



GDAŃSK UNIVERSITY  
OF TECHNOLOGY

# *Narzędzia prognozowania skutków opadów w różnych scenariuszach*





## Narzędzie opracowane w ramach projektu NOAH - Extreme Weather Layer (EWL)

### Czym jest EWL?

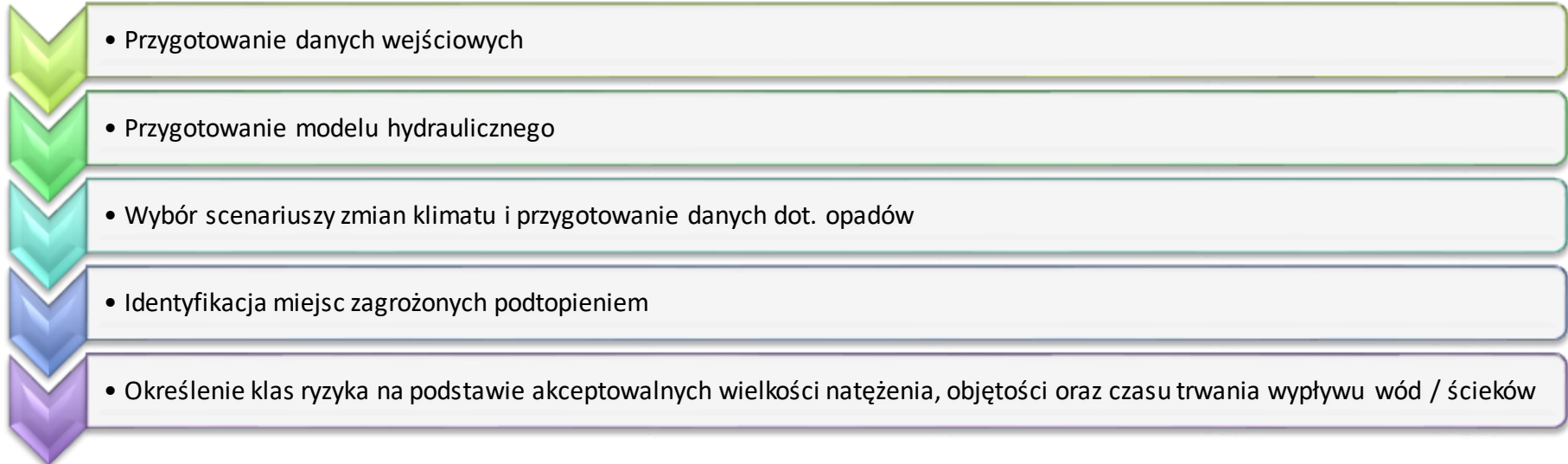
Połączenie następujących elementów:

- Model hydrauliczny
- Plany zagospodarowania przestrzennego
- System oceny ryzyka wystąpienia i intensywności podtopień / przelewów

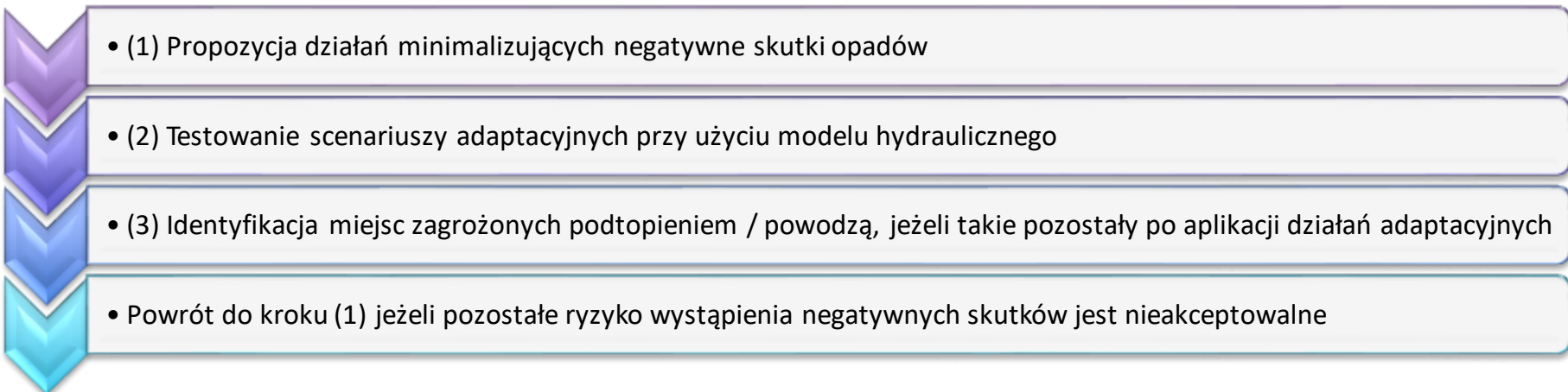
### Do czego używamy EWL?

- Przygotowanie map ryzyka wystąpienia negatywnych skutków opadów atmosferycznych (podstawa do planowania działań minimalizujących wpływ opadów)
- Analiza efektywności działań minimalizujących wpływ (zmiany użytkownika terenu, zmiany w infrastrukturze kanalizacyjnej, różne opcje retencji wód)

## Główne etapy przygotowania EWL



## Główne kroki wykorzystania EWL



## Wdrożenie narzędzia EWL w Słupsku

### • Przygotowanie danych wejściowych

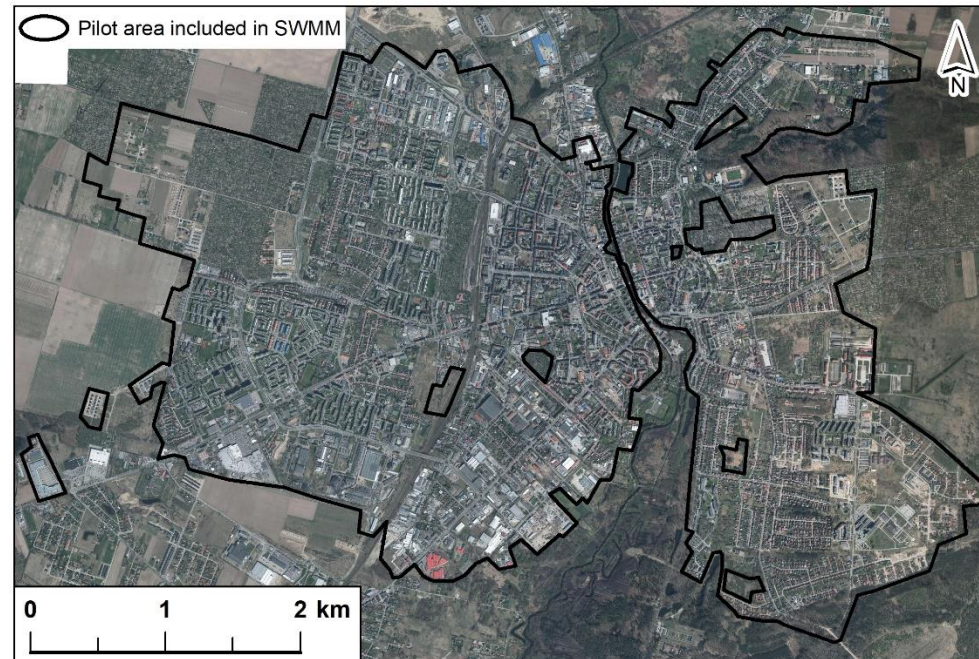
- Określenie zasięgu przestrzennego analiz
- Określenie pożądanego zakresu i rozdzielczości danych wyjściowych
- Przygotowanie warstw mapowych opisujących sieć kanalizacji
- Wyznaczenie granic i parametrów opisujących zlewnie
- Przygotowanie danych o opadach i innych źródłach dopływu do sieci kanalizacyjnej

Czy analizowane będzie całe miasto, czy jego część?

W przypadku Słupska:

~ 22 km<sup>2</sup>

~ 170 km  
sieci kanali-  
zacyjnej



## Wdrożenie narzędzia EWL w Słupsku

### • Przygotowanie danych wejściowych

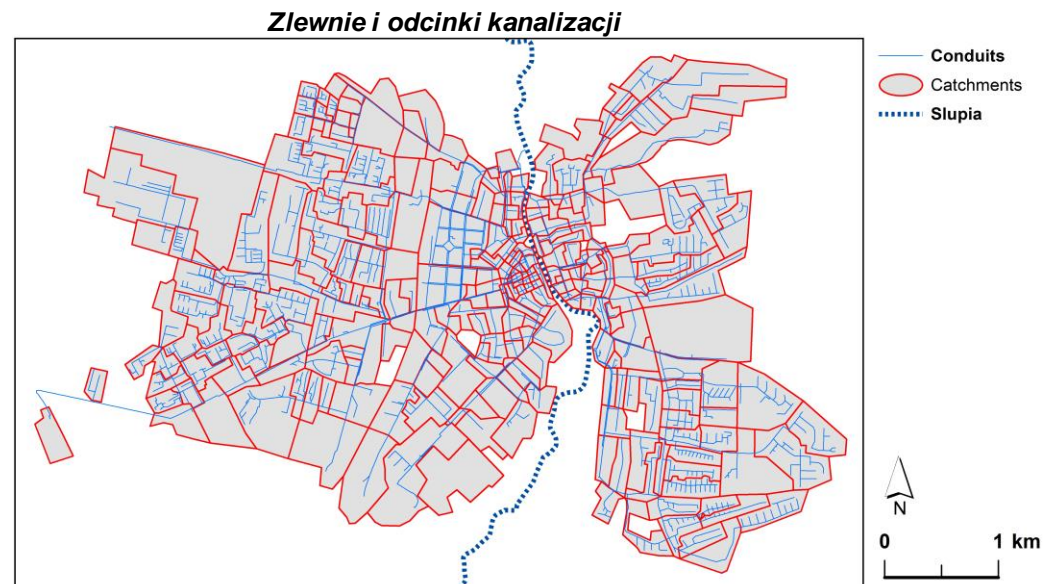
- Określenie zasięgu przestrzennego analiz
- Określenie pożądanego zakresu i rozdzielczości danych wyjściowych
- Przygotowanie warstw mapowych opisujących sieć kanalizacji
- Wyznaczenie granic i parametrów opisujących zlewnie
- Przygotowanie danych o opadach i innych źródłach dopływu do sieci kanalizacyjnej

Dla jakich obiektów potrzebne są wyniki (ocena ryzyka)?

- Studzienki / Zlewnie / Oba typy obiektów
- Wszystkie studzienki / zlewnie, czy tylko wybrane
- W przypadku zlewni, jak duże mogą one być

Jakiego rodzaju dane wyjściowe są potrzebne?

- Natężenie odpływu, objętość i czas trwania przelewów / podtopień
- Granice obszarów podtopionych / Głębokość podtopienia / Obie informacje (3d)





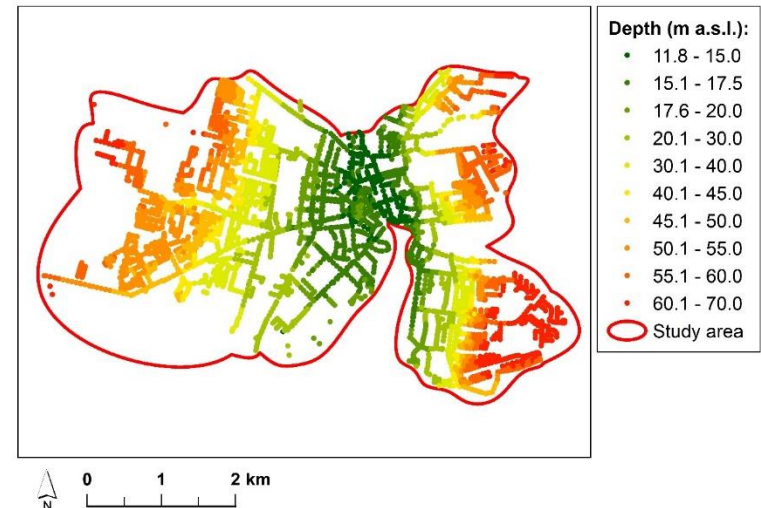
## Wdrożenie narzędzia EWL w Słupsku

### • Przygotowanie danych wejściowych

- Określenie zasięgu przestrzennego analiz
- Określenie pożądanego zakresu i rozdzielczości danych wyjściowych
- Przygotowanie warstw mapowych opisujących sieć kanalizacji
- Wyznaczenie granic i parametrów opisujących zlewnie
- Przygotowanie danych o opadach i innych źródłach dopływu do sieci kanalizacyjnej

Dane mogą obejmować:

- Rzędne powierzchni.
- Głębokość studzienek i przewodów.
- Kształt przekroju przewodów.
- Materiał, wiek i inne właściwości wpływające na opór przepływu, infiltrację, wycieki itp.
- Zbiorniki, pompy, przelewy, regulatory przepływu i inne urządzenia wpływające na przepływ wód i ścieków.



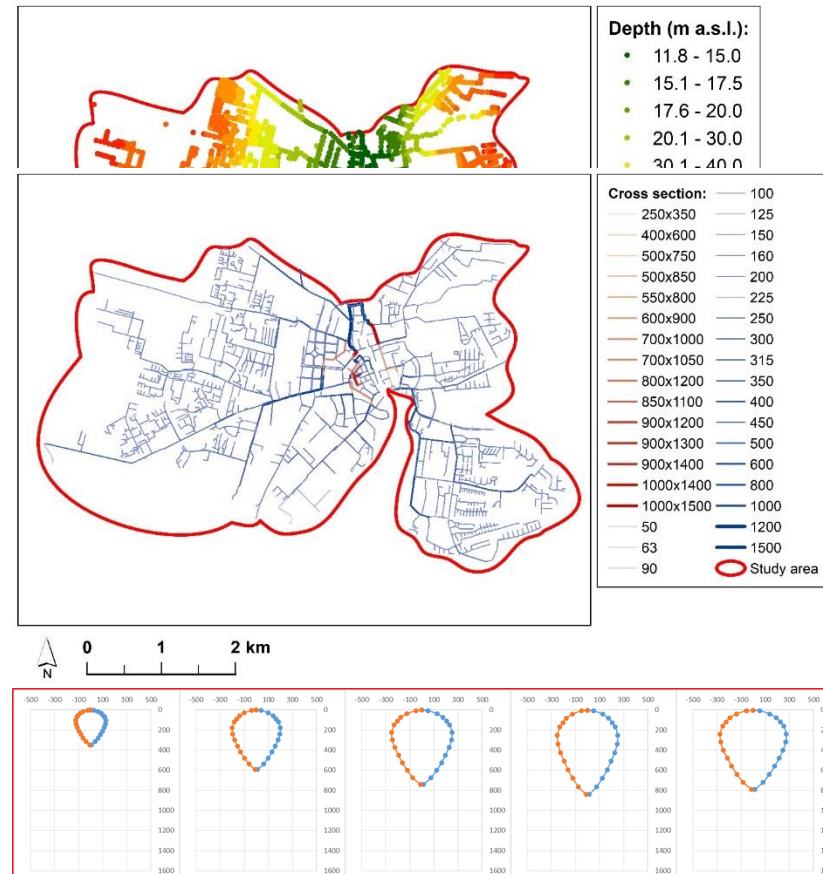
## Wdrożenie narzędzia EWL w Słupsku

### • Przygotowanie danych wejściowych

- Określenie zasięgu przestrzennego analiz
- Określenie pożądanego zakresu i rozdzielczości danych wyjściowych
- Przygotowanie warstw mapowych opisujących sieć kanalizacji
- Wyznaczenie granic i parametrów opisujących zlewnie
- Przygotowanie danych o opadach i innych źródłach dopływu do sieci kanalizacyjnej

Dane mogą obejmować:

- Rzędne powierzchni.
- Głębokość studzienek i przewodów.
- Kształt przekroju przewodów.
- Materiał, wiek i inne właściwości wpływające na opór przepływu, infiltrację, wycieki itp.
- Zbiorniki, pompy, przelewy, regulatory przepływu i inne urządzenia wpływające na przepływ wód i ścieków.



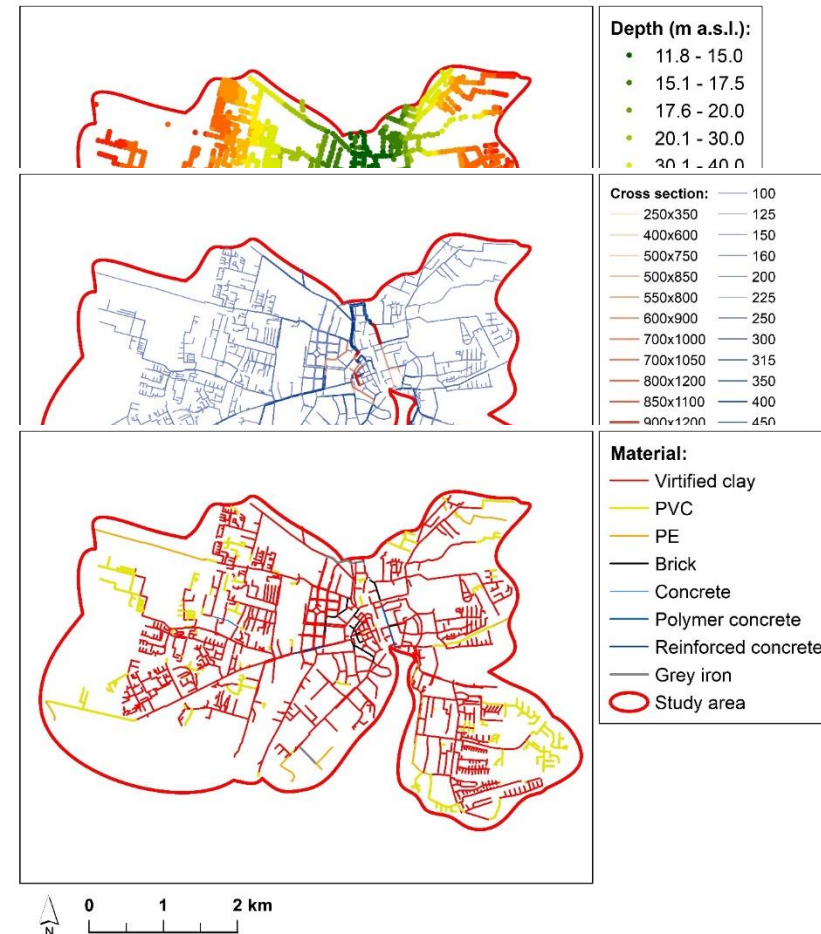
## Wdrożenie narzędzia EWL w Słupsku

### • Przygotowanie danych wejściowych

- Określenie zasięgu przestrzennego analiz
- Określenie pożądanego zakresu i rozdzielczości danych wyjściowych
- Przygotowanie warstw mapowych opisujących sieć kanalizacji
- Wyznaczenie granic i parametrów opisujących zlewnie
- Przygotowanie danych o opadach i innych źródłach dopływu do sieci kanalizacyjnej

Dane mogą obejmować:

- Rzędne powierzchni.
- Głębokość studzienek i przewodów.
- Kształt przekroju przewodów.
- Materiał, wiek i inne właściwości wpływające na opór przepływu, infiltrację, wycieki itp.
- Zbiorniki, pompy, przelewy, regulatory przepływu i inne urządzenia wpływające na przepływ wód i ścieków.





## Wdrożenie narzędzia EWL w Słupsku

### • Przygotowanie danych wejściowych

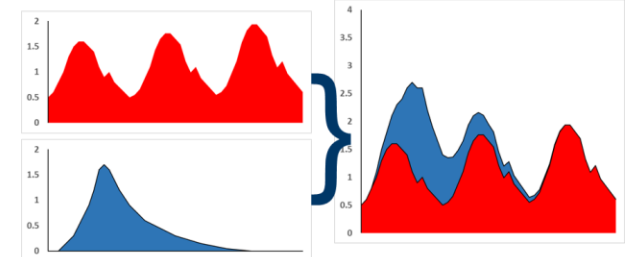
- Określenie zasięgu przestrzennego analiz
- Określenie pożądanego zakresu i rozdzielczości danych wyjściowych
- Przygotowanie warstw mapowych opisujących sieć kanalizacji
- Wyznaczenie granic i parametrów opisujących zlewnie
- Przygotowanie danych o opadach i innych źródłach dopływu do sieci kanalizacyjnej

Dane mogą obejmować:

- Współczynniki szorstkości
- Potencjał retencyjny (w tym zielona i błękitna infrastruktura)
- Źródła zanieczyszczeń
- **Typ dopływu wód i ścieków**
- Spadki
- Udział powierzchni nieprzepuszczalnej



Ścieki



Opad

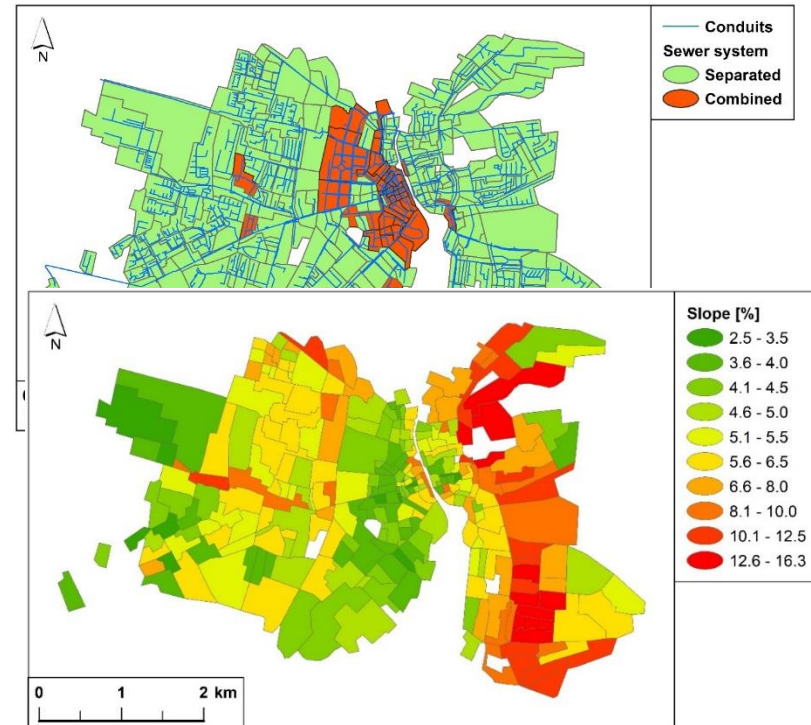
## Wdrożenie narzędzia EWL w Słupsku

### • Przygotowanie danych wejściowych

- Określenie zasięgu przestrzennego analiz
- Określenie pożądanego zakresu i rozdzielczości danych wyjściowych
- Przygotowanie warstw mapowych opisujących sieć kanalizacji
- Wyznaczenie granic i parametrów opisujących zlewnie
- Przygotowanie danych o opadach i innych źródłach dopływu do sieci kanalizacyjnej

Dane mogą obejmować:

- Współczynniki szorstkości
- Potencjał retencyjny (w tym zielona i błękitna infrastruktura)
- Źródła zanieczyszczeń
- Typ dopływu wód i ścieków
- **Spadki**
- Udział powierzchni nieprzepuszczalnej



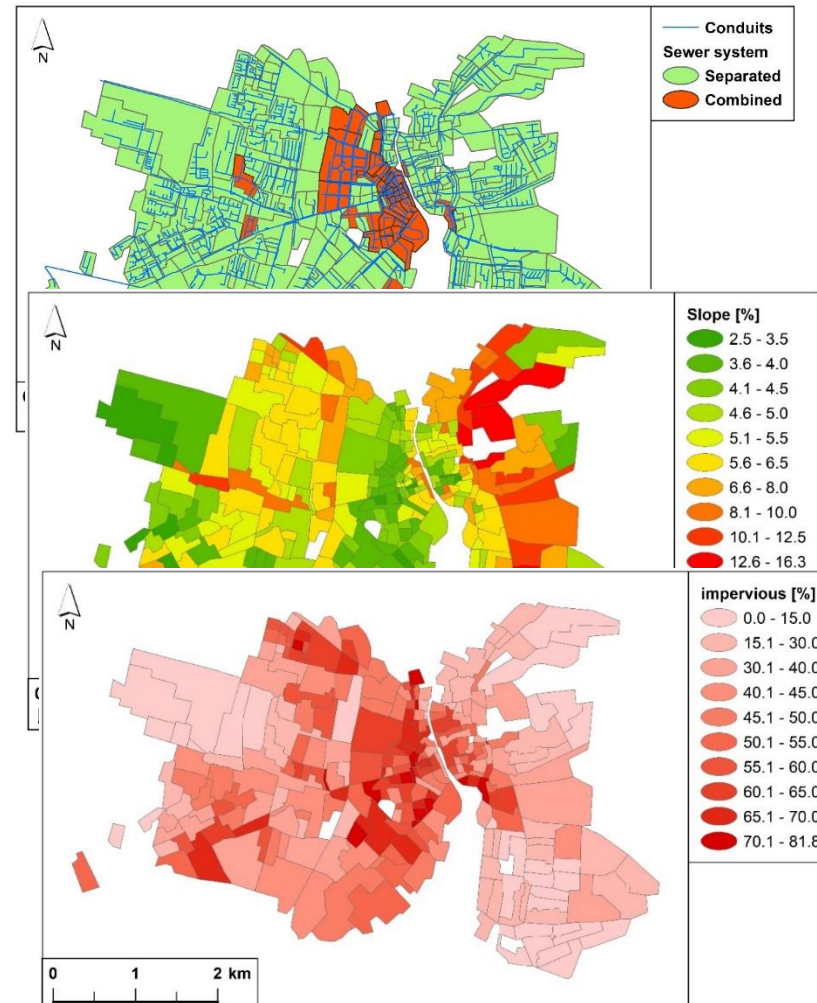
## Wdrożenie narzędzia EWL w Słupsku

### • Przygotowanie danych wejściowych

- Określenie zasięgu przestrzennego analiz
- Określenie pożądanego zakresu i rozdzielczości danych wyjściowych
- Przygotowanie warstw mapowych opisujących sieć kanalizacji
- Wyznaczenie granic i parametrów opisujących zlewnie
- Przygotowanie danych o opadach i innych źródłach dopływu do sieci kanalizacyjnej

Dane mogą obejmować:

- Współczynniki szorstkości
- Potencjał retencyjny (w tym zielona i błękitna infrastruktura)
- Źródła zanieczyszczeń
- Typ dopływu wód i ścieków
- Spadki
- **Udział powierzchni nieprzepuszczalnej**



## Wdrożenie narzędzia EWL w Słupsku

### • Przygotowanie danych wejściowych

- Określenie zasięgu przestrzennego analiz
- Określenie pożądanego zakresu i rozdzielczości danych wyjściowych
- Przygotowanie warstw mapowych opisujących sieć kanalizacji
- Wyznaczenie granic i parametrów opisujących zlewnie
- Przygotowanie danych o opadach i innych źródłach dopływu do sieci kanalizacyjnej

#### Opad:

- Czas trwania i prawdopodobieństwo opadów wybranych do analiz
- Serie pomiarowe opadu, jeżeli ich analiza jest wymagana / pożądana

#### Inne dopływy:

- Infiltracja
- Ścieki (w przypadku ogólnospławnej):
  - Optymalnie z zachowaniem zróżnicowania czasowego i przestrzennego
  - Może wymagać danych o zużyciu wody oraz o dopływach do oczyszczalni w okresach bezopadowych

t[min]	t [h]	Opad [mm] - prawdopodobieństwo wystąpienia:										
		0.1%	0.2%	0.5%	1%	2%	3%	5%	10%	20%	50%	100%
5		19.0	18.0	16.6	15.5	14.3	13.6	12.6	11.1	9.5	6.7	2.4
10		27.0	25.5	23.5	21.9	20.2	19.1	17.7	15.6	13.3	9.3	3.0
15		31.9	30.2	27.8	25.9	23.9	22.6	20.9	18.5	15.6	10.9	3.5
20		35.6	33.7	31.0	28.9	26.6	25.2	23.3	20.5	17.4	12.1	3.8
30		40.8	38.7	35.6	33.1	30.5	28.9	26.8	23.6	19.9	13.9	4.4
60	1	61.2	57.9	53.2	49.4	45.5	43.0	39.7	34.8	29.3	20.0	5.5
120	2	72.6	68.7	63.2	58.8	54.0	51.1	47.2	41.5	35.0	24.1	6.9
180	3	76.5	72.4	66.7	62.0	57.1	54.1	50.0	44.0	37.2	25.8	7.9
360	6	83.3	78.9	72.7	67.8	62.5	59.3	54.9	48.5	41.2	29.1	9.9
420	7	84.8	80.4	74.2	69.2	63.8	60.5	56.1	49.6	42.2	29.9	10.4
480	8	86.2	81.7	75.4	70.3	64.9	61.6	57.1	50.6	43.1	30.6	10.9
540	9	87.5	82.9	76.5	71.4	66.0	62.6	58.1	51.4	43.8	31.2	11.3
600	10	88.6	84.0	77.6	72.4	66.9	63.5	58.9	52.2	44.6	31.8	11.7
660	11	89.6	85.0	78.5	73.3	67.7	64.3	59.7	52.9	45.2	32.3	12.1
720	12	90.6	85.9	79.4	74.1	68.5	65.0	60.4	53.6	45.8	32.9	12.5
780	13	93.3	88.5	81.8	76.4	70.6	67.0	62.2	55.2	47.2	33.8	12.8
840	14	95.8	90.9	84.0	78.4	72.5	68.8	63.9	56.7	48.4	34.7	13.1
900	15	98.1	93.1	86.0	80.3	74.2	70.4	65.4	58.0	49.6	35.5	13.4
960	16	100.3	95.1	87.9	82.1	75.8	72.0	66.9	59.3	50.7	36.3	13.7
1020	17	102.4	97.1	89.7	83.7	77.4	73.5	68.2	60.5	51.7	37.1	14.0
1080	18	104.3	98.9	91.4	85.3	78.9	74.9	69.5	61.7	52.7	37.8	14.2
1140	19	106.1	100.7	93.0	86.8	80.2	76.2	70.8	62.7	53.6	38.4	14.5
1200	20	107.9	102.3	94.5	88.3	81.6	77.4	71.9	63.8	54.5	39.1	14.7
1260	21	109.6	103.9	96.0	89.6	82.8	78.6	73.0	64.8	55.4	39.7	15.0
1320	22	111.2	105.4	97.4	90.9	84.0	79.8	74.1	65.7	56.2	40.3	15.2
1440	24	114.1	108.2	100.0	93.4	86.3	81.9	76.1	67.5	57.7	41.4	15.7



## Wdrożenie narzędzia EWL w Słupsku

### • Przygotowanie danych wejściowych

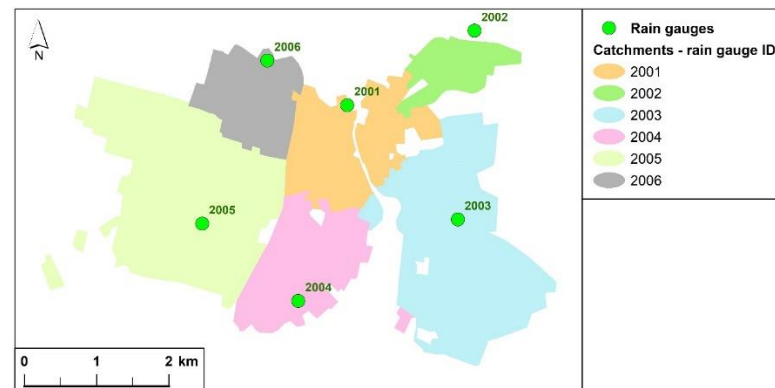
- Określenie zasięgu przestrzennego analiz
- Określenie pożądanego zakresu i rozdzielczości danych wyjściowych
- Przygotowanie warstw mapowych opisujących sieć kanalizacji
- Wyznaczenie granic i parametrów opisujących zlewnie
- Przygotowanie danych o opadach i innych źródłach dopływu do sieci kanalizacyjnej

#### Opad:

- Czas trwania i prawdopodobieństwo opadów wybranych do analiz
- Serie pomiarowe opadu, jeżeli ich analiza jest wymagana / pożądana

#### Inne dopływy:

- Infiltracja
- Ścieki (w przypadku ogólnospławnej):
  - Optymalnie z zachowaniem zróżnicowania czasowego i przestrzennego
  - Może wymagać danych o zużyciu wody oraz o dopływach do oczyszczalni w okresach bezopadowych



540	9	87.5	82.9	76.5	71.4	66.0	62.6	58.1	51.4	43.8	31.2	11.3
600	10	88.6	84.0	77.6	72.4	66.9	63.5	58.9	52.2	44.6	31.8	11.7
660	11	89.6	85.0	78.5	73.3	67.7	64.3	59.7	52.9	45.2	32.3	12.1
720	12	90.6	85.9	79.4	74.1	68.5	65.0	60.4	53.6	45.8	32.9	12.5
780	13	93.3	88.5	81.8	76.4	70.6	67.0	62.2	55.2	47.2	33.8	12.8
840	14	95.8	90.9	84.0	78.4	72.5	68.8	63.9	56.7	48.4	34.7	13.1
900	15	98.1	93.1	86.0	80.3	74.2	70.4	65.4	58.0	49.6	35.5	13.4
960	16	100.3	95.1	87.9	82.1	75.8	72.0	66.9	59.3	50.7	36.3	13.7
1020	17	102.4	97.1	89.7	83.7	77.4	73.5	68.2	60.5	51.7	37.1	14.0
1080	18	104.3	98.9	91.4	85.3	78.9	74.9	69.5	61.7	52.7	37.8	14.2
1140	19	106.1	100.7	93.0	86.8	80.2	76.2	70.8	62.7	53.6	38.4	14.5
1200	20	107.9	102.3	94.5	88.3	81.6	77.4	71.9	63.8	54.5	39.1	14.7
1260	21	109.6	103.9	96.0	89.6	82.8	78.6	73.0	64.8	55.4	39.7	15.0
1320	22	111.2	105.4	97.4	90.9	84.0	79.8	74.1	65.7	56.2	40.3	15.2
1440	24	114.1	108.2	100.0	93.4	86.3	81.9	76.1	67.5	57.7	41.4	15.7



## Wdrożenie narzędzia EWL w Słupsku

### • Przygotowanie danych wejściowych

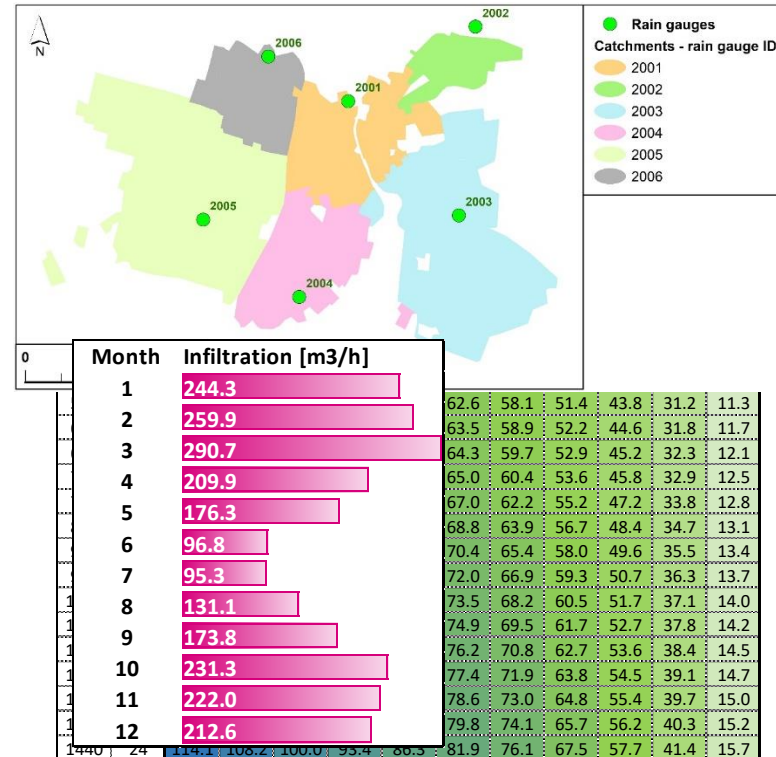
- Określenie zasięgu przestrzennego analiz
- Określenie pożądanego zakresu i rozdzielczości danych wyjściowych
- Przygotowanie warstw mapowych opisujących sieć kanalizacji
- Wyznaczenie granic i parametrów opisujących zlewnie
- Przygotowanie danych o opadach i innych źródłach dopływu do sieci kanalizacyjnej

#### Opad:

- Czas trwania i prawdopodobieństwo opadów wybranych do analiz
- Serie pomiarowe opadu, jeżeli ich analiza jest wymagana / pożądana

#### Inne dopływy:

- Infiltracja
- Ścieki (w przypadku ogólnospławnej):
  - Optymalnie z zachowaniem zróżnicowania czasowego i przestrzennego
  - Może wymagać danych o zużyciu wody oraz o dopływach do oczyszczalni w okresach bezopadowych



## Wdrożenie narzędzia EWL w Słupsku

### Przygotowanie danych wejściowych

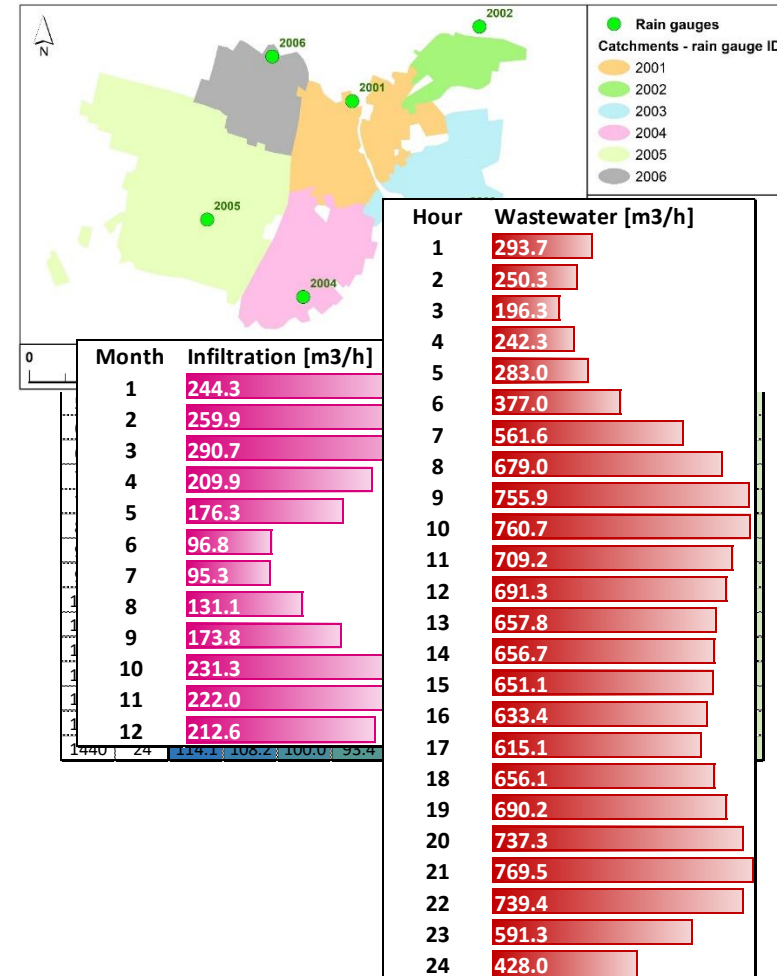
- Określenie zasięgu przestrzennego analiz
- Określenie pożądanego zakresu i rozdzielczości danych wyjściowych
- Przygotowanie warstw mapowych opisujących sieć kanalizacji
- Wyznaczenie granic i parametrów opisujących zlewnie
- Przygotowanie danych o opadach i innych źródłach dopływu do sieci kanalizacyjnej

#### Opad:

- Czas trwania i prawdopodobieństwo opadów wybranych do analiz
- Serie pomiarowe opadu, jeżeli ich analiza jest wymagana / pożądana

#### Inne dopływy:

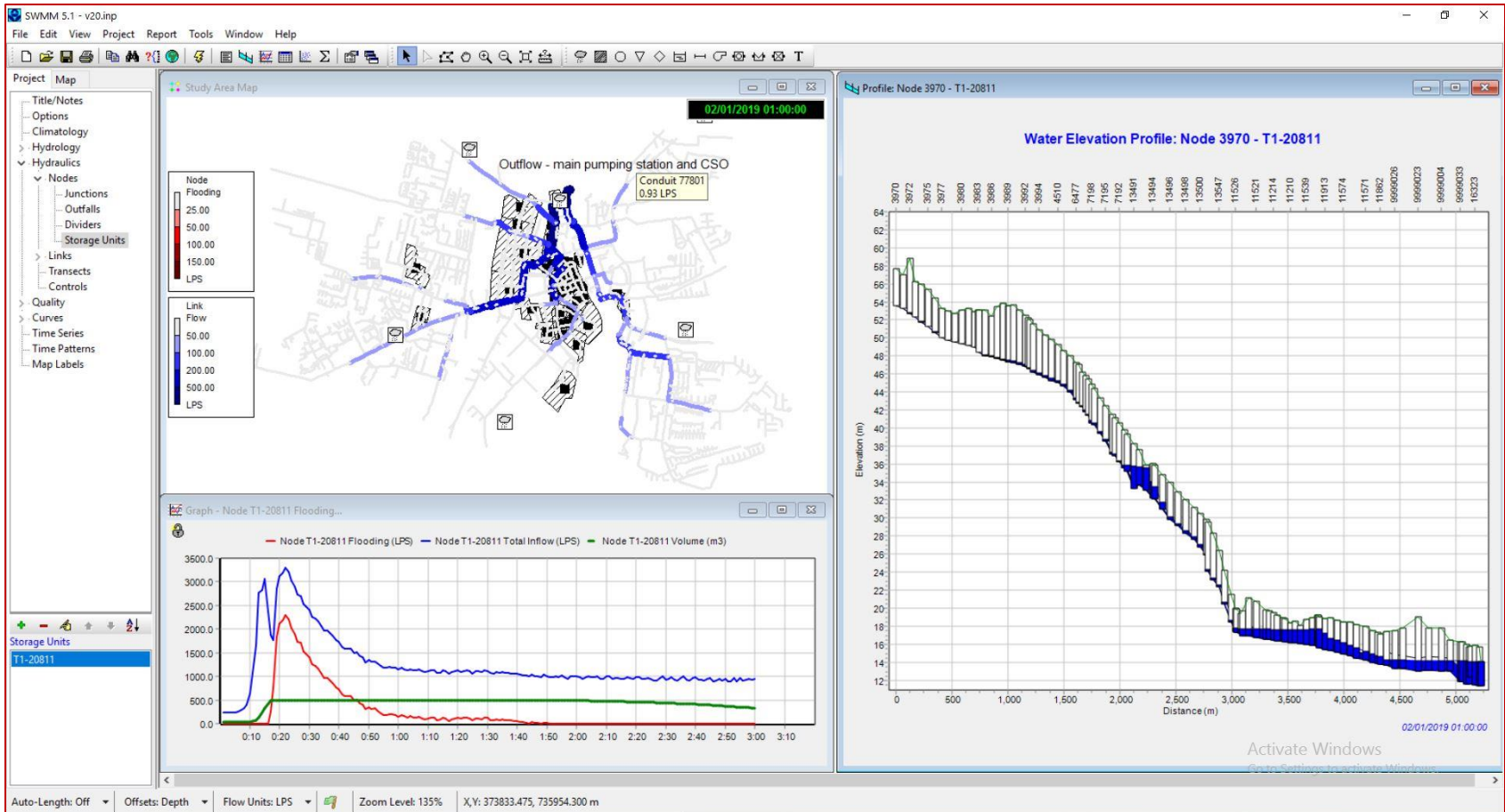
- Infiltracja
- Ścieki (w przypadku ogólnospławnej):
  - Optymalnie z zachowaniem zróżnicowania czasowego i przestrzennego
  - Może wymagać danych o zużyciu wody oraz o dopływach do oczyszczalni w okresach bezopadowych



## Wdrożenie narzędzia EWL w Słupsku

- Przygotowanie modelu hydraulicznego

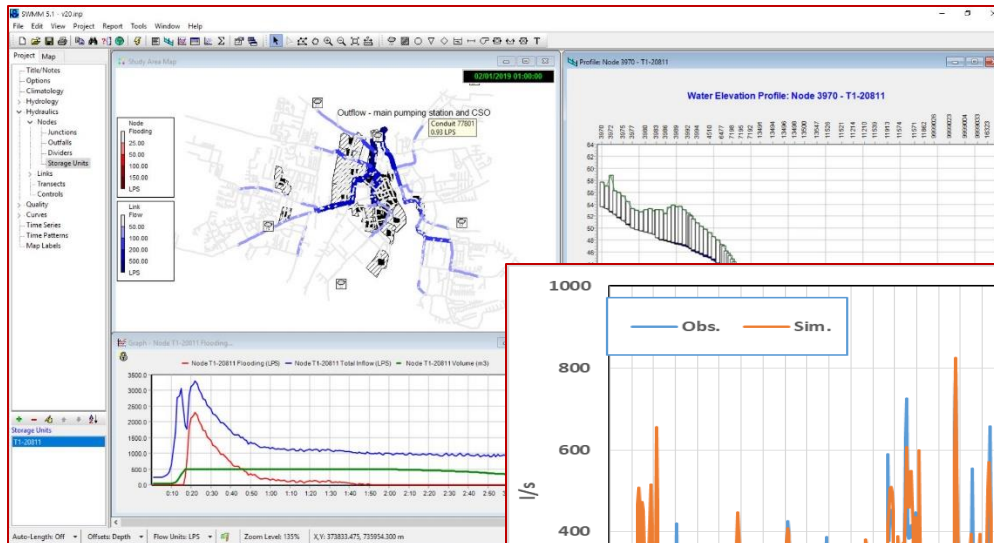
Na potrzeby EWL użyto modelu Storm Water Management Model (SWMM)



## Wdrożenie narzędzia EWL w Słupsku

- Przygotowanie modelu hydraulicznego

Na potrzeby EWL użyto modelu Storm Water Management Model (SWMM)



Walidacja modelu oparta była o godzinowe obserwacje dopływu do oczyszczalni.

Wyniki walidacji:

Okres bezopadowy:

- $R=0.74$
- $NSE=0.55$

Dni z opadem:

- $R=0.83$
- $NSE=0.63$

## Wdrożenie narzędzia EWL w Słupsku

- Wybór scenariuszy zmian klimatu i przygotowanie danych dot. opadów

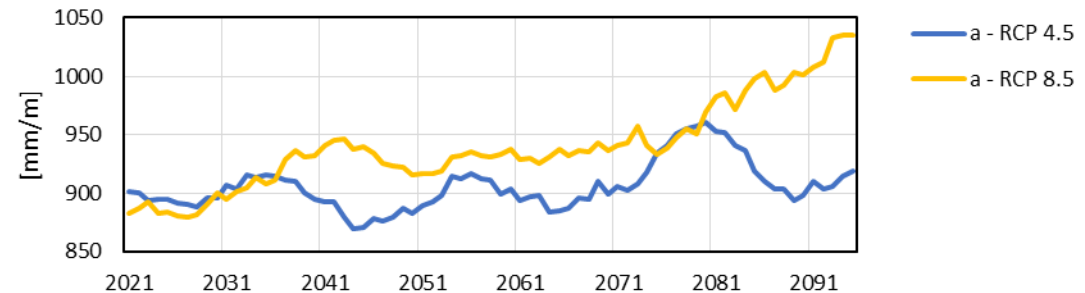
Scenariusze zmian klimatu użyte na potrzeby analiz dla Słupska\*:

- RCP 4.5 & RCP 8.5
- Dwa okresy:  
2051-2060  
2091-2100

Charakterystyka analizowanych opadów:

- Czas trwania: 20 minut
- Prawdopodobieństwo wystąpienia:  
 $p = 50\%$  and  $p = 5\%$   
(raz na 2 lata i na 20 lat)

\* Na podst. Wyników projektu pn. „Baza wiedzy o zmianach klimatu i adaptacji do ich skutków oraz kanałów jej upowszechniania w kontekście zwiększania odporności gospodarki, środowiska i społeczeństwa na zmiany klimatu oraz przeciwdziałania i minimalizowania skutków nadzwyczajnych zagrożeń” (KLIMADA 2.0: <https://klimada2.ios.gov.pl/o-projekcie/>)



P	Scenariusz	Opad [mm]
50%	Aktualny	12.11
	RCP 4.5 2051-2060	12.58
	RCP 4.5 2091-2100	13.75
	RCP 8.5 2051-2060	14.39
	RCP 8.5 2091-2100	16.38
5%	Aktualny	23.31
	RCP 4.5 2051-2060	24.58
	RCP 4.5 2091-2100	25.79
	RCP 8.5 2051-2060	27.55
	RCP 8.5 2091-2100	29.09



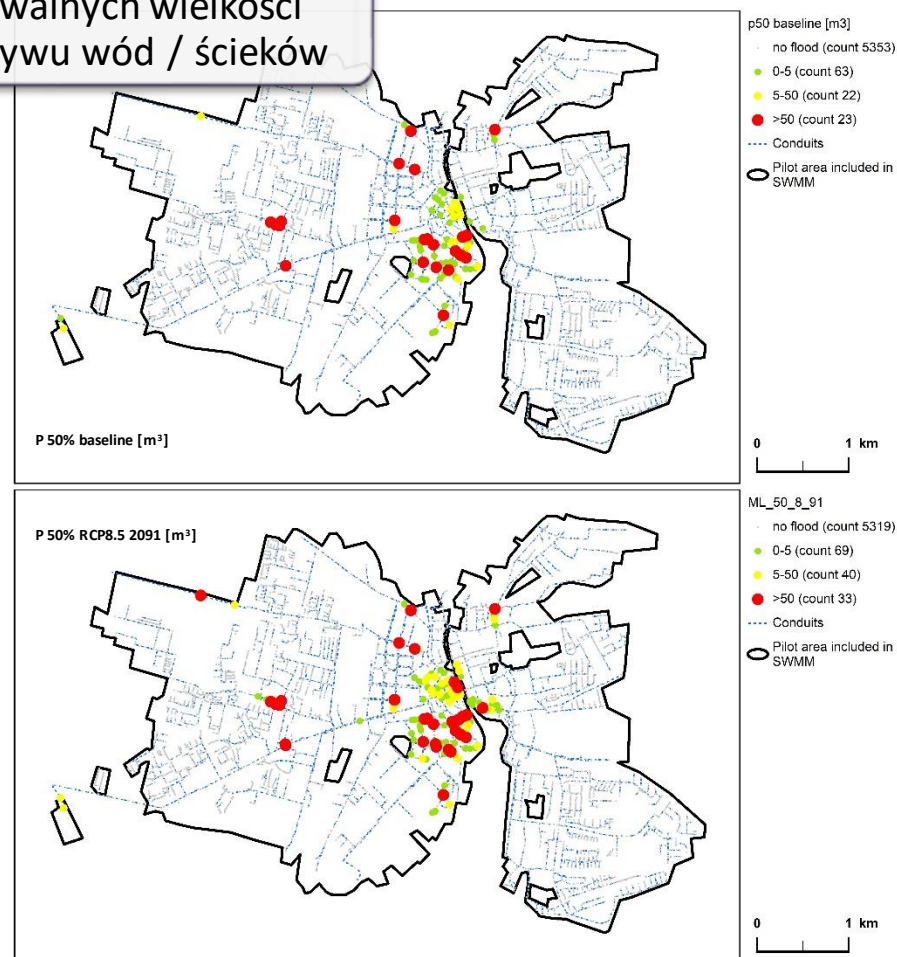
## Użycie narzędzia EWL w Słupsku

- Identyfikacja miejsc zagrożonych podtopieniem
- Określenie klas ryzyka na podstawie akceptowalnych wielkości natężenia, objętości oraz czasu trwania wypływu wód / ścieków

Przykład wizualizacji wyników EWL:

- Liczba studzienek zagrożonych podtopieniem w trójstopniowej klasie ryzyka opartej o natężenie wypływu wód

P	Scenariusz	Klasa ryzyka - całkowity odpływ [m <sup>3</sup> ]		
		0-1	1-10	>10
50%	Aktualny	63	22	24
	RCP 4.5 2051-2060	60	26	26
	RCP 4.5 2091-2100	68	27	29
	RCP 8.5 2051-2060	70	32	30
	<b>RCP 8.5 2091-2100</b>	69	40	34
5%	Aktualny	89	46	51
	RCP 4.5 2051-2060	91	47	53
	RCP 4.5 2091-2100	94	45	55
	RCP 8.5 2051-2060	103	43	60
	RCP 8.5 2091-2100	102	42	64

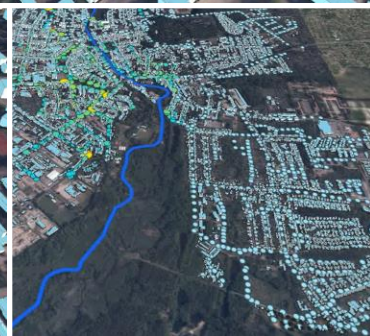
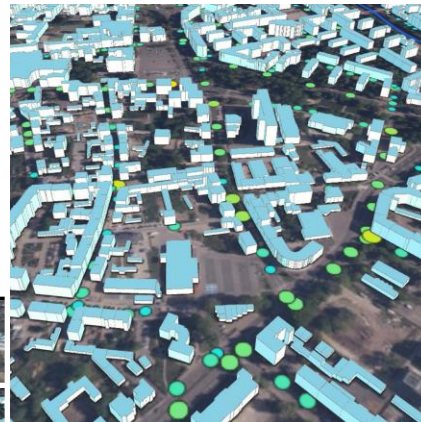


## Użycie narzędzia EWL w Słupsku

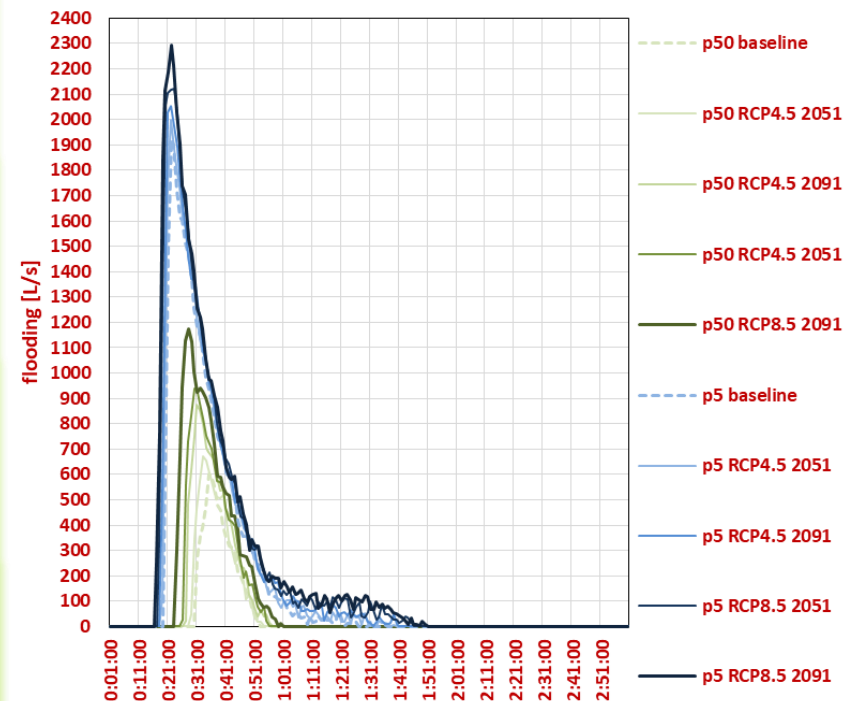
- Identyfikacja miejsc zagrożonych podtopieniem
- Określenie klas ryzyka na podstawie akceptowalnych wielkości natężenia, objętości oraz czasu trwania wypływu wód / ścieków

Przykład wizualizacji wyników EWL:

- Wizualizacja obszarów zagrożonych na tle modelu wysokości terenu i ortofotomapy (3d)



- Natężenie przelewu do Słupi w różnych scenariuszach zmian klimatu



## Użycie narzędzia EWL w Słupsku

- Inne możliwości użycia EWL (i szczególnie modelu hydraulicznego)

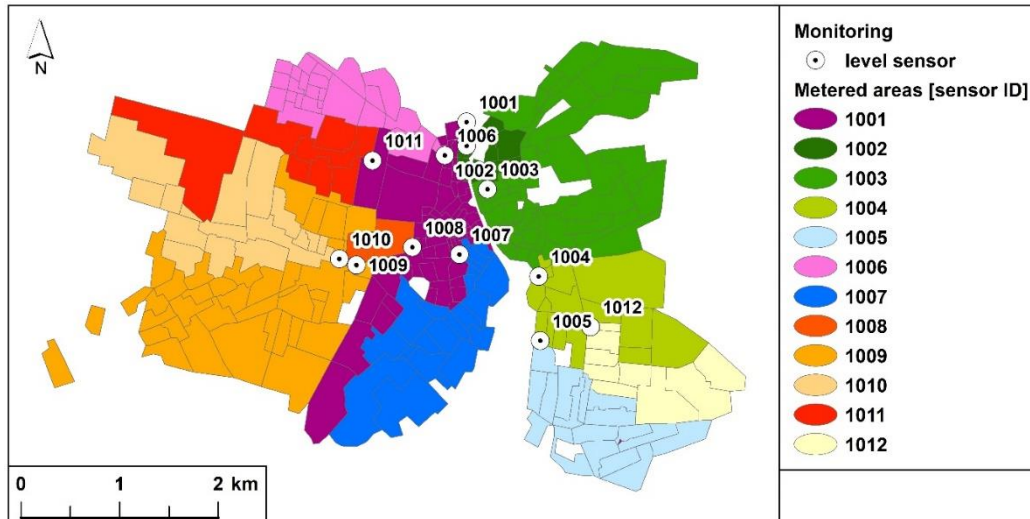
W miastach, gdzie występuje kanalizacja ogólnospławna i / lub duża infiltracja skutki intensywnych opadów mogą obejmować:

- Podtopienia i przelewy
- + zwiększony dopływ do oczyszczalni ścieków

Gdzie i kiedy następują największe dopływy?

31.4% całkowitego dopływu do oczyszczalni to pochodne opadu

Mapa zlewni, dla których wykonano obliczenia



Wyniki

Zlewnia	Udział infiltracji i spływu w całkowitym przepływie generowanym w poszczególnych zlewniach i miesiącach [%]												Rok
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1001	59	57	51	33	47	33	25	40	34	57	45	48	46.0
1002	13	12	14	7	2	0	0	0	0	12	10	9	4.7
1003	32	31	33	28	22	19	10	20	18	30	30	28	25.6
1004	35	37	37	27	28	19	22	23	26	34	28	30	29.3
1005	33	35	35	26	26	17	19	21	25	32	28	28	27.5
1006	43	43	41	27	34	24	23	28	30	42	34	35	34.4
1007	53	54	49	31	46	31	43	33	38	53	41	44	44.1
1008	50	52	52	46	43	38	38	39	42	50	50	48	46.2
1009	36	38	38	30	27	19	15	21	27	36	35	32	30.4
1010	33	35	35	28	24	16	10	18	23	32	31	29	26.9
1011	27	29	29	19	17	10	6	12	16	27	25	22	20.7
1012	34	36	37	28	27	18	20	22	26	33	29	30	28.9

## Użycie narzędzia EWL w Słupsku

- Inne możliwości użycia EWL (i szczególnie modelu hydraulicznego)

Ocena efektywności zmiany zagospodarowania terenu.

Scenariusz uwzględniający retencję wód opadowych zgodnie z regulacjami przyjętymi w Gdańsku\*:

- 30 mm spływu jest retencjonowane.
- Retencję założono jedynie na obszarach, gdzie występuje powierzchnia nieprzepuszczalna w zlewniach obejmujących kanalizację ogólnospławną.

Probability	Scenario	Decrease in the flooding volume [%]	
		Total flooding in Słupsk	Overflow to the Słupia River
50%	Current	79	100
	RCP 4.5 2051-2060	76	100
	RCP 4.5 2091-2100	73	100
	RCP 8.5 2051-2060	71	100
	RCP 8.5 2091-2100	67	100
5%	Current	57	84
	RCP 4.5 2051-2060	55	79
	RCP 4.5 2091-2100	54	75
	RCP 8.5 2051-2060	52	69
	RCP 8.5 2091-2100	50	60

\* Należy przewidzieć objętość obiektów retencyjnych odpowiadającą sumie opadu 30 mm, który spada na powierzchnie uszczelnione podłączone do kanalizacji deszczowej (60 mm dla powierzchni niepodłączonych).

Należy dążyć do zagospodarowania 30 mm opadu w systemach zielonej retencji w przypadku przebudowywanej drogi publicznej jak i realizowanych nowych układów drogowych. (źródło: <http://www.gdmel.pl/dla-inwestorow/wytyczne-dla-projektantow>)



## Użycie narzędzia EWL w Słupsku

- Inne możliwości użycia EWL (i szczególnie modelu hydraulicznego)

Ocena efektywności zmiany zagospodarowania terenu.

Scenariusz uwzględniający retencję wód opadowych zgodnie z regulacjami przyjętymi w Gdańsku\*:

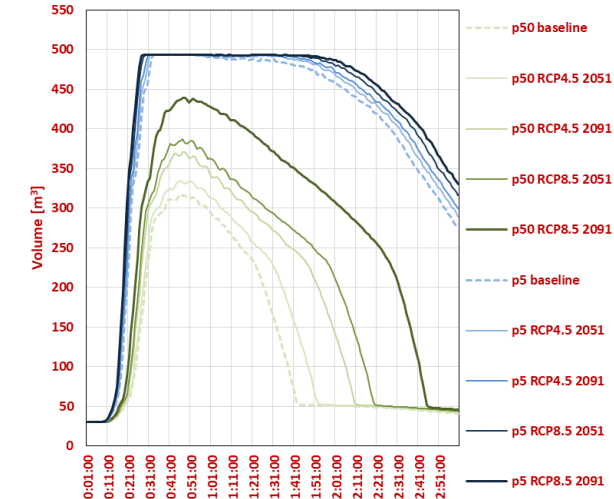
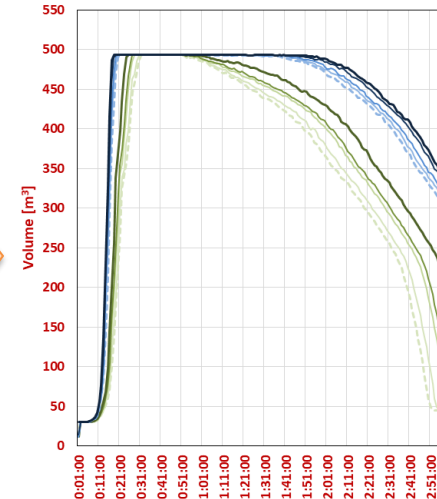
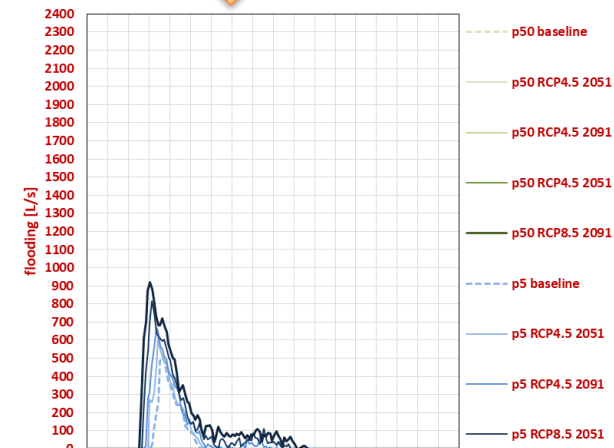
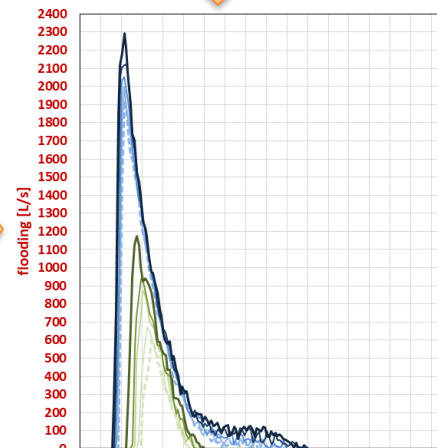
- 30 mm spływu jest retencjonowane.
- Retencję założono jedynie na obszarach, gdzie występuje powierzchnia nieprzepuszczalna w zlewniach obejmujących kanalizację ogólnospławną.

Przelew do Słupi

Woda / ścieki zgromadzone w zbiorniku przed przelewem

Aktualne zagospodarowanie

Retencja opadu (30 mm) w części zlewni







**GDAŃSK UNIVERSITY  
OF TECHNOLOGY**



**HISTORY IS WISDOM  
FUTURE IS CHALLENGE**