

**Opis metod obliczania ilości wód opadowych  
i roztopowych z obszarów kolejowych,  
zdefiniowanie parametrów linii kolejowych  
mających wpływ na współczynnik spływu, podział  
obszaru kolejowego na potencjalne obszary  
o odmiennych współczynnikach spływu oraz  
opracowanie metodyki badań współczynnika  
spływu**



Autorzy:

Prof. dr hab. inż. Stefan Ignar

Prof. dr hab. inż. Tomasz Okruszko

Dr Mateusz Grygoruk

Mgr inż. Paweł Trandziuk

Mgr inż. Zygmunt Pietraszek

Mgr inż. Paweł Osuch

## Spis treści

1. Podstawa prawna i informacje wstępne.....	3
2. Wstęp.....	4
3. Przewidywane zmiany klimatu.....	5
3.1. Aktualnie obserwowane zmiany opadów	5
3.2. Prognozowane zmiany klimatu	6
3.3. Scenariusze emisyjne	7
3.4. Prognozowane zmiany opadów	9
3.5. Czas koncentracji dla torów kolejowych	12
4. Etap IX – Określenie zalecanej metodyki obliczania ilości wód opadowych i roztopowych z obszaru kolejowego.....	15
4.1. Wprowadzenie do problematyki odwadniania torowisk	15
4.2. Wzór ogólny, metodyka	16
4.3. Wyznaczanie powierzchni zlewni	17
4.4. Współczynnik spływu	18
4.5. Natężenie miarodajne deszczu	24
4.6. Algorytm zastosowania (przykład)	28
5. Etap X – Mapy rocznej sumy opadów.....	37
6. Wnioski i zalecenia.....	41
7. Literatura.....	43
8. Załączniki.....	45

## **1. Podstawa prawna i informacje wstępne**

Niniejszą ekspertyzę naukową wykonano na podstawie Umowy nr 60/018/016/15/Z/O z dn. 9. października 2015 r. pomiędzy PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. a Szkołą Główną Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, której przedmiotem było wykonanie przez Szkołę Główną Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie opracowania naukowego pt.: „Ekspertyza dotycząca wytycznych do projektowania odprowadzania wód opadowych i roztopowych z linii kolejowych”. Zgodnie z postanowieniami tej umowy, niniejsze opracowanie stanowi ekspertyzę naukową nr 4., o tytule: „Opis metod obliczania ilości wód opadowych i roztopowych z obszarów kolejowych, zdefiniowanie parametrów linii kolejowych mających wpływ na współczynnik spływu, podział obszaru kolejowego na potencjalne obszary o odmiennych współczynnikach spływu oraz opracowanie metodyki badań współczynnika spływu”, składającą się z kolejnych dwóch etapów (etap IX i X) określonych w umowie.

Celem niniejszej ekspertyzy jest (1) przedstawienie zalecanej metodyki obliczania ilości wód opadowych i roztopowych z obszaru kolejowego uwzględniającą przewidywane zmiany klimatu oraz adaptacje do zmian klimatu. Ponadto w ramach ekspertyzy opracowano mapy rocznej sumy opadów dla terenów całej Polski, dla wariantów 2020 roku, 2035 roku, 2050 roku oraz 2070 roku, wykorzystywane w algorytmie obliczeniowym.

## 2. Wstęp

W związku z coraz bardziej intensywną zabudową terenu (budowa osiedli, parkingów, dróg, infrastruktury kolejowej itp.) występujący w środowisku naturalnym stan równowagi pomiędzy ilością opadów a odpływem (powierzchniowym, podpowierzchniowym oraz odpływem podziemnym), wsiąkaniem oraz parowaniem wody zostaje poważnie zaburzony. W konsekwencji znacząco zwiększa się ilość wód spływających a maleje ilość wód infiltrujących w głąb warstw gruntowych. Wsiąkanie wód opadowych na powierzchniach poboczy, rowów, skarp jest korzystne dla środowiska naturalnego (Edel, 2000). Retencjonowanie oraz wsiąkanie wód deszczowych ma wpływ na dynamikę odpływu, wielkość zasobów wód podziemnych, wydajność pracy urządzeń oczyszczających wody opadowe oraz stan ekologiczny i jakość wód powierzchniowych. Brak systemu odwodnienia lub nieprawidłowe jego funkcjonowanie powodować może zmiany parametrów nośności gruntów, powstawanie deformacji i nadmiernego osiadania budynku oraz zarysowania, pęknięcia obiektów budowlanych, budynków mieszkalnych itp. (Szling i Pacześniak, 2004). Wzrastający poziom zurbanizowania terenu często powoduje zmianę naturalnych kierunków spływu, co ma duże znaczenie przy projektowaniu urządzeń regulujących stosunki gruntowo – wodne (Edel, 2000).

Kolejnym aspektem warunkującym poprawność działania urządzeń odwadniających, projektowanych na dłuższy okres czasu jest konieczność uwzględnienia zmian klimatu (przede wszystkim charakterystyk opadów atmosferycznych).

Analiza przewidywanych zmian klimatu dowodzi, że oczekiwane zmiany w perspektywie końca wieku wywołają negatywne oddziaływanie w sektorze transportu. Dotyczy to wszystkich kategorii transportu czyli drogowego, kolejowego, lotniczego i żeglugi śródlądowej. Największym zagrożeniem dla transportu mogą być zmiany w strukturze występowania zjawisk ekstremalnych oraz zwiększenie opadu zimowego. We wszystkich wymienionych kategoriach największą wrażliwość na warunki klimatyczne wykazuje infrastruktura, która jest budowana na długi okres funkcjonowania (np. 100 lat) (KLIMADA 2).

Obecnie obserwowane zmiany klimatu będące obiektem intensywnych badań naukowców wskazują na prawdopodobną intensyfikację tych zmian w najbliższej przyszłości. W związku z tym istotnym zagadnieniem w kontekście projektowania odwodnień jest określenie kierunków tych zmian oraz adaptacja do nich.

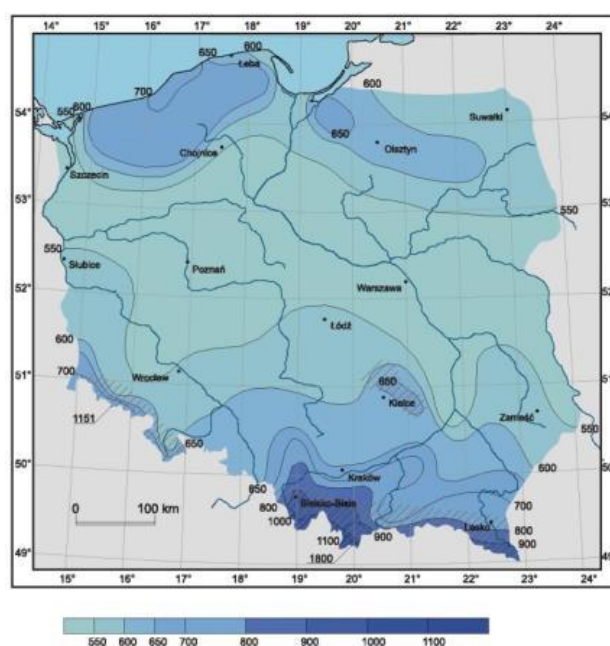
### 3. Przewidywane zmiany klimatu

#### 3.1. Aktualnie obserwowane zmiany opadów

Kluczowym zagadnieniem w przypadku projektowania odwodnień kolejowych są obserwowane i przewidywane zmiany różnych charakterystyk opadów.

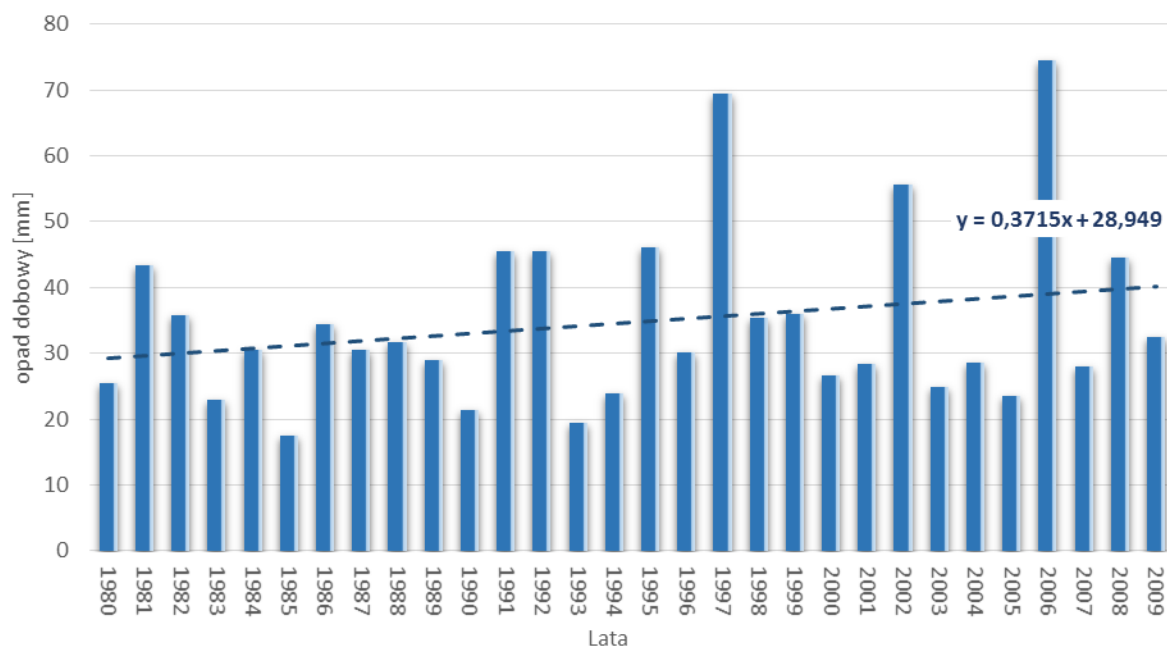
Z obserwacji na terenie obszaru Polski wynika, że opady nie wykazują jednokierunkowych tendencji. Zmieniła się natomiast struktura opadów głównie w cieplej porze roku; opady są bardziej gwałtowne, krótkotrwałe, niszczycielskie powodujące coraz częściej powodzie i podtopienia. Jednocześnie zanikają opady niewielkie (poniżej 1 mm/dobę). Na większości obszarów wzrosła częstość występowania opadów nawałnych oraz zwiększył się udział opadów nawałnych w ogólnej sumie opadów (KLIMADA 2).

Ponadto z obserwacji IMGW wynika, że opady atmosferyczne wykazują dużą zależność od ukształtowania powierzchni. Choć średnia suma opadów wynosi blisko 600 mm, to opady wahają się od poniżej 500 mm w środkowej części Polski do niemal 800 mm na wybrzeżu i ponad 1000 mm w Tatrach (Rys. 3.1). Najwyższe sumy opadów przypadają na miesiące letnie, w tym okresie są 2-3 krotnie większe niż zimą, a w Karpatach nawet 4 razy wyższe. Deszcze nawałne (opady atmosferyczne o natężeniu  $>2$  mm/min) zdarzają się od kwietnia do września z największą częstotliwością w lipcu i wiążą się często z burzami (KLIMADA 1).



**Rysunek 3.1.** Średnie roczne sumy opadów [mm] na obszarze Polski (1971-2000). Źródło IMGW

Z obserwacji własnych – SGGW wynika natomiast wyraźny trend wzrostowy maksymalnych rocznych sum dobowych opadów (Rys. 3.2). Dane ze stacji SGGW na Ursynowie w Warszawie z lat 1980-2009 wskazują stały trend wzrostowy na poziomie 3,7 mm na każde 10 lat.



**Rysunek 3.2.** Maksymalne opady dobowe w poszczególnych latach (opracowanie własne na podstawie danych ze stacji meteorologicznej SGGW Warszawa-Ursynów).

W systemach hydrologicznych obserwowany jest zwiększony odpływ i wcześniejsze maksimum wiosennego przepływu w rzekach o zasilaniu śnieżnym i lodowcowym oraz wzrost temperatury jezior i rzek w wielu regionach, co wpływa na strukturę termiczną oraz jakość wody (KLIMADA 2).

### 3.2. Prognozowane zmiany klimatu

Obecnie zmiany klimatyczne są obiektem intensywnych badań naukowych. Istnieje wiele hipotez dotyczących zmian klimatu. W raporcie (IPPC 2007) stwierdzono, że z prawdopodobieństwem ponad 90%, powodem skali zmian klimatycznych jest nadmierna emisja gazów cieplarnianych do atmosfery, powodujących absorpcję promieniowania odbitego od powierzchni ziemi. Bezpośredni efekt pochłaniania promieniowania przez gazy cieplarniane jest stosunkowo niewielki, jednak efekty wtórne związane ze zwiększeniem temperatury troposfery i ilości pary wodnej mogą spowodować zmianę w strukturze chmur i znaczące zmiany klimatyczne. Do przewidywanych najważniejszych

skutków zmian klimatycznych zaliczyć można: wzrost temperatury, **zmiany w rozkładzie i ilości opadów**, co doprowadzi do intensyfikacji występowania susz i powodzi a także wpływa na zasoby wodne (KLIMAT). W związku z tym, do prawidłowego prognozowania przewidywanych zmian klimatu wymagane jest zdefiniowanie i uwzględnienie scenariuszy emisyjnych.

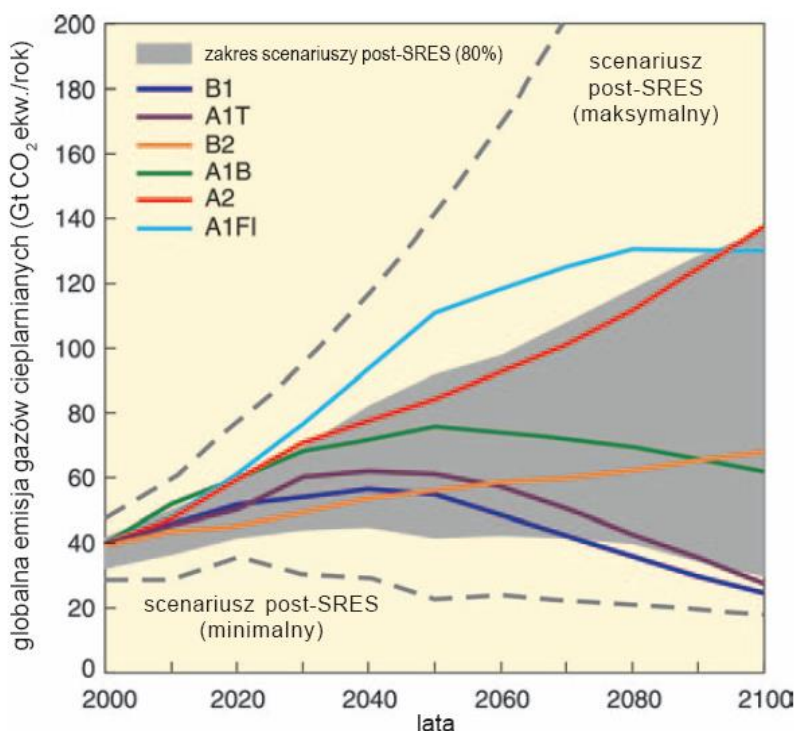
### **3.3. Scenariusze emisyjne**

Symulacje zmian klimatu opracowane są na bazie scenariuszy emisyjnych SRES (Nakicenovic i Swart 2000). Scenariusze SRES są pogrupowane w cztery grupy (rodziny): A1, A2, B1 i B2, które odzwierciedlają alternatywne ścieżki rozwoju, uwzględniając szeroki zakres czynników wymuszających takich jak: ekonomia, demografia, technologia oraz wynikające z nich emisje gazów cieplarnianych. Linia rozwoju A1 zakłada bardzo gwałtowny rozwój ekonomiczny świata, osiągnięcie maksimum populacji w połowie stulecia oraz gwałtowne wprowadzenie nowych i bardzo wydajnych technologii. Linia ta jest podzielona na trzy podgrupy, które opisują alternatywne kierunki zmian technologicznych: A1FI - intensywne wykorzystanie paliw kopalnych; A1T - wykorzystanie nie kopalnych zasobów energii; A1B - zrównoważone wykorzystanie wszystkich źródeł. Linia B1 opisuje świat z tą samą ścieżką rozwoju demograficznego, ale z bardziej dynamicznymi zmianami struktury ekonomicznej usług i informacji. Linia B2 z kolei opisuje świat o średniej populacji i średnim wzroście ekonomicznym, uwydatniając lokalne rozwiązania ekonomiczne, socjalne i zrównoważenie środowiskowe. Wreszcie Linia A2 opisuje świat bardzo różnorodny, o silnym wzroście populacji, wolnym rozwoju ekonomicznym i wolnych zmianach technologicznych. Scenariusze emisji gazów cieplarnianych od roku 2000 do 2100 w warunkach braku dodatkowych działań przedstawiono na Rysunku 3.3.

W przypadku braku podjęcia jakichkolwiek dodatkowych działań: sześć objaśniających scenariuszy SRES (linie kolorowe) i zakres percentyla 80% dla obecnych scenariuszy opublikowanych po SRES, post-SRES (obszar zakreskowany w kolorze szarym). Linie przerywane pokazują pełen zakres scenariuszy post-SRES. Emisja uwzględnia: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O i fluorowane gazy cieplarniane (IPCC 2007).

W opracowaniach KLIMAT I KLIMADA (których celem było określenie przewidywanych zmian klimatu dla obszaru Polski i adaptacja do nich), na których bazuje niniejsza ekspertyza jako podstawę rozważań przyjęto trzy spośród opracowanych przez

IPCC scenariuszy rozwojowych: A2, A1B i B1. Są to scenariusze, które zawierają się w zakresie 80% percentyla, jednocześnie stanowiąc jego skrajne zakresy oraz wartość zbliżoną do środkowej (Rys. 3.3). Można przyjąć, że są to najbardziej prawdopodobne i miarodajne scenariusze.



**Rysunek 3.3.** Globalna emisja gazów cieplarnianych (wyrażona w ekwiwalencie CO<sub>2</sub> w skali roku lub CO<sub>2</sub>/rok).

Scenariusz A2, który można uznać za najbardziej pesymistyczny zakłada regionalny rozwój gospodarczy. Przewiduje rozwój w oparciu o kryteria ekonomiczne, szybki wzrost populacji, szczególnie w krajach rozwijających się, zwiększenie różnic między biednymi i bogatymi krajami, brak proekologicznego nastawienia i postęp technologiczny najslabszy w porównaniu do innych scenariuszy. Uznając węgiel za podstawowe źródło energii, zakłada brak postępu w rozwoju alternatywnych źródeł energii. Dla scenariusza A2 przewiduje się wzrost zawartości dwutlenku węgla w atmosferze do 1250 ppm do końca XXI w. i maksymalny wzrost temperatury. Związane będzie to z brakiem istotnych zmian szybkości wzrostu demograficznego w poszczególnych regionach świata a więc i globalnej populacji. Rozwój ekonomiczny i zmiany technologiczne będą jak dotąd, zróżnicowane w różnych rejonach świata. Scenariusz pośredni A1B zakłada bardzo szybki wzrost gospodarczy o charakterze globalnym. Przyrost demograficzny rośnie do połowy XXI wieku, a następnie zmniejsza się. Szybko są wdrażane nowe wodo-

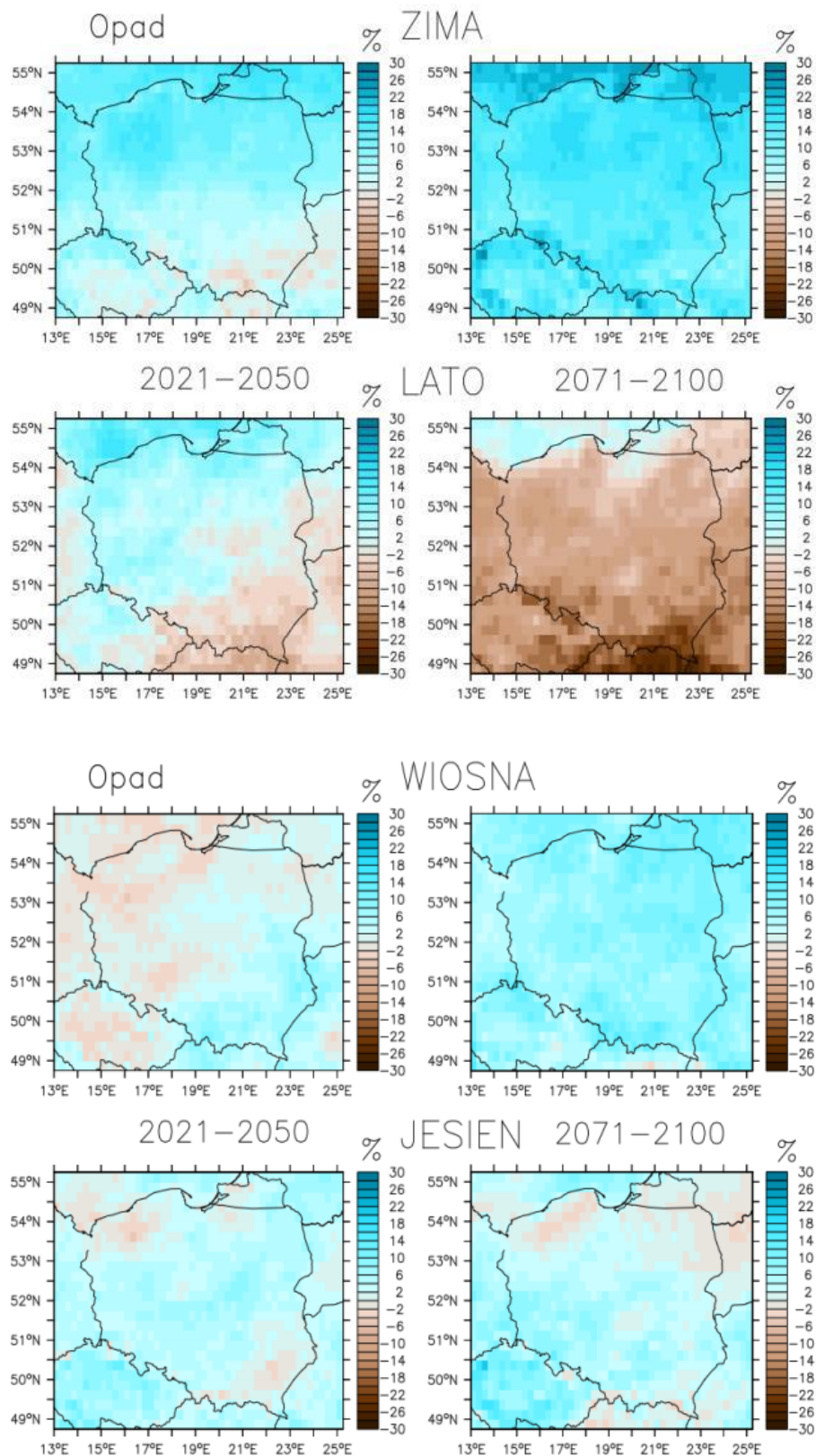


i energooszczędne technologie. Pogłębiona współpraca gospodarcza i przemieszczanie się ludności powodują wyrównywanie poziomu cywilizacyjnego i dochodów między regionami świata. Wariant ten przewiduje zrównoważony układ systemów energetycznych, powstały w wyniku równomiernego rozwoju wszystkich form wytwarzania energii. Scenariusz B1, który uznać można za najbardziej proekologiczny i optymistyczny, zakłada zrównoważony rozwój o zasięgu globalnym. Zakłada wysoki poziom świadomości ekologicznej i społecznej, rezygnację z postaw konsumpcyjnych i czysto ekonomicznych na rzecz zrównoważonego rozwoju. Przewiduje świadome i intensywne inwestowanie w nowe, efektywne, ekologiczne technologie. Ukierunkowany na globalne rozwiązania problemów zrównoważonego rozwoju. Produkcja czystej energii oraz wprowadzanie technologii oszczędzających energię i surowce będą miały przede wszystkim zasięg globalny. Dla scenariusza B1 przewiduje się wzrost zawartości dwutlenku węgla w atmosferze do 600 ppm do końca XXI w i minimalny wzrost temperatury.

Powyższe scenariusze stanowią podstawę dla wnioskowania o potencjalnych zmianach klimatu oraz tworzenia scenariuszy klimatycznych uwzględniających te zmiany w projekcie KLIMAT. Na podstawie oszacowanego dla danego wariantu poziomu emisji gazów cieplarnianych globalne modele klimatyczne dokonano symulacji przebiegu danych meteorologicznych zarówno w okresie referencyjnym jak i w przyszłości (tworzyć symulacje dla zadanego okresu). Do projekcji klimatycznych w większej rozdzielczości wykorzystuje się regionalne modele klimatyczne, które są zagnieżdżone w modelu globalnym. W projekcie KLIMAT wykorzystany został regionalny model klimatyczny RegCM pracujący na siatce o rozdzielczości 25 km. Jako okres referencyjny przyjęto 20-letnie 1971-1990. Obliczenia zostały przeprowadzone dla obszaru całej Polski i horyzontu czasowego symulacji 2010-2030 oraz 2081-2100. Dla trzech ww. wariantów obliczone zostały symulacje scenariuszy klimatycznych zawierające codzienne wartości wybranych danych meteorologicznych takich jak temperatura, sumy rocznych opadów itd.

### **3.4. Prognozowane zmiany opadów**

Symulacje uzyskane w projekcie KLIMADA wskazują przewidywaną zmienność zarówno przestrzenną (obszary Polski) jak i sezonową (pory roku) sum opadów (Rysunek 3.4).



**Rysunek 3.4.** Względne zmiany opadu [% względem okresu referencyjnego 1971-2000] dla zimy, lata, wiosny i jesieni pomiędzy okresami 2021-2050 oraz 2071-2100 (KLIMADA 2).

Biorąc pod uwagę najbardziej ekstremalne wyniki, które w szczególności należy wziąć pod uwagę przy planowaniu i wdrażaniu działań adaptacyjnych, można przyjąć następujące prognozy:

- w okresie zimowym, średnio w skali całej Polski wzrost sum opadów o 20% do 2100 r.; zakładając liniowy trend zmian daje to odpowiednio wzrost sum opadów o 3,64% do roku 2020; 6,36% do roku 2035; 9,09% do roku 2050 oraz 12,73% do roku 2070;
- dla okresu wiosennego, średnio w skali całej Polski wzrost sum opadów o 10% co daje odpowiednio wzrost o 1,82% do roku 2020; 3,18% do roku 2035; 4,55% do roku 2050; oraz 6,36% do roku 2070;
- dla okresu letniego, średnio w skali całej Polski wzrost sum opadów do 5% do roku 2050, następnie spadek o 5% do 2010, co daje odpowiednio wzrost o 2,00% do roku 2020; wzrost sum opadów o 3,50% do roku 2035; wzrost sum opadów o 5,00% do 2050r oraz spadek o 2,00% do roku 2070;
- dla okresu jesiennego, średnio w skali całej Polski wzrost do 6%, co daje odpowiednio spadek o 1,82% do roku 2020, spadek o 3,18% do roku 2035, spadek o 4,55% do roku 2050 oraz spadek o 6,36% do roku 2070.

Zestawienie tabelaryczne wyników zamieszczono w tabeli 3.1.

**Tab. 3.1.** Prognozowane zmiany sum rocznych opadów dla poszczególnych wariantów w stosunku do średnich wartości rocznych z okresu referencyjnego 1971-2000.

Sezon\Wariant	2020	2035	2050	2070
<b>zima</b>	3,64%	6,36%	9,09%	12,73%
<b>wiosna</b>	1,82%	3,18%	4,55%	6,36%
<b>lato</b>	2,00%	3,50%	5,00%	-2,00%
<b>jesień</b>	-1,82%	-3,18%	-4,55%	-6,36%
<b>ROK</b>	<b>1,41%</b>	<b>2,46%</b>	<b>3,52%</b>	<b>2,68%</b>

Prognozowane zmiany zostały wykorzystane do stworzenia map sum opadów dla poszczególnych wariantów (na rok 2020, 2035, 2050, 2070). Mapy zamieszczono w

rozdziale 5 niniejszej ekspertyzy oraz w formie numerycznym jako załącznik 2. Analogicznie, prognozowane zmiany zostały uwzględnione w symulacjach eksperymentalnych opadów na torowisko w celu wyznaczenia parametrów do obliczania wielkości odpływu wód z linii kolejowych:

- współczynnika spływu
- czasu koncentracji odpływu

Wśród tych parametrów, jedną z najważniejszych ról warunkujących prawidłowość obliczeń odgrywa czas koncentracji odpływu.

### **3.5. Czas koncentracji dla torów kolejowych**

Czas koncentracji – jeden z elementów potrzebnych do wyznaczenia wielkości odpływu – w przypadku torów kolejowych został wyznaczony na podstawie badań doświadczalnych przy użyciu symulatora opadów w ramach doświadczenia badania współczynnika odpływu. Za czas koncentracji został przyjęty czas pojawienia się pierwszego znaczącego odpływu dla opadów na torowisko mokre przy różnych natężeniach opadów dla 3 symulowanych rodzajów odcinków torów kolejowych:

- odcinek 1 – tor klasy 0 i 1, podkład strunobetonowy, tłuczeń 31,5/50; podkład tłucznia 0,35 m, podkład niesortu 0,20 m, z geowłókniną;
- odcinek 2 – tor klasy 0 i 1, podkład strunobetonowy, tłuczeń 31,5/50; podkład tłucznia 0,35 m, podkład niesortu 0,20 m, bez geowłókniny;
- odcinek 3 – tor klasy 0 i 1, podkład drewniany, tłuczeń 31,5/50; podkład tłucznia 0,30 m, podkład niesortu 0,20 m, bez geowłókniny.

Na odcinkach torowiska przeprowadzono eksperymentalne badania wielkości odpływu wywołanego przez symulowany za pomocą stworzonej na potrzeby niniejszego projektu deszczowni opad. Symulowane opady odnosiły się do przewidywanych zmian klimatu. Uwzględniono możliwe zmiany opadów w perspektywie 2070-2100 r. W zależności od wielkości natężenia opadu, wywołanego na potrzeby realizowanego doświadczenia mierzono ilości wody spływającej z danego odcinka toru (po dwóch stronach torowiska) przy użyciu miarowanych naczyń objętościowych, w przedziałach od co 5 minut do nawet co 20 sekund-czas napełnienia naczynia. Dokładny pomiar natężenia

odpływu w czasie pozwolił na precyzyjne wyznaczenie sumarycznego odpływu oraz określenie maksymalnej wartości natężenia i czasu jego wystąpienia. Wyznaczono również czas pojawienia się odpływu w odbiorniku od rozpoczęcia symulacji w danym dniu oraz czas, po którym wielkości odpływów były zbliżone do 0.

Ponadto w trakcie badań pobrano z toru doświadczalnego próbkę geowłókniny po pewnym okresie badań (po cyklu badań, który spowodował kolmatację geowłókniny) i poddano ją badaniom laboratoryjnym pod kątem wodoprzepuszczalności. Wyznaczenie współczynnika przepuszczalności geowłókniny w Pracowni Badań Geosyntetyków Laboratorium Centrum Wodnego SGGW polegało na pomiarze objętości wody przepływającej w kierunku prostopadłym do płaszczyzny próbki o powierzchni 0,001963m<sup>2</sup>, w czasie 30 s, przy wysokości naporu hydraulicznego równego 5 mm. Badanie przeprowadzono dla 5 próbek geowłókniny.

Wyniki badań wodoprzepuszczalności zakolmatowanej geowłókniny (z toru doświadczalnego) porównano z charakterystyką geowłókniny niezakolmatowanej. Stwierdzono, że wodoprzepuszczalność zakolmatowanej geowłókniny nie odbiega od charakterystyki niezakolmatowanej geowłókniny i nie wpływa w znaczącym stopniu na parametry odpływu.

Zestawienie wyników czasów pojawienia się odpływów przy różnych natężeniach zestawiono w tabeli 3.2 oraz na rys 3.5.

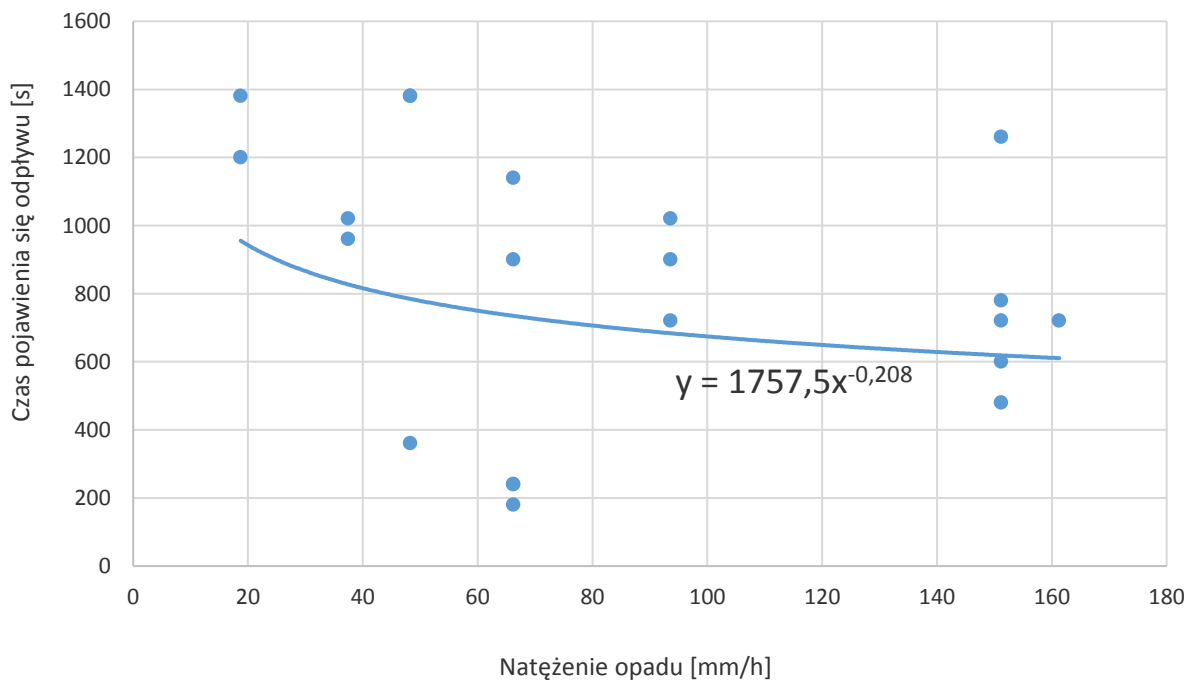
Wyniki doświadczeń wskazują, że czas odpływu dla największych symulowanych deszczy osiąga wartości ok 610 sekund. Wartość parametru została wyznaczona na podstawie analizy linii trendu wykazującej najlepsze dopasowanie, w oparciu o równanie (Rys. 3.5) dla największego, symulowanego natężenia opadu ( $x = 161,3 \text{ mm/h}$ ):

$$y = 1757,5 \cdot x^{-0,208} = 1757,5 \cdot 161,3^{-0,208} = 610,5$$

Wartość tą wskazuje się dla torów wszystkich klas, jako czas koncentracji do obliczeń w dalszej części ekspertyzy (Tab. 4.4 w rozdz. 4.5). Określenie czasu koncentracji terenowej jest niezbędne przy wyznaczaniu natężenia miarodajnego deszczu (Rozdział 4.5) oraz ostatecznie natężenia spływu wód opadowych i roztopowych (Rozdział 4.2).

**Tab. 3.2.** Czasy pojawienia się odpływu z doświadczalnego torowiska kolejowego przy różnych symulowanych natężeniach opadów.

Lp symulacji	Natężenie opadu	Czas pojawienia się odplywu
	[mm/h]	[s]
1	18,72	1380
2	18,72	1200
3	37,4	960
4	37,4	1020
5	66,2	1140
6	66,2	180
7	93,6	1020
8	93,6	900
9	93,6	720
10	151,2	780
11	151,2	720
12	151,2	600
13	151,2	1260
14	151,2	480
15	161,3	720
16	48,30	360
17	48,30	1380
18	48,30	1380
19	66,2	900
20	66,2	240
21	66,2	240



**Rysunek. 3.5.** Zestawienie zależności czasu pojawienia się odplywu (koncentracji) z doświadczalnego toru kolejowego w zależności od natężenia symulowanego deszczu.

## **4. Etap IX – Określenie zalecanej metodyki obliczania ilości wód opadowych i roztopowych z obszaru kolejowego**

### **4.1. Wprowadzenie do problematyki odwadniania torowisk**

Właściwie zaprojektowane oraz działające odwodnienie polega na ujęciu wody opadowej spływającej z powierzchni (przede wszystkim słabo przepuszczalnej bądź nieprzepuszczalnej) i w możliwie jak największym stopniu odprowadzeniu jej poza obszar odwadniany (Szling i Pacześniak, 2004). Urządzenia odwadniające szlak kolejowy, stacje kolejowe oraz tereny bezpośrednio sąsiadujące mają za zadanie odprowadzenie spływającej wody w taki sposób, który nie spowoduje wystąpienia szkód w obrębie torowiska oraz obszarów przyległych (Strycharz i in., 2009). Planując rozmieszczenie oraz wyznaczając parametry urządzeń odwadniających projektanci powinni dążyć do możliwie jak najszybszego odwodnienia torowiska.

Podstawowym czynnikiem determinującym poprawne zaprojektowanie urządzeń odwadniających szlak kolejowy oraz tereny bezpośrednio przylegające do torowiska jest poznanie ilości spływających wód opadowych. Bezpośredni wpływ na odpływ wód deszczowych ze zlewni ma udział powierzchni szczelnych – rodzaj oraz wielkość a także rodzaj gruntu, typ roślinności oraz ukształtowanie powierzchni. Dużą rolę w procesie kształtowania odpływu ma również czas trwania oraz intensywność opadów (przyrost wysokości opadu w czasie); (Edel, 2000). W celu wyznaczenia ilości spływów opadowych należy, więc określić następujące dane wejściowe: natężenie oraz prawdopodobieństwo pojawienia się deszczu, współczynniki spływu, czas trwania deszczu, wielkość i sposób uszczelnienia zlewni częściowych, cieki wodne jako odbiorniki (Strycharz i in., 2009). Istotne znaczenie w procesie odprowadzania wód opadowych ma możliwość odwadniania poprzez infiltracje do gruntu oraz parowanie.

Warto zwrócić uwagę na to, iż wysoki poziom zwierciadła wód gruntowych oraz zatory na rzekach i potokach (brak drożności świąteł i przepustów) stanowią zagrożenie dla trwałości torowiska. Istotną staje się realizacja odwodnienia powierzchniowego podtorza kolejowego, która sprowadza się do wykonania rowów: pobocznych oraz w przekopach, górnych ochronnych przy nasypach, odwadniających przyległy teren, a także rowów regulacyjnych przy przepustach. Do odwadniania torowisk, równi stacyjnych, zboczy,

peronów i innych elementów infrastruktury kolejowej stosowane są różne rodzaje drenów (Szling i Paczeński, 2004). Wykonując projekt powierzchniowych urządzeń regulujących stosunki gruntowo-wodne projektant powinien odpowiednio dobrać (dostosować do lokalnych wymagań środowiska) ich formę, kształt oraz materiał.

#### **4.2. Wzór ogólny, metodyka**

W przypadku odwodnienia szlaku kolejowego czy dróg powszechnie stosowaną i zalecaną metodą jest metoda natężeń granicznych, w której maksymalne natężenie deszczu wyznacza się w oparciu o wyznaczony czas trwania deszczu miarodajnego (Edel, 2000). Maksymalne natężenie deszczu oblicza się jako sumę trzech składowych: czasu przepływu od początku kanału do rozpatrywanego punktu obliczeniowego, czasu dopływu do kanału oraz czasu retencji kanałowej. Uwzględnienie retencji powierzchniowej i kanałowej w opisywanej metodyce sprawia, że czas trwania deszczu miarodajnego spełnia jednocześnie rolę współczynnika opóźnienia odpływu, co znalazło również potwierdzenie w badaniach Strycharza i in., (2009). Współczynnik opóźnienia odpływu jest bowiem wyrazem wystąpienia odpływu rzeczywistego po wysyceniu maksymalnej potencjalnej retencji zlewni, z uwzględnieniem objętości odbiorników oraz innych form retencji, w tym intercepcji szaty roślinnej (obiektów znajdujących się na powierzchni terenu).

Metodyka nie uwzględnia zastosowania retencji zlewni, polegającej na stosowaniu urządzeń przechwytyjących i przetrzymujących wody deszczowe. W sytuacji, gdy projektant planuje zastosowanie urządzeń przechwytyjących i przetrzymujących okresowo wody deszczowe wielkość natężenia spływu wód powinna być skorygowana o pojemność tych urządzeń. W stosowanej od lat metodyce, w przypadku rowów nie uwzględnia się procesu infiltracji wody – nieuwzględnienie nie wpływa na końcowy wynik obliczeń w aspekcie potencjalnego niedowymiarowania infrastruktury. Co więcej, nieuwzględnienie infiltracji przez dno rowu pozwala na utrzymanie uniwersalnego wymiaru zaproponowanej metodyki obliczeniowej. Dna rowów ulegają bowiem kolmatacji w wyniku zamulenia i w określonym czasie, nieodmulane, dążą do pełnego uszczelnienia. W tym względzie, metodyka traktująca rowy jako szczelne jest uniwersalna i może być stosowana do rowów bez względu na ich lokalnie zmienny kontakt hydrauliczny z wodami podziemnymi.



W metodzie granicznych natężeń deszczu obliczenie natężenia spływu wód opadowych i roztopowych (odprowadzanych z analizowanego obszaru przez urządzenia regulujące stosunki wodne – rowy) realizowane jest w oparciu o ogólny wzór (4.1):

$$Q = F \cdot \psi \cdot q \quad (\text{Równ. 4.1.})$$

Gdzie:

Q – natężenie przepływu spływających wód deszczowych [ $\text{dm}^3/\text{s}$ ],

F - powierzchnia zlewni [ha],

$\Psi$  - współczynnik spływu [-],

q- natężenie deszczu miarodajnego [ $\text{dm}^3/\text{s}\cdot\text{ha}$ ].

Wszystkie wyżej wymienione elementy składowe równania 4.1. zostały opisane w kolejnych podrozdziałach niniejszej ekspertyzy.

### **4.3. Wyznaczanie powierzchni zlewni (F)**

Zlewnie stanowią obszary, w obrębie których gromadząca się z opadów atmosferycznych woda formuje się w strugi wodne i następnie odpływa do odbiorników (Strycharz i in., 2009). Do najważniejszych elementów charakteryzujących zlewnię należą: procesy spływu, przepływu, odpływu i retencji – ukształtowanie pionowe zlewni, jej wielkość, kształt oraz wymiary. Istotne charakterystyki zlewni to również sposób zagospodarowania powierzchni obszaru zlewni, obecność i lokalizacja sztucznych zbiorników wodnych, koryt, cieków, zawilgocenie powierzchni gruntów oraz poziom zwierciadeł wód gruntowych (Strycharz i in., 2009).

W celu wyznaczenia ilości wód opadowych i roztopowych z odwadnianego obszaru kolejowego należy dokonać podziału zlewni na obszary o odmiennych charakterystykach oraz uwzględnić informacje publikowane dla terenów innych niż kolejowe – np. budynki posiadające dachy o różnym nachyleniu (Tab. 4.1). Dla każdego z tych obszarów w późniejszym etapie generowania obliczeń określa się współczynnik spływu.

Z uwagi na fakt, że odbiorniki wód opadowych i roztopowych (rowy) są lokalnymi obniżeniami terenu, należy wziąć pod szczególną uwagę powierzchnię zlewni położoną poza obszarem kolejowym (np. przyległe obszary rolnicze). O ile ilość wody

odprowadzana z obszaru kolejowego może być stosunkowo niewielka, o tyle łączna ilość wody odprowadzanej przez rowy stanowiące odbiorniki drenów może być większa ze względu na dopływ boczny.

Projektant na podstawie danych, map, Numerycznego Modelu Terenu wyznaczy powierzchnię zlewni (topograficzny dział wodny) z rozdziałem na obszary o odmiennych współczynnikach spływu uwzględniając także tereny zalewowe oraz obszary obniżone, gdzie odbiornik jest usytuowany nisko. Podstawowym parametrem, który należy uwzględnić przy określaniu powierzchni zlewni jest spadek terenu, kluczowym zjawiskiem zaś – spływ powierzchniowy. Do wzoru 4.1. należy stosować sumaryczną powierzchnię zlewni  $F$ , jednak zgodnie z wymogami procedury obliczeniowej (Równ. 4.3) wykonawca obliczeń jest zobowiązany do przedstawienia wszystkich wartości (powierzchni podzlewni o różnych wartościach współczynnika spływu) wykorzystanych do obliczenia sumarycznej powierzchni zlewni oraz przedstawienia ich na załączniku graficznym (mapa).

#### 4.4. Współczynnik spływu ( $\Psi$ )

Współczynnik spływu to stosunek pomiędzy ilością wody deszczowej, spływającej do kanału z danej powierzchni, a ilością która spadła na powierzchnię (Błaszczuk i in., 1983). Na wartość współczynnika spływu mają wpływ takie czynniki jak: rodzaj pokrycia terenu, czas trwania deszczu, natężenie deszczu, pochyłości terenu, budowa geologiczna obszaru, początkowy stan wilgotności terenu, ciepłoty powierzchni (Kotowski, 1983). Współczynnik spływu powierzchniowego  $\psi [-] < 1$  wyrażony jest wzorem:

$$\Psi = \frac{V_{spl.}}{V_{op.}} \quad (\text{Równ. 4.2.})$$

gdzie:

$\psi$  – współczynnik spływu powierzchniowego [-], Współczynnik spływu informuje o części opadu jaka jest bezpośrednio transformowana w odpływ powierzchniowy.

$V_{spl.}$  – całkowita kubatura odpływu wody z infrastruktury kolejowej systemem odwodnieniowym po wystąpieniu zadanego opadu [ $m^3$ ],

$V_{op}$  – kubatura opadu, który spadł na powierzchnię terenu [ $m^3$ ].

Współczynniki spływu wybranych elementów infrastruktury kolejowej oraz terenów przyległych do szlaków kolejowych zostały zestawione w Tab. 4.1.

Przyjęcie do obliczeń odpowiedniego współczynnika spływu zlewni położonych poza infrastrukturą kolejową:

- a) wymienionych w tabeli 4.1
- b) innych niż w tabeli 4.1.

wymaga analizy warunków hydrologicznych zlewni np. zlewni pól, trawników czy innych obszarów zieleni urządzonej

W celu właściwego przyjęcia wartości współczynników spływu terenów sąsiednich należy przeanalizować m.in parametry takie jak: rodzaj pokrycia powierzchni terenu, budowę geologiczną obszaru, spadek oraz pochyłości terenu, początkowy stan uwilgotnienia.

W przypadku występowania w danej zlewni zdefiniowanej w tabeli 4.1. naturalnej retencji w postaci roślinności absorbującej znaczne ilości wody należy dobrać dolny zakres wartości współczynnika spływu

Wartości współczynnika spływu torowisk w zależności od miąższości podsypki zostały przedstawione w Tab. 4.2. Przykładowe elementy infrastruktury kolejowej przedstawiono na Rys. 4.1. oraz 4.2.

**Tab. 4.1.** Stopień szczelności oraz współczynnik spływu wybranych elementów infrastruktury kolejowej oraz odwadnianych terenów przylegających do szlaku kolejowego.

Rodzaj infrastruktury kolejowej związanej z liniami kolejowymi oraz wybrane parametry tej infrastruktury	Kategoria przepuszczalności	Uwagi	Szacowana wartość współczynnika spływu $\Psi$
<b>1. SZLAKI KOLEJOWE</b>			
<b>Klasy torów (0-5) (A)</b>			
<i>Tor klasy 0 i 1</i>			
Podkład strunobetonowy na podsypce tłuczni 0,35 m	Przepuszczalne	-	<b>0,45</b> <sup>(1)</sup>
Podkład drewniany na podsypce tłuczni 0,30 m	Przepuszczalne	-	<b>0,42</b> <sup>(1)</sup>
<i>Tor klasy 2 i 3</i>			
Podkład strunobetonowy na podsypce tłuczni 0,30 m	Przepuszczalne	-	0,42 <sup>(1)</sup>
Podkład drewniany na podsypce tłuczni 0,25 m	Przepuszczalne	-	0,39 <sup>(1)</sup>
<i>Tor klasy 4</i>			

Podkład strunobetonowy na podsypce tłucznia 0,25 m	Przepuszczalne	-	0,39 <sup>(1)</sup>
Podkład drewniany na podsypce tłucznia 0,20 m	Przepuszczalne	-	0,36 <sup>(1)</sup>
<i>Tor klasy 5</i>			
Podkład strunobetonowy na podsypce tłucznia 0,21 m	Przepuszczalne	-	0,37 <sup>(1)</sup>
Podkład drewniany na podsypce tłucznia 0,16m	Przepuszczalne	-	0,34 <sup>(1)</sup>
<b>Kategorie linii</b>			
<i>Magistralne i Pierwszorzędne Drugorzędne Znaczenia miejscowego</i>	Przepuszczalne	Zależne od gruntu macierzystego i obecności geosyntetyków w konstrukcji podtorza	0,34 – 0,45 <sup>(1)</sup> (zależnie od klasy toru)
<b>Charakterystyka linii kolejowej (B)</b>			
<i>Na nasypie (C)</i>	Słabo przepuszczalne/ przepuszczalne	Zależne od gruntu macierzystego. W badaniach eksperymentalnych nie stwierdzono istotnego statystycznie wpływu geosyntetyków na wartości współczynnika spływu.	dla toru - 0,34 - 0,45 <sup>(1)</sup> (w zależności od klasy toru) dla nasypu – skarpy boczne: 0,10 – trawiasty; 0,50 – ażurowy 0,90 - betonowy <sup>(2)</sup> (w zależności od charakterystyki skarp nasypu)
<i>W przekopie (D)</i>			dla toru - 0,34 - 0,45 <sup>(1)</sup> (w zależności od klasy toru) dla przekopu 0,10 – trawiasty; 0,50 – ażurowy 0,90 - betonowy <sup>(2)</sup> (w zależności od charakterystyki skarp bocznych przekopu)
<i>Na linii prostej</i>			0,34 - 0,45 <sup>(1)</sup> (zależnie od klasy toru)
<i>Na łuku:</i>			-
Z przechyłką (do 7.5%)			0,34 - 0,45 <sup>(1)</sup> (zależnie od klasy toru) <sup>(3)</sup>
Bez przechyłki			0,34 - 0,45 <sup>(1)</sup> (zależnie od klasy toru)
<b>2. STACJE KOLEJOWE z wyłączeniem torów</b>			
Zadaszone (perony, budynki, wiaty, obiekty do obsługi pasażerów i towarów, dworce) (E)	Nieprzepuszczalne	-	0,85 -1,00 <sup>(4)</sup> (w zależności od spadku powierzchni )
Niezasadzone:			
Perony (F)	Słabo przepuszczalne	-	0,70-0,90 <sup>(4)</sup> (w zależności od spadku powierzchni)

Równia stacyjna z wyłączeniem torów	Nieprzepuszczalne (G1)	w przypadku równi asfaltowej/ betonowej/ uszczelnionej	0,85-0,90 <sup>(5)</sup> (jak dla nawierzchni asfaltowej w dobrym stanie)
	Przepuszczalne (G2)	w przypadku równi porośniętej roślinnością na gruncie nieuszczelnionym	0,10 - 0,50 <sup>(6)</sup>
<b>3. BUDOWLE INŻYNIERYJNE</b>			
Tunele	Nieprzepuszczalne	Niemal zupełnie szczelne	0,92 - 0,98 <sup>(7)</sup>
<i>Mosty i wiadukty:</i>			
Na mostownicach (konstrukcja ażurowa)	Przepuszczalne	-	0,1 – 0,3 <sup>(6)</sup>
Z nawierzchnią podsypkową (konstrukcja szczelna)	Nieprzepuszczalne	-	0,85 - 0,90 <sup>(8)</sup>
Przejazdy	Nieprzepuszczalne	-	0,85 - 0,90 <sup>(8)</sup>
Przepusty	Nieprzepuszczalne	-	0,85 - 0,90 <sup>(8)</sup>
<b>4. ROZJAZDY (H)</b>			
Rozjazdy	Przepuszczalne	standardy jak na odcinku toru i/lub zależne od konstrukcji rozjazdu	0,34 - 0,45 <sup>(1)</sup> zależnie od klasy torów
<b>5. BOCZNICE</b>			
Bocznice	Przepuszczalne	- standardy jak na odcinku toru	0,34 - 0,45 <sup>(1)</sup> zależnie od klasy torów
<b>6. TERENY PRZYLEGAJĄCE DO SZLAKU KOLEJOWEGO</b>			
- Tereny zurbanizowane:			
<i>Rodzaj zabudowy/powierzchni:</i>	Średnio i słabo przepuszczalne	W zależności od gęstości zabudowy	-
Zabudowa bardzo gęsta, nawierzchnia z bruku			0,70 – 0,80 <sup>(9)</sup>
Zabudowa zwarta			0,50 – 0,70 <sup>(9)</sup>
Zabudowa luźna			0,30 – 0,50 <sup>(9)</sup>
Tereny niezabudowane			0,10 – 0,25 <sup>(9)</sup>
Parki i tereny zielone			<0,15 <sup>(9)</sup>
Dachy (blacha, papa)			0,90 – 0,95 <sup>(5)</sup>

Nawierzchnie asfaltowe			0,85 – 0,90 <sup>(5)</sup>
Nawierzchnie kamienne, klinkierowe szczelne			0,75 – 0,85 <sup>(5)</sup>
Nawierzchnie jak wyżej lecz bez zalanych spoin			0,40 – 0,50 <sup>(5)</sup>
Nawierzchnie tłuczniowe			0,25 – 0,60 <sup>(5)</sup>
Nawierzchnie żwirowe			0,15 – 0,30 <sup>(5)</sup>
Powierzchnie nieumocnione			0,10 – 0,20 <sup>(6)</sup>
Lasy	Przepuszczalne	-	0,01 – 0,15 <sup>(10)</sup> zależnie od spadku powierzchni
Grunty rolne	Przepuszczalne	-	0,05 – 0,25 <sup>(10)</sup> zależnie od spadku powierzchni
Łąki	Przepuszczalne	-	0,00 – 0,10 <sup>(10)</sup>

A-H Obiekty przedstawione na Rys. 4.1 oraz Rys. 4.2

(1) Obliczenia własne

(2) w zależności od charakterystyki obszaru, rodzaju pokrycia i spadku (za Unterbau – Geotechnik, 2013)

(3) przyjęte jak dla toru bez przechyłki;

(4) Unterbau-Geotechnik 2013 (Ekspertyza częściowa nr 1)

(5) Skrzyński, 2010 (Ekspertyza częściowa nr 1)

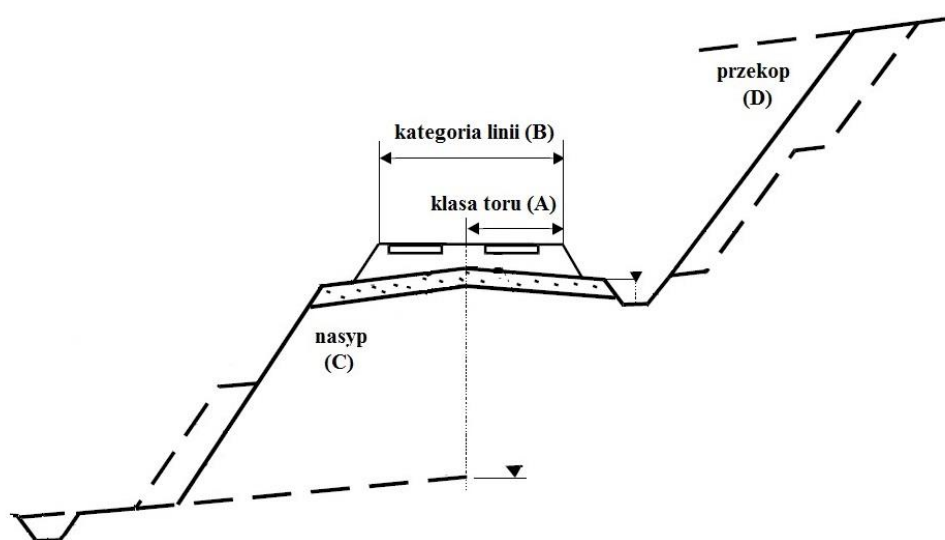
(6) Analiza różnych źródeł literaturowych

(7) Kotowski A., 2011. Podstawy bezpiecznego wymiarowania odwodnień terenu;

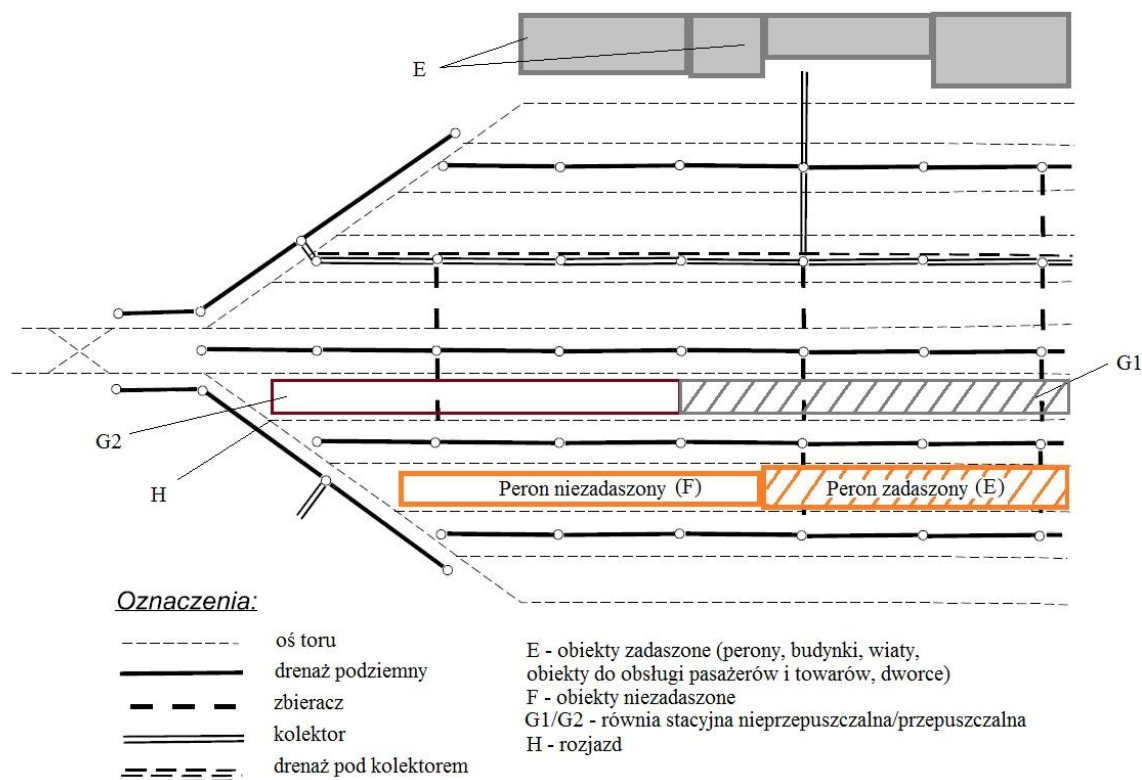
(8) wg wytycznych GDDKiA

(9) katalog Aquafix – systemy oczyszczania ścieków

(10) Edel R., 2000. Odwodnienie dróg



**Rys. 4.1.** Schematyczny przekrój linii kolejowej z zaznaczonymi poszczególnymi elementami.



**Rys. 4.2.** Schematyczny plan stacji z wybranymi elementami infrastruktury kolejowej.

**Tab. 4.2.** Współczynniki splywu w zależności od miąższości podsypki.

Miąższość podsypki [cm]	Współczynnik splywu [-]	Uwagi
35	0,450	Tor klasy 0 i 1 - podkład strunobetonowy na podsypce tłucznia 0,35 m
30	0,420	Tor klasy 0 i 1 - podkład drewniany na podsypce tłucznia 0,30 m; Tor klasy 2 i 3 - podkład strunobetonowy na podsypce tłucznia 0,30 m
25	0,390	Tor klasy 2 i 3 - podkład drewniany na podsypce tłucznia 0,25 m; Tor klasy 4 - podkład strunobetonowy na podsypce tłucznia 0,25 m
21	0,366	Tor klasy 5 - podkład strunobetonowy na podsypce tłucznia 0,21 m
20	0,360	Tor klasy 4 - podkład drewniany na podsypce tłucznia 0,20 m
16	0,336	Tor klasy 5 - podkład drewniany na podsypce tłucznia 0,16 m

Przy określaniu ilości spływających wód opadowych i roztopowych obszar kolejowy oraz tereny bezpośrednio przylegające należy podzielić na podzlewnie (obszar torowiska, nasyp, równia stacyjna, tereny przylegające do szlaku kolejowego itp. - zgodnie z tabelami 4.1 i 4.2). W przypadku wystąpienia spadku terenu bezpośrednio przylegającego w stronę linii kolejowej, z uwagi na brak możliwości technicznych by rów zbierał tylko wody z obszaru kolejowego, kolejowy rów odwadniający będzie zbierał wody z dwóch stron. W obliczeniach należy uwzględnić dwustronny dopływ wody, również z terenów sąsiednich.

W przypadku gdy zlewnia charakteryzuje się zróżnicowaną zabudową współczynnik spływu oblicza się jako średnią ważoną (wzór 4.3.):

$$\psi = \frac{\psi_1 \cdot F_1 + \psi_2 \cdot F_2 + \dots + \psi_n \cdot F_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_n} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \psi_i \cdot F_i}{\sum_{i=1}^{i=n} F_i}$$

(Równ. 4.3.)

Gdzie:

$\psi_1, \psi_2, \psi_n, \psi_i$  – współczynniki spływu danej zabudowy [-],

$F_1, F_2, F_n, F_i$  – powierzchnie zlewni [ha].

Wykonawca zobligowany jest, aby wstawić wszystkie dane do wzoru 4.3.

#### 4.5. Natężenie miarodajne deszczu (q)

Natężenie miarodajne opadu definiowane jest jako deszcz o natężeniu odpowiadającym czasowi jego trwania równemu czasowi spływu t cząstki wody z najodleglejszego punktu zlewni do rozważanego przekroju cieku, do którego jest odniesiony (Strycharz i in., 2009). W metodzie natężeń granicznych, miarodajne natężenie deszczu określone jest w zależności natężenia deszczu od czasu jego trwania oraz prawdopodobieństwa pojawienia się deszczu p [%], a wartość natężenia wyznacza się korzystając ze wzoru:

$$q = 15,347 \frac{A}{\{(t_m)^{0,667}\}} \quad (\text{Równ. 4.4.})$$

Gdzie:

q – natężenie miarodajne deszczu [ $\text{dm}^3/\text{s}\cdot\text{ha}$ ]

$t_m$  – czas miarodajny deszczu [s], wyznaczony z równania 4.5.,

A – wartość stała według Tab. 4.3



Współczynnik A zależy jest od wartości prawdopodobieństwa pojawienia się deszczu  $p$  [%] (wielokrotność występowania deszczu w okresie 100 lat o natężeniu  $q$  i czasie trwania  $t$ ) oraz od średniej rocznej wysokości opadu  $h$  [mm]; (Tab. 4.3). Współczynnik A należy przyjmować zgodnie z załącznikami 1 i 2 (dla danych prognozowanych wynikających z przewidywanych zmian klimatu tj. średnia roczna suma opadów historycznych z wielolecia zwiększoną o 3,5% w związku z prognozowanymi zmianami klimatu) oraz przewidywanym czasem trwałości projektu. W obliczeniach należy przyjmować wartości  $p$  odpowiednio dla rodzaju analizowanej infrastruktury kolejowej (Tab. 4.4). Przyjęte wartości prawdopodobieństwa  $p$  określono w drodze interpretacji wyników badań eksperymentalnych, w celu zapewnienia optymalnego bezpieczeństwa odwadnianej infrastruktury kolejowej. Pośrednie wartości stałej A np. pomiędzy  $p = 5\%$  i  $p = 10\%$  (Tab. 4.3) należy określać w drodze interpolacji jeśli zajdzie taka uzasadniona potrzeba (Błaszczuk i in., 1983). Wartości stałej A dla normy drogowej PN-S-02204 mogą być z powodzeniem stosowane w pragmatyce określania odpływu z obszarów kolejowych, gdyż nie zależą one od typu podłoża i jego morfologii, a jedynie od prawdopodobieństwa przekroczenia sumy opadów deszczu oraz opadu normalnego (Tab. 4.3). Przyjęte w obliczeniach średnie roczne wysokości opadu) na poziomie od 800 do 1500 mm oddają przeanalizowane prognozy zmian klimatu, a ich stosowanie w obliczeniach odwodnień będzie wyrazem adaptacji infrastruktury odwadniającej do prognozowanych zmian klimatu.

**Tab. 4.3.** Wartość stałej A dla rocznej sumy opadów H i prawdopodobieństwa deszczu miarodajnego  $p$  (norma drogowa, Błaszczuk i in.)

Prawdopodobieństwo $p$ [%]	Średnia roczna wysokość opadu $h$ [mm]			
	do 800	do 1000	do 1200	do 1500
5	1276	1290	1300	1378
10	1013	1083	1134	1202
20	804	920	980	1025
50	592	720	750	796
100	470	572	593	627

Czas miarodajny deszczu –  $t_m$  wyznaczany jest w oparciu o wzór:

$$t_m = 1,2 \cdot \frac{l}{v} + t_k \quad (\text{Równ. 4.5.})$$

Gdzie:

$t_m$  – czas miarodajny deszczu [s],

$l$  – długość kanału, w metrach,

$v$  – prędkość przepływu, w m/s,

$t_k$  – czas koncentracji terenowej, w sekundach.

Czas koncentracji terenowej dla poszczególnych elementów infrastruktury kolejowej zestawiono w Tab. 4.4., natomiast czas koncentracji terenowej dla obszarów przylegających do szlaku kolejowego – lasy, grunty rolne, łąki należy wyznaczyć w oparciu o wzór Kirpicha (1940) (Równ. 4.6.; za Ciepiewskim i Dąbkowskim, 2006):

$$t_k = 0,0663L^{0,7} J^{-0,387} [h] \quad (\text{Równ. 4.6.})$$

gdzie:

$L$  – odległość od rozpatrywanego przekroju do najdalszego punktu zlewni [km];

$J$  – spadek między tymi punktami [-];

**Tab. 4.4.** Przyjęte prawdopodobieństwo deszczu miarodajnego  $p$  [%] oraz czas koncentracji terenowej  $t_k$  [s] w zależności od rodzaju infrastruktury kolejowej związanej z liniami kolejowymi oraz użytkowania terenu.

Rodzaj infrastruktury kolejowej związanej z liniami kolejowymi oraz wybrane parametry tej infrastruktury	Prawdopodobieństwo deszczu miarodajnego $p$ [%]	Czas koncentracji terenowej $t_k$ [s]
<b>1. SZLAKI KOLEJOWE</b>		
<b>Klasy torów (0-5) (A)</b>		
<i>Tor klasy 0 i 1</i>		
Podkład strunobetonowy na podsypce tłuczni 0,35 m	5	610
Podkład drewniany na podsypce tłuczni 0,30 m	5	610
<i>Tor klasy 2 i 3</i>		

Podkład strunobetonowy na podsypce tłucznia 0,30 m	10	610
Podkład drewniany na podsypce tłucznia 0,25 m	10	610
<i>Tor klasy 4</i>		
Podkład strunobetonowy na podsypce tłucznia 0,25 m	10	610
Podkład drewniany na podsypce tłucznia 0,20 m	10	610
<i>Tor klasy 5</i>		
Podkład strunobetonowy na podsypce tłucznia 0,21 m	20	610
Podkład drewniany na podsypce tłucznia 0,16m	20	610
<b>Kategorie linii</b>		
<i>Magistralne i Pierwszorzędne, Drugorzędne, Znaczenia miejscowego</i>	zależnie od klasy toru	610
<b>Charakterystyka linii kolejowej (B)</b>		
<i>Na nasypie (C), w przekopie (D)</i>	dla torowiska jak dla klasy torów, dla nasypów i przekopów jak dla skarp (pkt. 7)	610
<i>Na linii prostej</i>	zależnie od klasy toru	610
<i>Na łuku:</i>		
Z przechyłką (do 7.5%)	zależnie od klasy toru	610
Bez przechyłki	zależnie od klasy toru	610
<b>2. STACJE KOLEJOWE z wyłączeniem torów</b>		
Zadaszone (perony, budynki, wiaty, obiekty do obsługi pasażerów i towarów, dworce) (E)	50	120
Niezaszadaszone:		
Perony (F)	50	150
Równia stacyjna (z wyłączeniem torów)	50	150 (w przypadku równi asfaltowej/ betonowej/ uszczelnionej)
	50	600 (w przypadku równi porośniętej roślinnością na gruncie nieuszczelnionym)
<b>3. BUDOWLE INŻYNIERYJNE</b>		
Tunele	50	120
<i>Mosty i wiadukty:</i>	50	120
Na mostownicach (konstrukcja ażurowa)	50	120

Z nawierzchnią podsypkową (konstrukcja szczelna)	50	120
Przejazdy	50	120
Przepusty	50	120
<b>4. ROZJAZDY (H)</b>		
Rozjazdy	zależnie od klasy toru	610
<b>5. BOCZNICE</b>		
Bocznice	zależnie od klasy toru	610
<b>6. TERENY PRZYLEGAJĄCE DO SZLAKU KOLEJOWEGO</b>		
- Tereny zurbanizowane	100	wzór (4.6)
- Lasy	100	wzór (4.6)
- Grunty rolne	100	wzór (4.6)
- Łąki	100	wzór (4.6)
<b>7. ROWY ODWADNIAJĄCE</b>		
-Skarpy	50	60
- Korytka ściekowe rowu odwadniającego	50	60

Czas koncentracji terenowej dla całego obszaru zlewni wyznaczany jest jako średnia ważona ze wzoru:

$$t_k = \frac{t_{k1} \cdot F_1 + t_{k2} \cdot F_2 + \dots + t_{kn} \cdot F_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_n} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{ki} \cdot F_i}{\sum_{i=1}^n F_i} \quad (\text{Równ. 4.7.})$$

Gdzie:

$t_{k1}, t_{k2}, t_{kn}, t_{ki}$  – czas koncentracji terenowej dla poszczególnych powierzchni zlewni,

$F_1, F_2, F_n, F_i$  – powierzchnie zlewni.

#### 4.6. Algorytm zastosowania, przykład

Zalecany algorytm obliczeń hydraulicznych cieków (wymagane bezwzględnie jest wypisanie przez wykonawcę poszczególnych obliczeń), wyznaczania wielkości spływów deszczowych z powierzchni analizowanej zlewni, które pozwalają na dobranie wymiaru cieku (w tym m.in. rowów trawiastych lub innych typowych otwartych kanałów odwadniających) oraz ustalenie prędkości przepływu wody:

- a) ustalenie potencjalnego odbiornika wód opadowych i roztopowych i jego przepustowości aktualnej i maksymalnej (np. z map MPHP, ISOK, wizji terenowych) celem określenia czy istnieje alternatywa odprowadzania wód deszczowych dla kanalizacji.

- b) ustalenie czy system odwodnienia i odbiornik wód opadowych i roztopowych zlokalizowany jest na obszarach zagrożenia powodziowego i analiza konsekwencji takiego stanu
- c) założenie wstępne prędkości przepływu  $v$  w kanale, rowie odwadniającym, np. zależnie od zastosowanych umocnień skarp i dna rowu – 0,2 m/s – 5,0 m/s (np. 0,5 m/s dla nieumocnionych skarp rowu, 1 m/s dla umocnionych skarp). W przypadku analizy kanałów/rowów silnie heterogenicznych (np. różne typy umocnień na obydwu brzegach, zmieniające się głębokości rowu itd...) dopuszcza się obliczenie średniej prędkości przepływu w rowie z wykorzystaniem uznanych formuł obliczeniowych (np. Równanie Manninga), z uwzględnieniem parametrów hydraulicznych danego kanału/rowu.
- d) obliczenie wstępne czasu miarodajnego  $t_m$  według wzoru 4.8.:

$$t_m = 1,2 \cdot \frac{l}{v} + t_k \quad (\text{Równ. 4.8.})$$

Gdzie:

$t_m$  – czas miarodajny deszczu [s],

$l$  – długość kanału/rowu do przekroju obliczeniowego, w metrach,

$v$  – prędkość przepływu, w m/s, (wartość założona)

$t_k$  – czas koncentracji terenowej, w sekundach, określony na podstawie Tab. 4.4 lub obliczony ze wzoru 4.6. Czas koncentracji terenowej (średni) dla całego obszaru zlewni należy wyznaczyć ze wzoru 4.7.

- e) obliczenie wstępne natężenia miarodajnego deszczu -  $q$  ze wzoru uniwersalnego, niezależnego od powierzchni odwadnianej (4.9):

$$q = 15,347 \frac{A}{\{(t_m)^{0,667}\}} \quad (\text{Równ. 4.9.})$$

Gdzie:

$t_m$  – czas miarodajny deszczu [s], wyznaczony z równania 4.8,

$A$  – wartość stała według Tab. 4.3 – dobierana z uwzględnieniem rozkładu opadów w Polsce – Zał. 1, Zał. 2.

f) obliczenie wstępne natężenie spływu wód opadowych  $Q$  w oparciu o wzór (4.10):

$$Q = F \cdot \psi \cdot q \quad (\text{Równ. 4.10})$$

Gdzie:

$Q$  – natężenie przepływu spływających wód deszczowych [ $\text{dm}^3/\text{s}$ ],

$F$  - powierzchnia zlewni [ha],

$\Psi$  - współczynnik spływu [-], obliczony jako wartość średnia ważona na podstawie równania 4.3, przy wykorzystaniu Tab. 4.1. Wykonawca zobligowany jest, aby w toku obliczeń przedstawić wszystkie dane przyjęte do wzoru 4.3,

$q$  - natężenie deszczu miarodajnego [ $\text{dm}^3/\text{s}\cdot\text{ha}$ ], (wzór 4.9).

g) dobór wymiarów rowu odwadniającego (celem prawidłowego zaprojektowania odwodnienia) dla wyliczonego  $Q$  (wzór 4.1), obliczenie prędkości  $v_{rz}$ , wyznaczenie przepustowości rowu oraz czasu trwania deszczu miarodajnego dla  $v_{rz}$  - przykład przedstawiono w dalszej części opracowania.

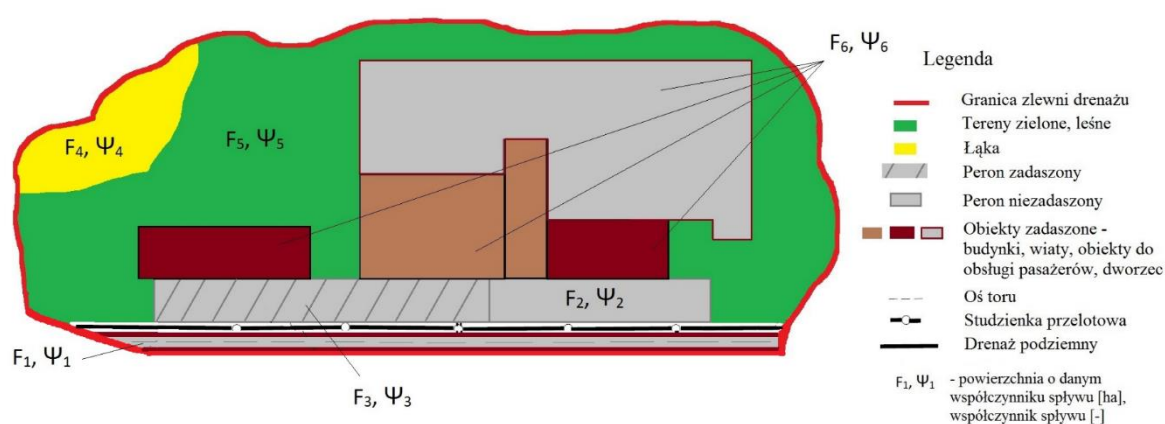
h) powtarzanie czynności od pkt. c) do pkt. g) aż do uzyskania zgodności kolejno obliczonych wartości  $t_m$  co najmniej do:

5% dla  $t_m < 900$  s lub do 10% dla  $t_m > 900$  s (PN-S-02204).

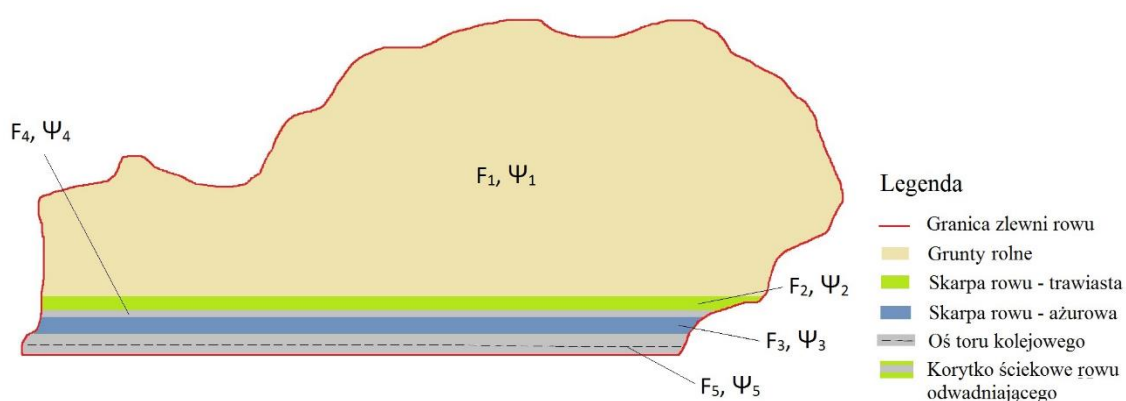
Przykład zastosowania opisanego algorytmu przedstawiono poniżej:

1. Ustalenie potencjalnego odbiornika wód opadowych i roztopowych i jego przepustowości aktualnej i maksymalnej (np. z map MPHP, ISOK, wizji terenowych) w celu określenia czy istnieje alternatywa odprowadzania wód deszczowych dla kanalizacji.
2. Ustalenie czy system odwodnienia i odbiornik wód opadowych i roztopowych zlokalizowany jest na obszarach zagrożenia powodziowego i analiza konsekwencji takiego stanu.

- Określenie odwadnianego obszaru zlewni (przy uwzględnieniu odbiornika oraz obszarów zagrożenia powodziowego) – z map projektowych, map wysokościowych, NMT.
- Podział zlewni na podzlewnie o odmiennych współczynnikach spływu (Tab. 4.1) – na podstawie projektu budowlanego, wizji terenowych, dokumentacji fotograficznych, ortofotomap. Określony podział zlewni na podzlewnie oraz mapa obszaru z podziałem muszą być zawarte w operacie wodnoprawnym. Przykładowy schemat podziału zlewni na obszary o zróżnicowanym współczynniku spływu przedstawiono na Rys. 4.3 – dla stacji kolejowej oraz Rys. 4.4 – dla szlaku kolejowego.



**Rysunek 4.3.** Schemat podziału zlewni na obszary o odmiennych współczynnikach spływu – stacja kolejowa.



**Rysunek 4.4.** Schemat podziału zlewni na obszary o odmiennych współczynnikach spływu – szlak kolejowy.

Na potrzeby niniejszego przykładu w Tab. 4.5 zestawiono wartości współczynników spływu i czasów koncentracji dla poszczególnych powierzchni, dla szlaku kolejowego oraz ich wartości średnie dla całego obszaru przykładowej zlewni.

**Tab. 4.5.** Średnia wartość współczynnika spływu oraz czasu koncentracji dla całego obszaru zlewni (o całkowitej powierzchni  $F = 10$  ha) – szlak kolejowy.

Rodzaj powierzchni		Powierzchnia [ha]	Współczynnik spływu [-]	Czas koncentracji $t_k$ [s]
Grunty rolne	F1	8,76	0,25 (Tab. 4.1)	274 (wzór 4.6)
Skarpa rowu - trawiasta	F2	0,09	0,1 (Tab. 4.1)	60 (Tab. 4.4)
Skarpa rowu - ażurowa	F3	0,09	0,5 (Tab. 4.1)	60 (Tab. 4.4)
Korytko ściekowe rowu	F4	0,06	0,1 (Tab. 4.1)	60 (Tab. 4.4)
Tory kolejowe (klasa 0 i 1)	F5	1	0,45 (Tab. 4.1)	610 (Tab. 4.4)
Powierzchnia ogólna		<b>10</b>	-	-
Wartość średnia (równania 4.3 oraz 4.7):			<b>0,27</b>	<b>303</b>

Ze względu na to iż zlewnia charakteryzuje się zróżnicowaną zabudową współczynnik spływu obliczono jako średnią ważoną (wzór 4.11.):

$$\psi = \frac{\psi_1 \cdot F_1 + \psi_2 \cdot F_2 + \dots + \psi_n \cdot F_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_n} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \psi_i \cdot F_i}{\sum_{i=1}^{i=n} F_i} \quad (\text{Równ. 4.11})$$

Gdzie:

$\psi_1, \psi_2, \psi_n, \psi_i$  – współczynniki spływu danej zabudowy,

$F_1, F_2, F_n, F_i$  – powierzchnie zlewni

W analogiczny sposób wyznaczono średni czas koncentracji terenowej dla danej zlewni (wzór 4.12):

$$t_k = \frac{t_{k1} \cdot F_1 + t_{k2} \cdot F_2 + \dots + t_{kn} \cdot F_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_n} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} t_{ki} \cdot F_i}{\sum_{i=1}^{i=n} F_i} \quad (\text{Równ. 4.12})$$

Gdzie:

$t_{k1}, t_{k2}, t_{kn}, t_{ki}$  – czas koncentracji terenowej dla poszczególnych powierzchni zlewni,

$F_1, F_2, F_n, F_i$  – powierzchnie zlewni.

5. Obliczenie wstępnego  $t_m$  ze wzoru (4.13) mając wyznaczony średni czas koncentracji  $t_k$ , określając długość kanału odwadniającego  $l$  oraz dobierając szacunkowo prędkość



przepływu wody w kanale – np. w zależności od zastosowanych umocnień – 0,2 m/s – 5,0 m/s (PN-S-02204):

$$t_m = 1,2 \cdot \frac{l}{v} + t_k = 1,2 \cdot \frac{1000}{1,7} + 303 = 1009 \text{ s} \quad (\text{Równ. 4.13})$$

Gdzie:

$t_m$  – czas miarodajny deszczu [s],

$l$  – długość kanału, w metrach, przyjęto odcinek  $l = 1000 \text{ m}$ ,

$v$  – prędkość przepływu, w m/s, przyjęto  $v = 1,7 \text{ m/s}$  – jak dla zastosowanych umocnień – darnina, bruk pojedynczy.

$t_k$  – czas koncentracji terenowej, w sekundach,  $t_k = 303$  (Tab. 4.5, wzór 4.14):

$$t_k = \frac{274 \cdot 8,76 + 60 \cdot 0,09 + 60 \cdot 0,09 + 60 \cdot 0,06 + 610 \cdot 1}{8,76 + 0,09 + 0,09 + 0,06 + 1} = \frac{3024,64}{10} = 302,4 = 303 \text{ s} \quad (\text{Równ. 4.14})$$

6. Obliczenie miarodajnego natężenia deszczu  $q$  (Równ. 4.15) dla obszaru danej zlewni:

$$q = 15,347 \frac{A}{\{(t_m)^{0,667}\}} = 15,347 \frac{1276}{\{(1009)^{0,667}\}} = 194,23 \text{ dm}^3/\text{s} \cdot$$

$ha$  (Równ. 4.15)

Gdzie:

$t_m$  – czas miarodajny deszczu [s], wyznaczony ze wzoru 4.5 w pkt. 3,  $t_m = 1009 \text{ s}$

$A$  – stała według Tab. 4.3 (dla danych prognozowanych wynikających z przewidywanych zmian klimatu tj. średnia roczna suma opadów historycznych z wielolecia zwiększoną o 3,5% w związku z prognozowanymi zmianami klimatu), w niniejszym przykładzie dla prawdopodobieństwa deszczu miarodajnego  $p = 5\%$  oraz rocznej sumy opadów  $H < 800 \text{ mm}$  wartość stałej  $A = 1276 [-]$ .

7. Wyznaczenie natężenia spływu wód opadowych i roztopowych  $Q$  (wzór 4.16):

$$Q = F \cdot \psi \cdot q = 10 \cdot 0,27 \cdot 194,23 = 524,42 \text{ dm}^3/\text{s} \quad (\text{Równ. 4.16})$$

Gdzie:

$Q$  – natężenie przepływu spływających wód deszczowych [ $\text{dm}^3/\text{s}$ ],

Przeliczenia jednostek należy dokonać na podstawie posiadanych danych:

$$Q = 524,42 \text{ dm}^3/\text{s} = 0,524 \text{ m}^3/\text{s} = 1887,9 \text{ m}^3/\text{h}$$

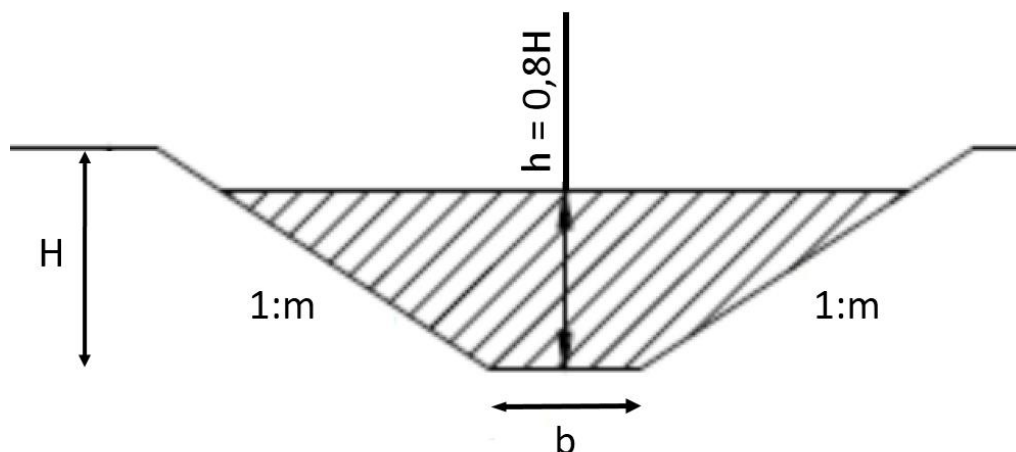
$F$  - powierzchnia zlewni [ha], przyjęto  $F = 10$  ha,

$\Psi$  - współczynnik spływu [-],  $\Psi = 0,27$  (Tab. 4.5, wyznaczona ze wzoru 4.17):

$$\psi = \frac{0,25 \cdot 8,76 + 0,1 \cdot 0,09 + 0,5 \cdot 0,09 + 0,1 \cdot 0,06 + 0,45 \cdot 1}{8,76 + 0,09 + 0,09 + 0,06 + 1} = \frac{2,70}{10} = 0,27 \quad (\text{Równ. 4.17})$$

$q$  – miarodajne natężenie deszczu  $q = 194,23 \text{ dm}^3/\text{s} \cdot \text{ha}$  (Równ. 4.4 – pkt. 4).

8. Dobór wymiarów cieku (rowu odwadniającego) dla wyliczonego  $Q$  (wzór 4.16) i obliczenie prędkości  $v_{rz}$ , wyznaczenie przepustowości rowu oraz czas trwania deszczu miarodajnego. Do wyznaczenia: pola przepływu, obwodu zwilżonego, promienia hydraulicznego, prędkości przepływu, przepustowości rowu wykorzystano wzory do obliczeń hydraulicznych koryt otwartych (pola powierzchni, obwodu zwilżonego, promienia hydraulicznego, prędkości przepływu oraz przepustowości rowu); (Kubrak i Kubrak, 2010). Na potrzeby przykładu dobrano główne parametry rowu odwadniającego (Rys. 4.6) i zestawiono w Tab. 4.6. Przyjęto współczynnik szorstkości rowu – jak dla koryta ziemnego zarosłego trawą. Średnie wartości współczynnika szorstkości  $n$  zestawiono w Tab. 4.7.



**Rysunek 4.5.** Schemat rowu odwadniającego.

**Tab. 4.6.** Zestawienie parametrów przykładowego rowu odwadniającego.

Parametr rowu	Wartość
Średnia głębokość H [m]	0,60
Szerokość w dnie b [m]	0,40
Nachylenie skarp 1:m; m=	1,5
Współczynnik szorstkości n [ $m^{-1/3}s$ ] (Vente, Chow 1959r.) – jak dla kanałów ziemnych w dość złym stanie (Tab. 4.7)	0,03
Długość L [m]	1000
Spadek dna I [-]	0,0175

**Tab. 4.7.** Zestawienie średnich wartości współczynników szorstkości n według Ven Te Chowa [ $m^{-1/3}s$ ]; (Kubrak, 2010).

Charakterystyka koryta	Średni współczynnik n [ $m^{-1/3}s$ ]
<b>KORYTO UMOCNIONE</b>	
<i>Betonowe dno wygładzone kielnią i ściany wykonane z:</i>	
▪ ciosanego kamienia na zaprawie	0,017
▪ nieciosanego kamienia na zaprawie	0,020
▪ wyprawionego muru z kamienia łamanego na zaprawie	0,016
▪ kamienia łamanego bez zaprawy lub kamiennego narzutu	0,030
<i>Żwirowe dno i ściany wykonane z:</i>	
▪ betonu	0,020

▪ nieciosanego kamienia na zaprawie	0,023
<b>KORYTO ZIEMNE NIEUMOCNIONE</b>	
<i>Koryto ziemne o stałym przekroju:</i>	
▪ czyste, bezpośrednio po wykonaniu	0,018
▪ czyste zwietrzałe	0,022
▪ czyste, łożysko kanału żwirowe	0,025
▪ w korycie nieliczna roślinność	0,027
<i>Koryto ziemne o zmiennym przekroju:</i>	
▪ bez roślinności	0,025
▪ zarosłe trawą	0,030
▪ z gęstą trawą i wodorostami	0,035
▪ o dnie ziemnym i ścianami z kamienia łamanego	0,030
▪ o dnie ziemnym, skarpy porośnięte wodorostami	0,035
▪ o brukowanym dnie i czystych skarpach	0,040
<i>Koryto wykonane za pomocą koparki zbierakowej lub pogłębiarki:</i>	
▪ bez roślinności	0,028
▪ z niewielką roślinnością przy brzegach	0,050
<i>Koryto wykute w skale:</i>	
▪ o gładkich ścianach i stałym przekroju	0,035
▪ o nierównych ścianach	0,040
<i>Koryta zaniedbane (nieoczyszczone z trawy i krzaków):</i>	
▪ gęsta roślinność wysokości równej głębokości cieku	0,080
▪ czyste dno, zarośla przy brzegach	0,050
▪ czyste dno, zarośla przy brzegach w przypadku wysokiego poziomu wody	0,070
▪ gęsta wiklina przy brzegach, wysoki poziom	0,100

Do obliczeń przyjęto jako głębokość obliczeniową – napelnienie rowu 80%:

$$h = 0,8 \cdot H = 0,8 \cdot 0,60 \text{ m} = 0,48 \text{ m}$$

W następnym kroku wyznaczono:

- Pole przepływu  $F$  [ $\text{m}^2$ ]:

$$F = (b + m \cdot h) \cdot h = (0,4 + 1,5 \cdot 0,48) \cdot 0,48 = 0,54 \text{ m}^2$$

- Obwód zwilżony  $U$  [m]:

$$U = b + 2 \cdot h \cdot (m^2 + 1)^{\frac{1}{2}} = 0,4 + 2 \cdot 0,48 \cdot (1,5^2 + 1)^{\frac{1}{2}} = 2,13 \text{ m}$$

- Promień hydrauliczny  $R_h$  [m]:

$$R_h = \frac{F}{U} = \frac{0,54 \text{ m}^2}{2,13 \text{ m}} = 0,25 \text{ m}$$

- Prędkość przepływu  $v_{rz}$  [m/s] w oparciu o wzór Manninga:

$$v_{rz} = \frac{1}{n} \cdot R_h^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{0,03} \cdot 0,25^{\frac{2}{3}} \cdot 0,0175^{\frac{1}{2}} = 1,76 \text{ m/s}$$

- Przepustowość rowu  $Q_r$  [m<sup>3</sup>/s]:

$$Q_r = v_{rz} \cdot F = 1,76 \cdot 0,54 = 0,95 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 950 \text{ dm}^3/\text{s}$$

Otrzymana wartość przepustowości rowu  $Q_r = 950 \text{ dm}^3/\text{s}$  jest większa niż wyznaczone natężenie spływu wód opadowych i roztopowych  $Q = 524 \text{ dm}^3/\text{s}$  (pkt. 5). Przekrój rowu został dobrany prawidłowo – rów odwadniający przeniesie obliczeniowe natężenie deszczu miarodajnego.

- Czas trwania deszczu miarodajnego  $t_{m1}$  [s], (wzór 4.5):

$$t_{m1} = 1,2 \cdot \frac{l}{v_{rz}} + t_k = 1,2 \cdot \frac{1000}{1,76} + 303 = 985 \text{ s}$$

9. Czynności od pkt. 3 do pkt. 6 powtarza się aż do uzyskania zgodności kolejno obliczonych wartości  $t_m$  co najmniej do:

5% dla  $t_m < 900 \text{ s}$  lub do 10% dla  $t_m > 900 \text{ s}$

Sprawdzenie warunku dla danego przykładu:

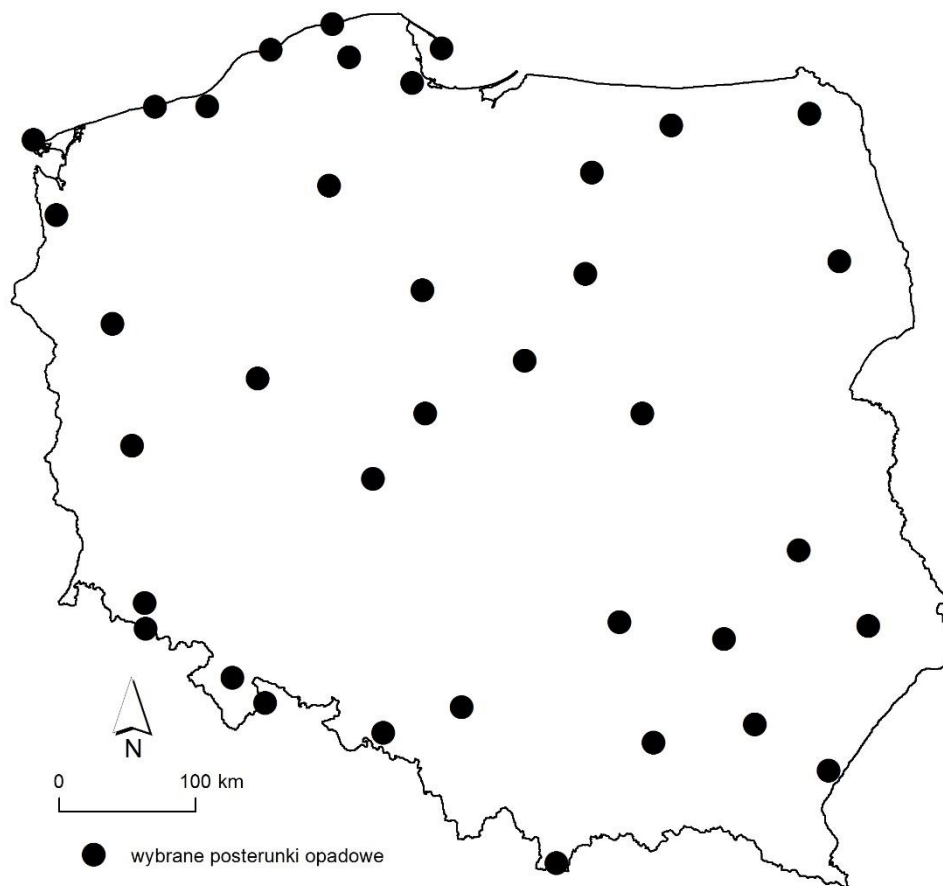
$$\frac{t_m - t_{m1}}{t_m} \cdot 100\% = \frac{1009 \text{ s} - 985 \text{ s}}{1009 \text{ s}} \cdot 100\% = 2,4\% < 10\%$$

Warunek (pkt. f – algorytm) został spełniony – obliczenia poprawne.

## 5. Etap X – Mapy rocznej sumy opadów

Jako element zamówienia, w ramach niniejszej ekspertyzy wykonano mapy średnich rocznych sum opadów w Polsce. Mapy wykonano na podstawie dostępnych danych ze stacji opadowych IMGW. W celu przeprowadzenia interpolacji w przestrzeni Polski dokonano wyboru stacji z uwzględnieniem kryterium przestrzennego, by uzyskać równomierny stopień pokrycia powierzchni Polski (Rys. 5.1). Mapy rocznej sumy opadów w wariantach dla lat 2020, 2035, 2050 i 2070 wykonano na podstawie danych projektu KLIMADA. Ze względu na brak danych o przestrzennym zróżnicowaniu rocznej sumy opadów w analizowanych wariantach oraz na podstawie informacji zawartych w materiałach projektu KLIMADA (2) przyjęto, że przestrzenne zróżnicowanie rocznych

sum opadów w latach 2020, 2035, 2050 i 2070 będzie tożsame z okresem referencyjnym, za jaki przyjęto lata 1981-2010 (Rys. 5.2).



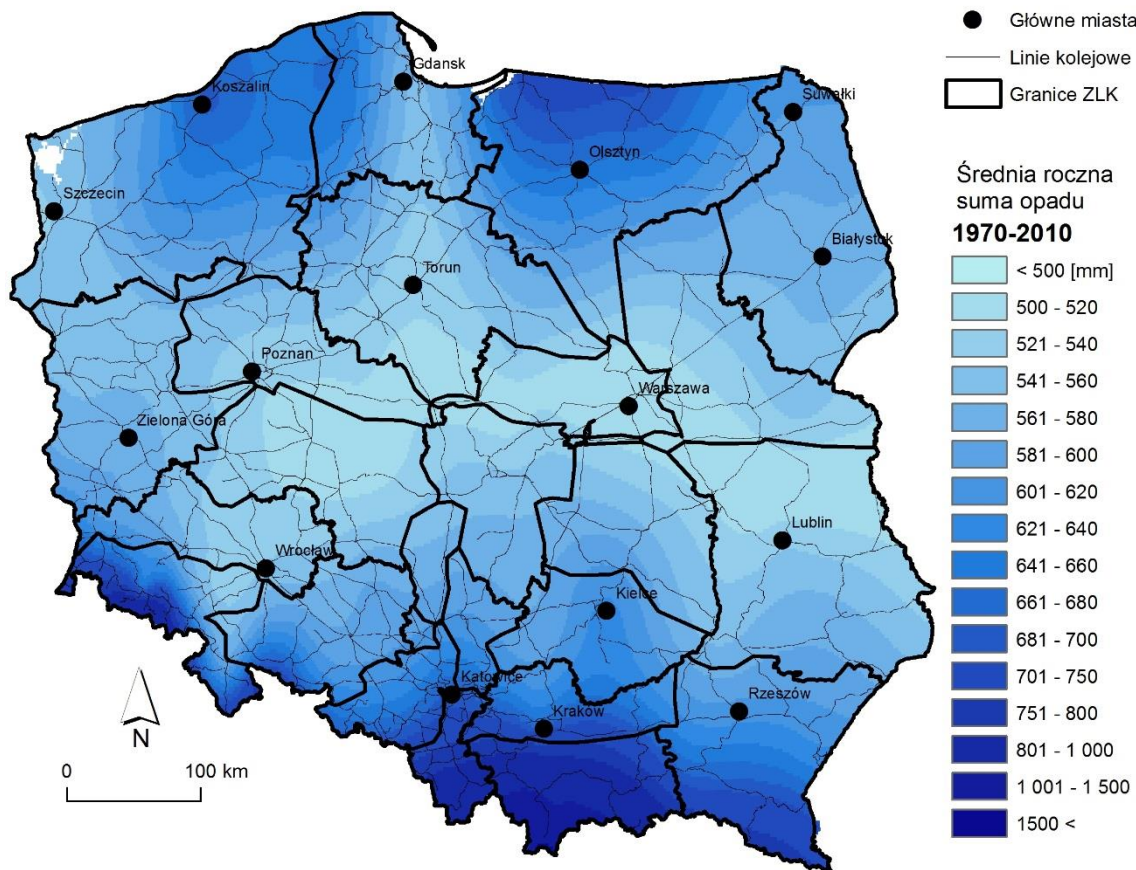
**Rys. 5.1.** Posterunki opadowe wybrane do przygotowania mapy średniej rocznej sumy opadu w Polsce.

**Tab. 5.1.** Średnie roczne sumy opadu z wielolecia 1981-2010 w wybranych posterunkach opadowych. Opracowanie własne na podstawie ogólnodostępnych danych IMGW.

Lp.	Posterunek opadowy	P [mm/rok]
1	Białystok	574
2	Bielice	763
3	Chojnice	625
4	Gorzów Wlkp.	544
5	Hel	571
6	Jasionka	611
7	Jelenia Góra	653
8	Kalisz	509
9	Kasprowy Wierch	1608

10	Katowice	684
11	Kętrzyn	679
12	Kielce-Suków	626
13	Kłodzko	591
14	Koło	517
15	Kołobrzeg	608
16	Koszalin	682
17	Poznań-Ławica	526
18	Lębork	660
19	Gdańsk-Lotnisko	564
20	Lublin	534
21	Łeba	651
22	Mława	585
23	Okęcie	503
24	Olsztyn	654
25	Płock	540
26	Przemyśl	631
27	Racibórz	659
28	Sandomierz	552
29	Śnieżka	1106
30	Suwałki	600
31	Świnoujście	544
32	Szczecin	541
33	Tarnów	681
34	Toruń	525
35	Ustka	651
36	Zamość	563
37	Zielona Góra	577

Wykazano bowiem, że niewielkie w skali roku, prognozowane zmiany średnich rocznych sum opadów są nieznaczne w stosunku do aktualnej regionalnej zmienności sum opadów (Tab. 3.1). Co więcej, przy braku wiążących informacji o prognozowanych zmianach przestrzennej zmienności średnich rocznych sum opadów w analizowanych horyzontach czasowych nie pozwala na przyjęcie innej niż rzeczywista przestrzennej zmienności tego parametru. Prognozowanie przestrzennej zmienności sum opadów jest obarczone wysoką niepewnością. Niepewność oceny wartości prognozowanej zmiany sumy opadów jest wyższa niż zróżnicowanie tego parametru w przestrzeni (Romanowicz i in., 2016). Wobec wysokiej i szeroko dyskutowanej niepewności prognoz wpływu zmian klimatu na warunki opadowe, zaproponowano przyjęcie zmierzonych wartości opadu.



**Rys. 5.2.** Średnia roczna suma opadów w Polsce w latach 1970-2010. Opracowanie własne na podstawie ogólnodostępnych danych publikowanych przez IMGW.

Elektroniczna wersja mapy w formacie GEO-TIFF znajduje się w Zał. 2.

Zapewnienie bezpieczeństwa odwadnianej infrastruktury kolejowej zostanie osiągnięte – zgodnie z założeniami opracowanej ekspertyzy – poprzez wykorzystanie eksperymentalnie wyznaczonych wartości współczynnika spływu, które obliczono dla warunków ekstremalnie wysokich sum opadów o bardzo niskich prawdopodobieństwach przekroczenia. W stosunku do okresu referencyjnego 1981-2010, na podstawie danych projektu KLIMAT, KLIMADA (1) oraz KLIMADA (2) w kolejnych analizowanych wariantach (Tab. 3.1.) przyjęto, że średnia roczna suma opadu ulegać będzie zwiększeniu odpowiednio o 1,41%, 2,46%, 3,52% oraz 2,68% w stosunku do okresu referencyjnego 1971-2010.

Wszystkie wykonane mapy przygotowano w formie elektronicznej, w formatach GIS – GEO-TIFF, jpg oraz doc i umieszczono w Zał. 2.



## 6. Wnioski i zalecenia

1. Współczynniki spływu założone dla obiektów innych niż torowisko kolejowe zostały przyjęte ze źródeł literaturowych. Zalecana byłaby weryfikacja części z nich – przede wszystkim współczynniki spływów z nasypów kolejowych i rowów melioracyjnych. Zaleca się również weryfikację czasu koncentracji dla różnych obszarów pozakolejowych (wyliczanych ze wzoru Kirpicha (4)), najlepiej w drodze badań eksperymentalnych. Jakkolwiek, nie prognozuje się istotnego wpływu zmiany wartości tych parametrów na końcowy wynik obliczeń.
2. W obliczeniach nie uwzględnia się infiltracji z rowu przy określonym przepływie (nie jest uwzględniany proces infiltracji wody w rowie). Podczas przepływu wód kanałem odwodnieniowym występuje zjawisko filtracji wód, które płyną kanałem. Ilość wód, które infiltrują zależy od wielu czynników (przesycenie gruntu, napelnienia rowu – obwodu zwilżonego i rodzaju pokrycia skarp). Istnieją stare dane literaturowe, dla praktyk melioracyjnych (rowów nawadniających). Wskazane byłoby przeprowadzenie własnych doświadczeń wyznaczających współczynnik dla typowych rowów odwodnieniowych stosowanych w kolejnictwie. Jakkolwiek, nieuwzględnienie w zaproponowanym algorytmie obliczeniowym infiltracji nie wpływa na końcowy wynik obliczeń i projektu w aspekcie potencjalnego niedowymiarowania infrastruktury.
3. Zaproponowany algorytm postępowania oraz wartości wybranych parametrów (czas koncentracji, prawdopodobieństwo deszczu miarodajnego, roczne sumy opadów) uwzględniają prognozy zmian klimatu i mogą zostać uznane za wyraz adaptacji kolejowej infrastruktury odwodnieniowej do zmian klimatu. Po przeanalizowaniu obecnych i przewidywanych zmian klimatu (KLIMAT, KLIMADA) wykonawca zaleca: założenie sieci monitoringu na kilku reprezentatywnych obiektach odwodnieniowych w celu rejestracji wpływu zmian klimatu na wielkość odpływu (celem bieżącej obserwacji i adaptacji). Monitoring polegałby na pomiarach warunków atmosferycznych (przede wszystkim charakterystyk opadów – elektroniczne deszczomierze), wielkości odpływu (specjalistyczne urządzenia pomiarowe) oraz wód gruntowych (automatyczny pomiar z wykorzystaniem samorejestrujących czujników ciśnienia piezometrycznego wody) w czasie rzeczywistym. Tak zaplanowany monitoring uwzględniający wszystkie główne

składniki bilansu wodnego pozwalałyby na wnioskowanie w jakim stopniu zmiany klimatu wpływają na wielkość odpływu.

4. Zaleca się utworzenie monitoringu podtopień na terenach szczególnie narażonych, o obniżonym odpływie oraz wypracowanie procedur postępowania w razie zaistnienia podtopienia torowiska skutkujących możliwością zatrzymania pociągu.
5. Zalecana jest weryfikacja doświadczalna współczynnika spływu bocznego z terenów przyległych (pola, tereny leśne, tereny zielone). Wykorzystywane dane literaturowe wydają się być zawyżone. Podczas wizji terenowych na wybranych obiektach (np. Grodzisk Mazowiecki), podczas dużych opadów nie zaobserwowano znaczącego odpływu.
6. Obliczone współczynniki spływu określają frakcję wody odpływającej z obszarów kolejowych po określonych epizodach opadowych. W świetle uzyskanych wyników badań (np. eksperymenty, w których generowany opad do pewnego poziomu natężenia nie powodował odpływu z uwagi na retencjonowanie wody w strukturze badanego torowiska eksperymentalnego) należy stwierdzić, że określone w ekspertyzie współczynniki spływu mogą być z powodzeniem stosowane do celów projektowania odwodnień obszarów kolejowych, lecz nie znajdują zastosowania w określaniu sumarycznego odpływu z obszarów kolejowych w długich okresach czasu (np. rok). Określenie współczynnika odpływu dla 1 roku wymaga przeprowadzenia badań łącznej kubatury odpływu z danego obszaru kolejowego i odniesienia jej do okresowej (np. rocznej) kubatury opadu. Do tego celu wymagane jest przeprowadzenie nowych, innych niż przedstawione w niniejszej ekspertyzie, badań terenowych.

## 7. Literatura

- Błaszczyk W., Stamatello H., Błaszczyk P., 1983. Kanalizacja: sieci i pompownie. T.1; Wyd. Arkady.
- Ciepielowski, A., Dąbkowski, Sz.L., 2006. Metody obliczeń przepływów maksymalnych w małych zlewniach rzecznych (z przykładami). Projprzemeko, Bydgoszcz.
- Edel R., 2000. Odwodnienie dróg. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności.
- Ignar, S., Okruszko, S., Brandyk, A., Grygoruk, M., Trandziuk, P., Pietraszek, Z., 2015. Ekspertyza częściowa nr 1 - Opis metod obliczania ilości wód opadowych i roztopowych z obszarów kolejowych, zdefiniowanie parametrów linii kolejowych mających wpływ na współczynnik spływu, podział obszaru kolejowego na potencjalne obszary o odmiennych współczynnikach spływu oraz opracowanie metodyki badań współczynnika spływu. Ekspertyza zamawiana – badania wdrożeniowe realizowane na zlecenie PKP PLK S.A.
- Ignar, S., Okruszko, S., Grygoruk, M., Trandziuk, P., Pietraszek, Z., 2016. Ekspertyza częściowa nr 2 - Opis metod obliczania ilości wód opadowych i roztopowych z obszarów kolejowych, zdefiniowanie parametrów linii kolejowych mających wpływ na współczynnik spływu, podział obszaru kolejowego na potencjalne obszary o odmiennych współczynnikach spływu oraz opracowanie metodyki badań współczynnika spływu. Ekspertyza zamawiana – badania wdrożeniowe realizowane na zlecenie PKP PLK S.A.
- Ignar, S., Okruszko, S., Grygoruk, M., Trandziuk, P., Pietraszek, Z., Osuch P., 2016. Ekspertyza częściowa nr 3 - Opis metod obliczania ilości wód opadowych i roztopowych z obszarów kolejowych, zdefiniowanie parametrów linii kolejowych mających wpływ na współczynnik spływu, podział obszaru kolejowego na potencjalne obszary o odmiennych współczynnikach spływu oraz opracowanie metodyki badań współczynnika spływu. Ekspertyza zamawiana – badania wdrożeniowe realizowane na zlecenie PKP PLK S.A.
- IPCC 2007: Zmiana klimatu 2007: Raport Syntetyczny. Wkład Grup roboczych I, II, III do Czwartego Raportu Oceniającego Międzynarodowego Zespołu ds. Zmian Klimatu [(red.) Główny zespół autorski, Pachauri R. K. i Reisinger A.]. Wyd. IOŚ, Warszawa 2009.
- Kotowski A., 2011. Podstawy bezpiecznego wymiarowania odwodnień terenu. Wydawnictwo Seidel-Przywecki Sp. z o.o.
- Kubrak E., Kubrak J., 2010, Podstawy obliczeń z mechaniki płynów w inżynierii i ochronie środowiska, Wyd. SGGW, Warszawa.
- Nakicenovic N., Swart R. (eds). 2000. Special Report on Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press; Cambridge, UK and New York.
- Projekt **KLIMAT** „Wpływ zmian klimatu na środowisko, gospodarkę i społeczeństwo (zmiany, skutki i sposoby ich ograniczania, wnioski dla nauki, praktyki inżynierskiej i planowania gospodarczego)”: Zrównoważone gospodarowanie zasobami wodnymi oraz

infrastrukturą hydrotechniczną w świetle prognozowanych zmian klimatycznych, pod red. Wojciecha Majewskiego i Tomasza Walczykiewicza, 2012.

Projekt **KLIMADA** (1) „Opracowanie i wdrożenie strategicznego planu adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu”: Strategiczny plan adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu do roku 2020, z perspektywą do roku 2030. Ministerstwo Środowiska. Warszawa 2013.

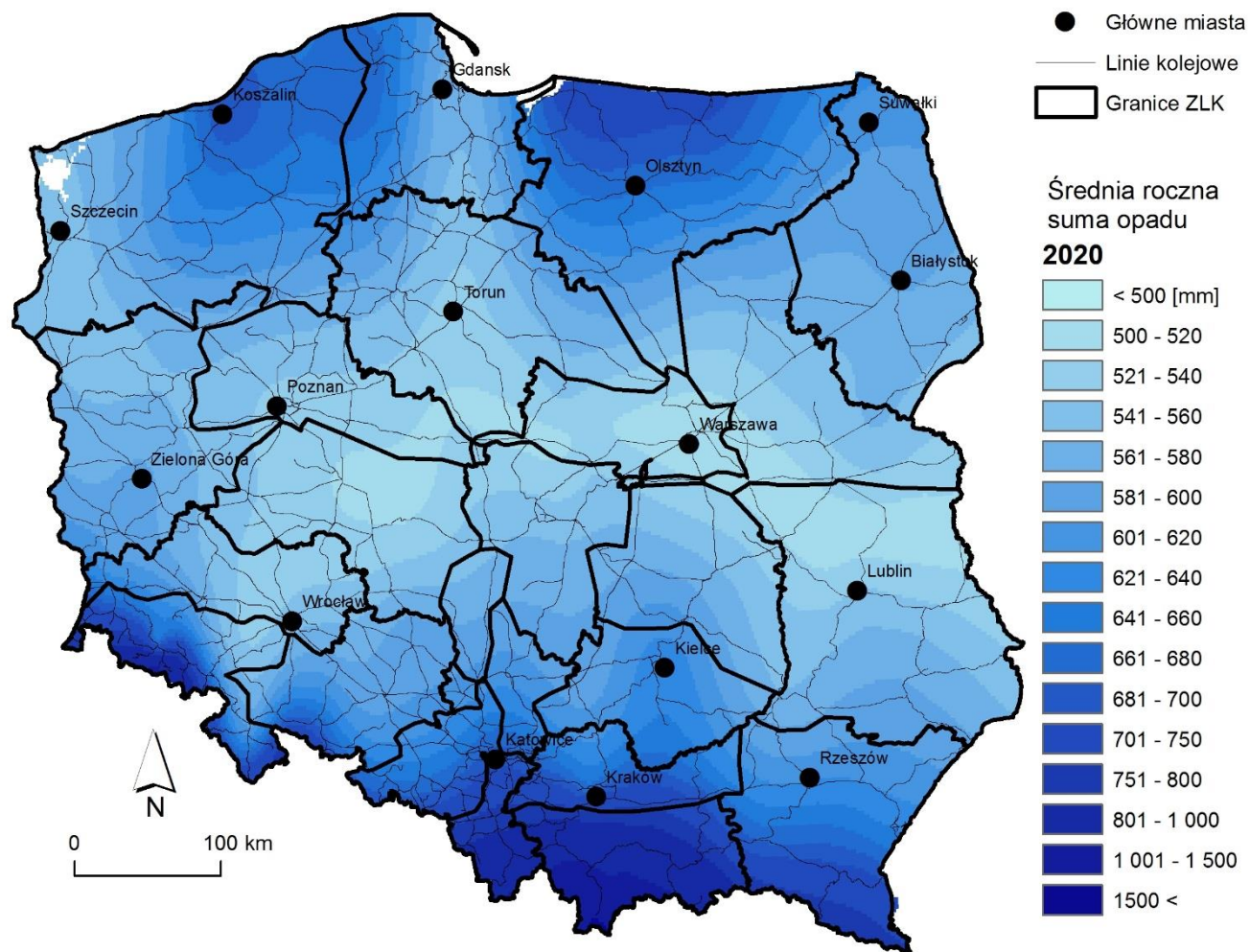
Projekt **KLIMADA** (2) „Opracowanie i wdrożenie strategicznego planu adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu”: Opracowanie i wdrożenie Strategicznego Planu Adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu - Etap III. Warszawa 2013.

Romanowicz R.J., Bogdanowicz, E., Debele, S.E., Goroszkiewicz J., Hisdal, H., Lawrence, D., Meresa, H.K., Napiórkowski, J.J., Osuch, M., Strupczewski, W.G., Wilson, D., Wong W.K., 2016. Climate Change Impact on Hydrological Extremes: Preliminary Results from the Polish-Norwegian Project. Acta Agrophysica <https://doi.org/10.1515/acgeo-2016-0009>

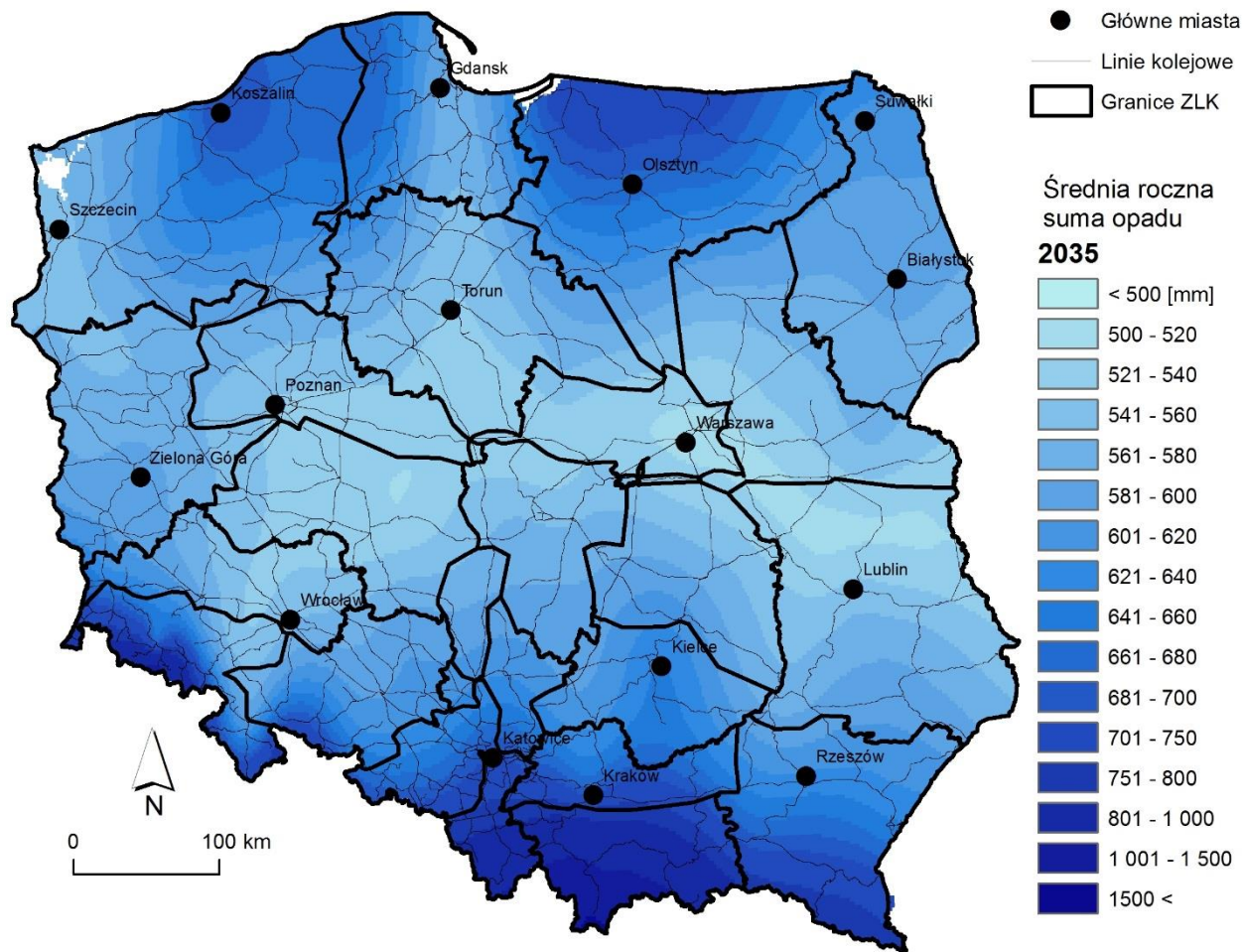
Strycharz B., Edel r., Kliszczewicz B., Olma A., Żak A., Szeja K., 2009. Zalecenia projektowania i utrzymania odwodnienia dróg oraz przystanków komunikacyjnych. Praca na zlecenie Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad

## **8. Załączniki**

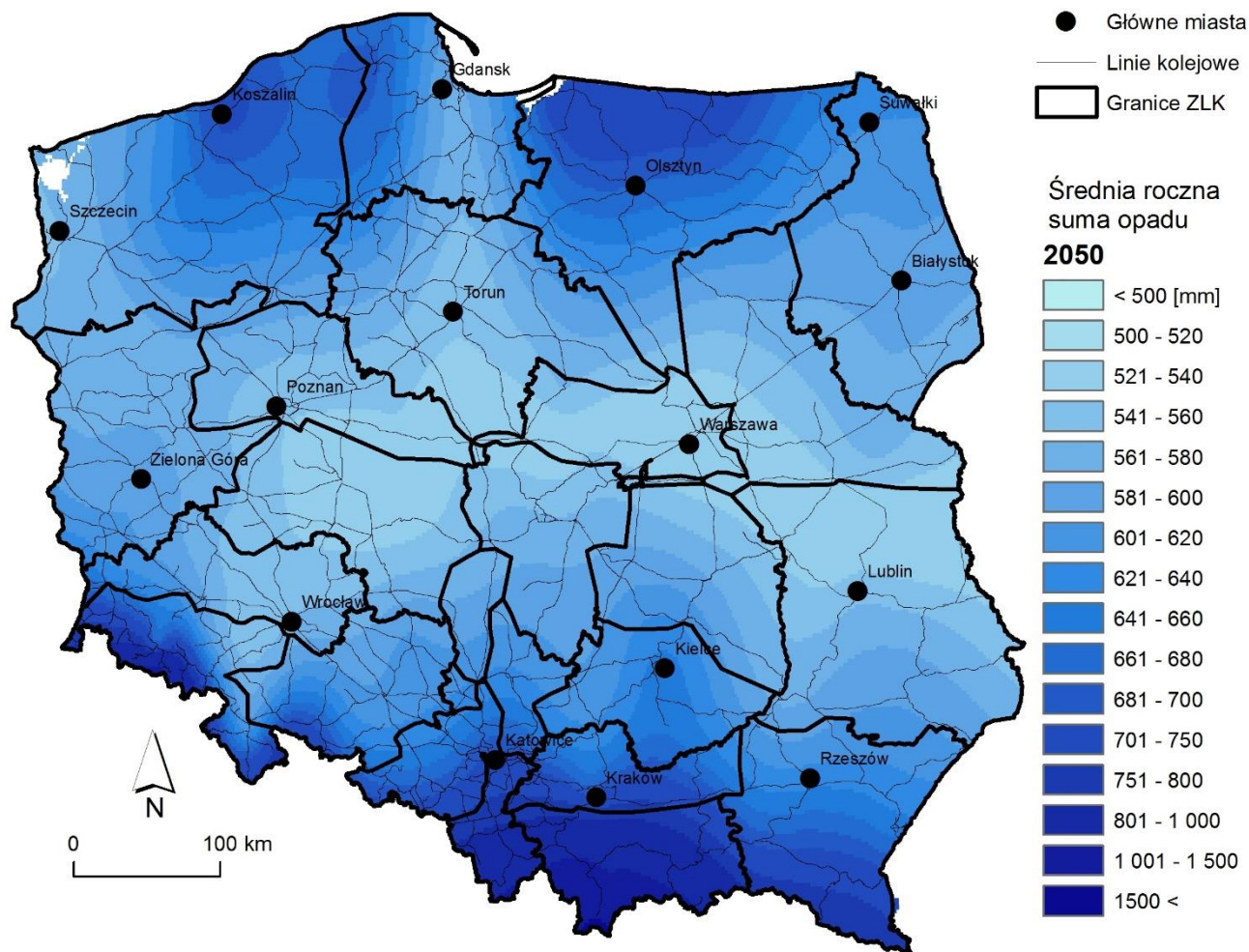
Załącznik 1. Mapa średniej rocznej sumy opadów w Polsce – wariant 2020 r.



Załącznik 1. c.d. Mapa średniej rocznej sumy opadów w Polsce – horyzont 2035 r.

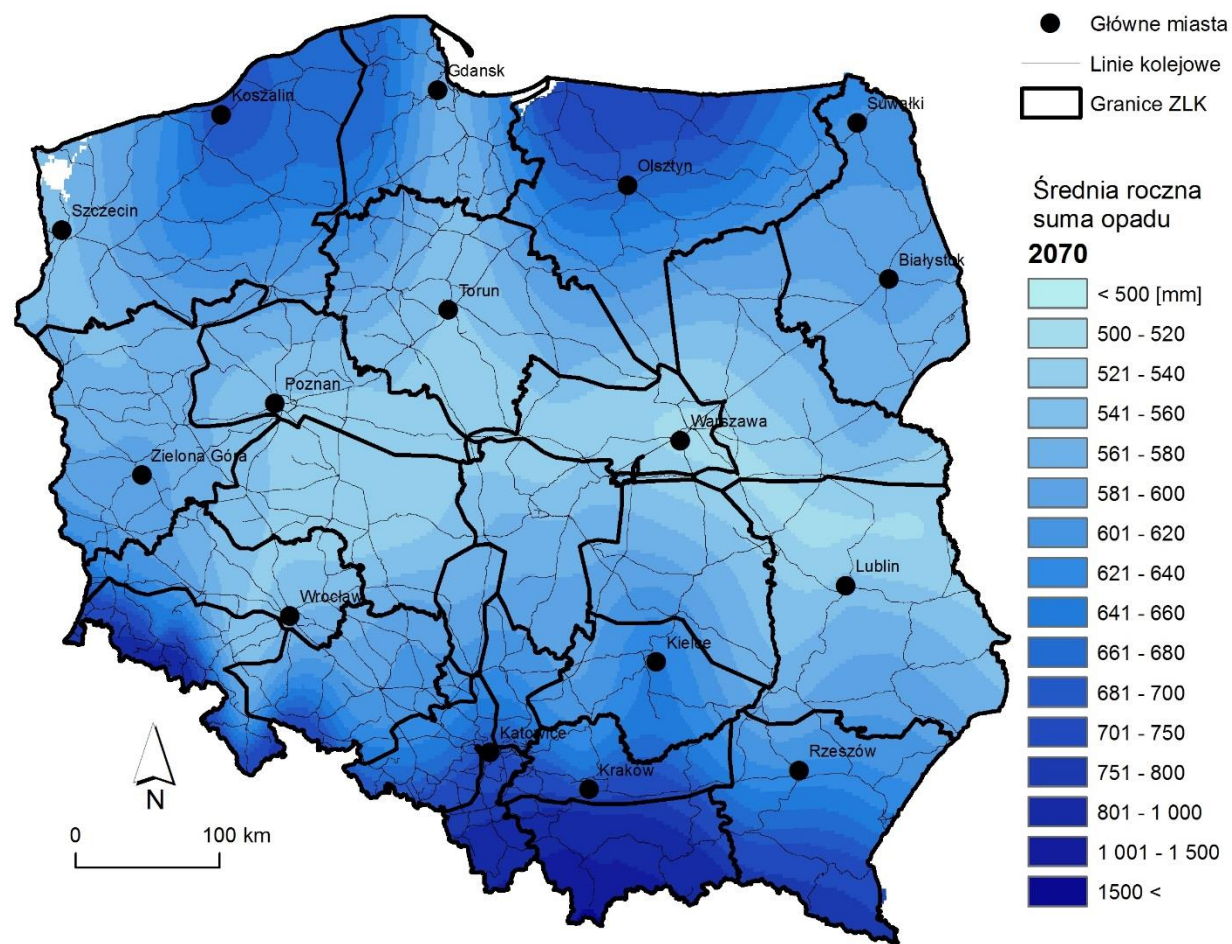


Załącznik 1. c.d. Mapa średniej rocznej sumy opadów w Polsce – horyzont 2050 r.





Załącznik 1. c.d. Mapa średniej rocznej sumy opadów w Polsce – horyzont 2070 r.



## Załącznik 2. Dane elektroniczne