



PORADNIK W ZAKRESIE IDENTYFIKACJI OBSZARÓW ZAGROŻONYCH WODAMI OPADOWYMI NA TERENACH ZURBANIZOWANYCH

Załącznik nr 3

Charakterystyka obszaru i wyniki analiz - miasto Puławy

Spis treści

1. Puławy – wprowadzanie	3
2. Charakterystyka obszaru miasta	3
2.1 Warunki fizyczne i geologiczne	3
2.2. Warunki klimatyczne	4
2.3. Charakterystyka meteorologiczna	6
2.4. Warunki hydrograficzne	10
2.5. Warunki hydrologiczne	10
2.6. Ocena zagrożenia i ryzyka powodziowego	13
2.7. Przewidywane zmiany sum i rozkładu opadów i przepływów w oparciu o dostępne modele klimatyczne	20
2.8. Charakterystyka zagospodarowania przestrzennego	22
2.9. Charakterystyka sieci kanalizacji deszczowej	24
3. Obszary zagrożone wodami opadowymi – wyniki analiz	29
3.1 Wariant 1	29
3.2 Wariant 2	38
3.3 Wariant 3	42
Spis Tabel	54
Spis Rysunków	55

1. Puławy – wprowadzanie

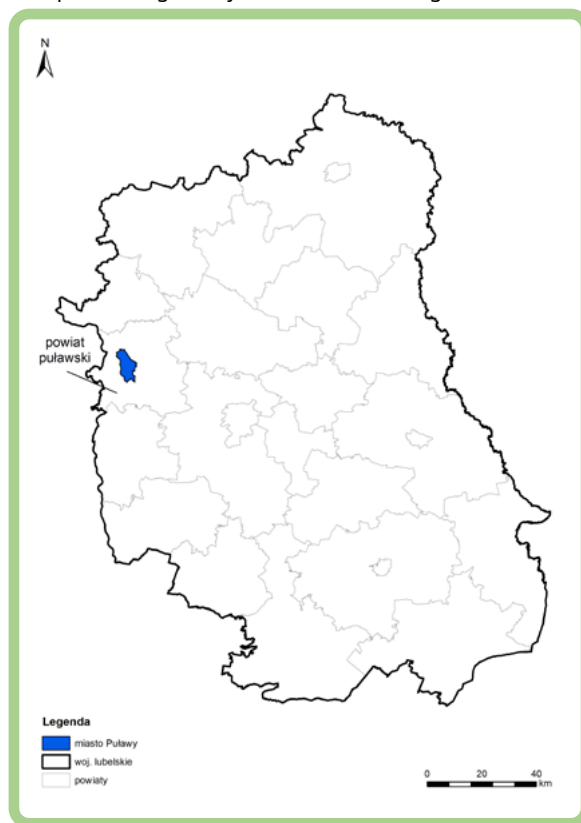
Puławy są jednym z dwóch miast pilotażowych, które wybrano, aby przetestować podejście metodyczne dla analiz, mających na celu wyznaczenie obszarów zagrożonych wodami opadowymi. Zinventaryzowano niezbędne do wykonania analiz dane, a następnie przeprowadzono komplet prac analitycznych dla wszystkich 3 wariantów.

2. Charakterystyka obszaru miasta

2.1 Warunki fizyczne i geologiczne

Miasto Puławy jest gminą miejską o powierzchni 51 km². Puławy położone są w zachodniej części województwa lubelskiego, nad prawym brzegiem Wisły ([Rysunek 1](#)). Powiat puławski graniczy od zachodu z województwem mazowieckim. Miasto zlokalizowane jest w odległości ok. 115 km na południowy wschód od Warszawy i ok. 45 km na północny zachód od Lublina (w linii prostej)¹.

Rysunek 1 Położenie Puław na tle powiatu puławskiego i województwa lubelskiego



źródło: opracowanie własne

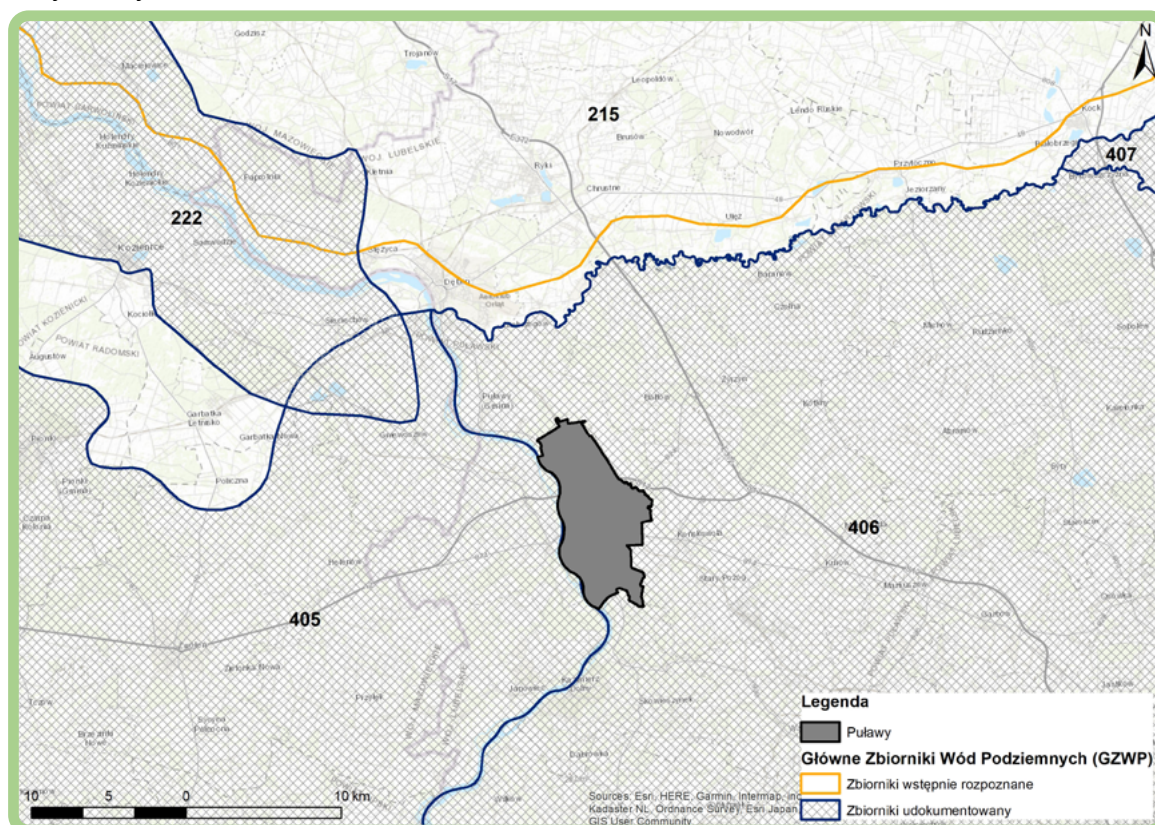
Pod względem hydrogeologicznym obszar Puław położony jest w lubelsko-podlaskim (IX) regionie hydrogeologicznym². Miasto znajduje się w zasięgu zasobnego w wody podziemne głównego zbiornika wód podziemnych (GZWP) – Niecka Lubelska (Lublin) (GZWP nr 406) ([Rysunek 2](#)). Omawiany obszar miasta Puław znajduje się w obrębie jednej jednolitej części wód podziemnych, tj. JCWPd nr 88³.

1 Siudak R., Smarul N., 2021, Programu ochrony środowiska dla gminy Miasto Puławy na lata 2021-2024 z perspektywą na lata 2025-2028 (UCHWAŁA NR XXXIII/334/21 RADY MIASTA PUŁAWY z dnia 26 sierpnia 2021 r.)

2 Paczyński B., 1995 – Atlas hydrogeologiczny Polski w skali 1:500 000. Państw. Inst. Geol., Warszawa

3 Siudak R., Smarul N., 2021, Programu ochrony środowiska dla gminy Miasto Puławy na lata 2021-2024 z perspektywą na lata 2025-2028 (UCHWAŁA NR XXXIII/334/21 RADY MIASTA PUŁAWY z dnia 26 sierpnia 2021 r.)

Rysunek 2 Położenie Puław i okolic na tle obszarów głównych zbiorników wód podziemnych (GZWP) w Polsce wymagających szczególnej ochrony



źródło: opracowanie własne na podstawie Mapy głównych zbiorników wód podziemnych (wg stanu na grudzień 2021 r.)⁴

Obszar Puław charakteryzuje się glebami brunatnymi (właściwe, wyługowane i kwaśne) oraz glebami pseudo-bielicowymi. Równoległe do rzeki Wisły występują mady lekkie, średnie oraz ciężkie. Dla rejonu silnie zurbanizowanego charakterystyczne są gleby typu antropogenicznego ze zmienionym składem chemicznym oraz zniekształceniem profilu glebowego. W dużym obszarze miasta występują gleby kwaśne wymagające wapnowania⁵.

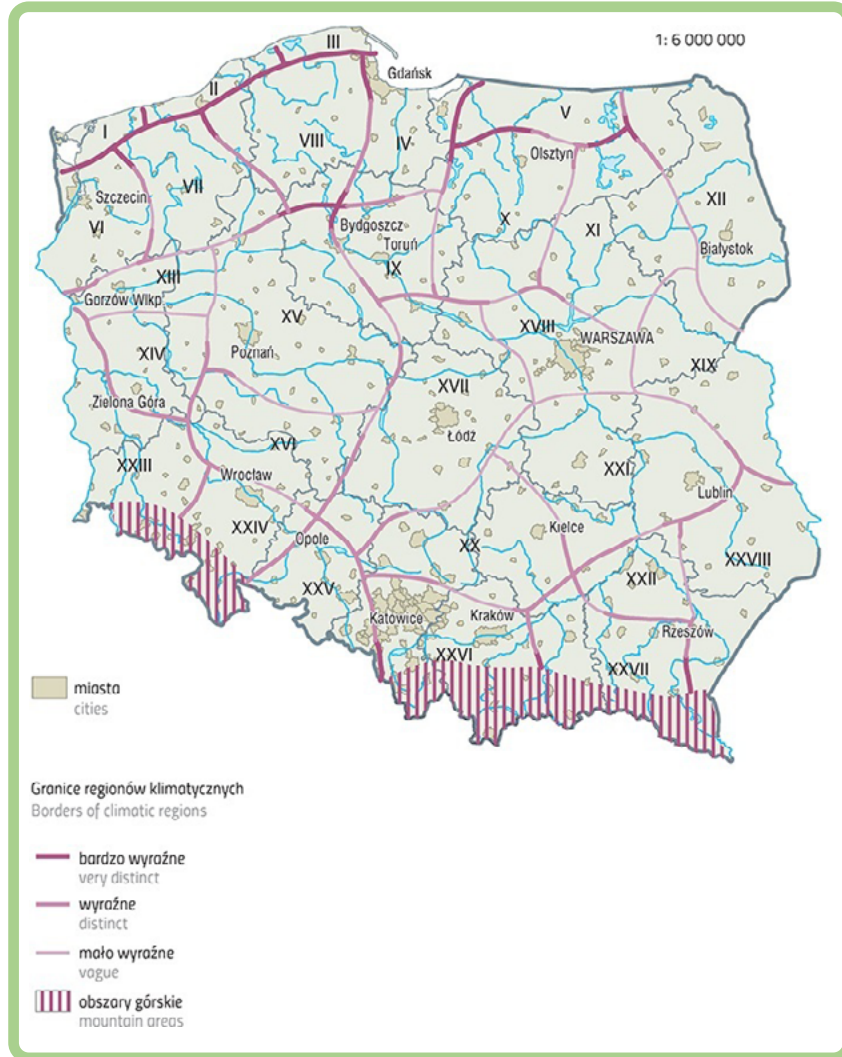
2.2. Warunki klimatyczne

Według regionalizacji klimatycznej Polski przeprowadzonej na podstawie analizy częstości występowania różnych typów pogody, Puławy położone są w Regionie Wschodniomałopolskim (R XXI). Region ten jest jednym z największych w kraju i obejmuje wschodnią część Wyżyny Małopolskiej, zachodnią część Wyżyny Lubelskiej oraz południowy fragment Niziny Mazowieckiej. Region wytyczony jest przez wyraźną granicę południowo – wschodnią. Pozostałe odcinki granic są mało wyraźne, co świadczy o znacznym podobieństwie do warunków klimatycznych regionów sąsiednich, m. in. Regionu Zachodniomałopolskiego (R XX) (Rysunek 3).

4 Mapa głównych zbiorników wód podziemnych (wg stanu na grudzień 2021 r.), dostępne na stronie: <https://www.pgi.gov.pl/psh/dane-hydrogeologiczne-psh/947-bazy-danych-hydrogeologiczne/8890-gzwp.html>, data wejścia: 05.06.2023

5 Siudak R., Smarul N., 2021, Programu ochrony środowiska dla gminy Miasto Puławy na lata 2021-2024 z perspektywą na lata 2025-2028 (UCHWAŁA NR XXXIII/334/21 RADY MIASTA PUŁAWY z dnia 26 sierpnia 2021 r.)

Rysunek 3 Regiony klimatyczne Polski; Granice regionów: 1 – bardzo wyraźne, 2 – wyraźne, 3 – mało wyraźne, 4 – obszary górskie



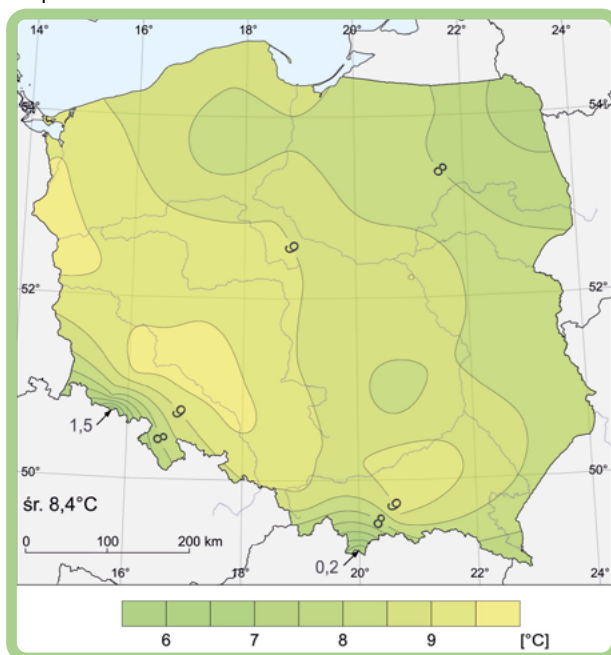
źródło: Bański J. (red.), 2016, Atlas obszarów wiejskich w Polsce, IGIPZ PAN, Warszawa, <https://www.igipz.pan.pl/atlas-obszarow-wiejskich-rozdzial1.html>

Region Wschodniomałopolski charakteryzuje stosunkowo mała liczba dni z pogodą umiarkowanie ciepłą, z dużym zachmurzeniem i opadem. Takich dni jest w roku mniej niż 30. Ogólnie, liczba dni umiarkowanie ciepłych (temperatura średnia dobową 5,1 – 15,0 °C; temperatura dobową minimalną i maksymalną powyżej 0 °C) w roku należy w tym regionie do najmniejszych (około 121 dni). Mała liczba dni cechuje też pogodę umiarkowanie ciepłą z dużym zachmurzeniem (powyżej 80%) – około 40 dni⁶.

2.3. Charakterystyka meteorologiczna

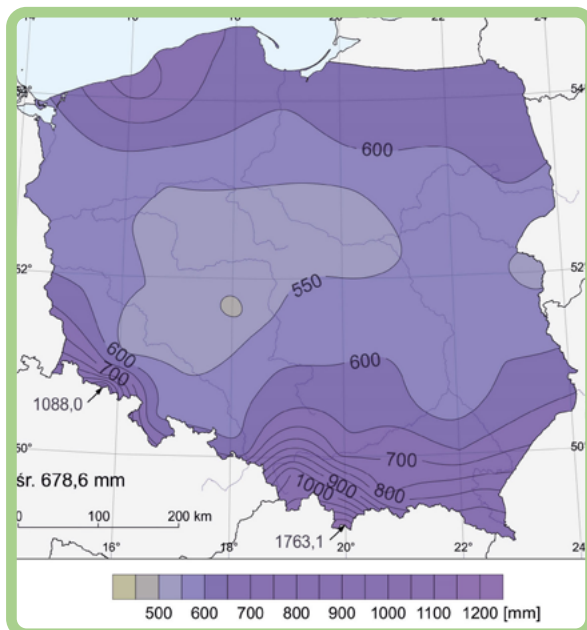
W zakresie kluczowych danych meteorologicznych, średnia roczna temperatura powietrza z wielolecia 1991 – 2020 w okolicach Puław wynosi ok. 8 °C ([Rysunek 4](#)), natomiast średnia roczna suma opadów sięga ok. 600 mm ([Rysunek 5](#))⁷.

Rysunek 4 Średnia roczna temperatura powietrza w Polsce w wieloleciu 1991-2020



źródło: Tomczyk A.M., Bednorz E., 2022, Atlas klimatu Polski (1991-2020), Bogucki WN, Poznań, <https://repozytorium.amu.edu.pl/handle/10593/26990>

Rysunek 5 Średnia roczna suma opadów w Polsce w wieloleciu 1991 - 2020

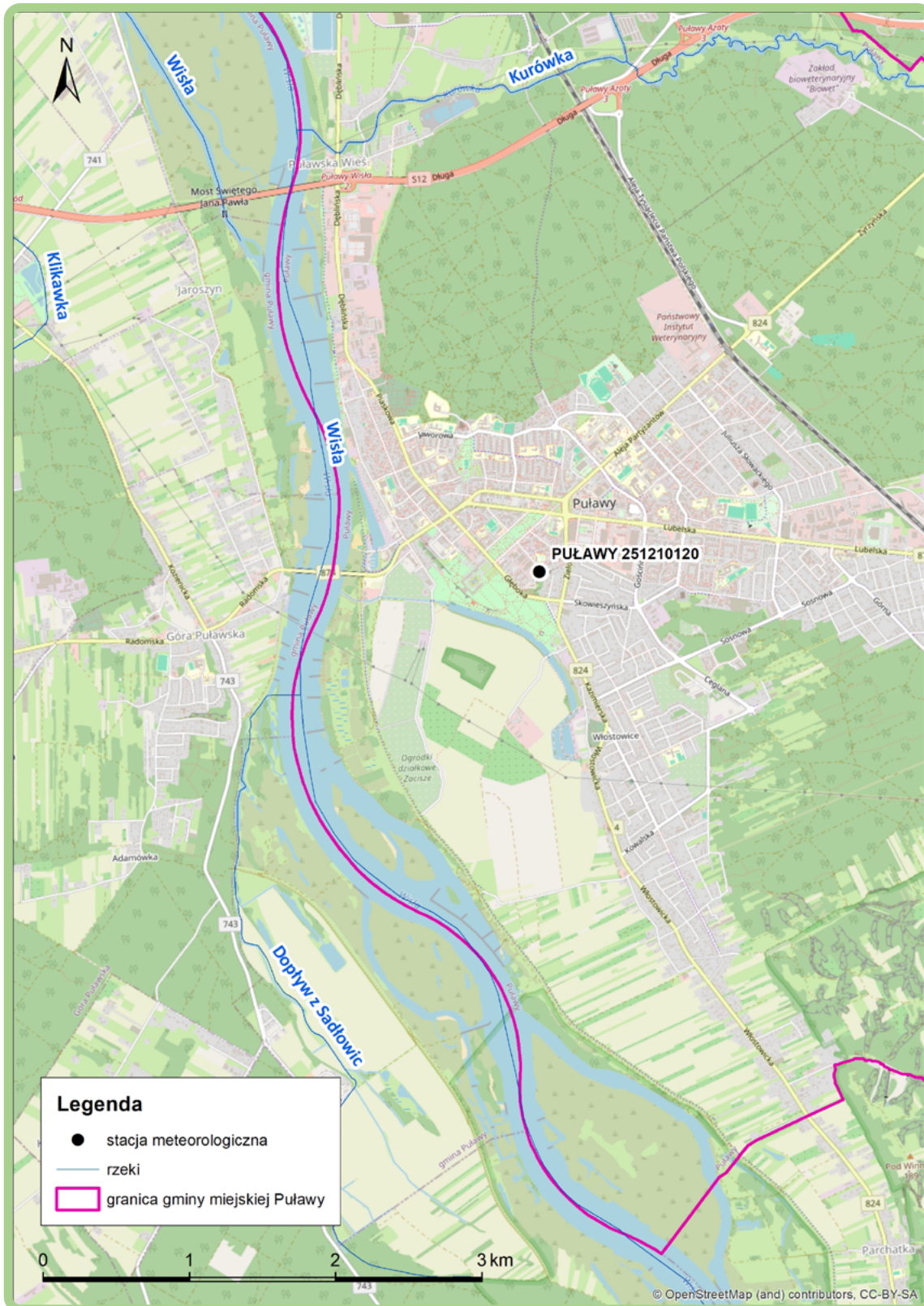


źródło: Tomczyk A. M., Bednorz E., Atlas klimatu Polski (1991-2020), Bogucki WN, Poznań, 2022, <https://repozytorium.amu.edu.pl/handle/10593/26990>

⁷ Tomczyk A. M., Bednorz E., 2022, Atlas klimatu Polski (1991 – 2020), Bogucki WN, Poznań, <https://repozytorium.amu.edu.pl/handle/10593/26990>

W Puławach znajduje się stacja klimatyczna Puławy ([Rysunek 6](#)). Jak wskazuje raport zawartości bazy danych ze stacji klimatycznych IMGW⁸ dla stacji klimatycznej w Puławach pełny zakres pomiaru prowadzony jest od roku 1951.

Rysunek 6 Lokalizacja stacji opadowej w Puławach

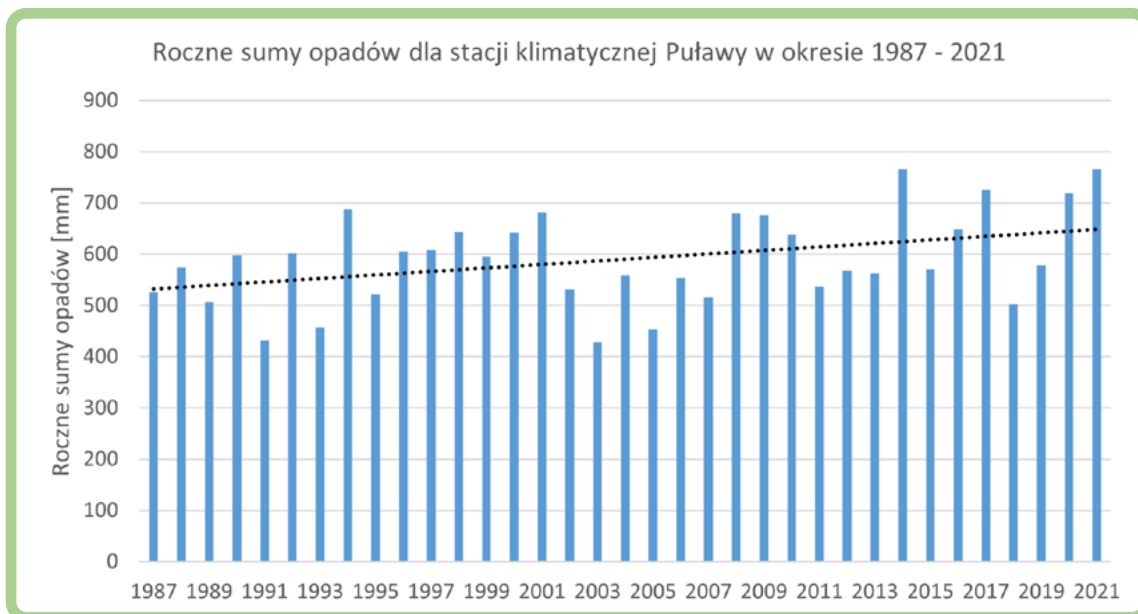


źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB

Opady atmosferyczne w Puławach nie wykazują wyraźnych tendencji do zmian – występuje podział na okresy bardziej lub mniej wilgotne. Zmianie ulega jednak struktura opadów w okresie letnim – częściej występują opady krótkotrwałe i gwałtowne, co nierzadko prowadzi do wywoływania zjawiska powodzi⁹.

W okresie 1987 – 2021 analiza rocznych sum opadów atmosferycznych dla stacji klimatycznej Puławy wykazała statystycznie istotny ($p < 0,05$) trend wzrostowy, o ponad 22% w skali całego okresu. Warto podkreślić, że roczne sumy opadów wahały się od 428,4 mm w 2003 roku do 766,8 mm w 2021 roku, a średnia roczna suma opadów dla tego okresu wyniosła 590,2 mm.

Rysunek 7 Roczne sumy opadów atmosferycznych dla stacji klimatycznej Puławy w okresie 1987 – 2021



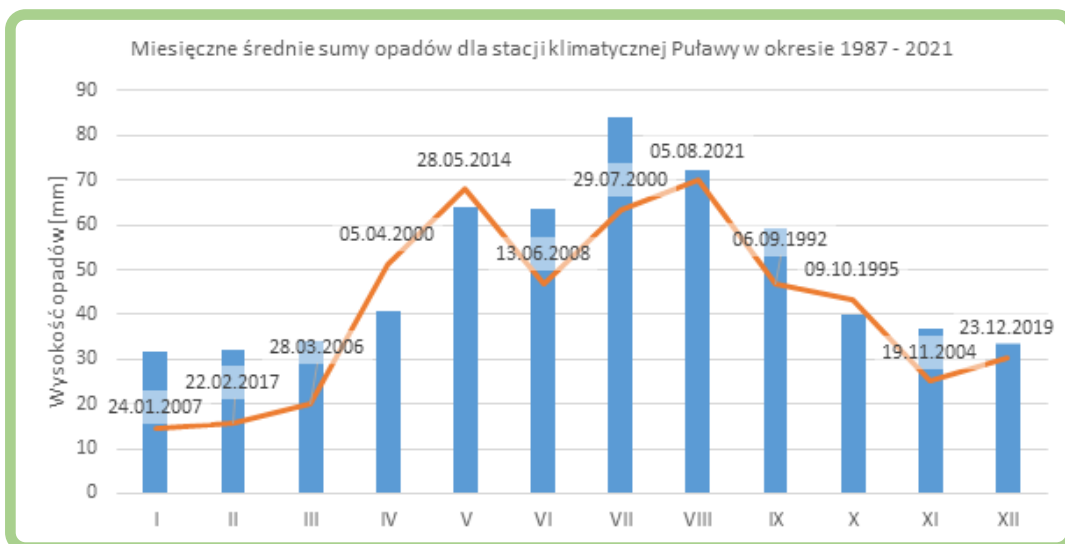
źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB

W oparciu o miesięczne sumy oraz średnie opadów atmosferycznych w mm dla stacji klimatycznej Puławy, możemy zaobserwować, że najmniej opadów występuje w styczniu – średnio 31,67 mm, a najwięcej w lipcu – średnio 83,98 mm. Miesiącem o największej liczbie dni bez opadów jest sierpień (średnio 19,5 dnia), najmniej dni suchych występuje w lutym (13,9 dnia). Najwięcej dni z opadem powyżej 10 mm obserwuje się w miesiącach od maja do sierpnia. Miesiącami o najwyższej sumie opadów są miesiące od maja do sierpnia i również w tych miesiącach zauważalne są najwyższe ekstrema opadowe.

Dobowa suma opadu przekraczająca 20 mm nie jest w Polsce zjawiskiem niezwykłym, jednak zdarza się dość rzadko. W Puławach najczęściej opad powyżej 20 mm występuje w miesiącach letnich a szczególnie w lipcu, chociaż również wiosną w kwietniu zdarzają się wysokie opady. Lata charakteryzujące się dużą częstotliwością takich opadów to 2013, 2019 i 2020 (Rysunek 9).

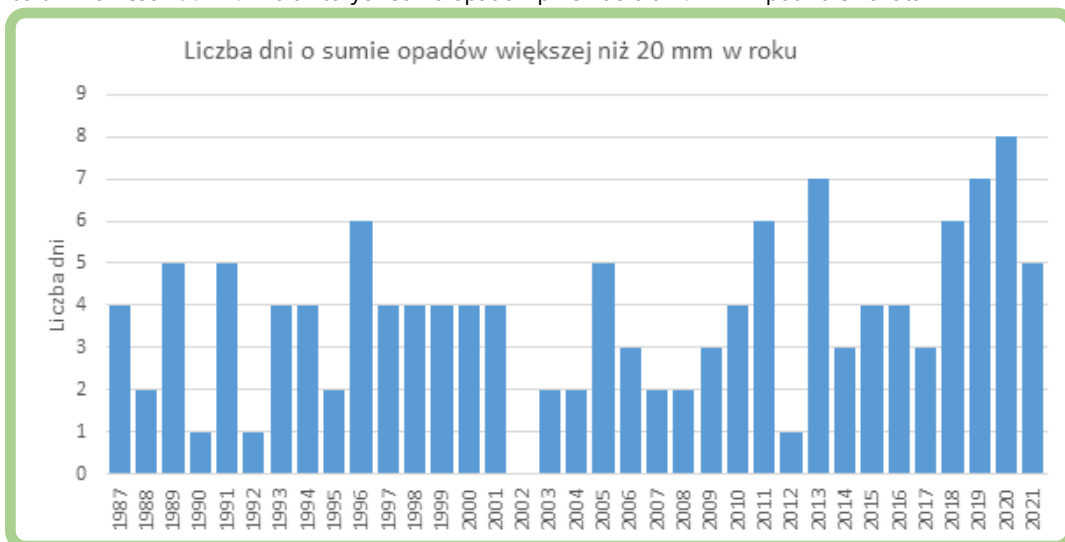
9 Program Ochrony Środowiska dla gminy Miasto Puławy na lata 2021-2024 z perspektywą na lata 2025-2028, <https://www.pulawy.eu/resource/1137/797/PO%25C5%259A2021.docx>

Rysunek 8 Miesięczne sumy opadów i maksymalne sumy opadów wraz z datami w okresie 1987-2021



źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB

Rysunek 9 Liczba dni z okresu 1987-2021 dla których suma opadów przekraczała 20 mm w podziale na lata



źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB

W ramach prac analitycznych nad poszczególnymi wariantami, przygotowano dla Nowego Sącza informację o opadach w postaci wysokości deszczu miarodajnego oraz wysokości redukcji opadu dla poszczególnych prawdopodobieństw. Szczegóły przedstawiono w tabeli poniżej (Tabela 1).

Tabela 1 Wysokość deszczu miarodajnego oraz wysokość redukcji opadu

Nazwa miasta	Opad o prawdopodobieństwie	h_{mn} [mm]	h_{mp} [mm]	A_n [km ²]	A_p [km ²]	Redukcja opadu [%]	Wysokość opadu miarodajnego o czasie trwania 120 min [mm]
Puławy	1%	46,41	43,81	21,17	39,09	3,63	44,72
	10%	31,60	29,00	21,17	39,09	5,34	29,91

źródło: opracowanie własne

2.4. Warunki hydrograficzne

Największym ciekim w obrębie Puław jest Wisła. Na tym terenie ma ona charakter rzeki roztokowej, dzięki. W południowej części tworzy ona przełom, ku północy przechodząc w szerokie rozlewiska, zakola i starorzecza. Ze względu na brak dużych dopływów ma na tym obszarze charakter tranzytowy. Jej największym dopływem jest Kurówka wpadająca do Wisły w Puławach. Z lewej strony zasilają ją m. in. Klikawka i Czerniawka.

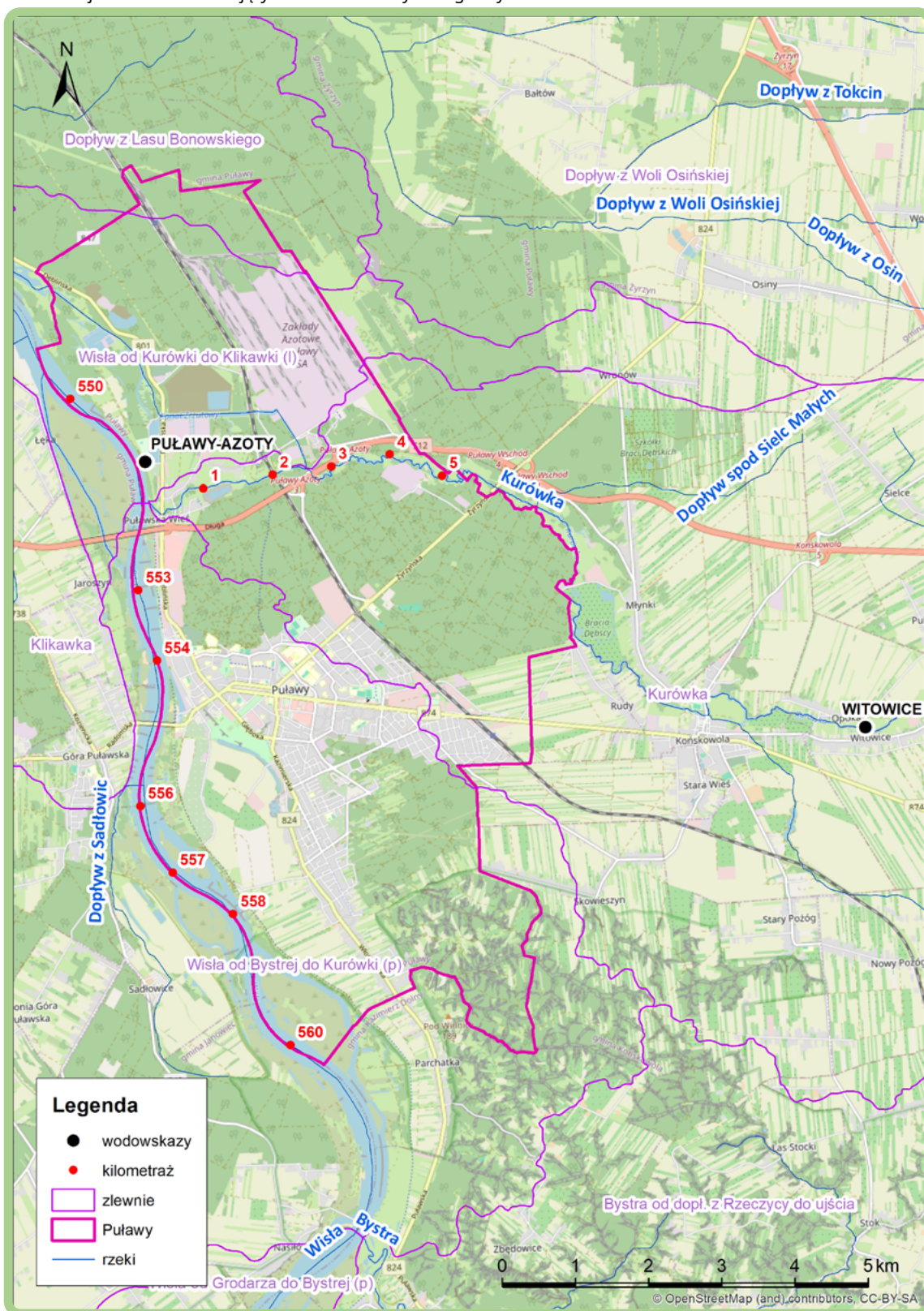
2.5. Warunki hydrologiczne

Na obszarze gminy miejskiej Puławy znajduje się jeden czynny wodowskaz, który nosi nazwę „Puławy-Azoty”. Znajduje się on w północnej części miasta na rzece Wiśle na prawym brzegu rzeki w 551 kilometrze i leży w zlewni Wisła od Kurówki do Klikawki. Przez obszar miasta przepływa również kontrolowana rzeka Kurówka, której stacja wodowskazowa Witowice znajduje się nieopodal granic miasta. Charakterystyki posterunków wodowskazowych przedstawia [Tabela 2](#).

Tabela 2 Charakterystyka stacji wodowskazowych ujętych w opracowaniu dla Puław

Rzeka	Nazwa stacji	Kod SH	Km położenia	Powierzchnia zlewni [km ²]	Rzędna zera wodowskazu [m n.Kr.]	Rok założenia
WISŁA	PUŁAWY-AZOTY	151210190	551,27	57668	113,2	2003
KURÓWKA	WITOWICE	151220040	14,44	345,5	131,27	1971

Rysunek 10 Lokalizacja wodowskazów ujętych w analizach hydrologicznych



źródło: opracowanie własne

Przepływy charakterystyczne dla stacji wodowskazowych zlokalizowanych na obszarze Puław:

- przepływ średni z niskich SNQ,
- przepływ średni ze średnich SSQ,
- przepływ średni z wysokich SWQ,
- przepływ najwyższy z wysokich WWQ,

obliczone zostały w układzie lat hydrologicznych na podstawie danych IMGW-PIB dla wielolecia 1987-2021. Dla stacji wodowskazowej Puławy-Azoty okres wielolecia był zbyt krótki, aby wyznaczyć przepływy charakterystyczne dla okresu co najmniej 30 lat. Do wyznaczenia przepływów charakterystycznych wykorzystano dane o ekstremach (minimum i maksimum) oraz średniej rocznej, udostępniane na stronie internetowej IMGW, dotyczącej danych publicznych: https://danepubliczne.imgw.pl/data/dane_pomiarowo_obszerwacyjne/dane_hydrologiczne/polroczne_i_roczne/. Dane zestawiono poniżej.

Tabela 3 Przepływy z wielolecia 1987-2021 dla wodowskazu Witowice

Rzeka	Stacja	Kod SH	SNQ [m ³ /s]	SSQ [m ³ /s]	SWQ [m ³ /s]	WWQ [m ³ /s]	Data wystąpienia WWQ
KURÓWKA	WITOWICE	151220040	0,34	1,2	9,4	30	12.03.2003 r.

źródło: opracowanie własne w oparciu o dane IMGW-PIB

Przepływy maksymalne dla Wisły na wodowskazu Puławy-Azoty przedstawiono poniżej. Nawet na tym krótszym okresie zbierania danych widać tendencję i powtarzalność ekstremalnych zjawisk co kilka lat (2006, 2010, 2014, 2019).

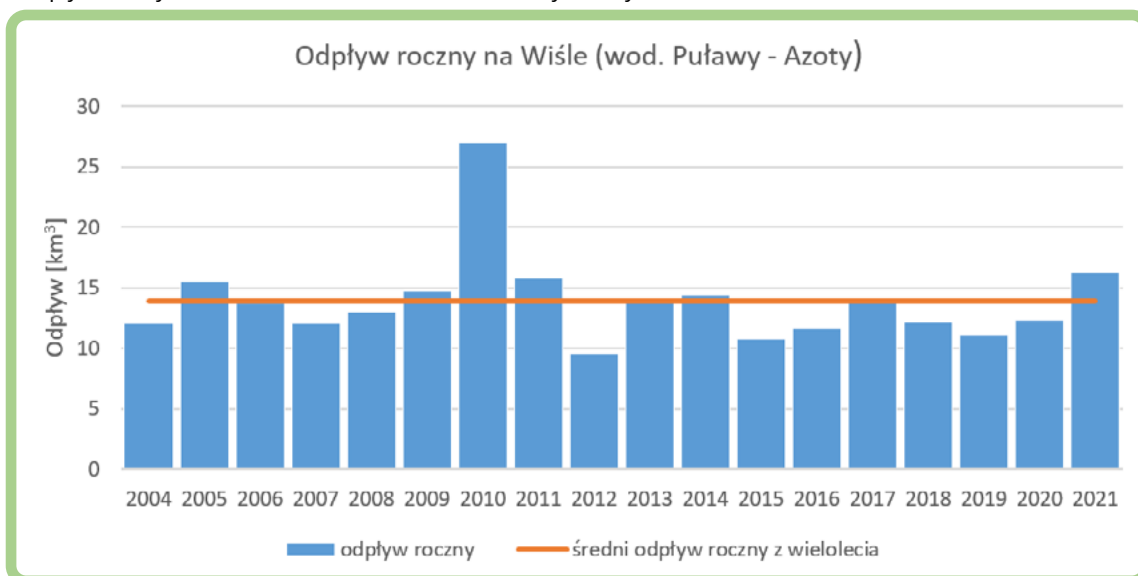
Rysunek 11 Przepływy maksymalne roczne dla wielolecia 2004-2021, stacja wodowskazowa Puławy-Azoty, rzeka Wisła



źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB

Odptyw rzeczny na obszarze Puław dotyczy przede wszystkim rzeki Wisły. Jak wskazuje [Rysunek 12](#), szczególnie duży odpływ rzeczny był w roku 2010. Rzeka Kurówka charakteryzuje się większą zmiennością odpływu rocznego, jednak podobnie jak w przypadku Wisły, szczególnie wysoki odpływ nastąpił w 2010 roku.

Rysunek 12 Odpływ roczny na rzece Wiśle dla wodowskazu Puławy - Azoty w latach 2004-2021



źródło: opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB

2.6. Ocena zagrożenia i ryzyka powodziowego

Miasto Puławy leży nad najdłuższą i najszerzą rzeką w Polsce – Wisłą, która może stanowić potencjalne zagrożenie powodziowe. W przypadku wystąpienia nieoczekiwanych warunków atmosferycznych takich jak długotrwałe intensywne opady deszczu czy wzmożone roztopy śniegu, istnieje ryzyko podniesienia poziomu wody w Wiśle, a w konsekwencji wystąpienia rzeki z brzegów i zalania terenów miejskich, w tym obszarów zabudowanych. Zagrożenie stanowi również ciek Kurówka, który jest prawobrzeżnym dopływem Wisły.

Ze względu na realne ryzyko powodziowe oraz dotkliwe doświadczenia powodzi, obszar miasta jest uwzględniony w dokumentach planistycznych dotyczących zarządzania ryzykiem powodziowym. Równocześnie szczególnym problemem miasta są powodzie wywołane przez opady deszczu o czym świadczą ilość interwencji państwowej straży pożarnej oraz informacji prasowych.

W obrębie miasta Puławy występują od dawna i z dużą częstotliwością powodzie. Niektóre dzielnice i przedmieścia w zachodniej części miasta były często podtapiane i zalewane, głównie przez wody rzeki Wisły. W przeszłości miasto doświadczyło kilku znaczących powodzi w tym w 1997 roku i 2010, które miały poważne konsekwencje dla mieszkańców i infrastruktury. Powodzie w Puławach były problemem już w ubiegłym wieku, a ich historia związania jest z gwałtownymi wzrostami poziomu wód rzeki Wisły. Przykładem jednej z największych powodzi w mieście było zdarzenie z lata 2001 roku, które spowodowało podtopienia i zniszczenia. Ich przyczyną były intensywne opady burzowe. W wyniku intensywnych opadów deszczu poziom wód osiągnął wysoki poziom powodując zalanie ulic, budynków i terenów mieszkalnych. Mieszkańcy byli zmuszeni do ewakuacji, a skutki powodzi były znaczne. Podobnie jak wiele innych miast położonych nad rzekami, Puławy muszą stale stawiać czoła ryzyku powodziowemu i podejmować odpowiednie środki zaradcze, aby minimalizować straty i ochronić swoją społeczność.

Na podstawie wstępnej oceny ryzyka powodziowego (WORP) z 2018 r. zidentyfikowano na terenie gminy miejskiej Puławy jedną historyczną powódź rzeczną, która została przedstawiona poniżej ([Tabela 4](#)).

Tabela 4 Podstawowe informacje o rzecznej powodzi historycznej w gminie miejskiej Puławy

Lp.	Nazwa rzeki	Data	Czas trwania (doby)
1	Wisła	19.05.2010 r.	23

źródło: opracowanie własne na podstawie WORP

Wiosną 2010 r. kilkudniowe ulewne opady deszczu, doprowadziły do wezbrania wielu rzek w kraju, szczególnie w dorzeczu Wisły. W maju 2010 r. stacja meteo IUNG w Puławach zaobserwowała, że suma opadów prawie dwukrotnie przekroczyła średnie wartości wieloletnie dla tego miesiąca, osiągając opad 103 mm na m². Kulminacyjna fala na Wiśle wystąpiła 21 maja po południu, wówczas stan alarmowy został przekroczony aż o 196 cm, a w maksymalnej fazie rzeka osiągnęła 746 cm. Zasięg zalania obejmował środkowo-zachodnią część gminy miejskiej Puławy, całkowicie zalany został bulwar nadwiślański, a woda podchodziła do budynków mieszkalnych przy ul. 6 Sierpnia. Dwa tygodnie później nadeszła kolejna fala, gdzie wodowskaz w Puławach osiągnął wartość 748 cm, czyli o 2 cm więcej niż podczas pierwszej fali. Z informacji prasowych wynika, iż w Puławach 25 maja utonęła w Wiśle 13-letnia dziewczynka – 16-ta ofiara ówczesnej powodzi w kraju. Powódź trwała aż 23 dni.

Obszar Puław został ujęty na obowiązujących mapach zagrożenia powodziowego z głębokością wody i mapach ryzyka powodziowego z potencjalnymi negatywnymi skutkami dla życia i zdrowia ludzi, a także wartości potencjalnych strat powodziowych dla następujących prawdopodobieństw 1% - raz na 100 lat, 0,2% raz na 500 lat oraz 10% - raz na 10 lat zostały przeanalizowane poniżej. Obszar szczególnego zagrożenia powodzią (raz na 100 lat – 1%) oraz głębokości wody w metrach dla gminy miejskiej Puławy przedstawia [Rysunek 13](#). Prawdopodobieństwo wystąpienia powodzi raz na 100 lat (1%) oraz raz na 500 lat (0,02) obejmuje obszary około rzeczne wzdłuż zachodniej granicy gminy oraz środkowo-wschodniej części gminy i odpowiadają za nie przede wszystkim rzeki Wisła oraz Kurówka. Natomiast prawdopodobieństwo wystąpienia powodzi w przypadku całkowitego zniszczenia wału przeciwpowodziowego obejmuje obszar zachodniej części gminy miejskiej, najbardziej narażone jest osiedle Wólka Profecka oraz osiedle Włostowice. Dla średniego prawdopodobieństwa wystąpienia powodzi raz na 100 lat – 1% obliczono szacunkową liczbę mieszkańców zagrożonych powodzią, która wynosi 77 osób dla gminy miejskiej Puławy, w tym dla części miasta Wólka Profecka jest to 20 osób, a dla części miasta Puławska Wieś jest to 26 osób.

Rysunek 13 Obszar gminy miejskiej Puławy, mapa zagrożenia powodziowego z głębokością wody. Obszary, na których prawdopodobieństwo wystąpienia powodzi jest średnie i wynosi 1% (raz na 100 lat)

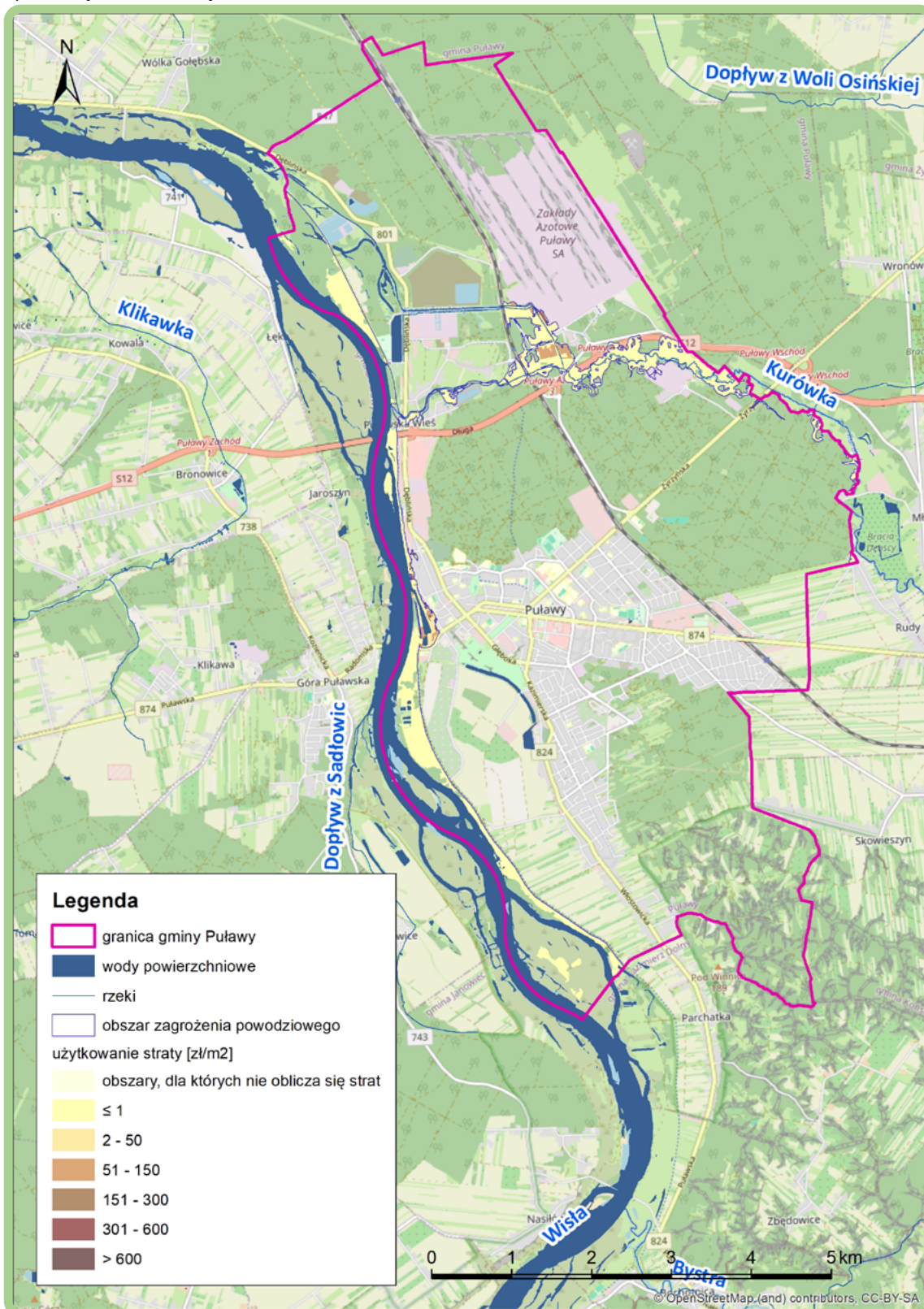


źródło: opracowanie własne na podstawie produktów aMZPiMRP

W mapach ryzyka powodziowego należy zwrócić szczególną uwagę na budynki mieszkalne oraz budynki o znaczeniu społecznym objęte obszarem szczególnego zagrożenia powodziowego, jak i wartości potencjalnych strat powodziowych. Budynki mieszkalne oraz budynki o znaczeniu społecznym zostały określone na podstawie obszaru zagrożenia powodziowego z głębokością wody mierzoną w metrach, natomiast wartości potencjalnych strat powodziowych zostały określone na podstawie klas użytkowania terenu, które można zobaczyć na mapach ryzyka powodziowego z potencjalnie negatywnymi skutkami dla środowiska, w zakresie dziedzictwa kulturowego i działalności gospodarczej.

Obszar szczególnego zagrożenia powodzią (raz na 100 lat – 1%) oraz wartości strat powodziowych dla gminy miejskiej Puławy przedstawia [Rysunek 14](#).

Rysunek 14 Obszar gminy miejskiej Puławy, mapa ryzyka powodziowego w zakresie potencjalnie negatywnych skutków dla życia i zdrowia ludzi oraz wartości potencjalnych strat powodziowych. Obszary, na których prawdopodobieństwo wystąpienia powodzi jest średnie i wynosi 1% (raz na 100 lat)



źródło: opracowanie własne na podstawie produktów aMZPiMRP

Podsumowując dane oraz informacje, które zostały przedstawione na mapach zagrożenia powodziowego (MZP) i mapach ryzyka powodziowego (MRP), w gminie miejskiej Puławy obszarem najbardziej zagrożonym powodzią jest część miasta Puławska Wieś. Osiedle to zlokalizowane jest nad rzeką Wisłą, która to jest największym zagrożeniem dla mieszkańców tego osiedla.

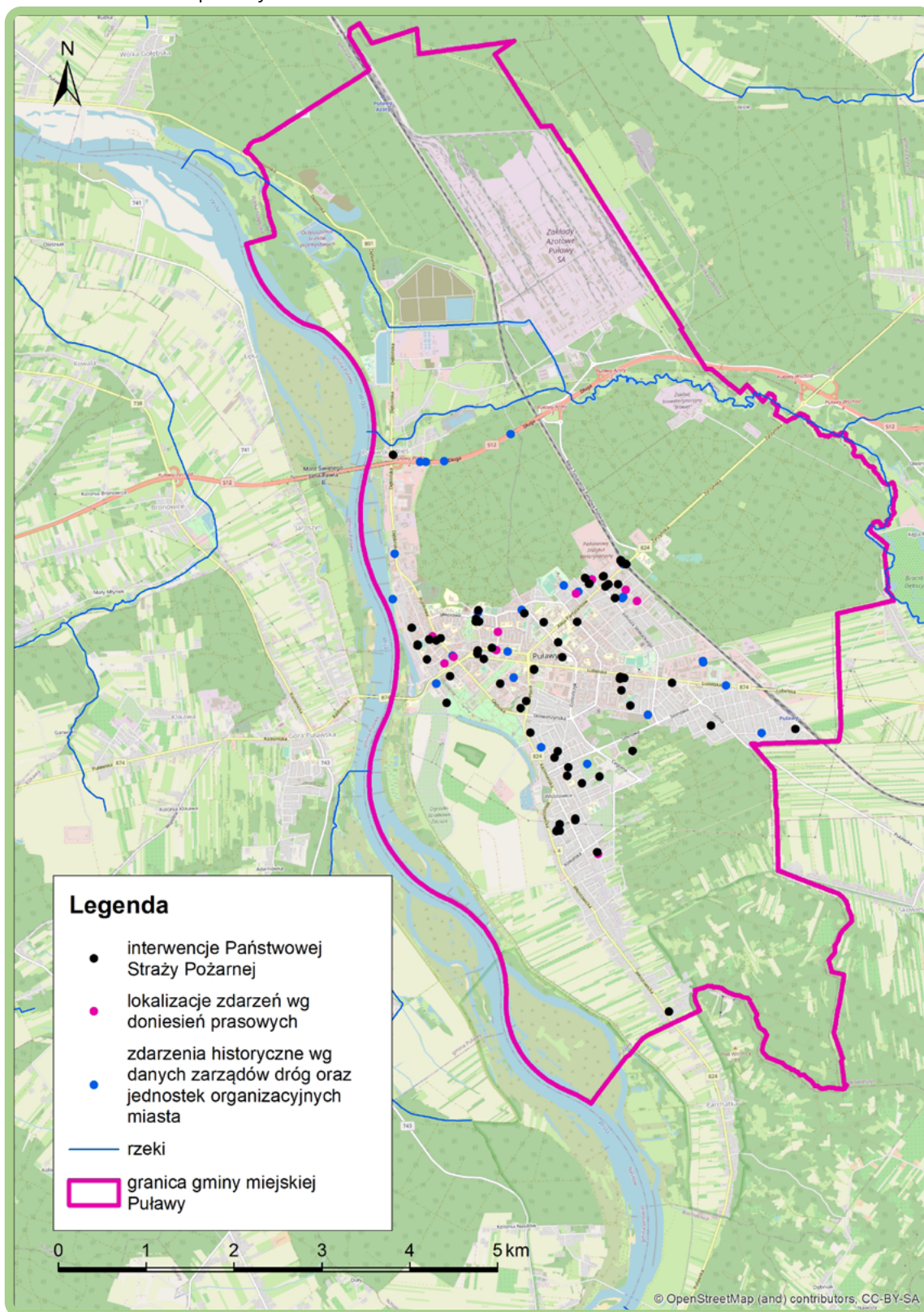
W celu identyfikacji obszarów zagrożonych wodami opadowymi na terenie miasta, dokonano analizy danych o interwencjach straży pożarnej związanych z intensywnymi opadami. Dane pozyskano z Komendy Powiatowej Państwowej Straży Pożarnej w Puławach. W okresie od 2015 do 2022 roku KP PSP w Puławach odnotowała 75 interwencji, dotyczących przede wszystkim wypompowania wody z zalanych piwnic i garaży należących do różnego rodzaju obiektów. Uzupełniająco uwzględniono dane otrzymane od zarządów dróg oraz jednostek organizacyjnych miasta oraz dokonano przeglądu doniesień prasowych na temat negatywnych zdarzeń wywołanych gwałtownymi opadami deszczu na terenie Puław.

Lokalizacje interwencji i zdarzeń związanych z gwałtownymi opadami deszczu przedstawia [Rysunek 15](#).

W okresie od 2015 do 2022 roku najczęściej interwencji PSP zarejestrowała w dniach:

- 20.07.2017 r. – 29 interwencji m.in. w rejonie ulic: Włostowickiej, Kazimierskiej, Głębokiej,
- 20.08 – 21.08.2019 r. – łącznie 10 interwencji m.in. w rejonie ulic: Partyzantów, Kościuszki,
- 21.06 – 22.06.2020 r. – łącznie 9 interwencji m.in. w rejonie ulic: Kołtąta, Piaskowej.

Rysunek 15 Zdarzenia związane z gwałtownymi opadami deszczu wg danych KP PSP Puławy, zarządów dróg i jednostek organizacyjnych miasta oraz doniesień prasowych



źródło: opracowanie własne na podstawie danych KP PSP w Puławach, zarządów dróg i jednostek organizacyjnych miasta oraz doniesień prasowych

Rysunek 16 Zalana ulica w Puławach po ulewach 20 lipca 2017 r.



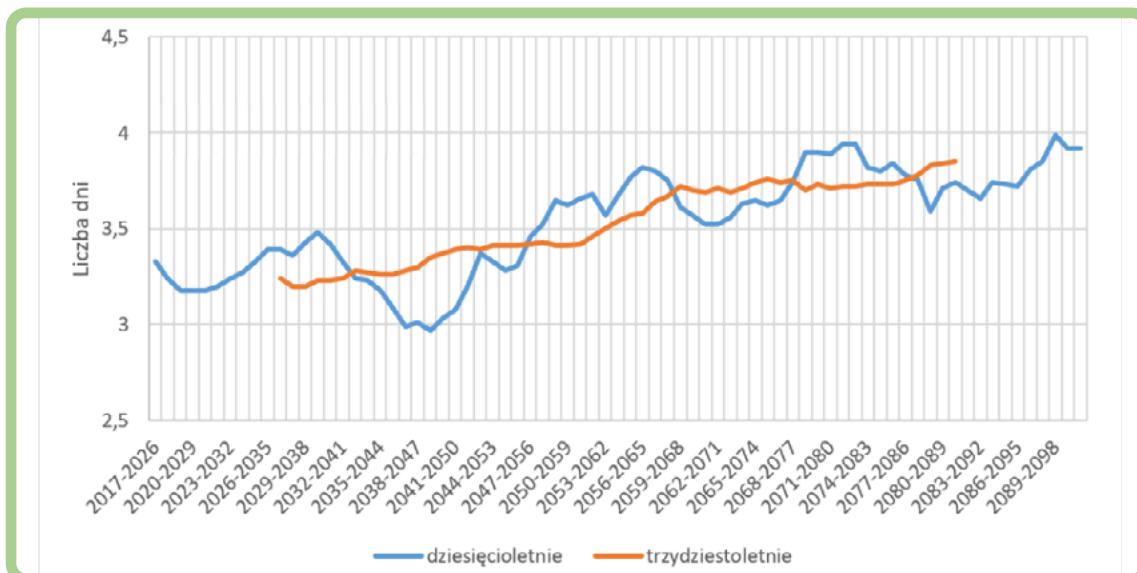
źródło: https://tvn24.pl/tvnmeteo/najnowsze/cdn-zdjeciaa854c1c7a8a25157ce1e361f6924baff-pulawy-lubelskie-1232721/alternates/FREE_840

2.7. Przewidywane zmiany sum i rozkładu opadów i przepływów w oparciu o dostępne modele klimatyczne

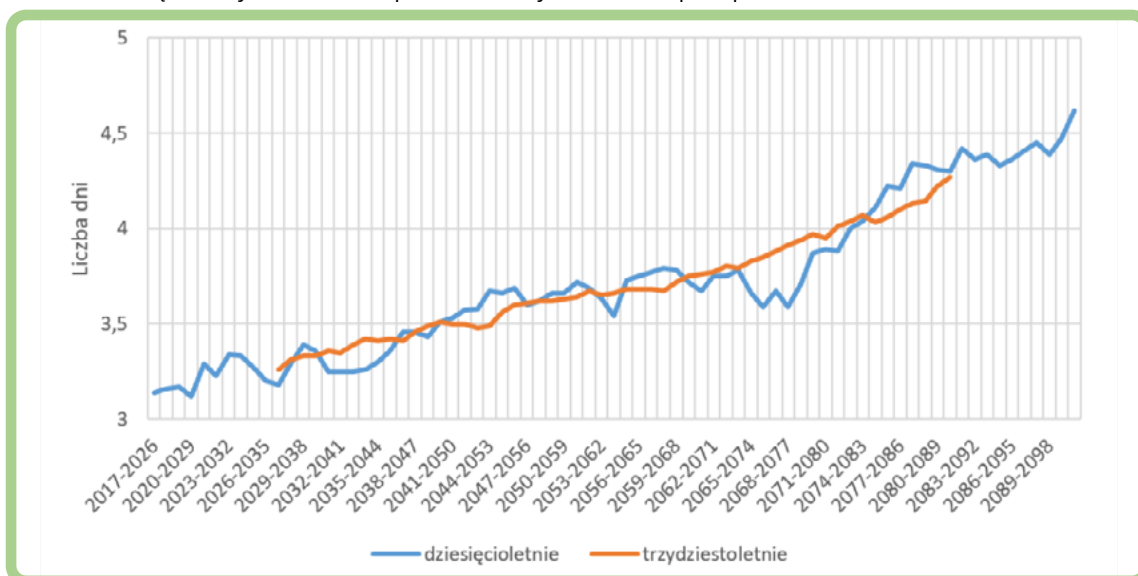
W ramach projektu Klimada 2.0 opracowane zostały scenariusze klimatyczne, mające na celu prognozę zmian temperatury i opadu dla Polski w perspektywie do 2100 r. oraz stworzony został portal interaktywny dedykowany prezentacji opracowanych scenariuszy.

Projekcje klimatyczne opracowane zostały w podziale na dekady od 2021 do 2050. Wyznaczono parametry związane z temperaturą, promieniowaniem, opadem i wiatrem, jako średnie lub sumy roczne, sezonowe oraz miesięczne. Prognozowane sumy opadów w okresie 2011-2050 dla obu scenariuszy są niewielkie. Scenariusz RCP4.5 wskazuje na spadek opadów w dekadzie 2041-2050, podczas gdy wg scenariusza RCP8.5 będzie to okres o wyższej sumie opadów.

W przypadku obu scenariuszy roczna suma opadów zwiększa się, przy czym dla RCP8.5 wzrost ten jest bardziej znaczący. Dotyczy to przede wszystkim wschodniej części Polski, zwiększenie opadów zaznacza się również w obszarach górskich i na wybrzeżu. Najmniejszy wzrost prognozowany jest dla lokalizacji w środkowo-zachodniej części kraju. Do roku 2060 prognozowany jest wzrost rocznej sumy opadów średnio od 30 mm (RCP4.5) do 50 mm (RCP8.5).

Rysunek 17 Średnia krocząca liczbą dni w roku z opadem dziennym ≥ 20 mm - pow. puławski dla scenariusza RCP4,5

źródło: opracowanie własne na podstawie [Klimat scenariusze – Klimada 2.0 \(ios.gov.pl\)](https://ios.gov.pl)

Rysunek 18 Średnia krocząca liczby dni w roku z opadem dziennym ≥ 20 mm - pow. puławski dla scenariusza RCP8.5

źródło: opracowanie własne na podstawie [Klimat scenariusze – Klimada 2.0 \(ios.gov.pl\)](#)

Dla opadów ekstremalnych > 20 mm/dobę dla obu scenariuszy wystąpi trend wzrostowy. W przypadku scenariusza RCP8.5 (Rysunek 18) wzrost jest wyższy o około 1 dzień w porównaniu do RCP4.5 (Rysunek 17).

W zakresie prognozowanych zmian w przepływach wykorzystano wyniki projektu CHASE-PL. W ramach projektu CHASE-PL do oceny stanu ilościowego zasobów wodnych w horyzontach czasowych 2021-2050 oraz 2071-2100 wykorzystano model hydrologiczny SWAT opracowany dla obszaru dorzeczy Wisły i Odry w 2633 zlewniach cząstkowych. Prezentowane w tabelach (Tabela 5 i Tabela 6) wyniki obejmują zmiany w okresie 2021-2050 w porównaniu do okresu 1971-2000 i zaprezentowane są osobno dla dwóch scenariuszy zmian klimatu RCP4,5 i RCP8,5. W celu oceny wpływu zmian klimatycznych na niskie i wysokie przepływy zostały zbadane dwa wskaźniki: wskaźnik niskiego przepływu (QL), obliczony jako wieloletnia średnia 10 percentyla z przepływów dobowych w ciągu roku oraz analogiczny wskaźnik wysokiego przepływu (QH), obliczony dla 90 percentyla¹⁰.

Tabela 5 Zmiana średniego przepływu na Wiśle i Kurówce w granicach Puław dla scenariusza RCP4.5

RCP 4.5	Zmiana przepływu niskiego Q10 [%]		Zmiana przepływu średniego [%]		Zmiana przepływu wysokiego Q90 [%]	
	Wisła	Kurówka	Wisła	Kurówka	Wisła	Kurówka
Rzeka	Wisła	Kurówka	Wisła	Kurówka	Wisła	Kurówka
Rok	-2,94	-5,18	9,07	19,42	20,46	47,59
Zima	15,09	-5,36	23,96	22,76	53,3	67,22
Wiosna	-8,66	-10,58	0,55	15,72	13,94	29,02
Lato	-9,82	7,46	3,94	23,27	31,16	72,09
Jesień	-10,09	-10,35	1,99	19,38	28,06	55,56

źródło: opracowanie własne na podstawie wyników projektu CHASE-PL <https://wpływklimatu.sggw.pl/map/impact/>

Tabela 6 Zmiana średniego przepływu na Wiśle i Kurówce w granicach Puław dla scenariusza RCP8,5

RCP8.5	Zmiana przepływu niskiego Q10 [%]		Zmiana przepływu średniego [%]		Zmiana przepływu wysokiego Q90 [%]	
	Wisła	Kurówka	Wisła	Kurówka	Wisła	Kurówka
Rzeka	Wisła	Kurówka	Wisła	Kurówka	Wisła	Kurówka
Rok	5,86	4,98	11,92	30,48	21,36	49,62
Zima	22,65	23,98	44,00	41,39	22,65	23,98
Wiosna	-7,83	-2,53	-0,77	11,84	-7,83	-2,53
Lato	1,27	1,31	12,02	34,27	1,27	1,31
Jesień	-1,33	-4,63	13,50	18,82	-1,33	-4,63

źródło: opracowanie własne na podstawie wyników projektu CHASE-PL <https://wpływklimatu.sggw.pl/map/impact/>

W świetle uzyskanych wyników dla Wisły i Kurówki w obszarze Puław, spodziewany jest wzrost wielkości średniego przepływu rocznego (zwłaszcza w miesiącach zimowych) jak i przepływów wysokich. Przewidywana zmiana wskaźnika wysokiego przepływu (QH) jest znaczna dla obu scenariuszy RCP przyjmując zakres powyżej 20% w skali roku na Wiśle i około 50% na Kurówce.

Przy analizie ww. przewidywanych zmian procentowych przepływu wysokiego na uwadze trzeba mieć niepewność projekcji zmian klimatu, w tym również w odniesieniu do ich potencjalnego wpływu na zasoby wodne. Przyjmuje się, że niepewność w ustaleniach co do przyszłych skutków zmian klimatu dotyczy w szczególności zjawisk ekstremalnych, m.in. powodź.

2.8. Charakterystyka zagospodarowania przestrzennego

Zagospodarowanie przestrzenne Puław, jak wielu innych miast w Polsce, opiera się na planach miejscowych, które określają sposób wykorzystania terenów w zgodzie z zasadami urbanistyki i rozwoju lokalnego.

Tabela 7 przedstawia rozkład użytkowania terenu w mieście, uwzględniając kod obiektu, procentowy udział w całości obszaru miasta oraz obszar w kilometrach kwadratowych. Niniejsza analiza została przeprowadzona na podstawie Bazy Danych Obiektów Topograficznych (BDOT10k). Dane te są publikowane przez CZGiK na Geoportalu Krajowym. Wykorzystane do analizy dane zostały udostępnione w roku 2021 (brak nowszych danych dla terenu miasta Puławy).

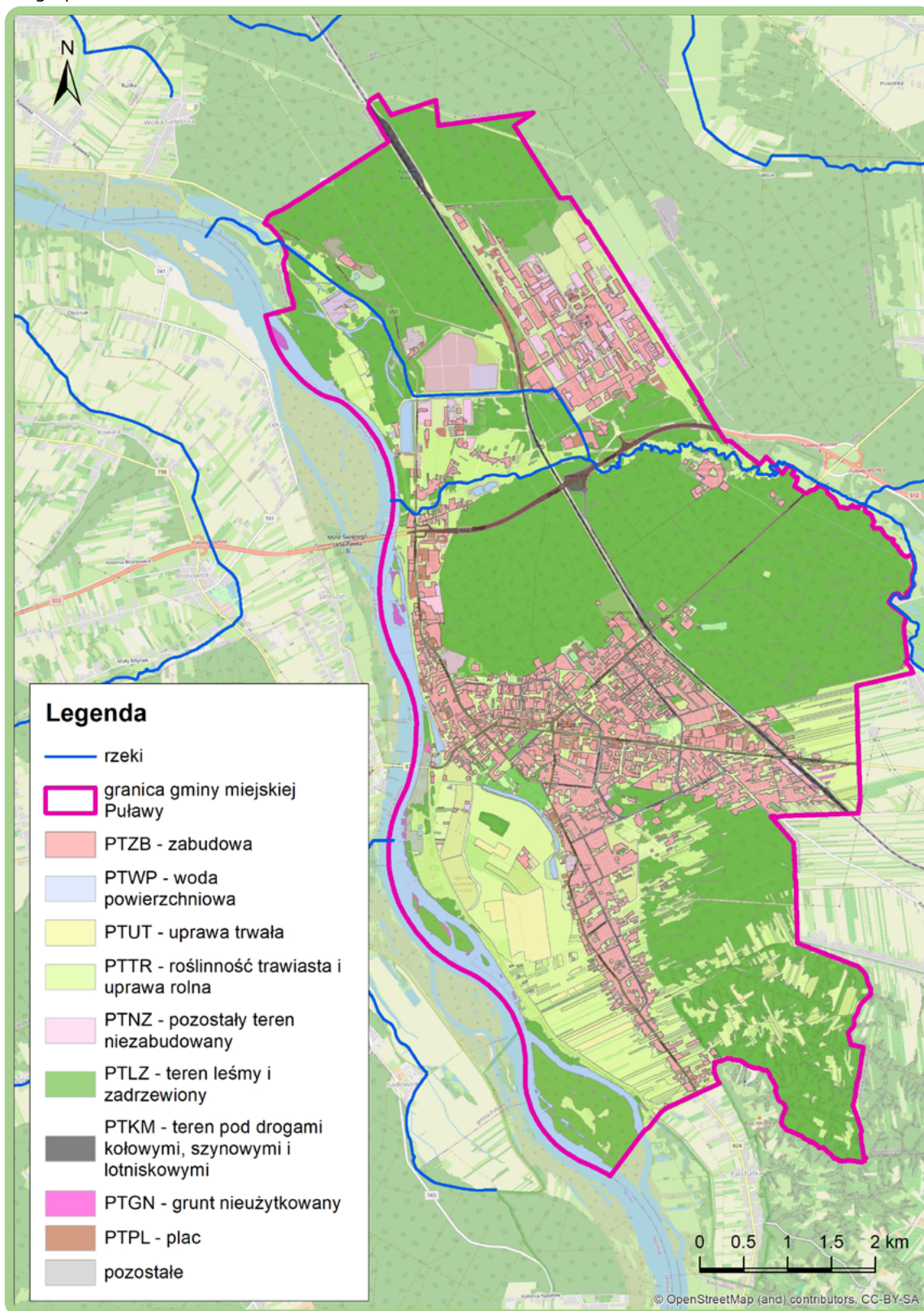
Tabela 7 Rozkład użytkowania terenu w mieście Puławy

Kod obiektu	Użytkowanie terenu	Procent w całości obszaru miasta [%]	Obszar [km ²]
PTZB	Zabudowa	12,99	6,55
PTWP	Woda powierzchniowa	4,66	2,35
PTUT	Uprawa trwała	3,54	1,78
PTTR	Roślinność trawiasta i uprawa rolna	24,17	12,19
PTRK	Roślinność krzewiasta	0,30	0,14
PTNZ	Pozostały teren niezabudowany	2,35	1,18
PTLZ	Teren leśny i zadrzewiony	47,67	24,06
PTKM	Teren pod drogami kołowymi, szynowymi i lotniskowymi	2,70	1,36
PTGN	Grunt nieużytkowany	0,21	0,10
PTPL	Plac	1,31	0,66
-	Pozostałe	0,11	0,05
	SUMA		50,47

źródło: opracowanie własne

Mapę obrazującą zagospodarowanie terenu na obszarze Puław przedstawiono na [Rysunku 19](#).

Rysunek 19 Zagospodarowanie terenu na obszarze Puław



źródło: opracowanie własne na podstawie BDOT10k

Nadrzędne kierunki rozwoju struktury przestrzennej Puław obejmują¹¹:

- zwiększanie zagęszczenia zabudowy w istniejących osiedlach jedno- oraz wielorodzinnych, przy jednoczesnym zachowaniu terenów zielonych i rekreacyjnych,
- kontynuowany rozwój terenów rekreacyjnych, zwłaszcza wzdłuż rzeki Wisły, takich jak rozbudowa Bulwaru nad Wisłą i budowa pumptracku przy ul. Rybackiej,
- przekształcenie terenów wokół Zespołu Rezydencyjnego Książąt Czartoryskich w atrakcyjną przestrzeń rekreacyjną,
- lokalizowanie elementów zielonej i niebieskiej infrastruktury w celu zwiększenia odporności miasta na zmiany klimatyczne, w tym tworzenie korytarzy zieleni,
- ochrona i utrzymanie lasu położonego w południowo-wschodniej części Puław,
- tworzenie nowej oferty usługowej i rekreacyjnej w rejonie ulicy Piłsudskiego, poprzez zamknięcie ruchu samochodowego i utworzenie deptaka,
- powstawanie stref aktywności gospodarczej, szczególnie w rejonie osiedla Wólka Profecka i wschodniej części ulicy Lubelskiej,
- wykorzystanie terenów na zachód od Puławskiego Parku Naukowo-Technologicznego jako obszaru inwestycyjnego typu „brownfield”,
- konieczność zmian w układzie komunikacyjnym miasta, takich jak budowa połączenia między ulicą Lubelską a Aleją Żyrzyńską i przebudowa ulic w różnych rejonach miasta,
- planowane zmiany w systemie komunikacji, w tym utworzenie dworca intermodalnego i punktu przesiadkowego,
- unowocześnienie infrastruktury komunalnej dla zapewnienia przyszłych potrzeb miasta i gmin ościennych,
- aktualizacja dokumentów planistycznych miasta w obszarach objętych Strategią, takich jak obszar zabudowy mieszkaniowej, strefa aktywności gospodarczej i las południowo-wschodni,

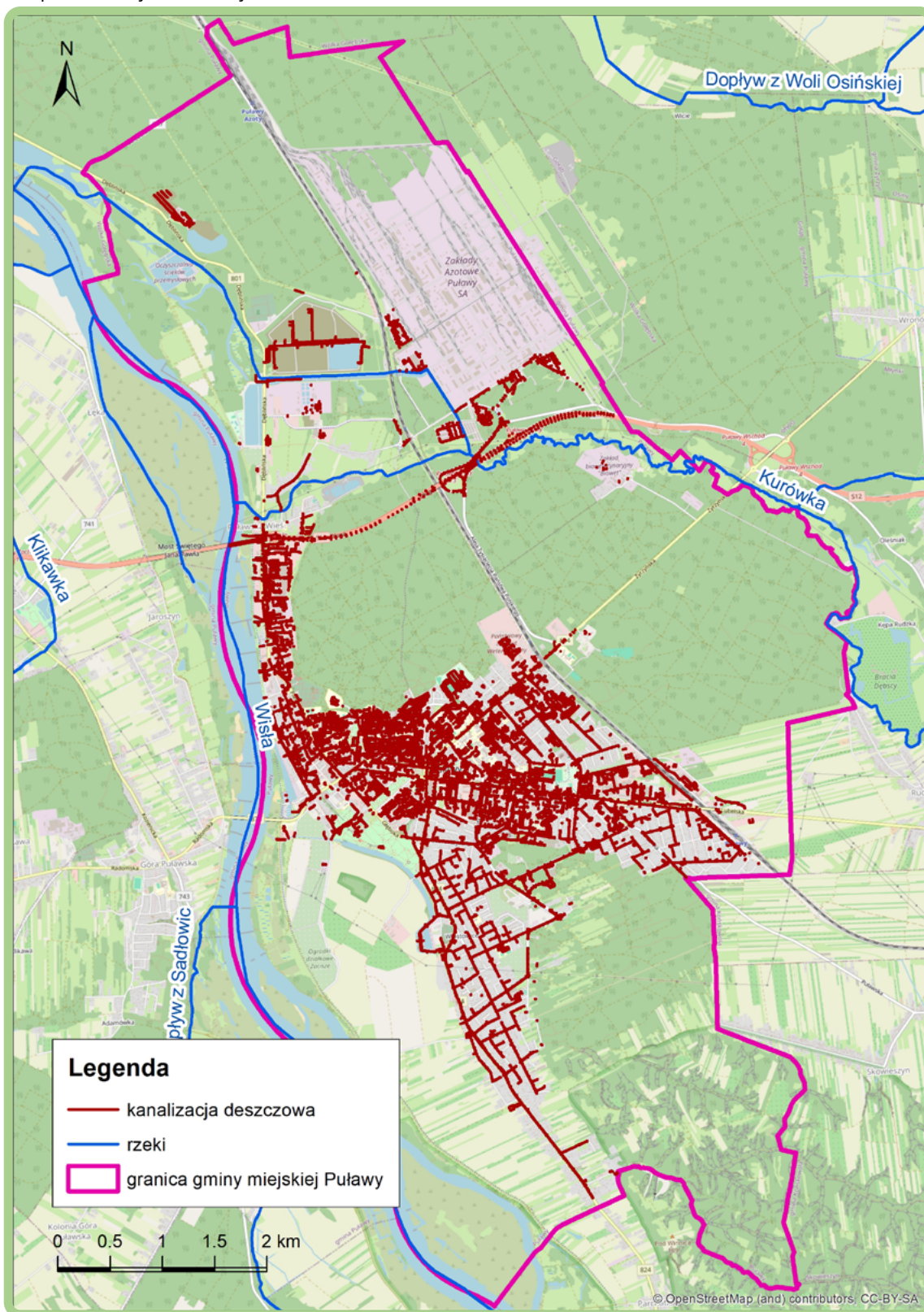
2.9. Charakterystyka sieci kanalizacji deszczowej

Właścicielem kanalizacji deszczowej w Puławach jest Zarząd Dróg Miejskich w Puławach. Długość istniejącej sieci kanalizacji deszczowej wynosi 79,7 km (zgodnie ze sprawozdaniem z wykonania KPOŚK za 2021 r.). Sieć kanalizacji deszczowej najsilniej rozwinięta jest w centrum miasta na terenach z zabudową wielorodzinną i usługową. Poza centrum miasta, w obszarze z dominującą zabudową jednorodzinną, kanalizacja deszczowa zbiera wody opadowe z głównych dróg oraz terenów im przyległym. Największy niedobór kanalizacji deszczowej występuje na obszarach niewielkich osiedli domów jednorodzinnych. Uzupełnieniem kanalizacji deszczowej są nieliczne rowy melioracyjne. Ostatecznym odbiornikiem zbieranych wód opadowych jest rzeka Wisła.

Poniżej przedstawiono mapę kanalizacji deszczowej w Puławach ([Rysunek 20](#)).

11 Strategia Rozwoju miasta Puławy do 2030 roku, [https://www.pulawy.eu/resource/3452/Strategia%20rozwoju%20Miasta%20Pu%C5%82awy%20\(druk\).pdf/attachment/25.05.2023](https://www.pulawy.eu/resource/3452/Strategia%20rozwoju%20Miasta%20Pu%C5%82awy%20(druk).pdf/attachment/25.05.2023)

Rysunek 20 Mapa kanalizacji deszczowej w Puławach



źródło: opracowanie własne na podstawie GESUT

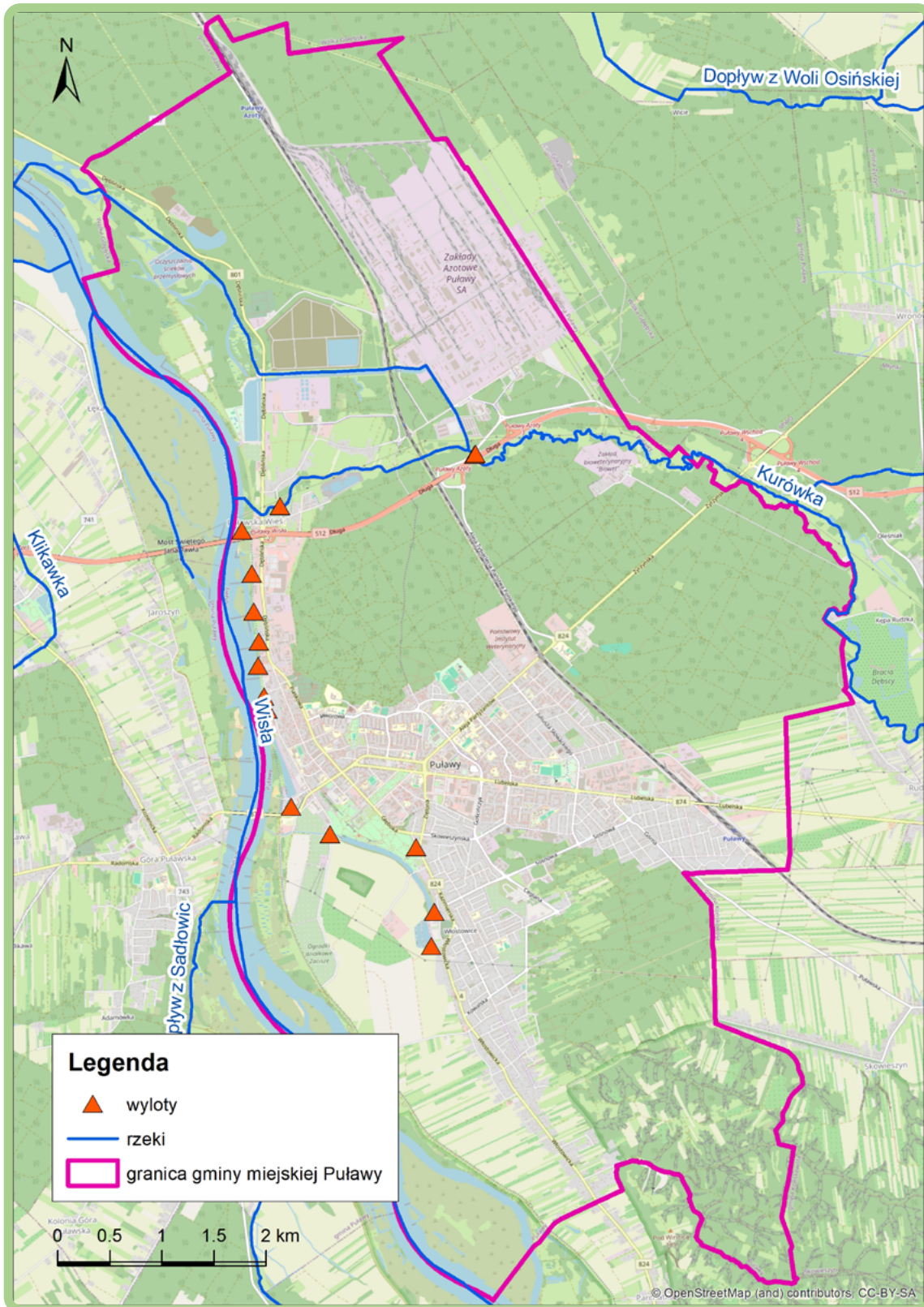
Niezwykle istotnym wyzwaniem dla władz lokalnych są obserwowane od lat zmiany klimatu, które stwarzają konkretne zagrożenia dla miasta i jego mieszkańców. W Puławach głównym problemem w tym zakresie są coraz częściej występujące opady ulewne i nawałne. Istniejąca w mieście infrastruktura kanalizacji deszczowej nie jest w stanie skutecznie odprowadzać wody po intensywnych opadach, co niejednokrotnie prowadzi do lokalnych podtopień. Na zalewanie swoich budynków narażone są m.in. szkoły podstawowe nr 10 oraz nr 6, woda gromadzi się także w pasach drogowych, utrudniając przejazd¹². Potwierdzają to zawarte wcześniej informacje odnośnie interwencji KP PSP oraz doniesienia prasowe. Na ich podstawie widać, że problem skutecznego odprowadzania wód opadowych dotyczy całego obszaru miasta. Analizując jednak ilość występujących interwencji na przestrzeni lat 2015-2022 widać, że problem niedostatecznej przepustowości kanalizacji deszczowej stopniowo jest rozwiązywany.

Większość wylotów z kanalizacji deszczowej zrzuca wody opadowe bezpośrednio do Wisły. Kilka wylotów odprowadza wody opadowe do starorzecza Wisły, skąd kanałem trafiają ostatecznie do Wisły. Również kilka wylotów odprowadza wody opadowe do rzeki Kurówka, która jest prawobrzeżnym dopływem Wisły.

Ostatecznym odbiornikiem wszystkich wód opadowych zbieranych systemem kanalizacji deszczowej w Puławach jest zatem rzeka Wisła.

Lokalizację wylotów kanalizacji deszczowej w Puławach względem cieków przedstawiono na poniższej mapie ([Rysunek 21](#)).

Rysunek 21 Mapa z lokalizacją wylotów kanalizacji deszczowej w Puławach



źródło: opracowanie własne na podstawie GESUT

Sieć kanalizacji deszczowej w Puławach poddawana jest stale rozbudowie o nowe odcinki. Modernizowane są również istniejące kanały o złym stanie technicznym. W Puławach gospodarka wodami opadowymi opiera się głównie o rozwiązania klasyczne tj. zebranie wód opadowych w zamknięty system kanalizacji deszczowej i odprowadzenie ich do cieku/rowu/kanału. W Puławach nie obserwuje się na dużą skalę wdrożeń nowoczesnego gospodarowania wodami opadowymi z zakresu błękitno-zielonej infrastruktury. Rozwiązania te zostały jednak przewidziane w Programie Ochrony Środowiska dla Gminy Miasto Puławy na lata 2021-2024 z perspektywą na lata 2025-2028¹³. W programie tym pojawia się zadanie dotyczące propagowania błękitno-zielonej infrastruktury w mieście dla spowolnienia odpływu lub zatrzymania wody opadowej (ogrody deszczowe, zaniżone trawniki i rabaty, zwiększenie powierzchni chłonnej zieleni itp.). W programie tym pojawiły się także zadania takie jak: budowa systemu gromadzenia i wykorzystania wody opadowej, oczyszczanie i udrażnianie rowów melioracyjnych, konserwacja systemu kanalizacji deszczowej czy budowa/przebudowa systemu kanalizacji deszczowej (w tym zbiorniki retencyjne, kanalizacja deszczowa, oczyszczalnie wód deszczowych).

Dodatkowo jako uzupełnienie innych działań w zakresie gospodarowania wód opadowych, w 2023 r. Miasto Puławy ogłosiło nabór wniosków o udzielenie dotacji celowej ze środków budżetu miasta na dofinansowanie zadań z zakresu gospodarki wodnej, realizowanych na terenie gminy Miasto Puławy polegających na wykonaniu systemów do zbierania i wykorzystywania wody opadowej i roztopowej w miejscu jej powstania¹⁴.

2.10. Prowadzone działania adaptacyjne do zmian klimatu

Na obszarze miasta na ten moment nie obowiązuje Miejski Plan Adaptacji do zmian klimatu ani żaden inny analogiczny dokument o charakterze strategicznym.

W obowiązującym w mieście Programie Ochrony Środowiska na lata 2021-2024 znajduje się cały przegląd dostępnych dokumentów planistycznych dotyczących adaptacji do zmian klimatu, część rekomendacji i zaleceń przeniesiona została na lokalne działania. Warto podkreślić, że w zakresie działań w obszarze Gospodarki wodno-ściekowej wskazano kierunek interwencji „zwiększenie retencji oraz infiltracji wód opadowych i roztopowych”, ze wskazaniem jako typy działań proponowanych do realizacji „stosowanie zapisów w dokumentach planistycznych służących zwiększeniu retencji oraz infiltracji wód opadowych i roztopowych w obrębie nieruchomości, na których powstały”, co wydaje się jak najbardziej słusznym kierunkiem. Kolejną interwencją dla Zasobów przyrodniczych skorelowaną z adaptacją do zmian klimatu jest tworzenie zielonej infrastruktury poprzez zieleń drogową, osłonową i izolacyjną. Działanie to choć pośrednio związane z przedmiotem analiz niniejszego projektu ma istotne znaczenie dla całego systemu błękitno-zielonej infrastruktury w mieście, a tym samym oddziałuje pozytywnie na mitygację skutków zmian klimatu¹⁵.

W opracowanej w 2022 r. Strategii Rozwoju Miasta Puławy do 2030 r. znajduje się następująca deklaracja: „Będziemy dążyć do zabezpieczenia miasta przed skutkami zmian klimatu. Opracujemy Miejski Plan Adaptacji do zmian klimatu oraz plan zagospodarowania wód deszczowych”¹⁶. Co zdecydowanie potwierdza zainteresowanie tematyką zmian klimatu w mieście i chęć podjęcia aktywnych działań.

Dodatkowo w mieście wprowadzono możliwość uzyskania dotacji celowej ze środków budżetowych na dofinansowanie zadań polegających na wykonaniu systemów do zbierania i wykorzystywania wody opadowej i roztopowej w miejscu jej powstania¹⁷.

13 Program Ochrony Środowiska dla gminy Miasto Puławy na lata 2021-2024 z perspektywą na lata 2025-2028, <https://www.pulawy.eu/resource/1137/797/PO%25C5%259A2021.docx>

14 Oficjalny Portal Urzędu Miasta Puławy, <https://www.pulawy.eu/pl/czyste-miasto/aktualnosci-srodowisko/nabor-wnioskow-o-udzielenie-dotacji-celowej-na-dofinansowanie-zadan-z-zakresu-gospodarki-wodnej.html>

15 Program Ochrony Środowiska dla gminy Miasto Puławy na lata 2021-2024 z perspektywą na lata 2025-2028, <https://www.pulawy.eu/resource/1137/797/PO%25C5%259A2021.docx>

16 Strategii Rozwoju Miasta Puławy do 2030 r., 2022.

17 Oficjalny Portal Urzędu Miasta Puławy, <https://www.pulawy.eu/pl/czyste-miasto/aktualnosci-srodowisko/nabor-wnioskow-o-udzielenie-dotacji-celowej-na-dofinansowanie-zadan-z-zakresu-gospodarki-wodnej.html>

3. Obszary zagrożone wodami opadowymi – wyniki analiz

3.1 Wariant 1

Obszary zagrożone wodami opadowymi wyznaczono dla dwóch prawdopodobieństw wystąpienia opadu: **p = 1% oraz p = 10%**. Dla p = 1% zidentyfikowano 52 obszary zagrożone wodami opadowymi natomiast dla p = 10% zidentyfikowano tych obszarów 44. Dla każdego z tych obszarów wyznaczono średnią głębokość wody, lokalizację i wartość maksymalnej głębokości wody, powierzchnię zalania, objętość wody, liczbę zagrożonych obiektów oraz długość zalanych ciągów komunikacyjnych.

Dla prawdopodobieństwa wystąpienia opadu 1% łączna powierzchnia wszystkich obszarów zagrożonych wodami opadowymi wynosi 425 642 m², a łączna objętość zgromadzonej w tych obszarach wody to 244 764 m³. Szczegółowe informacje zostały przedstawione w poniższej tabeli ([Tabela 8](#)).

Dla prawdopodobieństwa wystąpienia opadu 10% łączna powierzchnia wszystkich obszarów zagrożonych wodami opadowymi wynosi 331 343 m², a łączna objętość zgromadzonej w tych obszarach wody to 182 126 m³. Szczegółowe informacje zostały przedstawione w poniższej tabeli ([Tabela 8](#)).

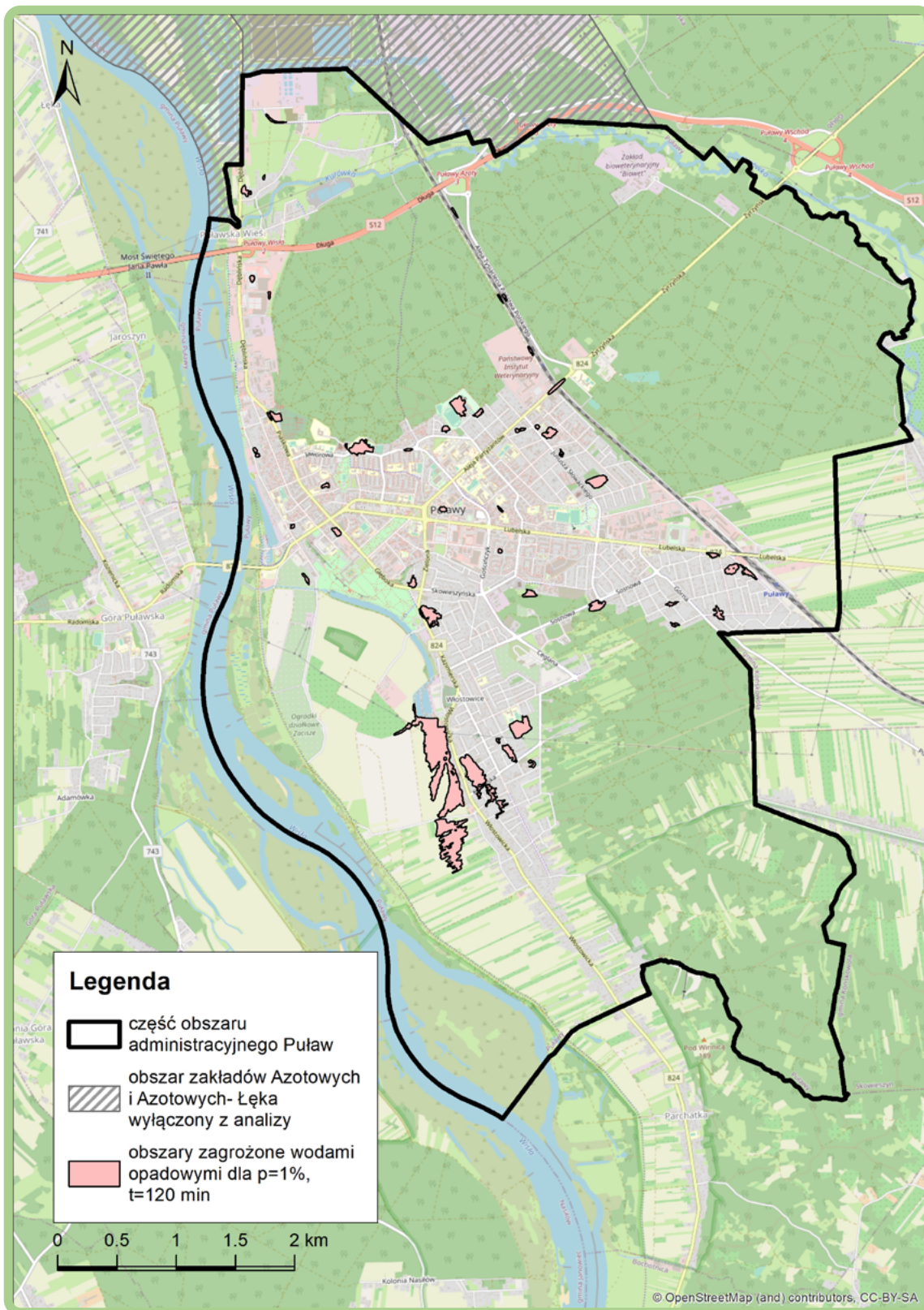
Tabela 8 Zestawienie podstawowych informacji dla wyznaczonych obszarów zagrożonych wodami opadowymi dla Puław

Informacja	Prawdopodobieństwo wystąpienia opadu 1%	Prawdopodobieństwo wystąpienia opadu 10%
Ilość wyznaczonych obszarów zagrożonych wodami opadowymi	52	44
Łączna powierzchnia [m ²]	425 642	331 343
Łączna objętość zgromadzonej wody [m ³]	244 764	182 126
Maksymalna głębokość wody [m]	2,49	1,84
Średnia głębokość wody [m]	0,53	0,51
Łączna liczba obiektów zagrożonych zalaniem	206	158
Łączna długość zalanych ciągów komunikacyjnych [m]	7 443	5 710

źródło: opracowanie własne

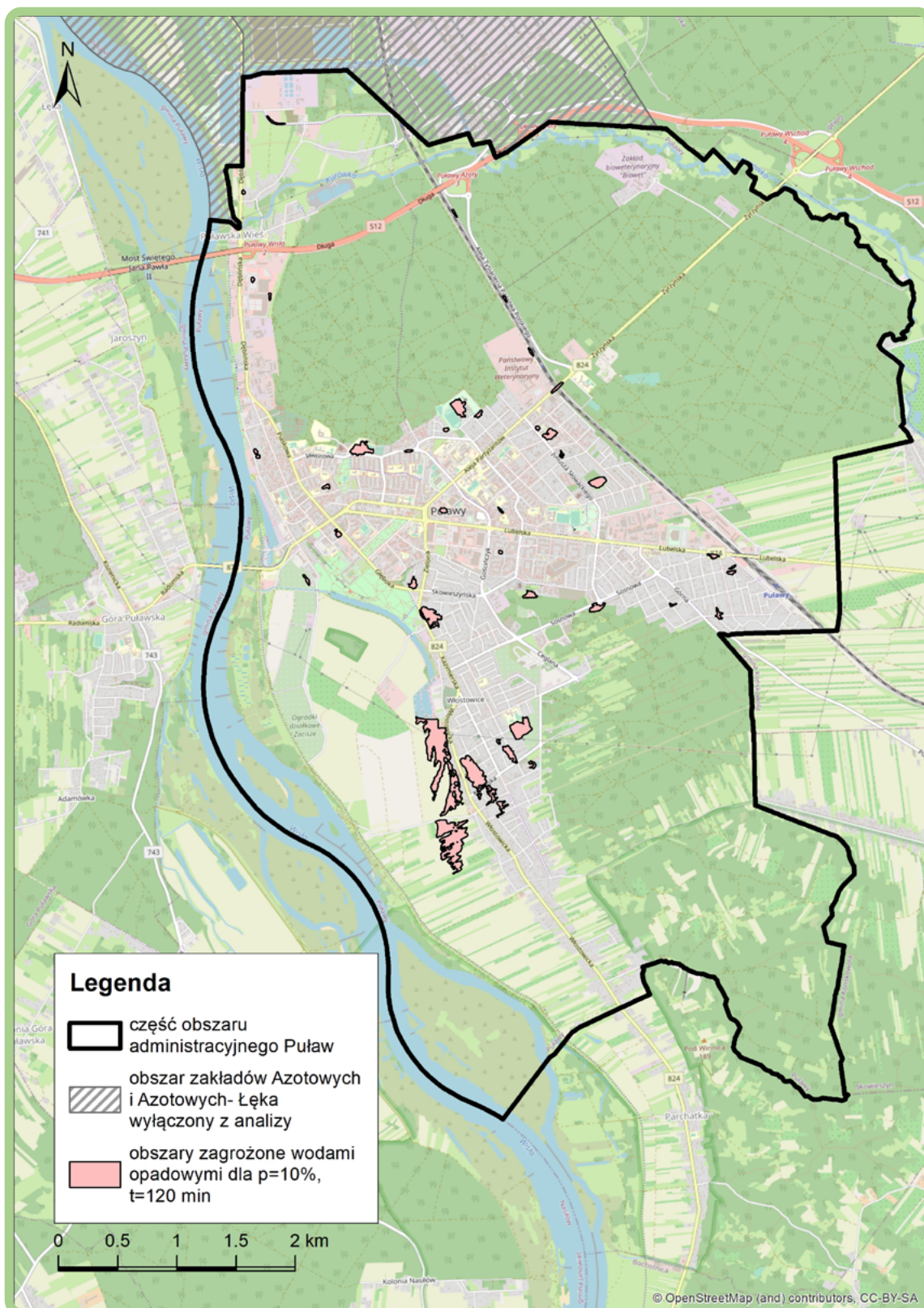
Na poniższych rysunkach przedstawiono wyniki identyfikacji obszarów zagrożonych wodami opadowymi dla p = 1% ([Rysunek 22](#)) oraz p = 10% ([Rysunek 23](#)).

Rysunek 22 Wyniki identyfikacji obszarów zagrożonych wodami opadowymi dla opadu o prawdopodobieństwie $p=1\%$ i czasie trwania 120 min dla Puław



źródło: opracowanie własne

Rysunek 23 Wyniki identyfikacji obszarów zagrożonych wodami opadowymi dla opadu o prawdopodobieństwie $p=10\%$ i czasie trwania 120 min dla Puław



źródło: opracowanie własne

Obszary potencjalnej retencji wyznaczono dla opadu o prawdopodobieństwie wystąpienia $p=10\%$ i czasie trwania $t=120$ min. Dla Wariantu 1 w Puławach zidentyfikowano 73 obszary potencjalnej retencji, wyniki identyfikacji tych obszarów przedstawiono w poniższej tabeli ([Tabela 9](#)).

Tabela 9 Zestawienie podstawowych informacji dla wyznaczonych obszarów potencjalnej retencji w Puławach dla Wariantu 1

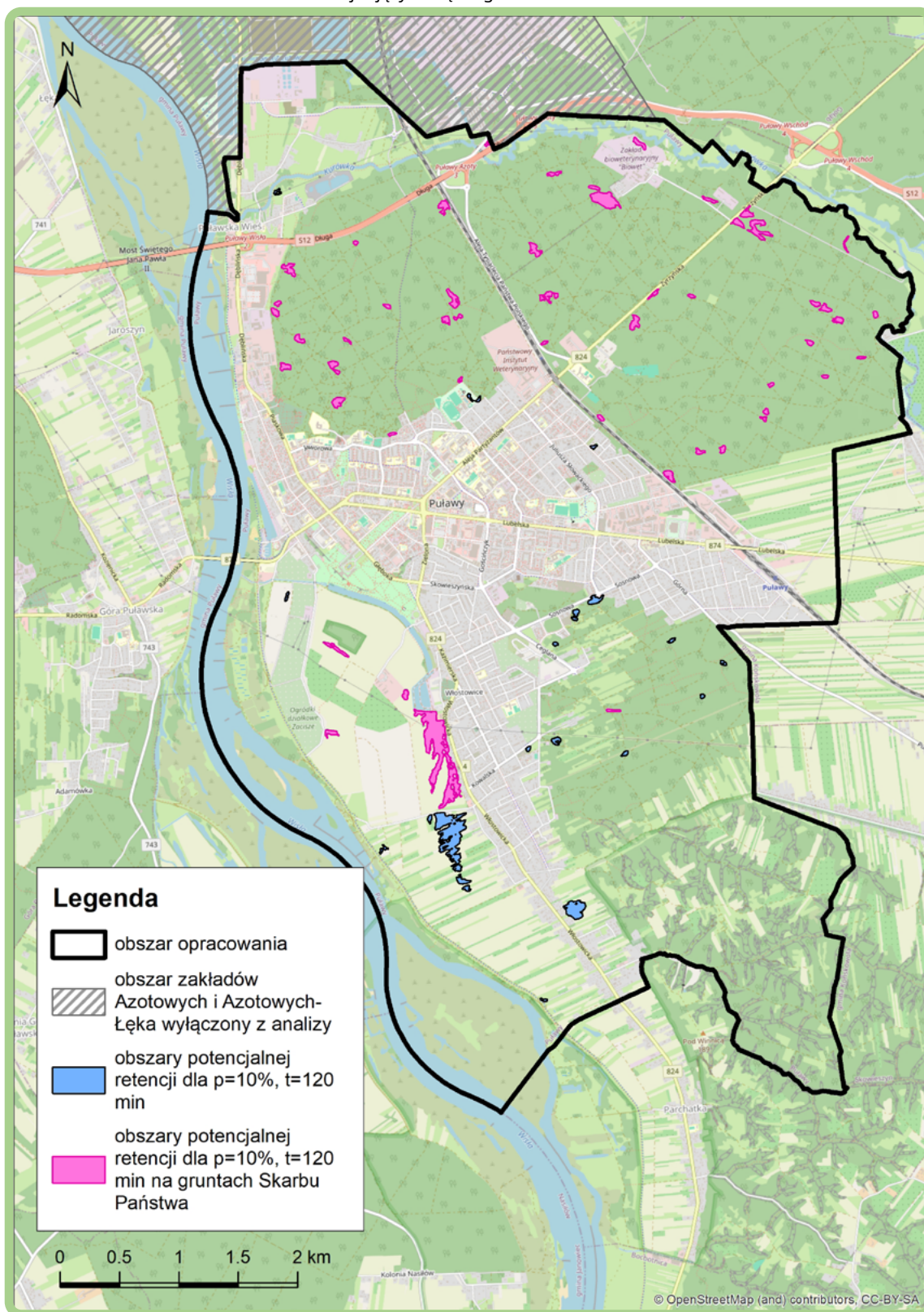
Informacja	Opad o prawdopodobieństwie wystąpienia 10% i czasie trwania 120 min
Ilość wyznaczonych obszarów potencjalnej retencji	73
Łączna powierzchnia [m ²]	393 113
Łączna objętość zgromadzonej wody [m ³]	201 672
Maksymalna głębokość wody [m]	2,01
Średnia głębokość wody [m]	0,49

źródło: opracowanie własne

Dla wyznaczonych obszarów potencjalnej retencji przeprowadzono wstępną analizę własności gruntu. Zidentyfikowano 51 obszarów położonych na gruntach, których właścicielem jest Skarb Państwa. Utworzenie w tych miejscach obszarów retencji będzie zdecydowanie łatwiejsze i mniej kosztowne niż w przypadku gruntów należących do właścicieli prywatnych.

Na poniższym rysunku przedstawiono wyniki identyfikacji obszarów potencjalnej retencji ([Rysunek 24](#)).

Rysunek 24 Wyniki identyfikacji obszarów potencjalnej retencji dla opadu o prawdopodobieństwie $p=10\%$ i czasie trwania 120 min dla Puław wraz ze wskazaniem obszarów znajdujących się na gruntach Skarbu Państwa



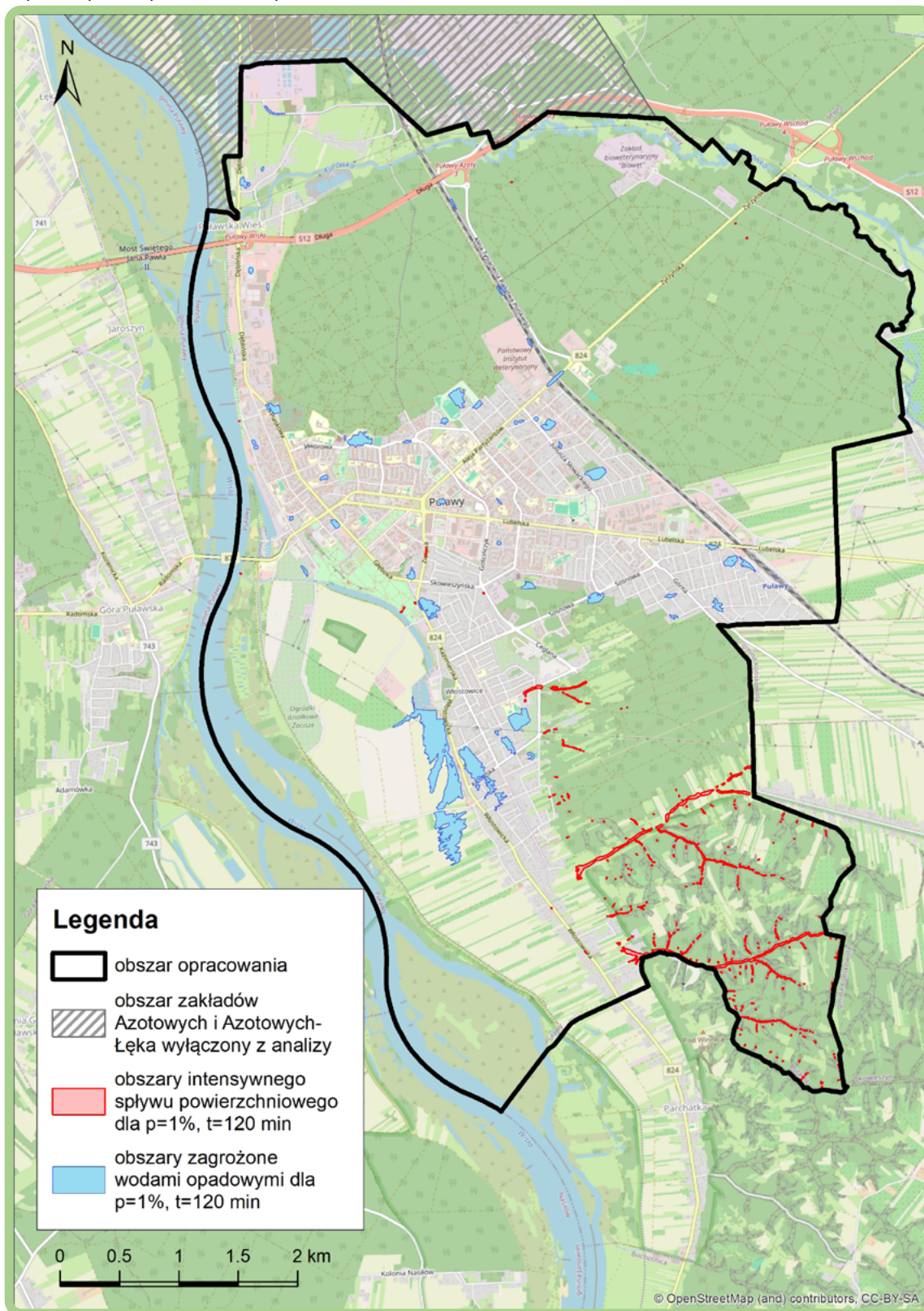
źródło: opracowanie własne

Analiza wykazała 316 **obszarów intensywnego spływu powierzchniowego** dla prawdopodobieństwa wystąpienia opadu 1% i 227 obszarów intensywnego spływu powierzchniowego dla prawdopodobieństwa wystąpienia opadu 10%. Są to głównie miejsca na terenach zielonych o dużych spadkach powierzchni terenu. Istnieje jednak kilkanaście obszarów intensywnego spływu powierzchniowego, które swoim obszarem obejmują drogi. Miejsca te wymagają uważnej analizy, szczególnie na etapie planowania odwodnienia, gdyż w przypadku niedostosowania jego parametrów do specyficznych warunków sieć odwodnieniowa może nie być efektywna.

Obszary intensywnego spływu powierzchniowego nie pokrywają się z obszarami zagrożonymi wodami opadowymi wyznaczonymi na podstawie zidentyfikowanych miejsc bezodpływowych. Obszary intensywnego spływu dostarczają zatem dodatkowej informacji o potencjalnych problemach związanych z wodami opadowymi.

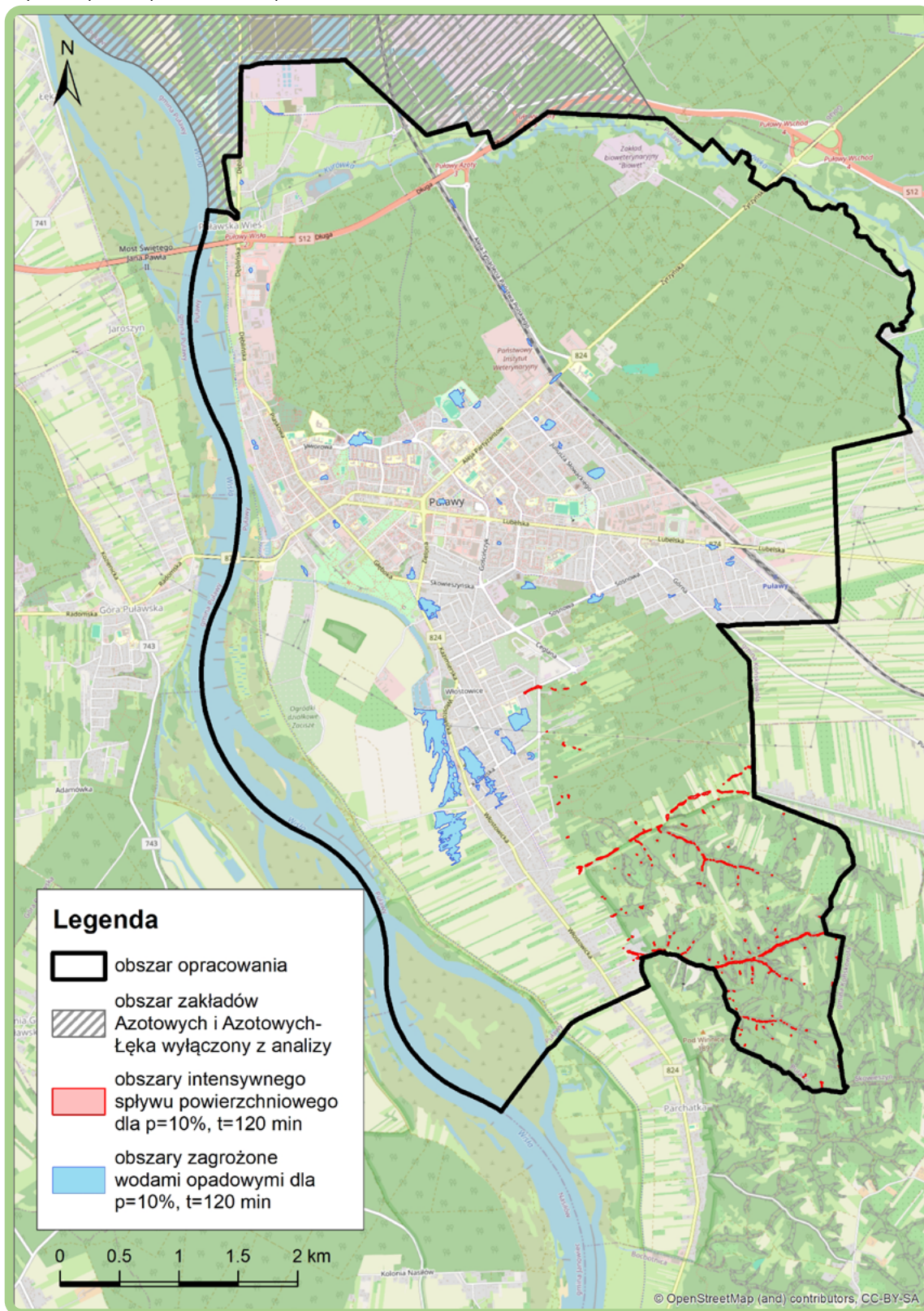
Na poniższych rysunkach przedstawiono wyniki identyfikacji obszarów intensywnego spływu powierzchniowego dla $p = 1\%$ ([Rysunek 25](#)) oraz $p = 10\%$ ([Rysunek 26](#)).

Rysunek 25 Wyniki identyfikacji obszarów intensywnego spływu powierzchniowego oraz obszarów zagrożonych wodami opadowymi dla opadu o prawdopodobieństwie $p=1\%$ i czasie trwania 120 min dla Puław



źródło: opracowanie własne

Rysunek 26 Wyniki identyfikacji obszarów intensywnego spływu powierzchniowego oraz obszarów zagrożonych wodami opadowymi dla opadu o prawdopodobieństwie $p=10\%$ i czasie trwania 120 min dla Puław



źródło: opracowanie własne

Zidentyfikowane obszary zagrożone wodami opadowymi poddano analizie z wykorzystaniem danych o zdarzeniach powodziowych od zarządców dróg i jednostek organizacyjnych miasta Puławy, danych o interwencjach Państwowej Straży Pożarnej oraz doniesień prasowych dotyczących zalanych obszarów. Z wyznaczonych obszarów zagrożonych wodami opadowymi 6 obszarów pokrywa się z miejscami, w których w przeszłości doszło do zalania zarówno dla prawdopodobieństwa wystąpienia opadu 1% jak i 10%, co stanowi odpowiednio prawie 12% i prawie 14% wszystkich zidentyfikowanych obszarów zagrożonych wodami opadowymi dla tych prawdopodobieństw. W przypadku wyznaczonych obszarów intensywnego spływu powierzchniowego żaden z nich nie pokrywa się z danymi historycznymi dotyczącymi zalanych obszarów. Jest to spowodowane tym, że praktycznie wszystkie obszary intensywnego spływu powierzchniowego znajdują się poza terenami zurbanizowanymi, w obszarach, gdzie spadki terenu są duże, natomiast interwencje związane z zalaniem prowadzone były głównie na terenach zabudowanych.

Biorąc pod uwagę fakt, iż wyznaczenie obszarów zagrożonych wodami opadowymi oparte było o uproszczoną analizę obszarów bezodpływowych bez uwzględnienia sieci kanalizacji deszczowej, obliczony stopień zgodności wyznaczonych obszarów zagrożonych wodami opadowymi ze zdarzeniami historycznymi nie należy traktować jako stopień dokładności modelu. Zapewne w przypadku części zidentyfikowanych obszarów w rzeczywistości wody opadowe odprowadzane są za pomocą kanalizacji deszczowej. Gdyby kanalizacja została uwzględniona w niniejszej analizie, otrzymalibyśmy mniejszą liczbę obszarów zagrożonych wodami opadowymi co wpłynęłoby na większą procentową zgodność otrzymanych wyników w stosunku do zdarzeń historycznych. Należy podkreślić, iż analiza ta ma charakter dość teoretyczny, zakładający wystąpienie danego opadu w danym miejscu. Natomiast zdarzenia historyczne nie musiały mieć takiej intensywności, jak zakładane scenariusze, mogły wystąpić bardzo lokalnie, problem szybko został rozwiązany (samoistnie woda spłynęła do sieci lub innego odbiornika, właściciele posesji sami uporządkowali zalanie), więc służby nie musiały interweniować, a w konsekwencji wytypowane obszary różnią się od zarejestrowanych zdarzeń. Dodatkowo sam fakt wystąpienia w przeszłości zalania na danym obszarze nie określa jednoznacznie, że zalanie to było wynikiem spływu powierzchniowego wód opadowych. W Polsce wiele miast boryka się z problemem niewystarczającej przepustowości istniejącej sieci kanalizacji deszczowej. Skutkiem takiego stanu rzeczy może być nie tylko powstawanie podtopień w miejscach, gdzie kanalizacja deszczowa nie jest w stanie odebrać wód opadowych, ale też powstawanie wylewów ze studni na obszarach, gdzie problem gromadzenia się wód opadowych spływających po powierzchni terenu nie występuje. Puławy także borykają się z podobnymi problemami.

Reasumując, niniejsza analiza, ze względu na zastosowane uproszczenia może wskazywać obszary, na których w rzeczywistości nie występuje zagrożenie wodami opadowymi, bo odprowadzane są one kanalizacją deszczową oraz nie będzie wskazywać obszarów, w których teren zalewany jest wodami wydostającymi się z przepełnionej kanalizacji deszczowej.

W przypadku obszarów intensywnego spływu brak jest korelacji ze zdarzeniami historycznymi. Nie oznacza to jednak, że wyniki modelowania są niepoprawne. Intensywny spływ powierzchniowy zazwyczaj spowodowany jest dużymi spadkami terenu. W takich obszarach woda zazwyczaj spływa zagłębieniami terenu w przypadku terenów niezagospodarowanych lub drogami w przypadku terenów zurbanizowanych nie gromadząc się. Dopiero w miejscach bezodpływowych następuje jej nagromadzenie i powodowanie podtopień. Często zatem nie ma bezpośredniej korelacji intensywnego spływu powierzchniowego z zagrożeniem wodami opadowymi i tym samym występowaniem zdarzeń historycznych związanych z podtopieniami. W przypadku Puław teren zabudowany położony jest na obszarze, gdzie spadki nie są znaczne. Największe spadki terenu występują w południowo-wschodniej części miasta na terenach zalesionych, w związku z czym wyznaczone obszary intensywnego spływu powierzchniowego nie korelują ze zdarzeniami historycznymi o podtopieniach. Korelacja ta będzie uwarunkowana ukształtowaniem terenu na analizowanym obszarze. Nie należy zatem traktować jej jako wyznacznik prawidłowości obliczeń bez szerszej analizy ukształtowania terenu.

3.2 Wariant 2

W Wariantcie 2 **obszary zagrożone wodami opadowymi** wyznaczono dla dwóch Podwariantów (podwariant 2.1 i 2.2) dla prawdopodobieństwa wystąpienia opadu 1%, 10%, 20%, 1%CC i 10%CC oraz dla czasu trwania opadu 15 min i 120 min. Dla każdego z wyznaczonych obszarów zagrożonych wodami opadowymi określono średnią głębokość wody, lokalizację i wartość maksymalnej głębokości wody, powierzchnię zalania, objętość wody, liczbę zagrożonych obiektów oraz długość zalanych ciągów komunikacyjnych. W poniższych tabelach przedstawiono wyniki identyfikacji obszarów zagrożonych wodami opadowymi w Puławach dla Podwariantu 2.1 ([Tabela 10](#)) oraz dla Podwariantu 2.2 ([Tabela 11](#)).

Tabela 10 Zestawienie podstawowych informacji dla wyznaczonych obszarów zagrożonych wodami opadowymi dla Puław dla Podwariantu 2.1

Informacja	Prawdopodobieństwo wystąpienia opadu 1%		Prawdopodobieństwo wystąpienia opadu 10%		Prawdopodobieństwo wystąpienia opadu 20%		Prawdopodobieństwo wystąpienia opadu 1%CC		Prawdopodobieństwo wystąpienia opadu 10%CC	
	czas trwania opadu 15 min	czas trwania opadu 120 min	czas trwania opadu 15 min	czas trwania opadu 120 min	czas trwania opadu 15 min	czas trwania opadu 120 min	czas trwania opadu 15 min	czas trwania opadu 120 min	czas trwania opadu 15 min	czas trwania opadu 120 min
Ilość wyznaczonych obszarów zagrożonych wodami opadowymi	29	53	7	20	1	9	54	84	15	40
Łączna powierzchnia [m ²]	56 394	155 032	5 968	33 430	676	16 116	149 557	276 524	21 531	69 406
Łączna objętość zgromadzonej wody [m ³]	26 247	74 980	2 624	15 668	270	7 357	72 114	143 542	9 667	33 141
Maksymalna głębokość wody [m]	1,39	1,65	1,14	1,36	0,59	1,24	1,52	2,06	1,25	1,49
Średnia głębokość wody [m]	0,44	0,45	0,43	0,44	0,4	0,44	0,43	0,45	0,43	0,43
Łączna liczba obiektów zagrożonych zalaniem	56	153	5	25	2	10	144	273	20	67
Łączna długość zalanych ciągów komunikacyjnych [m]	3 172	5 805	474	1 986	0	891	5 290	8 565	1 133	3 775

źródło: opracowanie własne

Tabela 11 Zestawienie podstawowych informacji dla wyznaczonych obszarów zagrożonych wodami opadowymi dla Puław dla Podwariantu 2.2

Informacja	Prawdopodobieństwo wystąpienia opadu 1%		Prawdopodobieństwo wystąpienia opadu 10%		Prawdopodobieństwo wystąpienia opadu 20%		Prawdopodobieństwo wystąpienia opadu 1%CC		Prawdopodobieństwo wystąpienia opadu 10%CC	
	czas trwania opadu 15 min	czas trwania opadu 120 min	czas trwania opadu 15 min	czas trwania opadu 120 min	czas trwania opadu 15 min	czas trwania opadu 120 min	czas trwania opadu 15 min	czas trwania opadu 120 min	czas trwania opadu 15 min	czas trwania opadu 120 min
Ilość wyznaczonych obszarów zagrożonych wodami opadowymi	19	15	1	1	0	0	38	40	6	24
Łączna powierzchnia [m ²]	31 528	26 706	691	653	0	0	113 966	135 928	4 891	39 176
Łączna objętość zgromadzonej wody [m ³]	13 815	11 911	269	255	0	0	53 773	65 702	2 042	21 564
Maksymalna głębokość wody [m]	1,22	1,15	0,51	0,5	0	0	1,37	1,38	1	1,49
Średnia głębokość wody [m]	0,43	0,44	0,39	0,39	0	0	0,43	0,43	0,42	0,5
Łączna liczba obiektów zagrożonych zalaniem	30	27	0	0	0	0	113	137	11	33
Łączna długość zalanych ciągów komunikacyjnych [m]	1 588	1 363	0	0	0	0	3 764	3 903	143	2 421

źródło: opracowanie własne

Obszary potencjalnej retencji wyznaczono dla opadu o prawdopodobieństwie wystąpienia $p=10\%$ i czasie trwania $t=120$ min. W Puławach dla Podwariantu 2.1 zidentyfikowano 8 obszarów potencjalnej retencji, natomiast dla Podwariantu 2.2 wyznaczono 6 obszarów. W poniższej tabeli przedstawiono wyniki identyfikacji obszarów potencjalnej retencji w Puławach dla Podwariantu 2.1 i 2.2 ([Tabela 12](#)).

Tabela 12 Zestawienie podstawowych informacji dla wyznaczonych obszarów potencjalnej retencji w Puławach dla Podwariantu 2.1. i 2.2

Informacja	Opad o prawdopodobieństwie wystąpienia 10% i czasie trwania 120 min	
	W2.1	W2.2
Ilość wyznaczonych obszarów potencjalnej retencji	8	6
Łączna powierzchnia [m ²]	17 376	11 913
Łączna objętość zgromadzonej wody [m ³]	7 827	4 875
Maksymalna głębokość wody [m]	1,39	0,85
Średnia głębokość wody [m]	0,48	0,44

źródło: opracowanie własne

W poniższej tabeli ([Tabela 13](#)) przedstawiono wyniki identyfikacji obszarów zagrożonych wodami opadowymi w Puławach potwierdzone zdarzeniami historycznymi.

Tabela 13 Zestawienie wyników identyfikacji obszarów zagrożonych wodami opadowymi w Puławach potwierdzone zdarzeniami historycznymi

Podwariant	Rodzaj	Prawdopodobieństwo wystąpienia opadu 1%		Prawdopodobieństwo wystąpienia opadu 10%		Prawdopodobieństwo wystąpienia opadu 20%		Prawdopodobieństwo wystąpienia opadu 1%CC		Prawdopodobieństwo wystąpienia opadu 10%CC	
		czas trwania opadu 15 min	czas trwania opadu 120 min	czas trwania opadu 15 min	czas trwania opadu 120 min	czas trwania opadu 15 min	czas trwania opadu 120 min	czas trwania opadu 15 min	czas trwania opadu 120 min	czas trwania opadu 15 min	czas trwania opadu 120 min
2.1	wyniki identyfikacji [szt.]	29	53	7	20	1	9	54	84	15	40
	wyniki identyfikacji potwierdzone zdarzeniami historycznymi [szt.]	6	8	4	6	1	4	10	11	4	9
	wyniki identyfikacji potwierdzone zdarzeniami historycznymi [%]	20,7	15,1	57,1	30,0	100,0	44,4	18,5	13,1	26,7	22,5
2.2	wyniki identyfikacji [szt.]	19	15	1	1	0	0	38	40	6	24
	wyniki identyfikacji potwierdzone zdarzeniami historycznymi [szt.]	4	5	0	0	0	0	6	6	2	6
	wyniki identyfikacji potwierdzone zdarzeniami historycznymi [%]	21,1	33,3	0,0	0,0	0,0	0,0	15,8	15,0	33,3	25,0

źródło: opracowanie własne

Problemy napotkane w trakcie analizy

Na etapie prowadzenia analiz na potrzeby Wariantu 2 zidentyfikowano kilka kluczowych kwestii problematycznych opisanych poniżej, które w istotny sposób wpłynęły na czas i nakład pracy wymagany do przeprowadzenia wszystkich analiz. W skrajnych przypadkach problemy te mogą doprowadzić do braku możliwości przeprowadzenia analiz.

Istotną kwestią jest ilość podwariantów i założonych scenariuszy obliczeniowych. Dla Wariantu 2 założono 2 Podwarianty, dla każdego z nich 2 czasy trwania, dla każdego czasu trwania 5 prawdopodobieństw wystąpienia opadu. Zasięg opracowania dla każdego z analizowanych miast był na tyle duży, że konieczne było podzielenie siatek obliczeniowych na 2 części dla każdego miasta. Konieczne było zatem zbudowanie łącznie 80 modeli. Dla każdego modelu wymagane było przygotowanie danych wsadowych. Sam proces budowy modeli był zatem niezwykle czasochłonny. Mnogość scenariuszy obliczeniowych wpłynęła także na czas potrzebny na przeprowadzenie symulacji. Czas obliczeń dla jednego scenariusza na specjalnie do tego typu obliczeń przygotowanych maszynach obliczeniowych to średnio około 12 h. Komputery do obliczeń muszą posiadać kompatybilne z oprogramowaniem MIKE+ karty graficzne o bardzo wysokiej mocy obliczeniowej. Brak odpowiedniego sprzętu może uniemożliwić przeprowadzenie obliczeń a tym samym pozostałych analiz.

Z perspektywy czasu wymaganego na przeprowadzenie obliczeń również bardzo istotne jest odpowiednie dobranie kroku obliczeniowego. Zbyt mały krok obliczeniowy będzie powodował znaczne wydłużenie czasu symulacji, natomiast zbyt duży krok czasowy może powodować niestabilności w trakcie obliczeń. Krok ten dobiera się indywidualnie dla analizowanego obszaru i jest on w dużej mierze uzależniony od ilości elementów siatki obliczeniowej, ilości wprowadzonych przepustów czy warunków brzegowych.

Duża liczba scenariuszy obliczeniowych wpływa także na nakład pracy potrzebny na wygenerowanie wyników obliczeń do warstw przestrzennych oraz konieczne do przeprowadzenia na nich analizy GIS. Również wykonanie prezentacji kartograficznych dla takiej ilości scenariuszy obliczeniowych wiązało się z dużym nakładem pracy.

Dodatkowe problemy jakie mogą wystąpić to brak informacji odnośnie kanalizacji deszczowej. W wariantcie tym konieczne jest posiadanie informacji o lokalizacji wpustów deszczowych (w Podwariantcie 2.1) lub informacji o zasięgu spływu wód do kanalizacji deszczowej (w Podwariantcie 2.2.). W przypadku braku takich informacji konieczne jest przeprowadzenie inwentaryzacji, co będzie miało wpływ na koszt i czas potrzebny na realizację analiz.

3.3 Wariant 3

Wariant 3, z uwagi na bardzo dużą ilość wymaganych danych oraz pilotażowy charakter prowadzonych analiz, zrealizowany został dla wybranej zlewni na obszarze Puław. Wariant ten obejmuje zatem jedynie część miasta (inaczej niż dwa pozostałe warianty). W Wariantcie 3 **obszary zagrożone wodami opadowymi** wyznaczono dla prawdopodobieństwa wystąpienia opadu 1%, 10% i 20% oraz dla czasu trwania opadu 120 min. Dla każdego z wyznaczonych obszarów zagrożonych wodami opadowymi określono średnią głębokość wody, lokalizację i wartość maksymalnej głębokości wody, powierzchnię zalania, objętość wody, liczbę zagrożonych obiektów oraz długość zalanych ciągów komunikacyjnych. W poniższej tabeli przedstawiono wyniki identyfikacji obszarów zagrożonych wodami opadowymi w Puławach ([Tabela 14](#)).

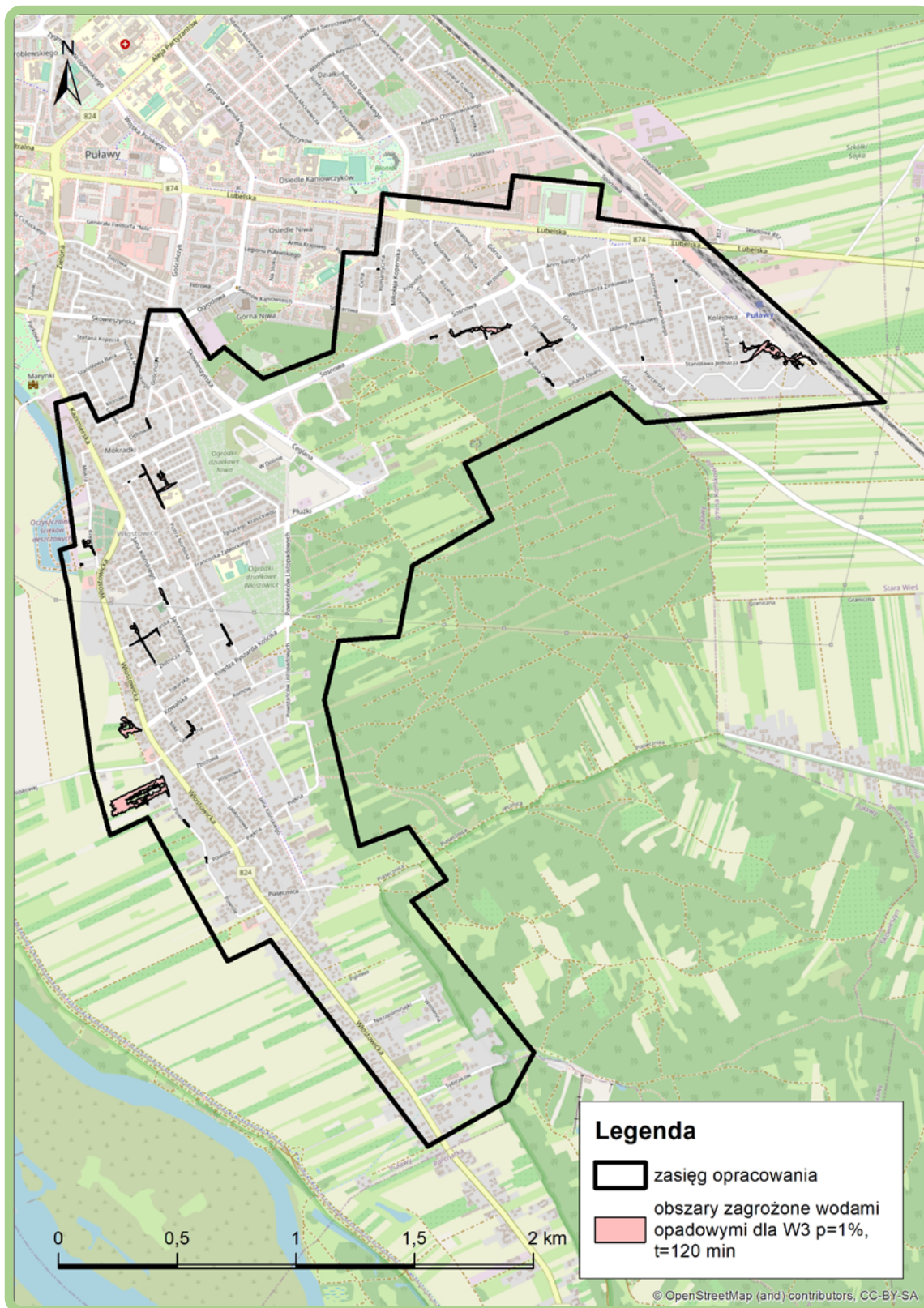
Tabela 14 Zestawienie podstawowych informacji dla wyznaczonych obszarów zagrożonych wodami opadowymi dla Puław

Informacja	Prawdopodobieństwo wystąpienia opadu 1%	Prawdopodobieństwo wystąpienia opadu 10%	Prawdopodobieństwo wystąpienia opadu 20%
Ilość wyznaczonych obszarów zagrożonych wodami opadowymi	25	7	6
Łączna powierzchnia [m ²]	32 844	3 792	702
Łączna objętość zgromadzonej wody [m ³]	1 851	185	30
Maksymalna głębokość wody [m]	0,36	0,20	0,11
Średnia głębokość wody [m]	0,04	0,05	0,04
Łączna liczba obiektów zagrożonych zalaniem	22	1	0
Łączna długość zalanych ciągów komunikacyjnych [m]	2 109	440	149

źródło: opracowanie własne

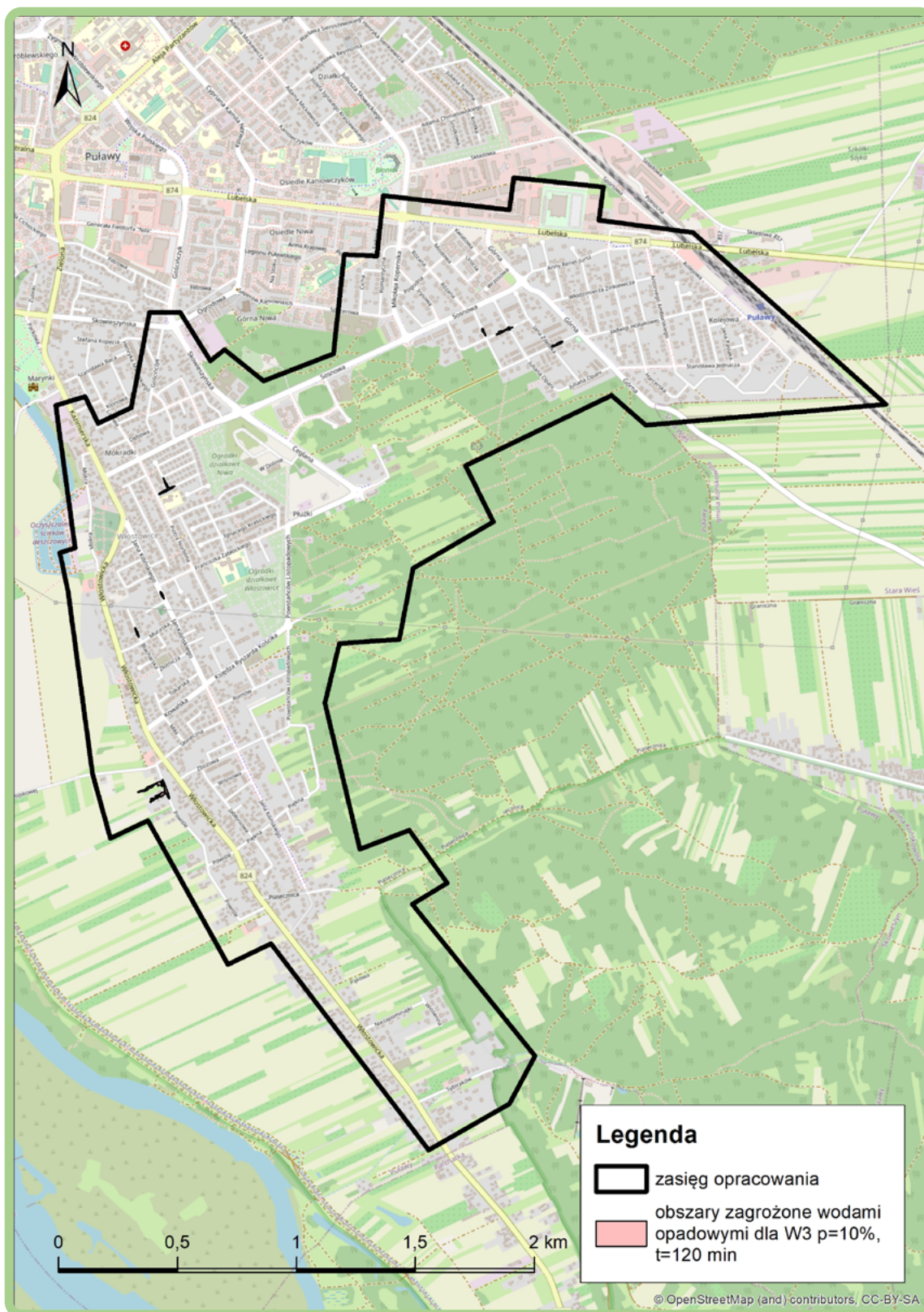
Na poniższych rysunkach przedstawiono wyniki identyfikacji obszarów zagrożonych wodami opadowymi dla $p = 1\%$ ([Rysunek 27](#)), $p = 10\%$ ([Rysunek 28](#)) oraz $p = 20\%$ ([Rysunek 29](#)).

Rysunek 27 Wyniki identyfikacji obszarów zagrożonych wodami opadowymi dla opadu o prawdopodobieństwie $p=1\%$ i czasie trwania 120 min dla Puław



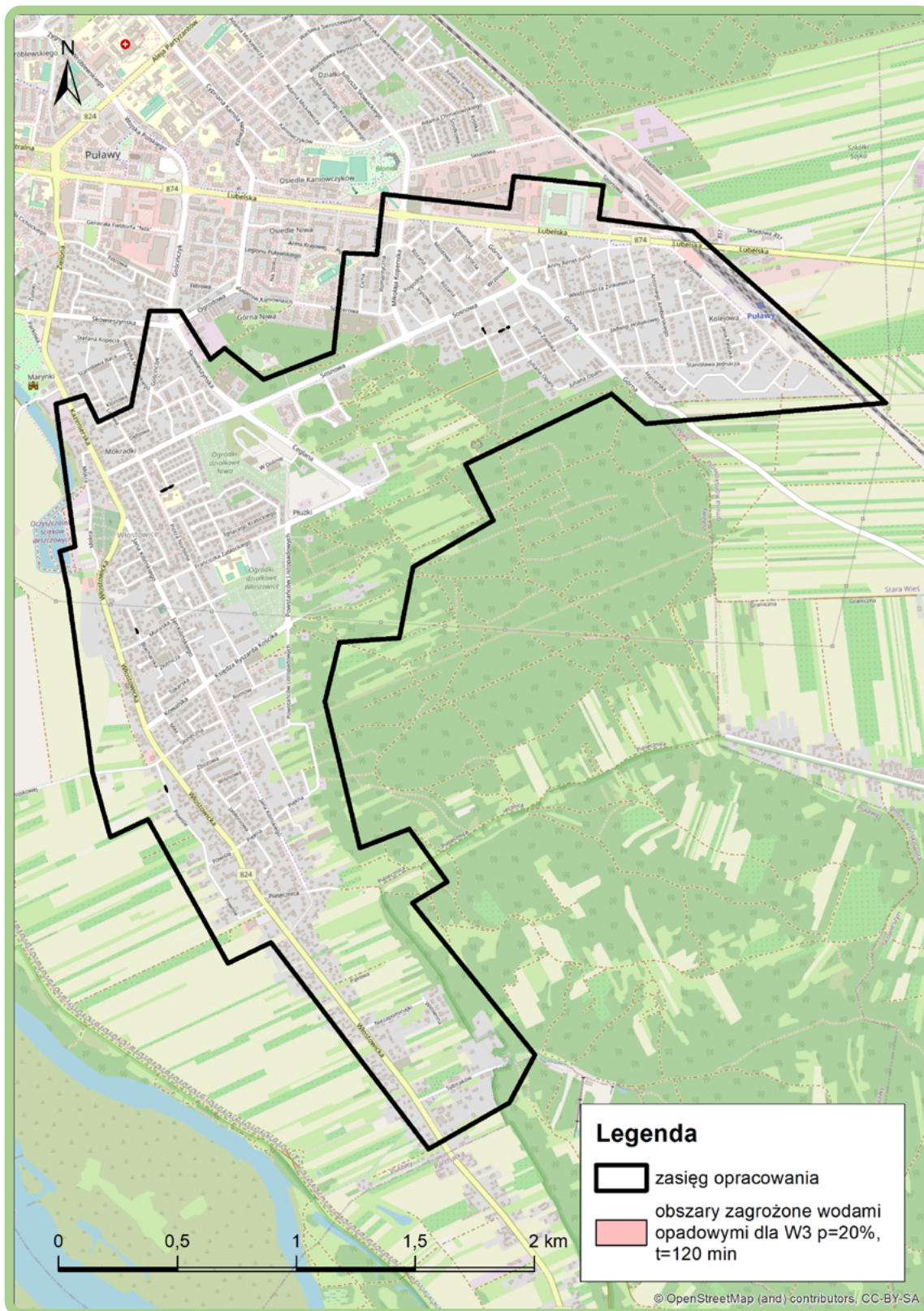
źródło: opracowanie własne

Rysunek 28 Wyniki identyfikacji obszarów zagrożonych wodami opadowymi dla opadu o prawdopodobieństwie $p=10\%$ i czasie trwania 120 min dla Puław



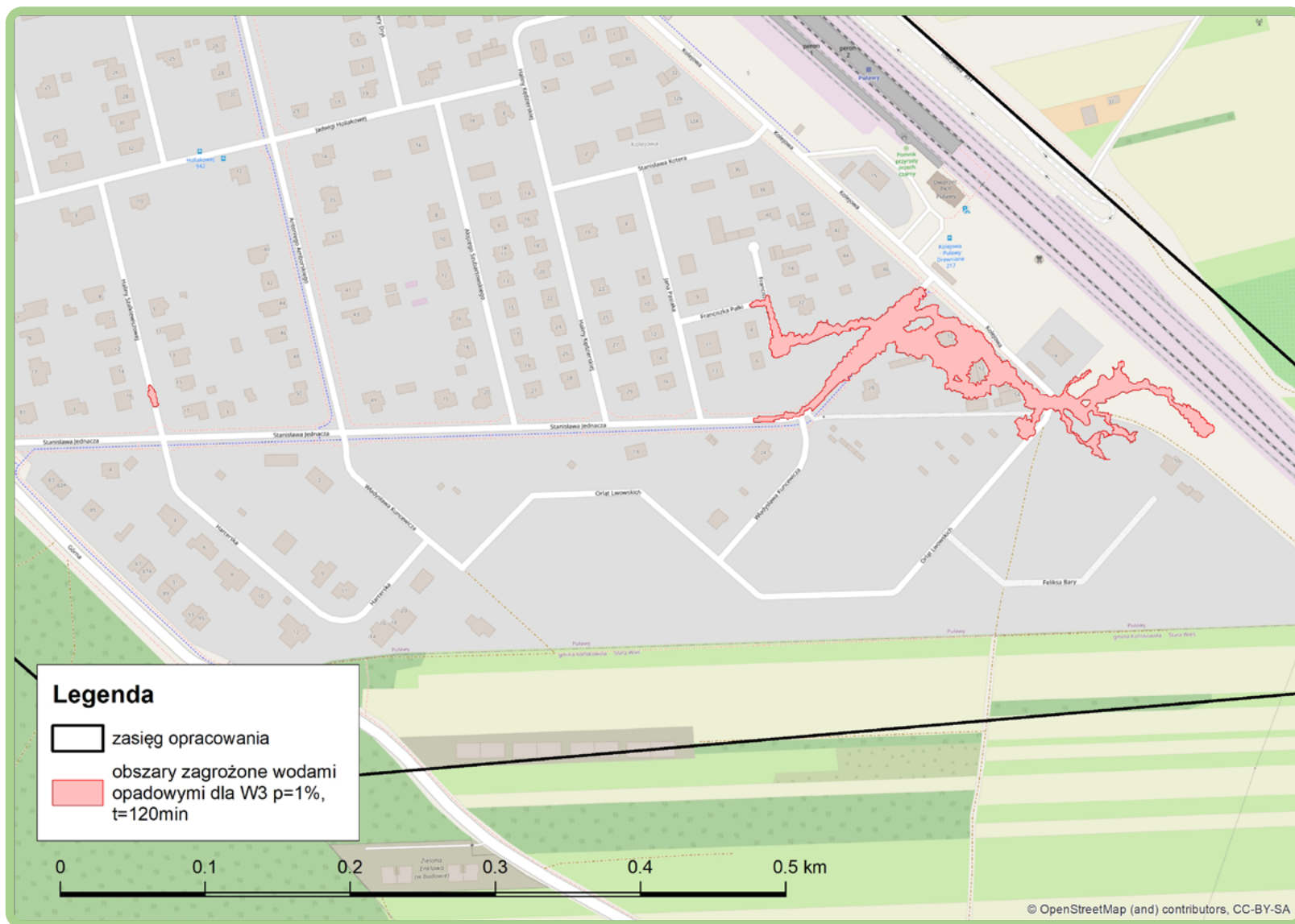
źródło: opracowanie własne

Rysunek 29 Wyniki identyfikacji obszarów zagrożonych wodami opadowymi dla opadu o prawdopodobieństwie $p=10\%$ i czasie trwania 120 min dla Puław



źródło: opracowanie własne

Rysunek 30 Porównanie wyników identyfikacji obszarów zagrożonych wodami opadowymi dla opadu o prawdopodobieństwie 1%, 10% i 20% i czasie trwania 120 min dla Puław część 1



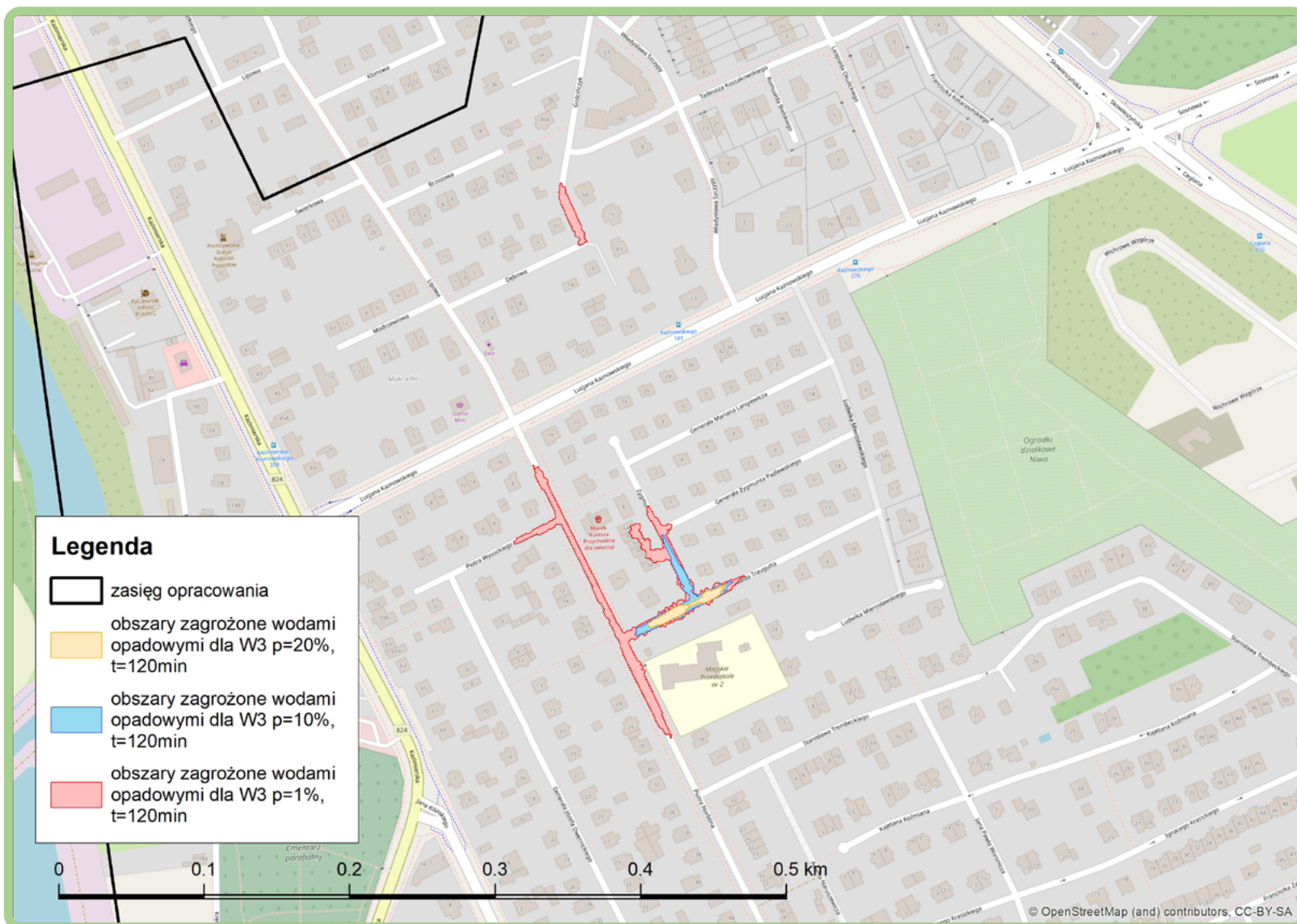
źródło: opracowanie własne

Rysunek 31 Porównanie wyników identyfikacji obszarów zagrożonych wodami opadowymi dla opadu o prawdopodobieństwie 1%, 10% i 20% i czasie trwania 120 min dla Puław część 2



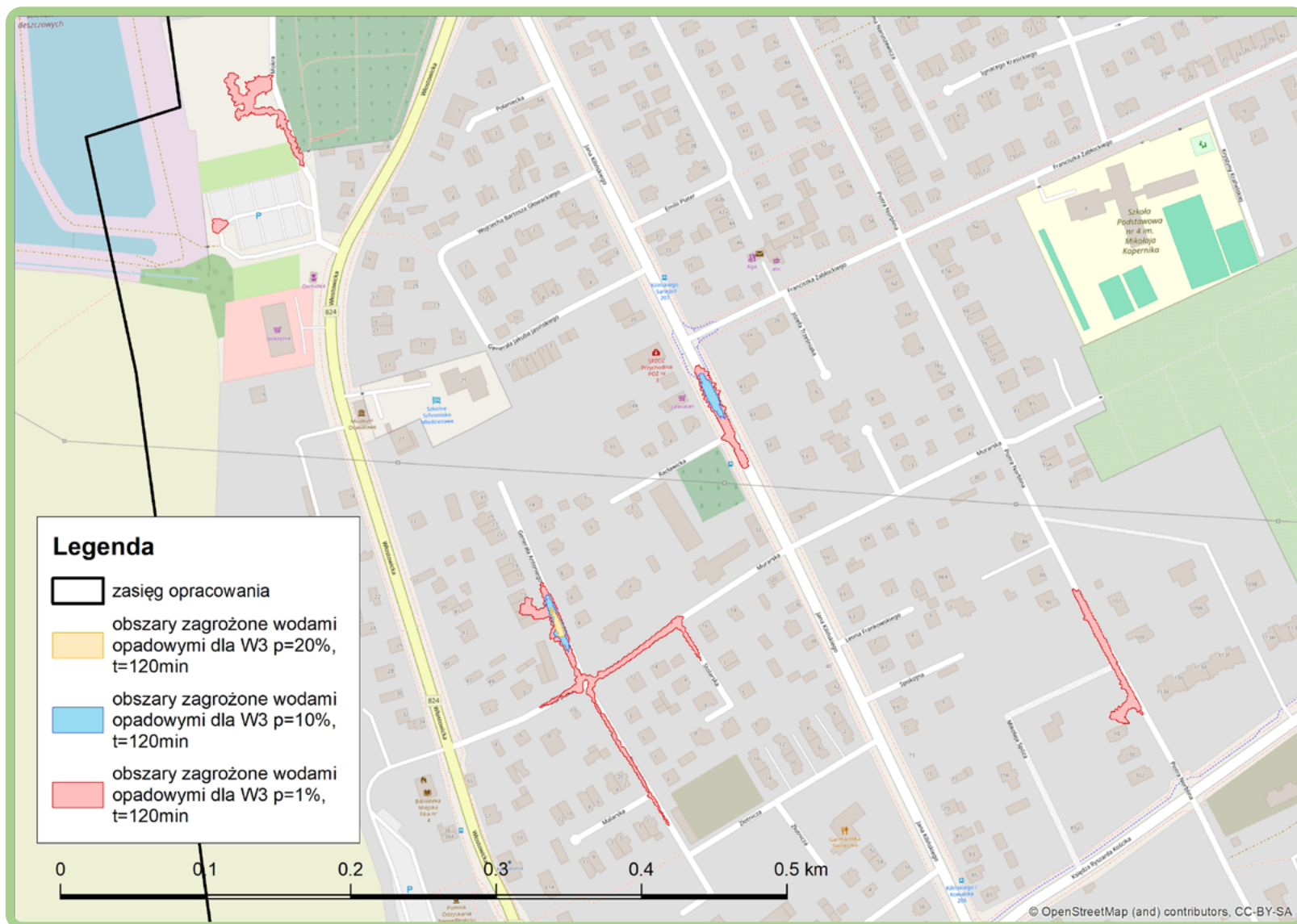
źródło: opracowanie własne

Rysunek 32 Porównanie wyników identyfikacji obszarów zagrożonych wodami opadowymi dla opadu o prawdopodobieństwie 1%, 10% i 20% i czasie trwania 120 min dla Puław część 3



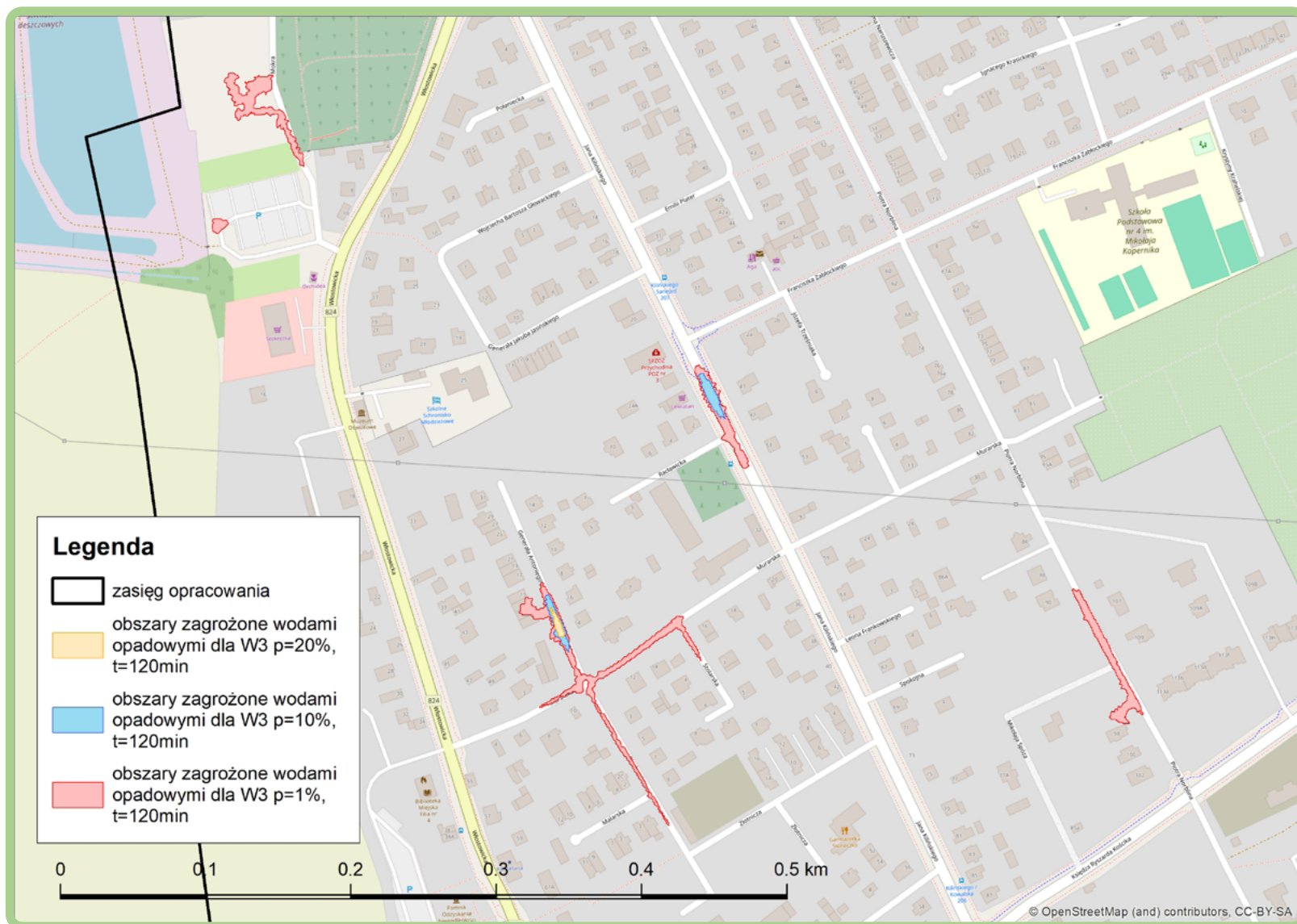
źródło: opracowanie własne

Rysunek 33 Porównanie wyników identyfikacji obszarów zagrożonych wodami opadowymi dla opadu o prawdopodobieństwie 1%, 10% i 20% i czasie trwania 120 min dla Puław część 4



źródło: opracowanie własne

Rysunek 34 Porównanie wyników identyfikacji obszarów zagrożonych wodami opadowymi dla opadu o prawdopodobieństwie 1%, 10% i 20% i czasie trwania 120 min dla Puław część 5



źródło: opracowanie własne

Zidentyfikowane obszary zagrożone wodami opadowymi poddano analizie z wykorzystaniem danych od zarządców dróg i jednostek organizacyjnych miasta Puławy, danych o interwencjach Państwowej Straży Pożarnej oraz doniesień prasowych dotyczących zalanych obszarów. W poniższej tabeli (Tabela 15) przedstawiono wyniki identyfikacji obszarów zagrożonych wodami opadowymi w Puławach potwierdzone zdarzeniami historycznymi.

Tabela 15 Zestawienie wyników identyfikacji obszarów zagrożonych wodami opadowymi w Puławach potwierdzone zdarzeniami historycznymi

Informacja	Prawdopodobieństwo wystąpienia opadu 1%	Prawdopodobieństwo wystąpienia opadu 10%	Prawdopodobieństwo wystąpienia opadu 20%
Ilość wyznaczonych obszarów zagrożonych wodami opadowymi [szt.]	25	7	6
Ilość wyznaczonych obszarów zagrożonych wodami opadowymi potwierdzone zdarzeniami historycznymi [szt.]	4	2	1
Ilość wyznaczonych obszarów zagrożonych wodami opadowymi potwierdzone zdarzeniami historycznymi [%]	16,0%	28,6%	16,7%

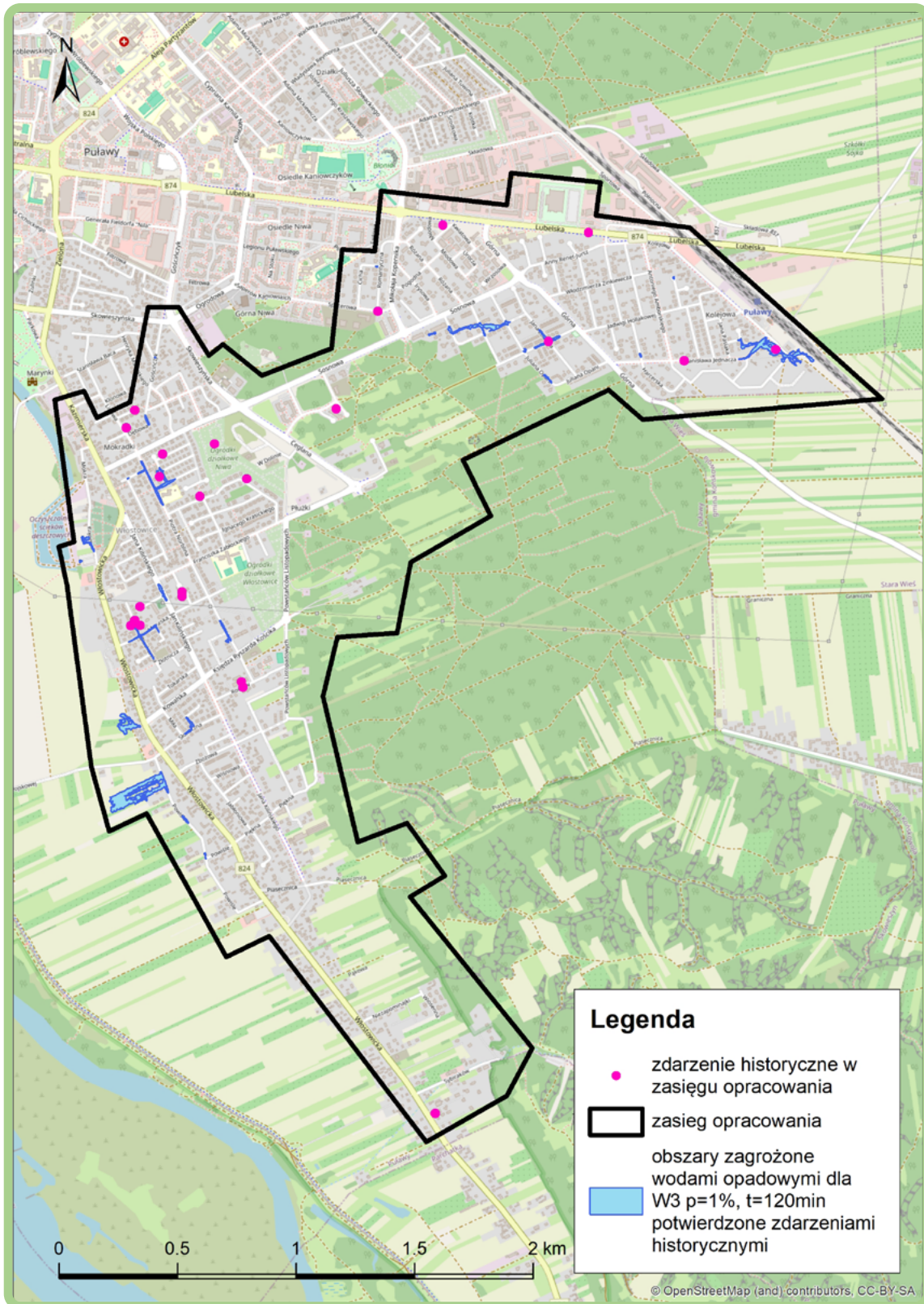
źródło: opracowanie własne

W zależności od prawdopodobieństwa wystąpienia opadu otrzymano różną liczbę obszarów zagrożonych wodami opadowymi potwierdzonych zdarzeniami historycznymi. Procentowa zgodność wyznaczonych obszarów zagrożonych wodami opadowymi ze zdarzeniami historycznymi waha się od ok. 16% do ok. 29%.

Wyznaczenie obszarów zagrożonych wodami opadowymi w Wariancie 3 oparte było o modelowanie 1D+2D, w którym opad nie jest warunkiem brzegowym dla siatki obliczeniowej, tylko dla wyznaczonych zlewni hydrologicznych ciężących do kanalizacji deszczowej. Opad ten z wykorzystaniem modelu fali kinematycznej (przy uwzględnieniu powierzchni zlewni, jej uszczelnienia, spadku, infiltracji z wykorzystaniem wzoru Hortona) przeliczany jest na ilość wód opadowych trafiających do kanalizacji deszczowej, bez symulacji spływu wód opadowych po terenie (opad nie trafia na siatkę). Po terenie rozplývają się jedynie wody opadowe, które wydostały się ze studni kanalizacyjnych na przeciążonych odcinkach sieci. Konsekwencją takiego rodzaju modelowania jest fakt, że wyznaczone obszary zagrożone wodami opadowymi dotyczą wyłącznie zagrożenia od wód wydostających się z przeciążonej kanalizacji. Zebrane dane historyczne nie określają źródła wystąpienia podtopienia, dlatego obliczony stopień zgodności wyznaczonych obszarów zagrożonych wodami opadowymi ze zdarzeniami historycznymi nie należy traktować jako stopień dokładności modelu.

Poniżej przedstawiono mapę obrazującą pokrywanie się obszarów zagrożonych wodami opadowymi z danymi historycznymi dla wybranego scenariusza (Rysunek 35).

Rysunek 35 Wyznaczone obszary zagrożone wodami opadowymi dla W3 dla opadu o prawdopodobieństwie $p=1\%$ i czasie trwania 120 min dla Puław potwierdzone zdarzeniami wraz z zdarzeniami historycznymi w zasięgu opracowania



źródło: opracowanie własne

Spis Tabel

Tabela 1	Wysokość deszczu miarodajnego oraz wysokość redukcji opadu.....	9
Tabela 2	Charakterystyka stacji wodowskazowych ujętych w opracowaniu dla Puław.....	10
Tabela 3	Przepływy z wielolecia 1987-2021 dla wodowskazu Witowice.....	12
Tabela 4	Podstawowe informacje o rzecznej powodzi historycznej w gminie miejskiej Puławy.....	13
Tabela 5	Zmiana średniego przepływu na Wiśle i Kurówce w granicach Puław dla scenariusza RCP4.5.....	21
Tabela 6	Zmiana średniego przepływu na Wiśle i Kurówce w granicach Puław dla scenariusza RCP8,5.....	22
Tabela 7	Rozkład użytkowania terenu w mieście Puławy.....	22
Tabela 8	Zestawienie podstawowych informacji dla wyznaczonych obszarów zagrożonych wodami opadowymi dla Puław.....	29
Tabela 9	Zestawienie podstawowych informacji dla wyznaczonych obszarów potencjalnej retencji w Puławach dla Wariantu 1.....	32
Tabela 10	Zestawienie podstawowych informacji dla wyznaczonych obszarów zagrożonych wodami opadowymi dla Puław dla Podwariantu 2.1.....	38
Tabela 11	Zestawienie podstawowych informacji dla wyznaczonych obszarów zagrożonych wodami opadowymi dla Puław dla Podwariantu 2.2.....	39
Tabela 12	Zestawienie podstawowych informacji dla wyznaczonych obszarów potencjalnej retencji w Puławach dla Podwariantu 2.1. i 2.2.....	40
Tabela 13	Zestawienie wyników identyfikacji obszarów zagrożonych wodami opadowymi w Puławach potwierdzone zdarzeniami historycznymi.....	41
Tabela 14	Zestawienie podstawowych informacji dla wyznaczonych obszarów zagrożonych wodami opadowymi dla Puław.....	43
Tabela 15	Zestawienie wyników identyfikacji obszarów zagrożonych wodami opadowymi w Puławach potwierdzone zdarzeniami historycznymi.....	52

Spis Rysunków

Rysunek 1	Położenie Puław na tle powiatu puławskiego i województwa lubelskiego.....	3
Rysunek 2	Położenie Puław i okolic na tle obszarów głównych zbiorników wód podziemnych (GZWP) w Polsce wymagających szczególnej ochrony.....	4
Rysunek 3	Regiony klimatyczne Polski; Granice regionów: 1 – bardzo wyraźne, 2 – wyraźne, 3 – mało wyraźne, 4 – obszary górskie.....	5
Rysunek 4	Średnia roczna temperatura powietrza w Polsce w wieloletniu 1991-2020.....	6
Rysunek 5	Średnia roczna suma opadów w Polsce w wieloletniu 1991 - 2020.....	6
Rysunek 6	Lokalizacja stacji opadowej w Puławach.....	7
Rysunek 7	Roczne sumy opadów atmosferycznych dla stacji klimatycznej Puławy w okresie 1987 – 2021.....	8
Rysunek 8	Miesięczne sumy opadów i maksymalne sumy opadów wraz z datami w okresie 1987-2021.....	9
Rysunek 9	Liczba dni z okresu 1987-2021 dla których suma opadów przekraczała 20 mm w podziale na lata.....	9
Rysunek 10	Lokalizacja wodowskazów ujętych w analizach hydrologicznych.....	11
Rysunek 11	Przebiegi maksymalne roczne dla wieloletnia 2004-2021, stacja wodowskazowa Puławy-Azoty, rzeka Wisła.....	12
Rysunek 12	Odptyw roczny na rzece Wiśle dla wodowskazu Puławy - Azoty w latach 2004-2021.....	13
Rysunek 13	Obszar gminy miejskiej Puławy, mapa zagrożenia powodziowego z głębokością wody. Obszary, na których prawdopodobieństwo wystąpienia powodzi jest średnie i wynosi 1% (raz na 100 lat).....	15
Rysunek 14	Obszar gminy miejskiej Puławy, mapa ryzyka powodziowego w zakresie potencjalnie negatywnych skutków dla życia i zdrowia ludzi oraz wartości potencjalnych strat powodziowych. Obszary, na których prawdopodobieństwo wystąpienia powodzi jest średnie i wynosi 1% (raz na 100 lat).....	17
Rysunek 15	Zdarzenia związane z gwałtownymi opadami deszczu wg danych KP PSP Puławy, zarządów dróg i jednostek organizacyjnych miasta oraz doniesień prasowych.....	19
Rysunek 16	Zalana ulica w Puławach po ulewach 20 lipca 2017 r.	20
Rysunek 17	Średnia krocząca liczby dni w roku z opadem dziennym ≥ 20 mm - pow. puławski dla scenariusza RCP4,5.....	20
Rysunek 18	Średnia krocząca liczby dni w roku z opadem dziennym ≥ 20 mm - pow. puławski dla scenariusza RCP8.5.....	21
Rysunek 19	Zagospodarowanie terenu na obszarze Puław.....	23
Rysunek 20	Mapa kanalizacji deszczowej w Puławach.....	25
Rysunek 21	Mapa z lokalizacją wylotów kanalizacji deszczowej w Puławach.....	27
Rysunek 22	Wyniki identyfikacji obszarów zagrożonych wodami opadowymi dla opadu o prawdopodobieństwie $p=1\%$ i czasie trwania 120 min dla Puław.....	30
Rysunek 23	Wyniki identyfikacji obszarów zagrożonych wodami opadowymi dla opadu o prawdopodobieństwie $p=10\%$ i czasie trwania 120 min dla Puław.....	31
Rysunek 24	Wyniki identyfikacji obszarów potencjalnej retencji dla opadu o prawdopodobieństwie $p=10\%$ i czasie trwania 120 min dla Puław wraz ze wskazaniem obszarów znajdujących się na gruntach Skarbu Państwa.....	33
Rysunek 25	Wyniki identyfikacji obszarów intensywnego spływu powierzchniowego oraz obszarów zagrożonych wodami opadowymi dla opadu o prawdopodobieństwie $p=1\%$ i czasie trwania 120 min dla Puław.....	35
Rysunek 26	Wyniki identyfikacji obszarów intensywnego spływu powierzchniowego oraz obszarów zagrożonych wodami opadowymi dla opadu o prawdopodobieństwie $p=10\%$ i czasie trwania 120 min dla Puław.....	36
Rysunek 27	Wyniki identyfikacji obszarów zagrożonych wodami opadowymi dla opadu o prawdopodobieństwie $p=1\%$ i czasie trwania 120 min dla Puław.....	44
Rysunek 28	Wyniki identyfikacji obszarów zagrożonych wodami opadowymi dla opadu o prawdopodobieństwie $p=10\%$ i czasie trwania 120 min dla Puław.....	45
Rysunek 29	Wyniki identyfikacji obszarów zagrożonych wodami opadowymi dla opadu o prawdopodobieństwie $p=10\%$ i czasie trwania 120 min dla Puław.....	46
Rysunek 30	Porównanie wyników identyfikacji obszarów zagrożonych wodami opadowymi dla opadu o prawdopodobieństwie 1%, 10% i 20% i czasie trwania 120 min dla Puław część 1.....	47
Rysunek 31	Porównanie wyników identyfikacji obszarów zagrożonych wodami opadowymi dla opadu o prawdopodobieństwie 1%, 10% i 20% i czasie trwania 120 min dla Puław część 2.....	48
Rysunek 32	Porównanie wyników identyfikacji obszarów zagrożonych wodami opadowymi dla opadu o prawdopodobieństwie 1%, 10% i 20% i czasie trwania 120 min dla Puław część 3.....	49
Rysunek 33	Porównanie wyników identyfikacji obszarów zagrożonych wodami opadowymi dla opadu o prawdopodobieństwie 1%, 10% i 20% i czasie trwania 120 min dla Puław część 4.....	50
Rysunek 34	Porównanie wyników identyfikacji obszarów zagrożonych wodami opadowymi dla opadu o prawdopodobieństwie 1%, 10% i 20% i czasie trwania 120 min dla Puław część 5.....	51
Rysunek 35	Wyznaczone obszary zagrożone wodami opadowymi dla W3 dla opadu o prawdopodobieństwie $p=1\%$ i czasie trwania 120 min dla Puław potwierdzone zdarzeniami wraz z zdarzeniami historycznymi w zasięgu opracowania.....	53



Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie

Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej

ul. Żelazna 59a

00-848 Warszawa



www.gov.pl/web/wody-polskie