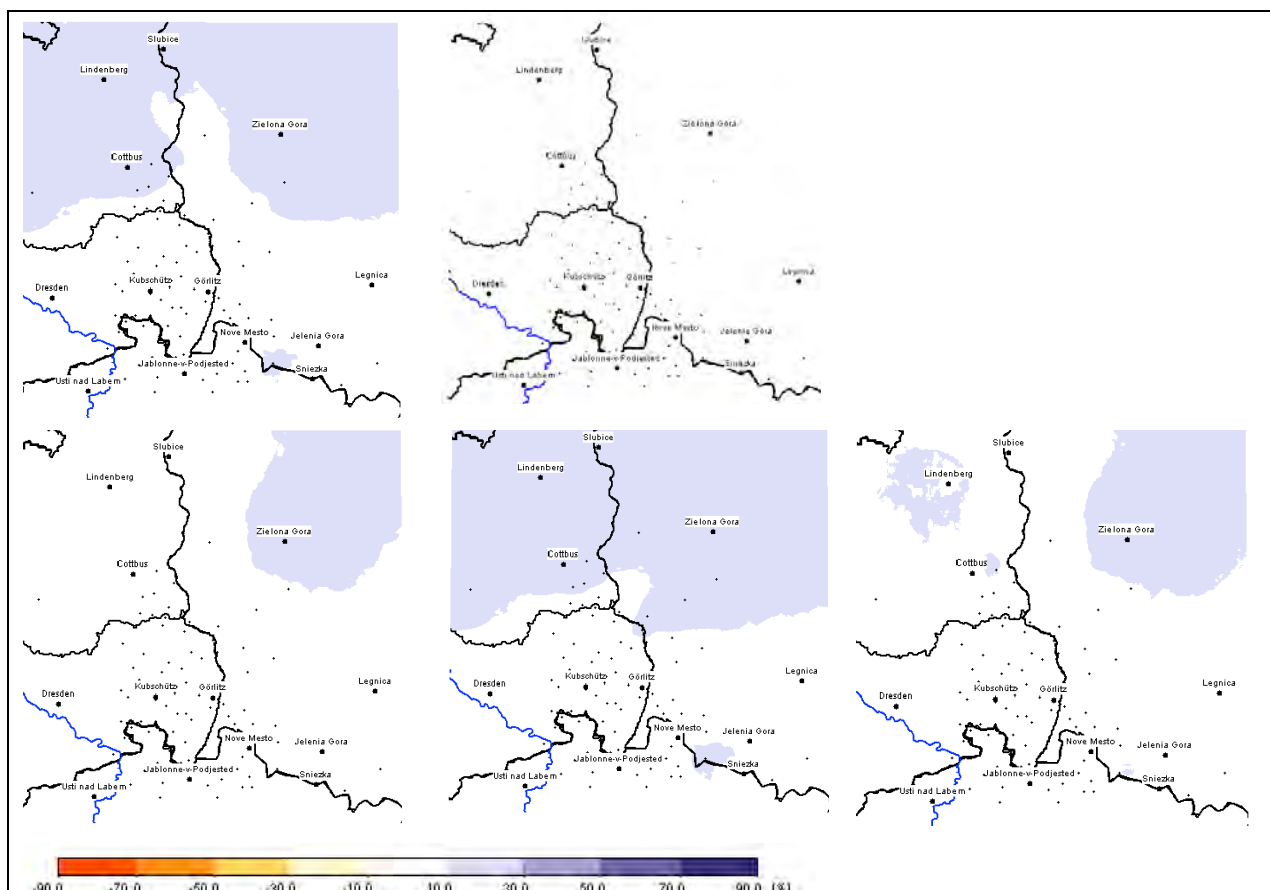
- Suma opadów w półroczu letnim maleje w przypadku A1B oraz RCP 8.5 o około 12 % (Rysunek 18). Porównanie wszystkich trzech przebiegów RCP 8.5 uwidacznia zmienność wewnątrz modelu. Przy jednakowych modelach i scenariuszach emisji uzyskanie różniących się sygnałów klimatycznych możliwe jest jedynie przez zmianę atmosferycznych warunków początkowych. Zmiany najbardziej widoczne są w przypadku trzeciego przebiegu RCP 8.5 i wynoszą -15 %, natomiast w przypadku drugiego przebiegu wynoszą zaledwie -7 %. Z tego wynika, że ekstremalne scenariusze koncentracji nie muszą automatycznie prowadzić do znacznej redukcji sum opadów. W przypadku scenariusza RCP2.6 również obserwowany jest spadek ilości opadów latem, ale jedynie rzędu 2%.
- Różnice we wzroście sum opadów w półroczu zimowym są nieznaczne w odniesieniu do pięciu scenariuszy (Rysunek 19). Najniższy wzrost dla zimy wynoszący 3 % odnotowywany jest w przypadku projekcji RCP 2.6, natomiast najwyższy w przypadku drugiego przebiegu RCP 8.5 i wynosi 10%.



Rysunek 17: Sygnał zmian klimatu dla temperatury powietrza w okresie 2071-2100 w odniesieniu do 1971-2000. Przedstawiona jest średnia realizacja za pomocą WETTREG dla pięciu scenariuszy (od lewej u góry do prawej na dole): A1B, RCP 2.6, RCP 8.5,L1, RCP 8.5,L2, RCP 8.5,L3.



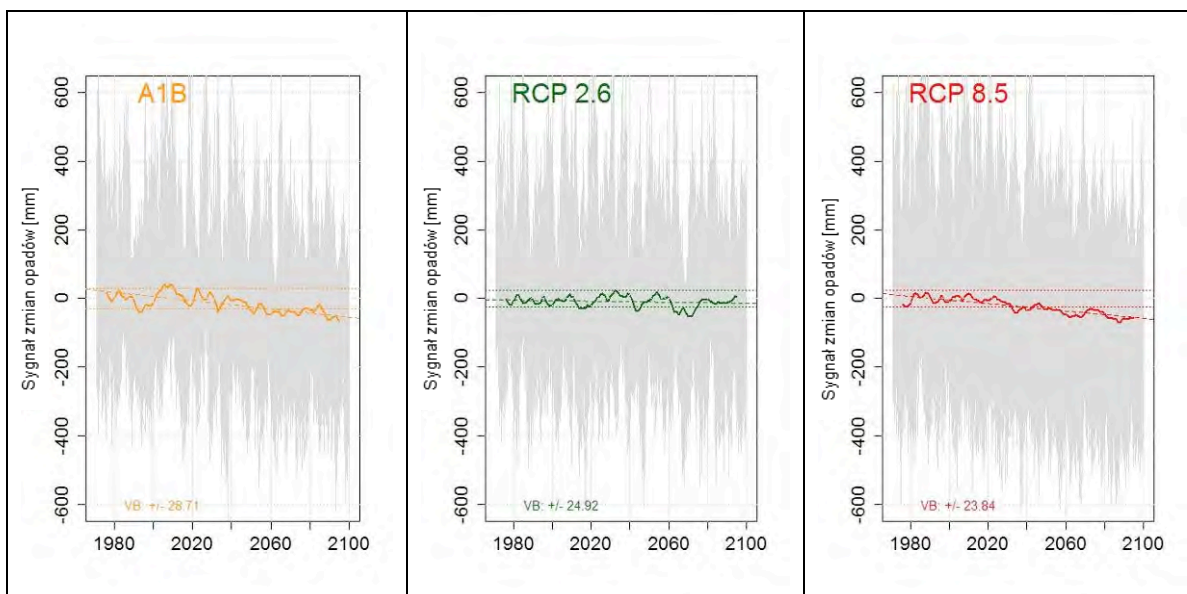
Rysunek 18: Sygnał zmian klimatu dla opadów półrocza letniego w okresie 2071-2100 w odniesieniu do 1971-2000. Przedstawiona jest średnia realizacja za pomocą WETTREG dla pięciu scenariuszy (od lewej u góry do prawej na dole): A1B, RCP 2.6, RCP 8.5,L1, RCP 8.5,L2, RCP 8.5,L3.



**Rysunek 19: Sygnał klimatu dla opadów półroczny w okresie 2071-2100 w odniesieniu do 1971-2000. Przedstawiona jest średnia realizacja za pomocą WETTREG na podstawie pięciu przebiegów scenariusza (od lewej u góry do prawej na dole): A1B, RCP 2.6, RCP 8.5,L1, RCP 8.5,L2, RCP 8.5,L3.**

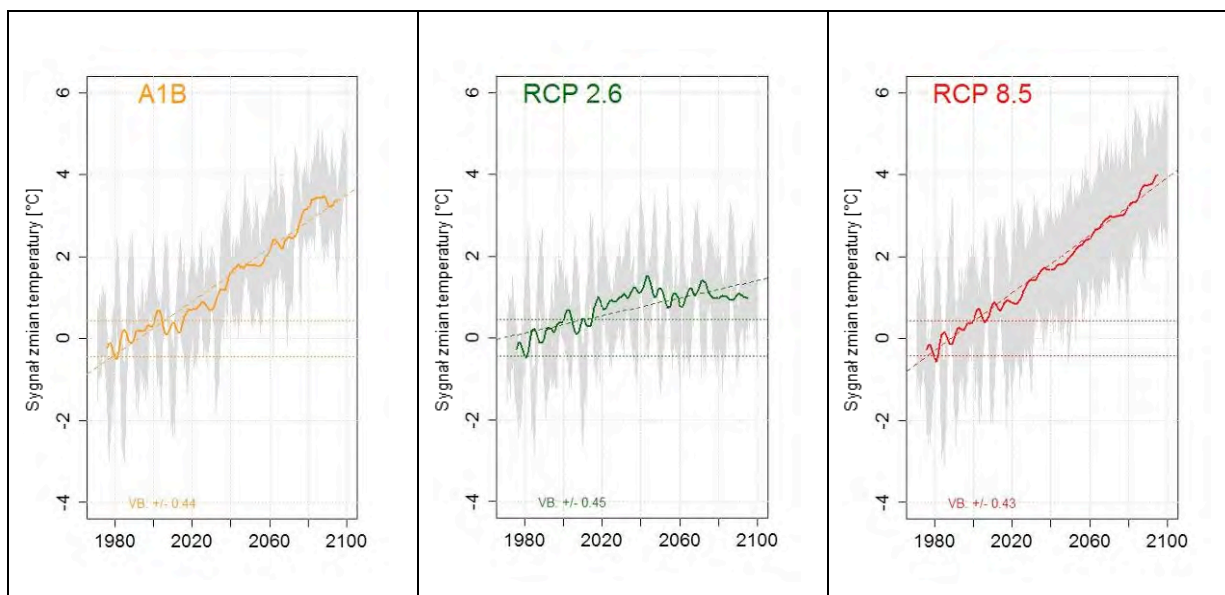
Przebieg w czasie oraz trendy wielkości meteorologicznych dla całego okresu 1971-2100 jako średniej (arytmetycznej) ze wszystkich stacji z badanego obszaru przedstawione są dla trzech scenariuszy gazów cieplarnianych. Przy tym wspólnie analizowane są realizacje trzech przebiegów modelu MPI-ESM RCP 8.5. Rysunek 20 wyraźnie wskazuje na zmienność sum opadów pomiędzy poszczególnymi realizacjami określonej projekcji. Przedstawiają one jednakowo prawdopodobne przebiegi warunków wilgotnościowych. Przy uśrednieniu wszystkich realizacji określonego scenariusza tendencje są wyraźniejsze (kolorowe linie). Podobnie przedstawia się ujemna tendencja opadów dla scenariuszy A1B oraz RCP 8.5. W pierwszych dekadach nie jest widoczna zasadnicza zmiana, jednak od drugiej połowy stulecia suma opadów zmniejsza się o ok. 60 mm w odniesieniu do lat 1971-2000. Dzieje się to poza przedziałem ufności, tak więc mamy do czynienia ze słabym ale znaczącym sygnałem. W przypadku scenariusza RCP 2.6 nie zostały stwierdzone prawie żadne zmiany w zachowaniu się rocznych sum opadów.





Rysunek 20: Zbiór realizacji WETTREG (zaznaczony na szaro), średnia 11-letnia wszystkich realizacji (zaznaczona na kolorowo), linia trendu dla okresu 2010-2100 oraz przedział ufności uśrednionej realizacji opadów rocznych. Przedstawiona jest średnia arytmetyczna ze wszystkich stacji.

Zmienność temperatury powietrza w zależności od realizacji określonego przebiegu modelu jest mniejsza niż zmienność sum opadów (Rysunek 21). Stwierdzone trendy w przypadku scenariusza A1B oraz RCP 8.5 są do siebie zbliżone i wynoszą  $+3,2^{\circ}\text{C}$  oraz  $+4^{\circ}\text{C}$ . Od roku 2020 wzrost zaczyna przekraczać naturalną zmienność, co oznacza występowanie silnego, znacznego sygnału zmian temperatury powietrza. Trend dodatni w przypadku scenariusza RCP 2.6 jest mniejszy i wynosi ok.  $+1^{\circ}\text{C}$ . Do połowy stulecia przewiduje się wzrost a następnie stabilizację temperatury powietrza. Mają tu znaczenie przyjęte w scenariuszu redukcje emisji dwutlenku węgla, jak i hipotetyczne działania mające na celu wychwytywanie i składowanie dwutlenku węgla. Uwagę zwraca również mniejsza zmienność wieloletnia w drugiej połowie XXI wieku.

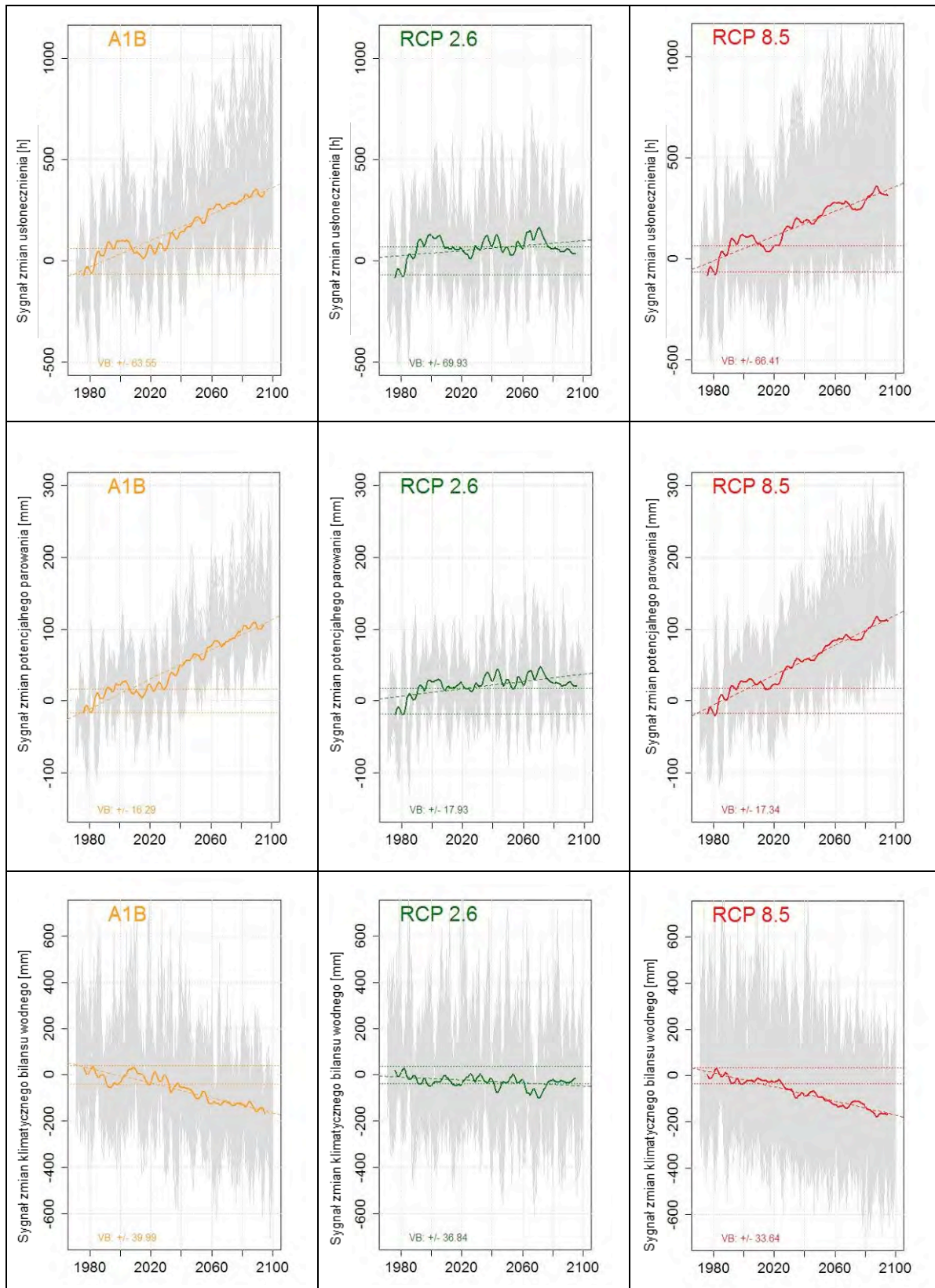


**Rysunek 21:** Zbiór realizacji WETTREG (zaznaczony na szaro), średnia 11-letnia wszystkich realizacji (zaznaczona na kolorowo), linia trendu dla okresu 2010-2100 oraz przedział ufności uśrednionej realizacji średniej temperatury dobowej. Przedstawiona jest średnia arytmetyczna wszystkich stacji.

W celu oszacowania skutków zmian klimatu na bilans wodny w zlewni analizowane są następujące wskaźniki (Rysunek 22):

- Usłonecznienie wykazuje w przypadku scenariuszy: A1B oraz RCP 8.5 znaczny i mający cechy trendu wzrost o ok. 300 godzin. W przypadku RCP 2.6 symulacje wykazały słaby sygnał wynoszący ok. 80 godzin.
- Wraz z temperaturą powietrza i usłonecznieniem znacznie zwiększa się również parowanie: w przypadku RCP 2.6 o +30 mm oraz aż do +110 mm w przypadku RCP 8.5 oraz A1B.
- Klimatyczny bilans wodny, który jest różnicą pomiędzy opadem i potencjalnym parowaniem, zmniejsza się we wszystkich scenariuszach: o 50 mm przy umiarkowanych przyszłych koncentracjach gazów cieplarnianych oraz aż do 200 mm przy wysokich koncentracjach. Dla scenariuszy A1B oraz RCP 8.5 klimatyczny bilans wodny stale maleje od roku 2020, a w przypadku RCP 2.6 stabilizuje się.

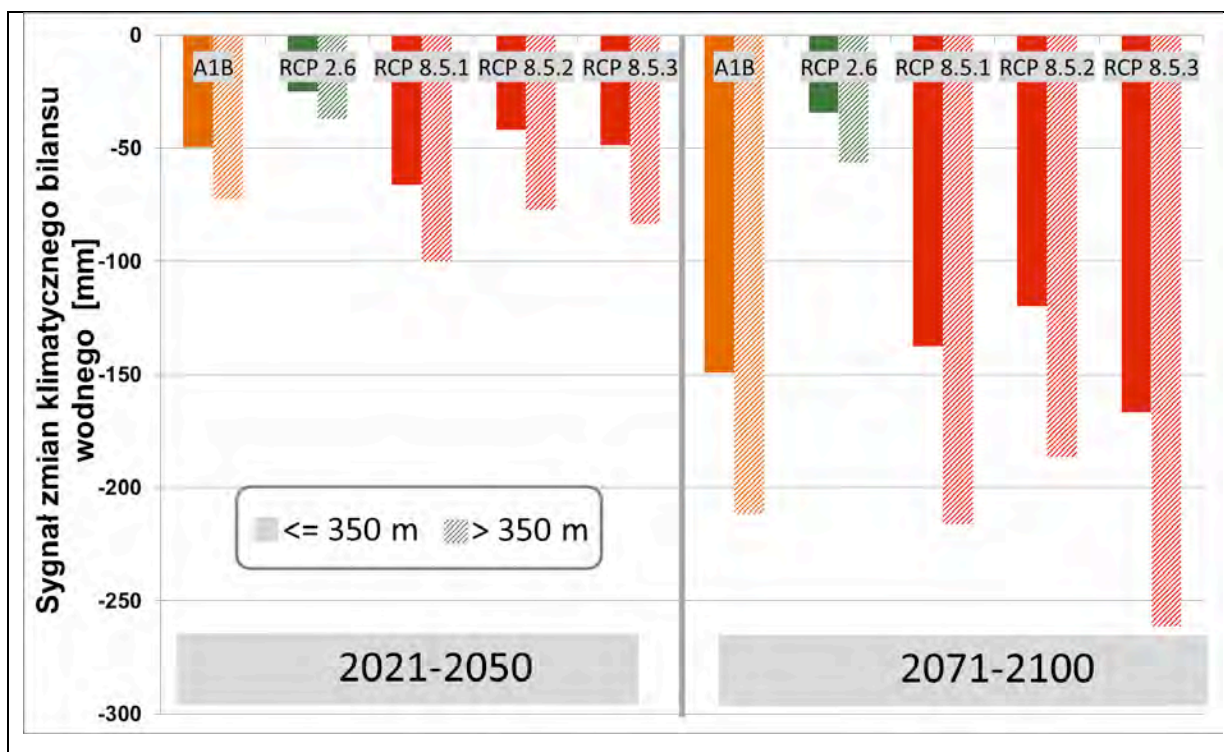




Rysunek 22: Zbiór realizacji WETTREG (zaznaczony na szaro), średnia 11-letnia wszystkich realizacji (zaznaczona na kolorowo), linia trendu dla okresu 2010-2100 oraz przedział ufności uśrednionej realizacji wartości rocznych usłonecznienia, potencjalnego parowania oraz klimatycznego bilansu wodnego. Przedstawiona jest średnia arytmetyczna wszystkich stacji.

Klimatyczny bilans wodny jest dobrym wskaźnikiem określającym przyszłe zasoby wody w badanym obszarze. Ponieważ nie zmienia się on w półroczu zimowym, w dalszej części rozpatrywane jest półrocze letnie, dla bliższej i dalszej przyszłości. W celu znalezienia odpowiedzi na pytanie, czy mają miejsce regionalne różnice w obszarze opracowania, stacje meteorologiczne zostały pogrupowane na te położone poniżej 350 m n.p.m. oraz powyżej 350 m n.p.m.

Klimatyczny bilans wodny w półroczu letnim maleje na całym obszarze opracowania (Rysunek 23). Dla bliskiej przyszłości i scenariuszy RCP8.5 oraz A1B zmiany mieszczą się w zakresie -40 do -100 mm (Rysunek 23). W przypadku RCP 2.6 zmiana wynosi od -25 do -30 mm i leży jeszcze w przedziale zmienności naturalnej. W wyżej położonych obszarach (>350 m n.p.m.) spadek dostępności wody jest nieznacznie większy. Pod koniec stulecia dostępność wody w przypadku scenariuszy RCP8.5 oraz A1B maleje drastycznie, średnio o 120 do 170 mm dla stacji na tych wysokościach. Możliwe są nawet redukcje sięgające 260 mm (RCP 8.5, L3). W przypadku scenariusza RCP 2.6 zmiany są umiarkowane (wynoszące średnio -40 mm).



Rysunek 23: Sygnał zmian klimatycznego bilansu wodnego w półroczu letnim dla bliskiej i dalekiej przyszłości. Przedstawiona jest średnia z ośmiu stacji meteorologicznych położonych poniżej 350 m n.p.m. oraz z trzech stacji położonych powyżej lub na wysokości 350 m n.p.m.

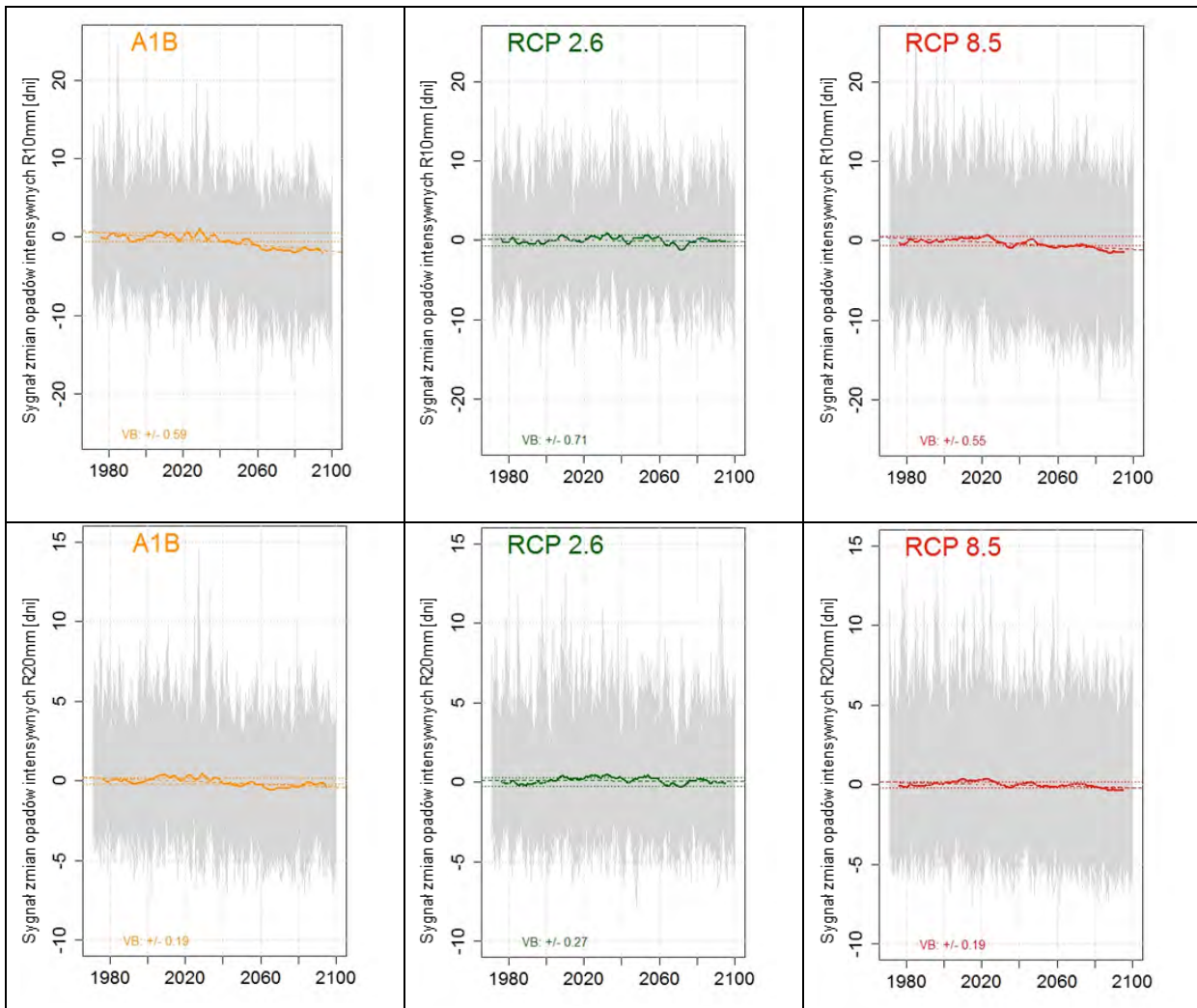
Przyszła charakterystyka opadów intensywanych analizowana jest na podstawie wskaźników przedstawionych w rozdziale 5.4, przy uwzględnieniu ich wartości średniej w badanym obszarze (Rysunek 24 oraz Rysunek 25):

- Liczba dni z opadem wynoszącym co najmniej 10 mm dla półrocza letniego jest za wyjątkiem scenariusza RCP 2.6 malejąca, przy czym sygnał klimatyczny jest jedynie słaby. Zmienność z

roku na rok jest bardzo wyraźna. Różnica pomiędzy liczbą dni z opadami intensywnymi może wynosić nawet do 40 dni.

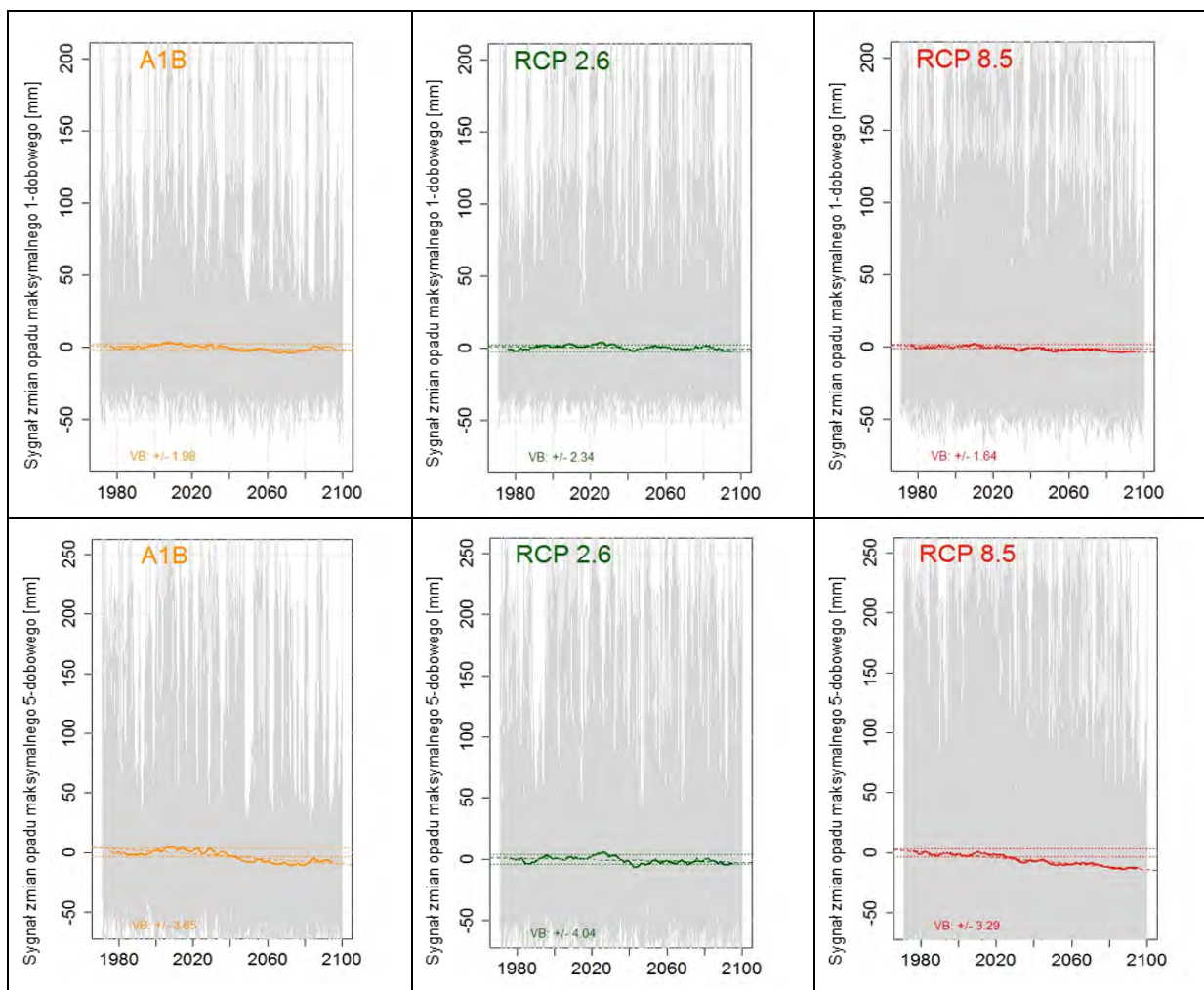
- Nie jest możliwe wyciągnięcie wyraźnych wniosków dotyczących dni z opadem wynoszącym co najmniej 20 mm. Granica naturalnej zmienności przekroczona zostanie dopiero pod koniec stulecia i będzie się można spodziewać nieznacznie mniejszej liczby dni z opadami ekstremalnymi.
- W przypadku maksymalnych opadów dobowych dla półrocza letniego nie stwierdzono istotnych tendencji do roku 2100 dla żadnej projekcji. Wielokrotnie dochodzi do symulacji opadów ekstremalnych, np. dla Görlitz ponad 80 mm w ciągu doby. Są to wartości, które przekraczają wartości obserwowane w okresie 1981 do 2002 (ca. 73 mm).
- Maksymalny opad pięciodniowy w przypadku półrocza letniego wykazuje, za wyjątkiem scenariusza RCP 2.6, ujemne tendencje o różnym nasileniu. Również te sumy opadów przekraczają często obserwowane wartości ekstremalne, np. dla Görlitz 160 mm (wartości obserwowane w 1981: 172 mm, w 2002: 118 mm).

Nie jest widoczny istotny sygnał klimatyczny w przypadku wskaźników opadów intensywnych dla półrocza zimowego.



Rysunek 24: Zbiór realizacji WETTREG (zaznaczony na szaro), średnia 11-letnia wszystkich realizacji (zaznaczona na kolorowo), linia trendu dla okresu 2010-2100 oraz przedział ufności uśrednionej realizacji opadów intensywnych R10mm oraz opadów ekstremalnych R20mm w półroczu letnim. Przedstawiona jest średnia arytmetyczna ze wszystkich stacji.





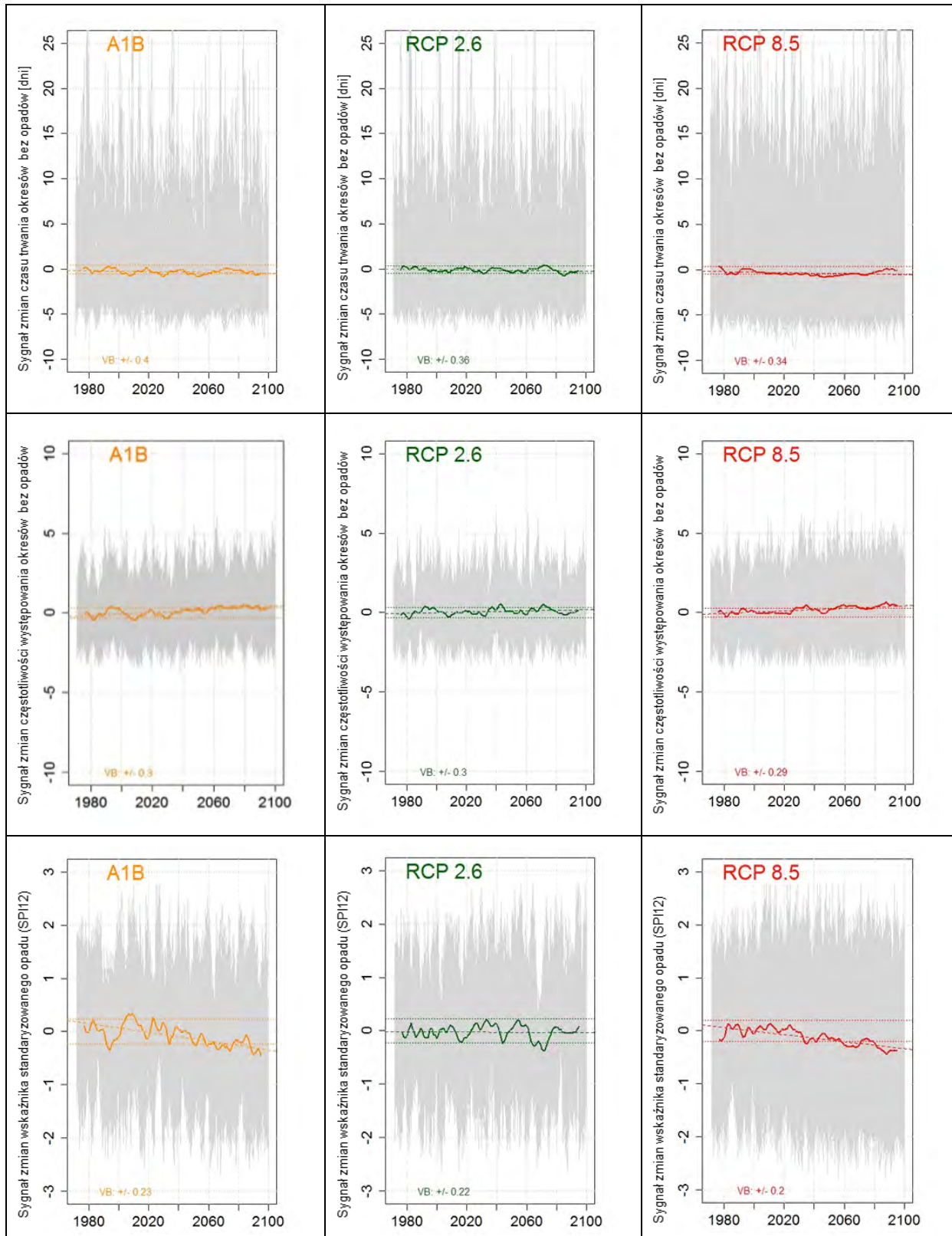
**Rysunek 25:** Zbiór realizacji WETTREG (zaznaczony na szaro), średnia 11-letnia wszystkich realizacji (zaznaczona na kolorowo), linia trendu dla okresu 2010-2100 oraz przedział ufności uśrednionej realizacji maksymalnego opadu 1-dobowego (RX1day) oraz 5-dobowego (RX5day) w półroczu letnim. Przedstawiona jest średnia arytmetyczna ze wszystkich stacji.

Na podstawie wskaźnika suszy (DPD) oraz wskaźnika standaryzowanego opadu (SPI) określono przyszłe warunki wilgotnościowe na potrzeby rolnictwa, leśnictwa i gospodarki wodnej (Rysunek 26).

- Czas trwania okresów bezopadowych w przypadku żadnego scenariusza nie wykazuje zmian dla półrocza letniego, jak i zimowego. Czas trwania okresów bezopadowych jest zmienny w czasie, jednak rzadko i krótko przekracza naturalną zmienność.
- Wyniki symulacji dla scenariuszy A1B oraz RCP 8.5 w przypadku półrocza letniego wskazują na lekki, lecz nieistotny wzrost częstotliwości występowania okresów bezopadowych. W przypadku scenariusza RCP 2.6 nie są widoczne żadne zmiany również w przypadku półrocza zimowego.
- Przy niewielkiej zmianie emisji gazów cieplarnianych (RCP 2.6) wskaźnik SPI12 pozostaje stały. W przypadku pozostałych scenariuszy widoczny jest spadek, który oznacza występowanie bardziej suchych warunków w półroczu letnim i zimowym w skali długoterminowej. W bliskiej przyszłości warunki wilgotnościowe kształtują się nieznacznie ponad wartościami

przeciętnymi, co pokrywa się z obserwowanymi trendami. Po tym okresie, tzn. w dalszej przyszłości, obserwowany jest słaby, ujemny sygnał. Nie ma pewności co do wymiaru modelowanych zmian, o czym świadczy porównanie trzech przebiegów RCP 8.5 (tutaj nie pokazanych).





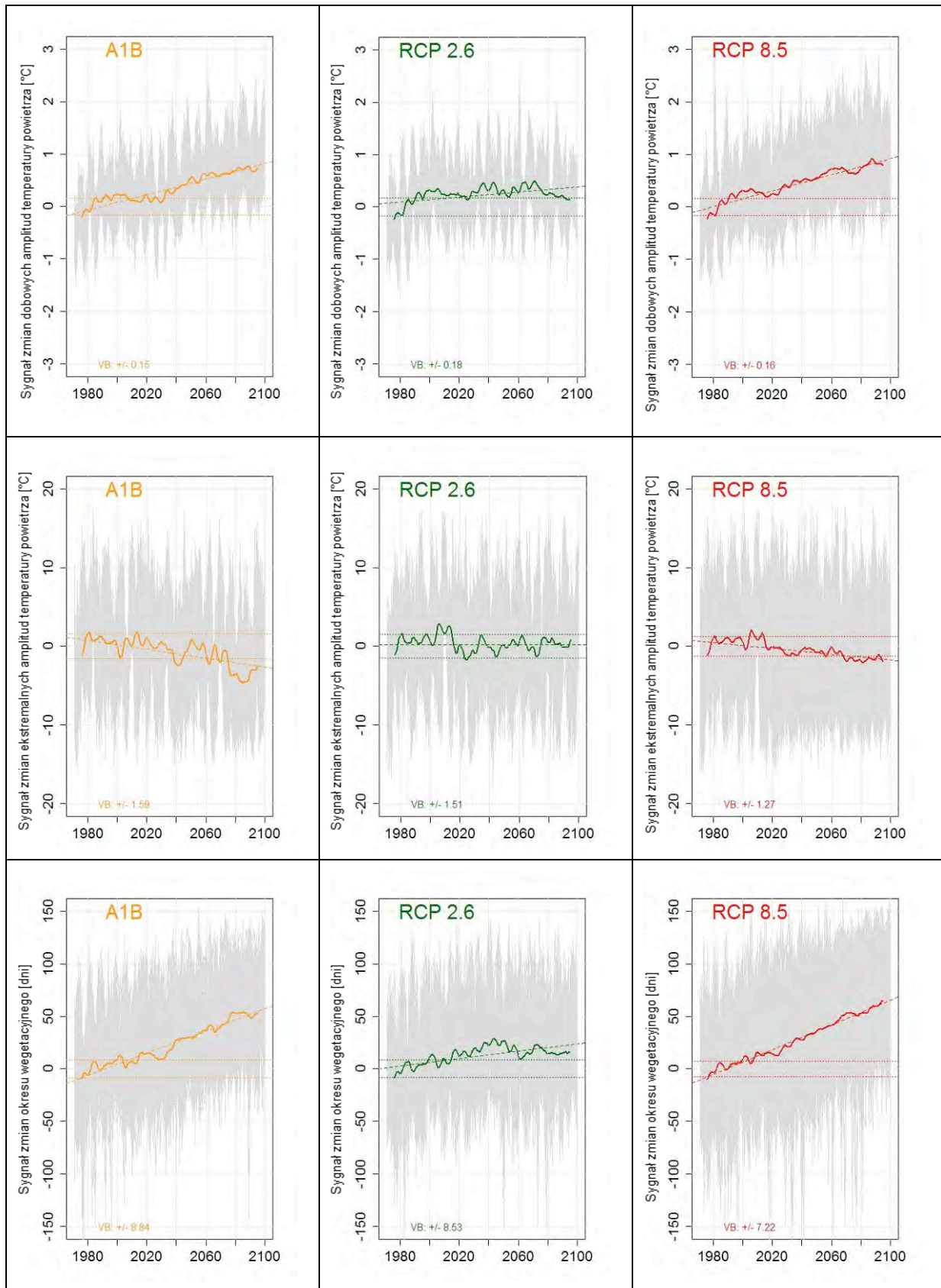
Rysunek 26: Zbiór realizacji WETTREG (zaznaczony na szaro), średnia 11-letnia wszystkich realizacji (zaznaczona na kolorowo), linia trendu dla okresu 2010-2100 oraz przedział ufności uśrednionej realizacji czasu trwania i częstotliwości występowania okresów bez opadów oraz wskaźnika standaryzowanego opadu w półroczu letnim. Przedstawiona jest średnia arytmetyczna ze wszystkich stacji.



W przypadku projekcji temperatury powietrza symulowane zmiany są wyraźne (Rysunek 27):

- Dobowe amplitudy temperatury powietrza będą się w przyszłości zwiększały, szczególnie w przypadku scenariuszy A1B oraz RCP 8.5.
- W przypadku scenariuszy A1B oraz RCP 8.5, ekstremalne amplitudy temperatury powietrza jednak maleją.
- Wzrost temperatury powietrza w przyszłości będzie prowadził do znacznego wydłużenia okresu wegetacyjnego, w zależności od scenariusza, od 30 do 80 dni.





**Rysunek 27: Zbiór realizacji WETTREG (zaznaczony na szaro), średnia 11-letnia wszystkich realizacji (zaznaczona na kolorowo), linia trendu dla okresu 2010-2100 oraz przedział ufności uśrednionej realizacji dobowych i ekstremalnych amplitud temperatury powietrza (DTR, ETR) oraz czasu trwania okresu wegetacyjnego (GS). Przedstawiona jest średnia arytmetyczna ze wszystkich stacji.**

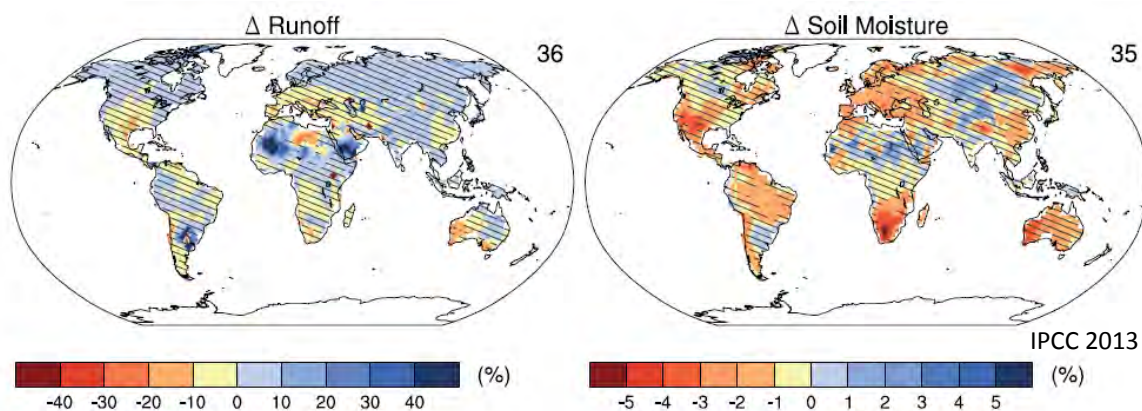
#### 4.4. Podsumowanie

Projekcje utworzone za pomocą statystycznego, regionalnego modelu klimatu umożliwiają analizę szerokiego zakresu możliwych realizacji warunków klimatycznych w przyszłości, w obszarze badań. Ze względu na ramy czasowe i finansowe projektu, ograniczono liczbę scenariuszy oraz modeli, przez co nie było możliwe przedstawienie całego spektrum możliwych zmian klimatu. Scenariusz RCP 2.6 przyjmuje relatywnie niskie, natomiast scenariusz RCP 8.5 bardzo wysokie, ale mimo to wciąż realistyczne emisje gazów cieplarnianych.

Do połowy XXI wieku zmiany większości elementów klimatycznych nie są jeszcze znaczne, tzn. nie wychodzą poza przedział ich naturalnej zmienności. Analiza koncentruje się z tego względu na wartościach rocznych oraz półrocznych dla okresu 2071-2100 oraz w pierwszym etapie, na podstawie średniej arytmetycznej ze wszystkich dostępnych stacji meteorologicznych:

- Średnia temperatura roczna wzrośnie o wartość w przedziale od 1 do ok. 3,7 °C.
- Zwiększą się dobowe amplitudy temperatury powietrza, zmniejszą się natomiast ekstremalne amplitudy temperatury.
- Okres wegetacyjny wydłuży się o ok. od 30 do 80 dni.
- Suma opadów w lecie zmniejszy się od 2 do 15 %.
- Suma opadów w zimie zwiększy się od 3 do 10 %.
- Usłonecznienie wzrośnie o 80 - 300 godzin w skali roku.
- Parowanie potencjalne zwiększy się o 30 - 110 mm.
- Klimatyczny bilans wodny będzie mniejszy o 50 - 250 mm.
- Liczba dni z opadem intensywnym zmaleje w półroczu letnim, a z opadem ekstremalnym nie wykazuje wyraźnej tendencji.
- Okresy bezopadowe trwające powyżej 11 dni nie wykazują długotrwałego trendu zmian, bądź jest on nieznacznie ujemny. Częstotliwość występowania okresów bezopadowych będzie się charakteryzować nieznacznym wzrostem w półroczu letnim.
- Wskaźnik SPI12 pozostanie stały lub lekko zmaleje, co wskazywać może na występowanie bardziej suchych warunków.

Porównując występujące w przeszłości trendy zmian z tendencjami wartości z projekcji, można stwierdzić, że trendy wzrostu temperatury i usłonecznienia będą miały miejsce również w przyszłości. W przypadku opadów trend jest odwrotny, będą one malały. Będzie to prowadziło do wyraźnego zmniejszenia dostępnych zasobów wodnych w półroczu letnim. Za pomocą modeli hydrologicznych (patrz rozdział 6) sprawdzone zostanie, czy warunki hydrologiczne w obszarze opracowania będą niekorzystne. Badania przeprowadzone przy wykorzystaniu globalnych modeli klimatu wykazują zmniejszenie się odpływu i wilgotności gleby (Rysunek 28).



**Rysunek 28: Zmiany odpływu (po lewej) oraz wilgotności gleby (po prawej) dla okresu 2016-2035 w odniesieniu do 1986-2005. Podstawą są modele globalne CMIP5 przy wykorzystaniu scenariusza RCP 4.5. Liczba użytych modeli widoczna jest u góry po prawej. Obszary zakreskowane są tymi, w których sygnał klimatyczny jest słaby w porównaniu do modelowanej zmienności (IPCC 2013)**

Należy dodać, że pewnym ograniczeniem jest fakt, że badania do chwili obecnej prowadzone były przede wszystkim w skali roku. Jednak zmienność w ciągu roku może być bardzo duża, co pokazane zostało na przykładzie klimatycznego bilansu wodnego, silnie malejącego w półroczu letnim oraz prawie niezmiennych warunków w półroczu zimowym. Porównanie scenariuszy RCP 2.6 z RCP 8.5 wyraźnie wskazuje na niepewności projekcji klimatu. Występować może zarówno brak, jak i silny sygnał klimatyczny. Na dodatkową niepewność, zmienność wewnętrzną modeli, wskazuje porównanie trzech przebiegów scenariusza RCP 8.5. W tym przypadku trend klimatycznego bilansu wodnego wskazuje wartości wahające się pomiędzy -120 i -165 mm (Rysunek 23). Obecnie nie jest możliwe stwierdzenie, który z przebiegów jest najbardziej prawdopodobny, co podkreśla znaczenie rozpatrywania wiązki wielu modeli, scenariuszy i przebiegów.

W ramach tego projektu skoncentrowano się na średnim zachowaniu się klimatu w skali roku dla całego obszaru opracowania. Dalsze analizy powinny być skierowane na przebieg zmian w ciągu roku oraz ewentualne różnice regionalne.



## 5. Perspektywa

**W** jaki sposób prognozowane zmiany klimatyczne wpłyną na bilans wodny zlewni Nysy Łużyckiej? Jakie będą zasoby wodne przy mniejszym zasilaniu z opadu atmosferycznego, przy jednocześnie intensywniejszym parowaniu? Jak zmienią się parametry odpływu oraz zasilanie wód podziemnych? Czy zmiana warunków klimatycznych może wpłynąć na użytkowanie zasobów wodnych? Te i inne pytania będą rozpatrywane na drugim etapie realizacji projektu NEYMO, który poświęcony jest bilansowi wodnemu. Wyniki zostaną przedstawione w dodatkowej broszurze.

Celem projektu Neymo jest ocena stanu zasobów wodnych w zlewni Nysy Łużyckiej dla aktualnych i prognozowanych warunków klimatycznych oraz hydrologicznych. Kompleksowa ocena bilansu wodnego jest skomplikowana z uwagi na silne antropogeniczne oddziaływanie odkrywkowych kopalń węgla brunatnego oraz wpływ innych użytkowników zasobów wodnych na zlewnię. W oparciu o obliczony bilans wodny opracowany zostanie katalog działań naprawczych, co pozwoli na wskazanie zainteresowanym podmiotom działań i adaptacji, które umożliwią dobre i trwałe użytkowanie zasobów wodnych regionu. Działania człowieka, które negatywnie wpływają na podatność ekosystemów, w tym eksploatacja zasobów wodnych, coraz częściej powodują zmiany reżimu w ekosystemach, często na warunki mniej korzystne i zdegradowane. Dlatego też w ramach projektu Neymo zaplanowano również stworzenie katalogu działań naprawczych, który zwiększy świadomość użytkowników wód i da podstawy do wdrożenia zrównoważonego rozwoju oraz ochrony zasobów wodnych.

Zanim przeprowadzona zostanie analiza zasobów wodnych dla przyszłych warunków klimatycznych, konieczne jest przeprowadzenie obliczeń obecnego i minionego bilansu wodnego regionu. Przetworzone dane meteorologiczne oraz dane z projekcji zmian klimatu będą danymi wejściowymi dla modeli bilansu wodnego, które stanowią kolejny etap projektu. Zastosowane podejście do opracowania modeli bilansu wodnego jest podejściem kompleksowym, które pozwala na opisanie poprzez algorytmy zarówno rozdziału wody w glebie, jak i pomiędzy użytkownikami regionu Nysy Łużyckiej. Zastosowane zostały dwa różne modele, które wzajemnie się uzupełniają i w pełni wykorzystują swoje możliwości. Wynik modelowania stanowią serie czasowe natężenia przepływu uwzględniające użytkowanie zasobów wodnych w całej zlewni Nysy Łużyckiej.

Otrzymane wyniki modelowania będą przydatne m. in. dla:

- Kopalń węgla brunatnego dla celów planowania przyszłych działań związanych z rekultywacją w kierunku wodnym
- Urzędów, planistów – poznanie zasobów wodnych w gminie, powiecie, do wydawania pozwoleń wodnoprawnych
- Elektrowni wodnych dla celów planowania przyszłych inwestycji.
- Przyszłych inwestorów związanych profilem działalności z wykorzystaniem wód powierzchniowych.
- Dla przygotowania katalogu działań.



Dalsze analizy związane będą z opracowaniem modelu zintegrowanego, łączącego dwa systemy wodne. Zintegrowany model pozwoli na określenie możliwych interakcji wód powierzchniowych z wodami podziemnymi. Z uwagi na skomplikowaną strukturę, a także mając na uwadze efektywność obliczeniową, model w pierwszej kolejności opracowany zostanie dla obszaru pilotażowego.

Druga broszura, a także katalog działań wydane zostaną jesienią, przed zakończeniem projektu. Za pośrednictwem tych materiałów będą Państwo mogli zapoznać się z prognozami bilansu wodnego, następstwami zmian zasobów wodnych oraz propozycjami działań naprawczych/adaptacyjnych.

## Wykaz literatury

Alexandersson H (1986): A homogeneity test applied to precipitation data. *Journal of Climatology* 6, str. 661-675.

Ångström A (1924): Solar and terrestrial radiation. Report to the international commission for solar research on actinometric investigations of solar and atmospheric radiation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, Vol. 50 (210), 121-126.

ATV-DVWK (1996): Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Merkblatt M 238, Bonn, str. 135

ATV-DVWK (2002): Verdunstung in Bezug zu Landnutzung, Bewuchs und Boden. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Merkblatt M 504. Offenbach am Main, str. 108

Bernhofer C, Franke J (2013): Aufbereitung meteorologischer Daten für die Verwendung im Klimamodell im Rahmen des Projektes Neymo. Abschlussbericht, 35 S, unveröff.

Buishand TA (1982): Some methods for testing the homogeneity of Rainfall Records. *Journal of Hydrology* 58, 11-27.

Bundesamt für Naturschutz (BFN), (2009): Natura 2000 - Fauna-Flora-Habitatrichtlinie und Vogel schutzrichtlinie - Gebiete und Arten in Deutschland.

Craddock JM (1979): Methods for Comparing Annual Rainfall Records for Climatic Purposes. *Weather* 34, 322-346.

Dyck S (1976): *Angewandte Hydrologie Teil 1*. Verlag für Bauwesen, Berlin, str. 511

Dyck S, Peschke G (1995): *Grundlagen der Hydrologie*. Verlag für Bauwesen, Berlin, str. 536

European Climate Assessment & Dataset. Algorithm Theoretical Basis Document. December 2012. KNMI.

Hann J (1897): *Handbuch der Klimatologie*. Engelhorn-Verlag, Stuttgart, str. 404

IPCC (2013) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, TF, Qin D, Plattner GK, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V and Midgley PM (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

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>.

Jacob D et al. (2007) An intercomparison of regional climate models for Europe: model performance in present-day climate. *Climatic Change* 81:31–52.

Klein Tank A., Zwiers F., Zhang X. 2009. Guidelines on analysis of extreme in a changing climate in support of informed decisions for adaptation. *Climate Data and Monitoring WCDMP-No. 72, WMO-TD No. 1500*.

Kreienkamp F und Spekat A (2011) IDP. Ein Werkzeug zur explorativen Datenanalyse. Bedienungsanleitung Version 3.4.0.8. Bericht, Potsdam: Climate and Environment Consulting GmbH im Auftrag des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen Anhalt.

Kreienkamp F, Spekat A und Enke W (2013). The Weather Generator used in the Empirical Statistical Downscaling Method, WETTREG (Technical Note). *Atmosphere*, 2013: 169-197.

Kreienkamp F, Spekat A und Enke W (2013a) Modellierung von Klimaprojektionen für das erweiterte Neißeinzugsgebiet im Rahmen des Projektes NEYMO (Lausitzer Neiße/ Nysa Luzycka – Klimatische und hydrologische Modellierung, Analyse und Prognose). Dresden: Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Kwiatkowski J., Hołdys T., 1985. *Klimat [w:] Karkonosze polskie*, red. A. Jahn, PAN Wrocław.

Kowalczyk P., 2008. *Zagrożenia związane z deficytem wody*, Wydawnictwo Kurpisz S.A., Poznań.

Moberg A., Jones P.D. 2005. Trends in indices for extremes in daily temperature and precipitation in Central and Western Europe. *International Journal of Climatology*. Vol. 25.

Moss RH, Edmonds JA, Hibbard KA, Manning MR, Rose SK, van Vuuren DP, Carter TR, Emori S, Kainuma M, Kram T (2010) The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463, 747-756

Nicholls N., Murray W. 1999. Workshop on indices and indicators for climate extremes: Asheville, NC, USA, 3-6 June 1997. Breakout Group B: Precipitation. *Climatic Change* 42.

Paszyński J., Niedźwiedź T., 1999. *Klimat [w:] L. Starkel (red.) Geografia Polski – środowisko przyrodnicze*. PWN Warszawa.

Panagos P, Van Liedekerke M, Jones A., Montanarella L European Soil Data Centre: Response to European policy support and public data requirements. (2012) *Land Use Policy*, 29 (2), pp. 329-338. doi:10.1016/j.landusepol.2011.07.003

Panagos P The European soil database (2006) *GEO: connexion*, 5 (7), pp. 32-33.

Richter D (1995): Ergebnisse methodischer Untersuchungen zur Korrektur des systematischen Meßfehlers des Hellmann-Niederschlagsmessers. *Berichte des Deutschen Wetterdienstes* 194, Eigenverlag, Offenbach (M), str. 93

Schmuck A., 1969. *Klimat Sudetów*. *Prob. Zagosp. Ziem Gór.*, z. 5(18).

Schönwiese CD (2006): *Praktische Statistik für Meteorologen und Geowissenschaftler*. Gebrüder Bornträger. 4. Auflage. Berlin, Stuttgart

SMUL (2008): *Sachsen im Klimawandel – Eine Analyse*. Str. 212

The ESDB v2.0: "The European Soil Database distribution version 2.0, European Commission and the European Soil Bureau Network, CD-ROM, EUR 19945 EN, 2004".

## Wykaz rysunków

Rysunek 1: Schemat wdrażania projektu _____	7
Rysunek 2: Transgraniczna zlewnia Nysy Łużyckiej _____	10
Rysunek 3: Użytkowanie terenu (Corine Land Cover) _____	12
Rysunek 4: Rodzaje gleb w zlewni Nysy Łużyckiej - wyciąg z Europejskiego Atlasu Gleb _____	13
Rysunek 5: Schemat rozmieszczenia wodowskazów _____	15
Rysunek 6: Obszary Natura 2000 i parki krajobrazowe w zlewni Nysy Łużyckiej _____	17
Rysunek 7: Dostępność danych meteorologicznych wg poszczególnych elementów, 1971-2010, zlewnia Nysy Łużyckiej _____	22
Rysunek 8: Średnia temperatura roczna w okresie referencyjnym 1971-2000 (utworzony za pomocą IDP®). ___	27
Rysunek 9: Diagramy klimatyczne według Waltera Lietha dla 2 stacji położonych na różnych wysokościach n.p.m. w obszarze opracowania. Struktura diagramu: u góry - stacja, wysokość, okres, średnia roczna temperatura i suma opadów; po lewej: średnia temperatura powietrza, po prawej: suma opadów; na dole: miesiące z możliwymi wystąpieniem temperatury powietrza poniżej 0°C oraz miesiące z temperaturą poniżej 0°C. _____	28
Rysunek 10: Średnie roczne sumy opadów (nieskorygowane) w okresie referencyjnym 1971-2000 (utworzono za pomocą IDP®) _____	30
Rysunek 11: Trend względny zmian liczby dni z opadem ekstremalnym (R95p) w okresie 1971-2010 _____	33
Rysunek 12: Trend zmian okresów bez opadów w okresie 1971-2010 Od lewej do prawej: 1. rzqd: czas trwania w półroczu letnim i zimowym; 2. rzqd: częstotliwość występowania w półroczu letnim i zimowym (Legenda patrz Rysunek 11) _____	34
Rysunek 13: Wskaźnik standaryzowanego opadu SPI dla okresów: 3, 6 i 12 miesięcznych (SPI3, SPI6 i SPI12) w latach 1971-2010 dla stacji meteorologicznej w Görlitz _____	35
Rysunek 14: Średnie wartości klimatycznego bilansu wodnego KBW dla okresu 1971-2000 oraz trendy absolutne (dodatni, ujemny) dla okresu 1971-2010 _____	37
Rysunek 15: Po lewej: scenariusze emisji gazów cieplarnianych (scenariusze SRES) ( <a href="http://klimawiki.org/klimawandel/index.php/Klimaszenarien">http://klimawiki.org/klimawandel/index.php/Klimaszenarien</a> ); po prawej: scenariusze koncentracji gazów cieplarnianych (scenariusze RCP), <a href="http://klimawiki.org/klimawandel/index.php/RCP-Szenarien">http://klimawiki.org/klimawandel/index.php/RCP-Szenarien</a> ) _____	41
Rysunek 16: Rozwój w czasie niepewności, które bazują na globalnych wynikach CMIP5 (IPCC 2013). Pomarańczowy: wewnętrzna rozbieżność modelu, niebieski: różnice pomiędzy modelami, zielony: uwarunkowania scenariuszy RCP, szary: niepewności modelu w przeszłości. _____	41
Rysunek 17: Sygnał zmian klimatu dla temperatury powietrza w okresie 2071-2100 w odniesieniu do 1971-2000. Przedstawiona jest średnia realizacja za pomocą WETTREG dla pięciu scenariuszy (od lewej u góry do prawej na dole.): A1B, RCP 2.6, RCP 8.5,L1, RCP 8.5,L2, RCP 8.5,L3. _____	45

- Rysunek 18: Sygnał zmian klimatu dla opadów półrocza letniego w okresie 2071-2100 w odniesieniu do 1971-2000. Przedstawiona jest średnia realizacja za pomocą WETTREG dla pięciu scenariuszy (od lewej u góry do prawej na dole): A1B, RCP 2.6, RCP 8.5,L1, RCP 8.5,L2, RCP 8.5,L3. \_\_\_\_\_ 46
- Rysunek 19: Sygnał zmian klimatu dla opadów półrocza zimowego w okresie 2071-2100 w odniesieniu do 1971-2000. Przedstawiona jest średnia realizacja za pomocą WETTREG na podstawie pięciu przebiegów scenariusza (od lewej u góry do prawej na dole): A1B, RCP 2.6, RCP 8.5,L1, RCP 8.5,L2, RCP 8.5,L3. \_\_\_\_\_ 47
- Rysunek 20: Zbiór realizacji WETTREG (zaznaczony na szaro), średnia 11-letnia wszystkich realizacji (zaznaczona na kolorowo), linia trendu dla okresu 2010-2100 oraz przedział ufności uśrednionej realizacji opadów rocznych. Przedstawiona jest średnia arytmetyczna ze wszystkich stacji. \_\_\_\_\_ 48
- Rysunek 21: Zbiór realizacji WETTREG (zaznaczony na szaro), średnia 11-letnia wszystkich realizacji (zaznaczona na kolorowo), linia trendu dla okresu 2010-2100 oraz przedział ufności uśrednionej realizacji średniej temperatury dobowej. Przedstawiona jest średnia arytmetyczna wszystkich stacji. \_\_\_\_\_ 49
- Rysunek 22: Zbiór realizacji WETTREG (zaznaczony na szaro), średnia 11-letnia wszystkich realizacji (zaznaczona na kolorowo), linia trendu dla okresu 2010-2100 oraz przedział ufności uśrednionej realizacji wartości rocznych usłonecznienia, potencjalnego parowania oraz klimatycznego bilansu wodnego. Przedstawiona jest średnia arytmetyczna wszystkich stacji. \_\_\_\_\_ 50
- Rysunek 23: Sygnał zmian klimatycznego bilansu wodnego w półroczu letnim dla bliskiej i dalekiej przyszłości. Przedstawiona jest średnia z ośmiu stacji meteorologicznych położonych poniżej 350 m n.p.m. oraz z trzech stacji położonych powyżej lub na wysokości 350 m n.p.m. \_\_\_\_\_ 51
- Rysunek 24: Zbiór realizacji WETTREG (zaznaczony na szaro), średnia 11-letnia wszystkich realizacji (zaznaczona na kolorowo), linia trendu dla okresu 2010-2100 oraz przedział ufności uśrednionej realizacji opadów intensywne R10mm oraz opadów ekstremalnych R20mm w półroczu letnim. Przedstawiona jest średnia arytmetyczna ze wszystkich stacji. \_\_\_\_\_ 53
- Rysunek 25: Zbiór realizacji WETTREG (zaznaczony na szaro), średnia 11-letnia wszystkich realizacji (zaznaczona na kolorowo), linia trendu dla okresu 2010-2100 oraz przedział ufności uśrednionej realizacji maksymalnego opadu 1-dobowego (RX1day) oraz 5-dobowego (RX5day) w półroczu letnim. Przedstawiona jest średnia arytmetyczna ze wszystkich stacji. \_\_\_\_\_ 54
- Rysunek 26: Zbiór realizacji WETTREG (zaznaczony na szaro), średnia 11-letnia wszystkich realizacji (zaznaczona na kolorowo), linia trendu dla okresu 2010-2100 oraz przedział ufności uśrednionej realizacji czasu trwania i częstotliwości występowania okresów bez opadów oraz wskaźnika standaryzowanego opadu w półroczu letnim. Przedstawiona jest średnia arytmetyczna ze wszystkich stacji. \_\_\_\_\_ 56
- Rysunek 27: Zbiór realizacji WETTREG (zaznaczony na szaro), średnia 11-letnia wszystkich realizacji (zaznaczona na kolorowo), linia trendu dla okresu 2010-2100 oraz przedział ufności uśrednionej realizacji dobowych i ekstremalnych amplitud temperatury powietrza (DTR, ETR) oraz czasu trwania okresu wegetacyjnego (GS). Przedstawiona jest średnia arytmetyczna ze wszystkich stacji. \_\_\_\_\_ 58
- Rysunek 28: Zmiany odpływu (po lewej) oraz wilgotności gleby (po prawej) dla okresu 2016-2035 w odniesieniu do 1986-2005. Podstawą są modele globalne CMIP5 przy wykorzystaniu scenariusza RCP 4.5. Liczba użytych modeli widoczna jest u góry po prawej. Obszary zakreślowane są tymi, w których sygnał klimatyczny jest słaby w porównaniu do modelowanej zmienności (IPCC 2013) \_\_\_\_\_ 60

---

## Wykaz tabel

<i>Tabela 1: Główne charakterystyki wodowskazów na Nysie Łużyckiej</i>	16
<i>Tabela 2: Podstawowe elementy klimatu (mierzone) oraz parametry wyznaczane na podstawie wartości mierzonych</i>	20
<i>Tabela 3: Wartości średnie wskaźników temperatury powietrza dla okresu 1971-2000 i trendy absolutne (dodatni, ujemny) dla okresu 1971-2010 w czterech przedziałach wysokościowych, dla roku, półrocza letniego i zimowego</i>	29
<i>Tabela 4: Wartości średnie wskaźników opadów dla okresu 1971-2000 i trendy absolutne (dodatni, ujemny) dla okresu 1971-2010 w czterech przedziałach wysokościowych dla roku, półrocza letniego i zimowego</i>	32
<i>Tabela 5: Wartości średnie wskaźników suszy dla okresu 1971-2000 oraz trendy absolutne (dodatni, ujemny) dla okresu 1971-2010 w czterech przedziałach wysokościowych dla roku, półrocza letniego i zimowego</i>	35
<i>Tabela 6: Wartości średnie usłonecznienia (SS) w okresie 1971-2000 oraz trendy absolutne (dodatni, ujemny) w okresie 1971-2010 w czterech przedziałach wysokościowych dla roku, półrocza letniego i zimowego</i>	36
<i>Tabela 7: Średnie wartości parowania potencjalnego PET oraz klimatycznego bilansu wodnego KBW dla okresu 1971-2000 oraz trendy absolutne (dodatni, ujemny) dla okresu 1971-2010 w czterech przedziałach wysokościowych dla roku, półrocza letniego i zimowego</i>	37



## 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, Thomas Pluntke, Corina Niemand

IMGW-PIB

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

➤ **Redakcja:**

Kathleen Lünich, Thomas Pluntke, Michael Prasser

➤ **Zdjęcie na okładce**

Robert Kneschke

➤ **Druk:**

Reprogress GmbH, Dresden

➤ **Nakład:**

200 egzemplarzy

ISBN: 978-83-61102-95-3

➤ **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.



**Aneks 1: Absolutne dobowe minimum (TNa) i maksimum (TXa) temperatury powietrza (oC) w poszczególnych miesiącach wielolecia 1971-2010 oraz daty ich wystąpienia**

Miesiąc /rok	Cottbus (69 m n.p.m.)		Görlitz (238 m n.p.m.)		Jelenia Góra (342 m n.p.m.)		Bedrichov (777 m n.p.m.)		Śnieżka (1603 m n.p.m.)	
	TNa [°C]	TXa [°C]	TNa [°C]	TXa [°C]	TNa [°C]	TXa [°C]	TNa [°C]	TXa [°C]	TNa [°C]	TXa [°C]
<b>Styczeń</b>	-24.5 1987-01-11	16.1 1991-01-10	-27.5 1987-01-14	16.0 1991-01-10	-31.8 1985-01-08	17.0 1993-01-17	-30.5 1987-01-14	10.0 1993-01-12; 2002-01-29	-32.9 1987-01-12	10.5 1998-01-11
<b>Luty</b>	-23.0 1985-02-12	19.5 1990-02-21	-23.7 1985-02-12	15.9 1990-02-25	-26.2 1985-02-12; 1998-02-01	19.5 1990-02-23 1990-02-21	-27.0 1986-02-27	12.8 1990-02-23	-24.9 1991-02-06	10.1 2002-02-04
<b>Marzec</b>	-20.1 1971-03-04	23.5 2010-03-26	-18.2 1971-03-04	21.1 2010-03-26	-29.6 1971-03-05	23.3 1974-03-21	-25.2 1987-03-05	17.2 1990-03-19	-25.5 1971-03-04	11.2 1981-03-31
<b>Kwiecień</b>	-7.1 1996-04-01	29.5 2000-04-23	-6.7 1996-04-01	26.5 1993-04-27	-14.5 1977-04-01	26.9 1996-04-23	-16.6 1996-04-01	24.7 2000-04-23	-14.9 2003-04-07	14.7 2000-04-22
<b>Maj</b>	-2.9 1978-05-11	33.3 1971-05-18	-2.6 1978-05-11	30.4 2005-05-28	-5.5 1980-05-04	31.1 2005-05-30	-5.6 1978-05-11; 2005-05-06	27.3 2008-05-30	-12.0 1978-05-11	21.2 2009-05-26
<b>Czerwiec</b>	0.7 1975-06-02	36.6 2000-06-21	0.2 1977-06-01	35.0 2000-06-21	-2.1 1975-06-02	33.5 2000-06-21	-3.3 2005-06-02	30.6 2000-06-21	-4.8 1977-06-01; 1991-06-02	22.2 1994-06-29
<b>Lipiec</b>	5.1 1979-07-03	38.0 1994-07-31	4.8 1978-07-18	35.9 1994-07-31; 2007-07-16	0.0 1988-07-01	35.4 1994-07-30	1.9 1979-07-03	33.0 1994-07-30	-1.5 1989-07-17	24.5 2005-07-29
<b>Sierpień</b>	3.2 1976-08-23	38.4 1992-08-09	4.1 1976-08-23	35.5 1994-08-01	0.3 1976-08-23	35.8 1994-08-01	1.0 2005-08-28	32.0 1994-08-01	-2.6 1980-08-25	23.5 1994-08-01
<b>Wrzesień</b>	0.0 1973-09-14	33.3 1975-09-17	0.0 1977-09-18	32.1 1975-09-17	-4.0 1977-09-28	34.0 1975-09-17	-3.0 1993-09-30	28.5 1975-09-17	-5.8 2002-09-25	21.1 1975-09-17
<b>Październik</b>	-7.8 1997-10-28	27.8 1985-10-04	-5.6 1991-10-30	25.0 1995-10-11	-8.7 2003-10-28	27.7 1985-10-04	-10.7 2003-10-25	22.7 1995-10-10	-12.6 2003-10-23	16.2 2001-10-14
<b>Listopad</b>	-13.2 1993-11-28	19.6 2006-11-16	-14.7 1975-11-25	17.6 2002-11-16	-22.1 1988-11-23	19.5 2010-11-14	-19.0 1988-11-22	15.5 2008-11-05	-16.8 1998-11-21	13.9 2009-11-20
<b>Grudzień</b>	-20.3 1996-12-29	15.6 1985-12-03	-22.0 1996-12-29	13.7 1985-12-06	-29.5 1996-12-29	15.6 1989-12-19	-25.7 1976-12-30	10.7 2007-12-21	-23.7 2001-12-13	12.0 2003-12-04
<b>rok</b>	-24.5 1987-01-11	38.4 1992-08-09	-27.5 1987-01-14	35.9 1994-07-31; 2007-07-16	-31.8 1985-01-08	35.8 1994-08-01	-30.5 1987-01-14	33.0 1994-07-30	-32.9 1987-01-12	24.5 2005-07-29

Aneks 2: Średnie daty początku i końca oraz czas trwania meteorologicznego okresu wegetacyjnego w latach 1971-2000

Stacja	Wysokość [m n.p.m.]	Okres wegetacyjny		
		Data początku	Data końca	Czas trwania
Słubice	22	24.Marzec	11.Listopad	233
Cottbus	69	24.Marzec	16.Listopad	238
Zielona Góra	192	26.Marzec	8.Listopad	228
Görlitz	238	25.Marzec	9.Listopad	230
Jelenia Góra	342	29.Marzec	8.Listopad	225
Bedrichov	777	21.Kwiecień	17.Listopad	180
Śnieżka	1603	1.Czerwiec	23.Wrzesień	115

Akronim	Jednostka	Termin	Opis
<b>A1B</b>	-	Scenariusz	A1B jest jednym ze scenariuszy SRES (Special Report on Emission Scenarios). Przedstawia przyszłe zmiany emisji gazów cieplarnianych i aerozoli, opracowany na podstawie założeń dotyczących rozwoju demograficznego i społeczno-gospodarczego, postępu technologicznego itp.
<b>DPD</b>	-	Czas trwania okresów bez opadów	Czas trwania okresów bezopadowych.
<b>DPF</b>	-	Częstość występowania okresów bez opadów	Do okresów bez opadów zalicza się takie, w przypadku których przez kolejnych co najmniej 11 dni suma dobową opadów wynosi mniej niż 1 mm.
<b>DTR</b>	°C	Dobowa amplituda temperatury powietrza	Różnica pomiędzy maksymalną a minimalną dobową temperaturą powietrza.
<b>ECHAM</b>	-	Akronim z ECMWF i Hamburg	Model globalnej cyrkulacji atmosfery rozwinięty w Instytucie Meteorologii Maxa Plancka w Hamburgu (MPI). Opracowany na podstawie modelu prognostycznego Europejskiego Centrum Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF).
<b>ETR</b>	°C	Ekstremalna różnica temperatury powietrza	Różnica pomiędzy maksymalną a minimalną temperaturą powietrza w określonym przedziale czasu.
<b>GSL</b>	Dni	Czas trwania okresu wegetacyjnego	Meteorologiczny okres wegetacyjny rozpoczyna się, gdy w ciągu 6-ciu kolejnych dni średnia dobową temperatura powietrza przekracza 5°C. Okres ten kończy się, gdy w ciągu 6-ciu kolejnych dni średnia dobową temperatura powietrza wynosi poniżej 5°C. Czas trwania okresu wegetacyjnego oblicza się na podstawie daty jego rozpoczęcia i zakończenia.
<b>IPCC</b>	-	Międzyrządowy Zespół ds. Zmian Klimatu	Międzyrządowy Zespół ds. Zmian Klimatu (w skrócie IPCC). IPCC powstało w celu oceny ryzyka związanego z działalnością człowieka na zmiany klimatu.
<b>KWB</b>	mm	Klimatyczny bilans wodny	KBW jest określany jako różnica pomiędzy przychodami wody w postaci opadów, a stratami w procesie parowania (ewapotranspiracji). KBW określa stan uwilgotnienia środowiska. Ujemne wartości wskazują na niedobór opadów.
<b>SWQ</b>	m <sup>3</sup> /s	Przepływ średni wysoki	Średnia arytmetyczna przepływów najwyższych (WQ) z podobnego okresu obserwacyjnego.
<b>SNQ</b>	m <sup>3</sup> /s	Przepływ średni niski	Średnia arytmetyczna przepływów najniższych (NQ) z podobnego okresu obserwacyjnego.
<b>SQ</b>	m <sup>3</sup> /s	Przepływ średni	Średnia arytmetyczna przepływów dobowych.
<b>PET</b>	mm	Parowanie potencjalne	Jest to wielkość umowna, która oznacza maksymalne możliwe parowanie z danej powierzchni przy zapewnieniu stałego nasycenia wodą. W opracowaniu zastosowano metodę Turca-Wendlinga (DVWK, 1996), która wymaga niewielkiej liczby danych wejściowych (promieniowanie całkowite i temperatura powietrza).
<b>q</b>	l/(km <sup>2</sup> /s)	Spływ jednostkowy	Ilość wody odpływająca z jednostki powierzchni zlewni w ciągu 1 s.
<b>RCP2.6</b> <b>RCP8.5</b>	-	Scenariusze koncentracji RCP (Representative Concentration Path)	Nowe scenariusze zmian koncentracji gazów cieplarnianych opracowane i opublikowane w 5-tym Raporcie IPCC 2013/14. Nowe scenariusze RCP określają oszacowane wielkości wymuszenia radiacyjnego przez gazy cieplarniane w roku 2100 (2.6, 4.5, 6.0, and 8.5 W/m <sup>2</sup> ).
<b>R10mm</b>	Dni	Dni z intensywnym opadem	Liczba dni z opadem powyżej lub równym 10 mm.

<b>R20mm</b>	Dni	Dni z ekstremalnymi opadami	Liczba dni z opadem powyżej lub równym 20 mm.
<b>R90p</b>	Dni	Dni z intensywnym opadem	Liczba dni z opadem większym niż 90. percentyl dobowej sumy opadów. Percentyl oblicza się na podstawie opadów dobowych (dni z opadem większym niż 1 mm) z okresu referencyjnego 1971-2000.
<b>R90pT</b>	%	Udział opadów intensywnych	Suma opadów powyżej 90. percentyla w odniesieniu do całkowitej sumy opadów w określonym czasie.
<b>R95p</b>	Dni	Dni z ekstremalnymi opadami	Liczba dni z opadem większym niż 95. percentyl dobowej sumy opadów. Szczegóły opisane są w R90p.
<b>R95pT</b>	%	Udział opadów ekstremalnych	Suma opadów powyżej 95. percentyla w odniesieniu do całkowitej sumy opadów w określonym czasie
<b>R99p</b>	Dni	Dni z opadem powyżej 99. percentyla	Liczba dni z opadem powyżej 99. percentyla dobowej sumy opadów. Szczegóły opisane są w R90p.
<b>R99pT</b>	%	Udział opadów powyżej 99. percentyla	Suma opadów powyżej 99. percentyla w odniesieniu do całkowitej sumy opadów w określonym czasie.
<b>RR</b>	mm	Opad atmosferyczny	Suma ciekłych i stałych opadów w określonym czasie.
<b>RX1day</b>	mm	Maksymalny opad dobowy	Najwyższy opad zmierzony w czasie jednej doby.
<b>RX5day</b>	mm	Maksymalny opad 5-cio dniowy	Najwyższa suma opadów, która została zmierzona w ciągu pięciu kolejnych dni.
<b>SHJ</b>	-	Półrocze letnie	Miesiące od kwietnia do września.
<b>SPI</b>	-	Wskaźnik standaryzowanego opadu	Wskaźnik SPI jest obliczany na podstawie rozkładu prawdopodobieństwa sum opadów (McKee et al., 1993). Z tego względu wskaźnik ten może być stosowany przy porównywaniu regionów o różnej charakterystyce opadowej. Dodatkowo wartości SPI charakteryzują okresy wilgotne, a ujemne okresy suche. Wskaźnik SPI może być wyznaczany dla różnych okresów: 3, 6 i 12 miesięcy. SPI dla 3 miesięcy – koreluje z wilgotnością gleby i wskazuje na zagrożenie suszą glebową lub nadmierne uwilgotnienie gleby, SPI dla 6 lub 12 miesięcy – koreluje z przepływaniami w rzekach i wskazuje na zagrożenie suszą hydrologiczną.
<b>SS</b>	godz.	Uśonecznienie	Suma godzin z promieniowaniem bezpośrednim w określonym czasie.
<b>TG</b>	°C	Średnia temperatura powietrza	Średnia dobową temperatura powietrza.
<b>TN</b>	°C	Minimalna temperatura powietrza	Dobowa temperatura minimalna powietrza.
<b>TX</b>	°C	Maksymalna temperatura powietrza	Dobowa temperatura maksymalna powietrza.
<b>WETTREG</b>	-	Statystyczny model klimatu	WETTREG - regionalny statystyczny model klimatu opracowany w Niemczech. Model WETTREG wykorzystuje zależności statystyczne między zmiennymi klimatu w skali globalnej i lokalnej.
<b>WHJ</b>	-	Półrocze zimowe	Miesiące od października do marca

