

## Mapy ryzyka systemu zaopatrzenia w wodę miasta Płocka

*Stanisław Biedugnis, Mariusz Smolarkiewicz,  
Paweł Podwójci, Andrzej Czapczuk  
Politechnika Warszawska*

### 1. Wstęp

W artykule zawartym w niniejszej zbiorczej publikacji pt. „Mapy ryzyka funkcjonowania rozległych systemów technicznych” przedstawiono ideę stosowania i rozpowszechniania technicznych map ryzyka. W niniejszym opracowaniu przedstawiony został przykład zastosowania niniejszych map dla systemu zaopatrzenia w wodę miasta Płocka.

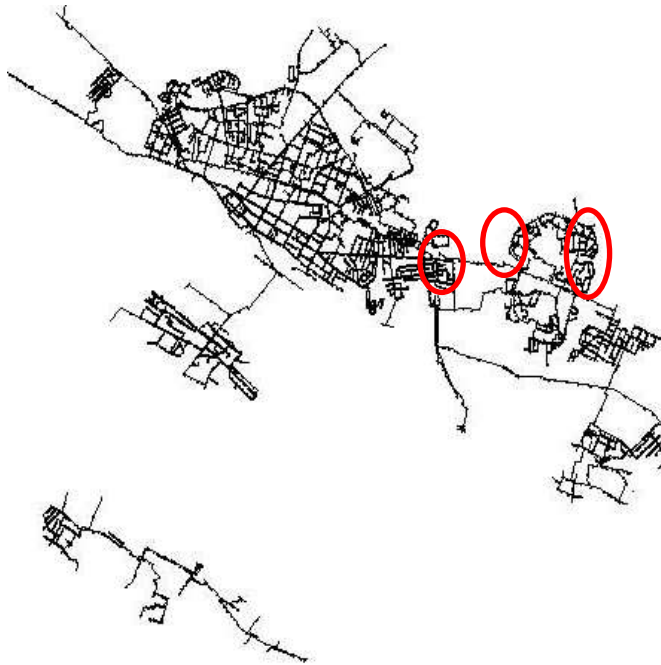
### 2. Sieć wodociągowa Miasta Płocka

Materiały badawcze dostarczone przez przedsiębiorstwo „Wodociągi Płockie” Sp. z o.o. zostały wykorzystane do przygotowania „praktycznej” mapy ryzyka. Dla celów lepszego przedstawienia wyników pracy w procesie tworzenia cząstkowych praktycznych map ryzyka wykorzystano trzy fragmenty sieci wodociągowej miasta Płocka o nazwach: F-1, F-2 i F-3.

### 3. Forma prezentacji wyników

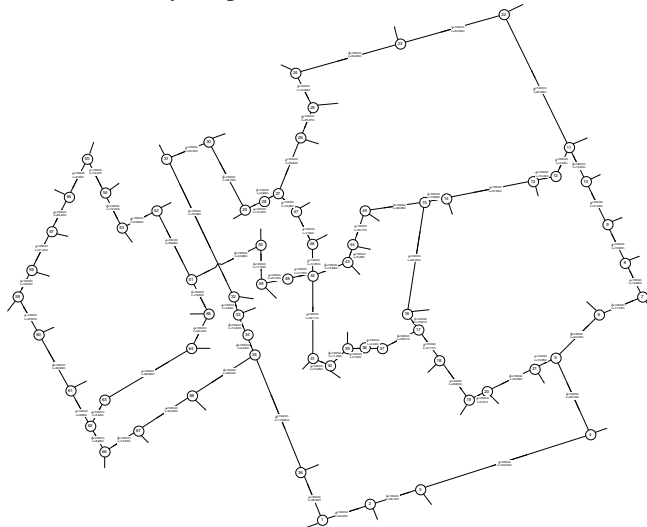
Na wstępie pkt. 3 artykułu należy zauważyć, że zaprezentowane w pracy wyniki tabelaryczne zostały przedstawione tylko w formie fragmentarycznej. Takie podejście podyktowane było chęcią zachowania przejrzystości opracowania. Natomiast mapy ryzyka zostały przedstawione w dwojaki sposób:

- w postaci wykresów,
- w postaci wizualnych map.

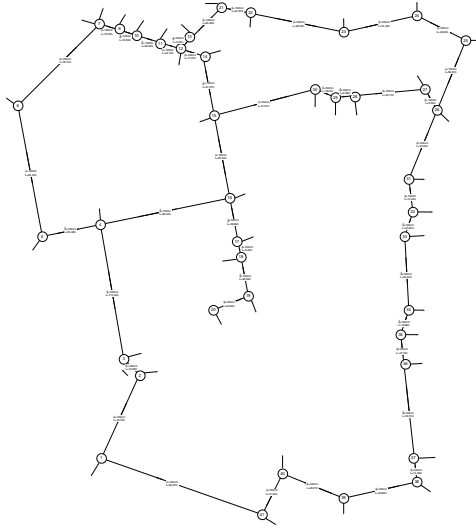


**Rys. 1.** Położenie analizowanych trzech fragmentów sieci wodociągowej: F-1,F-2,F-3;  
*źródło: Wojtaś, 2002*

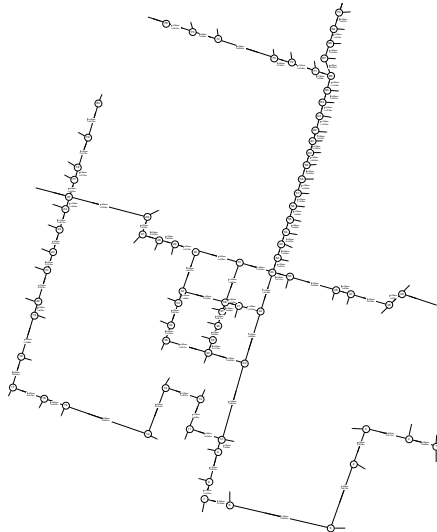
**Fig. 1.** Location of three analyzed parts of water network: F-1,F-2,F-3



**Rys. 2.** Fragment sieci wodociągowej Płocka: F-1; *źródło: Wojtaś, 2002*  
**Fig. 2.** Part F-1 of Płock water network



**Rys. 3.** Fragment sieci wodociągowej Płocka: F-2; *źródło: Wojtaś, 2002*  
**Fig. 3.** Part F-2 of Płock water network

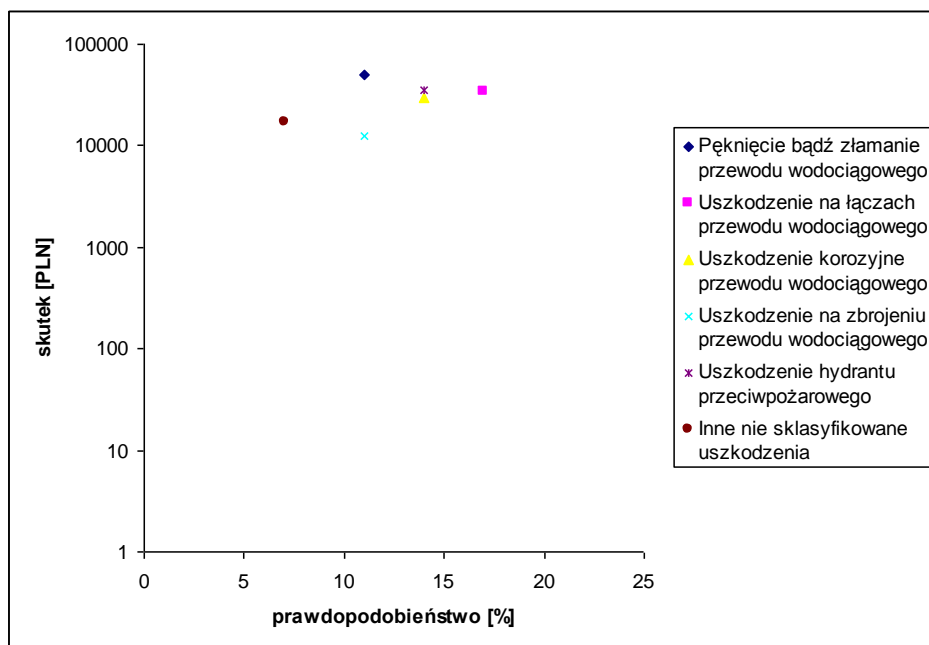


**Rys. 4.** Fragment sieci wodociągowej Płocka: F-3; *źródło: Wojtaś, 2002*  
**Fig. 4.** Part F-3 of Płock water network

Dwoistość form map ryzyka podyktowana była podejściem innych autorów do omawianego zagadnienia. Część autorów - szczególnie tych, którzy odnoszą się do map ryzyka w ujęciu eksperckim, w swoich rozważaniach stosuje mapy ryzyka w postaci wykresów i matrycy „sygnalizacji świetlnej”. Natomiast autorzy, którzy w swoich rozważaniach stosują mapy ryzyka do zarządzania bezpieczeństwem, używają formy wizualnych map.

W artykule wyniki przedstawiono w postaci trzech wariantów obliczeniowych: **fragment F-1, fragment F-2, fragment F-3**. Każdy z wariantów przedstawiony został w postaci **wyników: tabelarycznych** (fragment tabeli wyników obliczeniowych), **wykresów mapy ryzyka i wizualnej mapy ryzyka**.

#### 4. Wyniki obliczeń map ryzyka „fragmentu F-1”

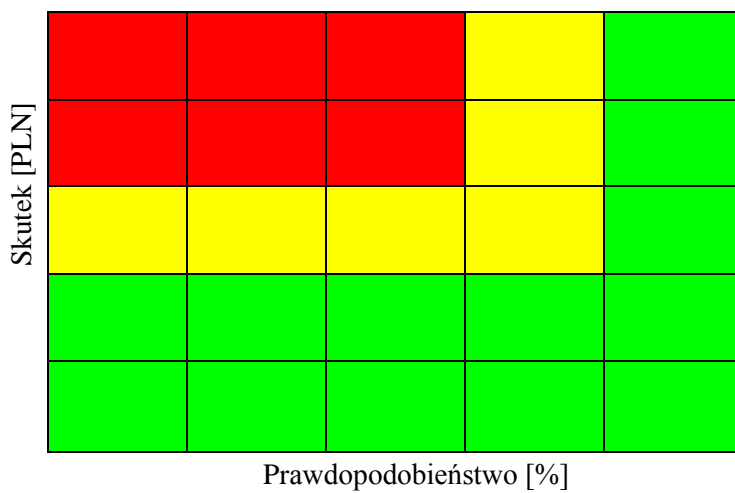


**Rys. 5.** Wykres mapy ryzyka. Fragment F-1; *źródło: materiały własne*

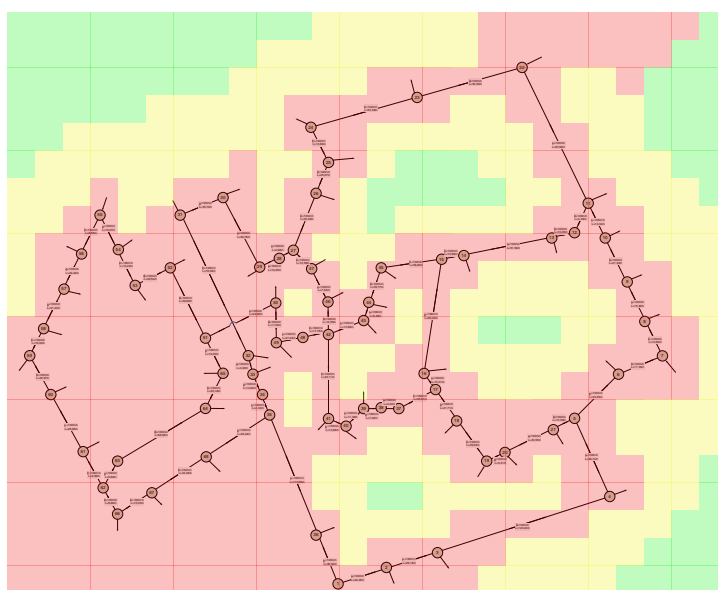
**Fig. 5.** Chart of risk map. Part F-1

**Tabela 1.** Wyniki tabelaryczne. Fragment F-1; *źródło: materiały własne***Table 1.** Tabulated results. Part F-1

Lp.	Nr ID	Typ opisywanego elementu	Wysokość n.p.m., m	Ciśnienie piezomet., m	Ciśnienie, m	$K_g$	$\ominus$	$T_{pb}$ , d	$T_o$ , h	$T_{on}$ , h	$\mu$ , h <sup>-1</sup>
1	5	Węzeł	117,23	203,36	86,13	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
2	6	Węzeł	117,23	203,36	86,13	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
3	8	Węzeł	117,23	203,36	86,13	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
4	10	Węzeł	117,23	203,36	86,13	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
5	13	Węzeł	117,23	203,36	86,13	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
6	16	Węzeł	117,23	203,36	86,13	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
7	17	Węzeł	117,23	203,36	86,13	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
8	20	Węzeł	117,23	203,36	86,13	0,9967	0,0033	2190	172	12	0,0208
9	23	Węzeł	117,23	203,36	86,13	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
10	30	Węzeł	117,03	203,36	86,33	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
11	31	Węzeł	117,03	203,36	86,33	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
12	32	Węzeł	117,03	203,36	86,33	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
13	36	Węzeł	117,03	203,36	86,33	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
14	38	Węzeł	117,03	203,36	86,33	0,9948	0,0052	1825	230	12	0,0208
15	43	Węzeł	107,73	203,36	95,63	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
16	53	Węzeł	102,47	166,86	64,39	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
17	54	Węzeł	102,26	166,86	64,6	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
18	56	Węzeł	103,39	166,87	63,48	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
19	57	Węzeł	102,47	166,86	64,39	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
20	60	Węzeł	103,39	166,87	63,48	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
21	64	Węzeł	102,47	166,86	64,39	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
22	67	Węzeł	102,47	166,86	64,39	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
23	68	Węzeł	107,73	203,36	95,63	0,9965	0,0035	2190	186	12	0,0208
24	70	Węzeł	102,26	166,86	64,6	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
25	71	Węzeł	102,26	166,86	64,6	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
26	74	Węzeł	102,47	166,86	64,39	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
27	75	Węzeł	103,39	166,87	63,48	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
28	76	Węzeł	102,26	166,86	64,6	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
29	87	Węzeł	102,47	166,86	64,39	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
30	97	Węzeł	102,47	166,86	64,39	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
31	98	Węzeł	102,47	166,86	64,39	0,9973	0,0027	2920	188	12	0,0208
32	98	Węzeł	102,26	166,86	64,6	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
1	5	Węzeł	117,23	203,36	86,13	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208



**Rys. 6.** Matryca „sygnalizacji świetlnej” – fragment F-1; *źródło: materiały własne*  
**Fig. 6.** “Light signalling” matrix – part F-1



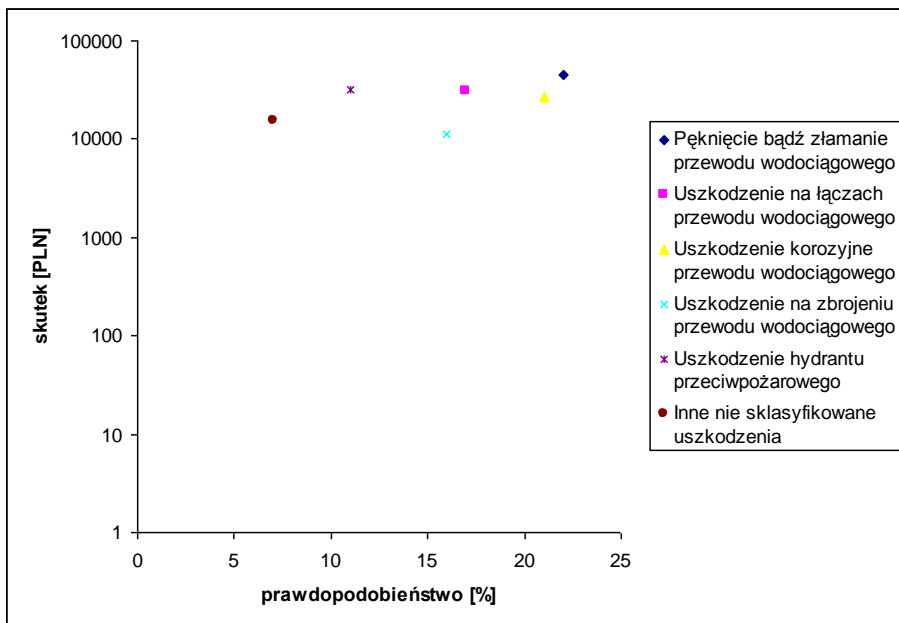
**Rys. 7.** Wizualna mapa ryzyka – fragment F-1; *źródło: materiały własne*  
**Fig. 7.** Visual risk map – part F-1

## 5. Wyniki obliczeń map ryzyka „fragmentu F-2”

Tabela 2. Wyniki tabelaryczne fragment F-2; źródło: materiały własne

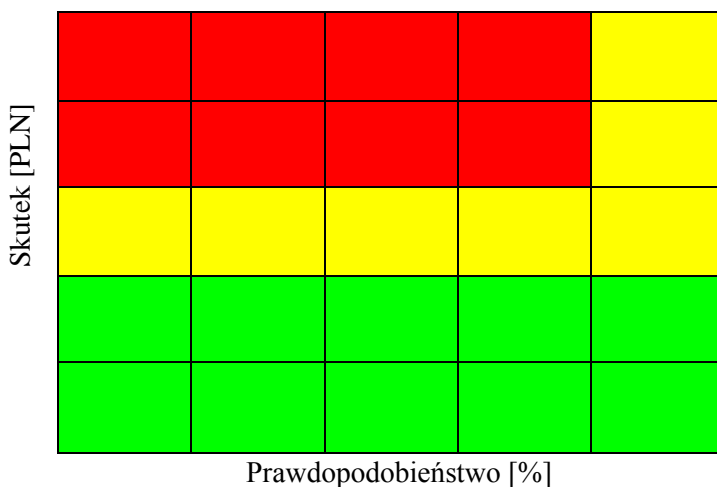
Table 2. Tabulated results. Part F-2

Lp.	Nr ID	Typ opisywanego elementu	Wysokość n.p.m., m	Cisnienie piezomet., m	Cisnienie, m	$K_g$	$\omega$	$T_{pb}, d$	$T_o, h$	$T_{om}, h$	$\mu, h^{-1}$
1	12	Węzeł	116,63	197,56	80,93	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
2	6	Węzeł	102,07	161,06	58,99	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
3	8	Węzeł	101,86	161,06	59,2	0,9967	0,0033	2190	172	12	0,0208
4	10	Węzeł	102,07	161,06	58,99	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
5	13	Węzeł	102,99	161,07	58,08	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
6	16	Węzeł	102,07	161,06	58,99	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
7	17	Węzeł	102,07	161,06	58,99	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
8	20	Węzeł	101,86	161,06	59,2	0,9967	0,0033	2190	172	12	0,0208
9	23	Węzeł	117,83	198,56	80,73	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
10	30	Węzeł	116,63	197,56	80,93	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
11	31	Węzeł	116,63	197,56	80,93	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
12	32	Węzeł	116,63	197,56	80,93	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
13	36	Węzeł	116,63	197,56	80,93	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
14	38	Węzeł	116,63	197,56	80,93	0,9948	0,0052	1825	230	12	0,0208
15	43	Węzeł	107,33	197,56	90,23	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
16	53	Węzeł	102,07	161,06	58,99	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
17	54	Węzeł	101,86	161,06	59,2	0,9967	0,0033	2190	172	12	0,0208
18	56	Węzeł	102,99	161,07	58,08	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
19	57	Węzeł	102,07	161,06	58,99	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
20	60	Węzeł	102,99	161,07	58,08	0,9948	0,0052	1825	230	12	0,0208
21	64	Węzeł	102,07	161,06	58,99	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
22	67	Węzeł	102,07	161,06	58,99	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
23	68	Węzeł	107,33	197,56	90,23	0,9965	0,0035	2190	186	12	0,0208
24	70	Węzeł	101,86	161,06	59,2	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
25	71	Węzeł	101,86	161,06	59,2	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
26	74	Węzeł	102,07	161,06	58,99	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
27	75	Węzeł	102,99	161,07	58,08	0,9967	0,0033	2190	172	12	0,0208
28	76	Węzeł	101,86	161,06	59,2	0,9967	0,0033	2190	172	12	0,0208
29	87	Węzeł	102,07	161,06	58,99	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
30	97	Węzeł	102,07	161,06	58,99	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
31	98	Węzeł	102,07	161,06	58,99	0,9948	0,0052	1825	230	12	0,0208
32	98	Węzeł	101,86	161,06	59,2	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
1	12	Węzeł	116,63	197,56	80,93	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208



**Rys. 8.** Wykres mapy ryzyka – fragment F-2; *źródło: materiały własne*

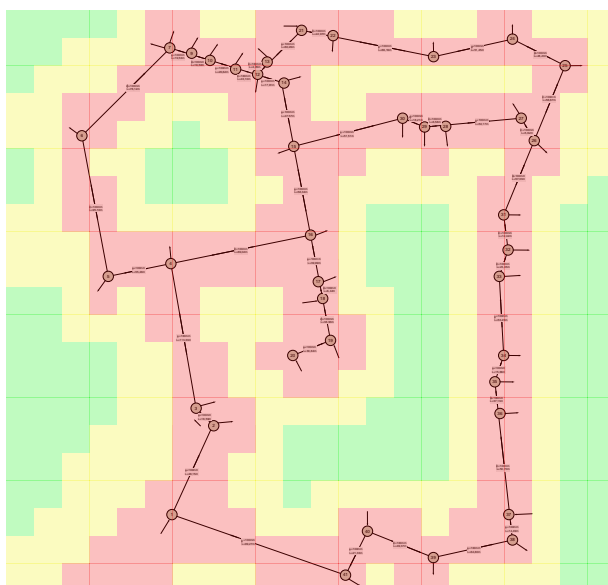
**Fig. 8.** Chart of risk map. Part F-2



**Rys. 9.** Matryca „sygnalizacji świetlnej” – fragment F-2; *źródło: materiały własne*

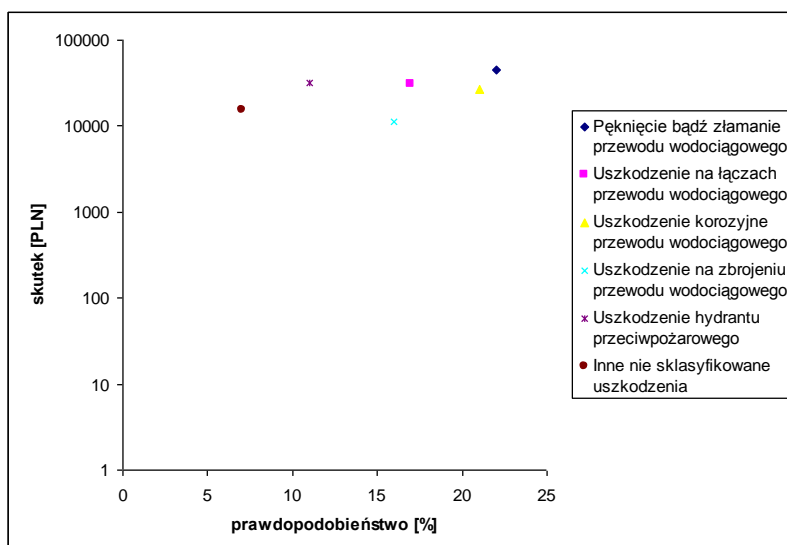
**Fig. 9.** “Light signalling” matrix – part F-2





**Rys. 10.** Wizualna mapa ryzyka – fragment F-2; *źródło: materiały własne*  
**Fig. 10.** Visual risk map – part F-2

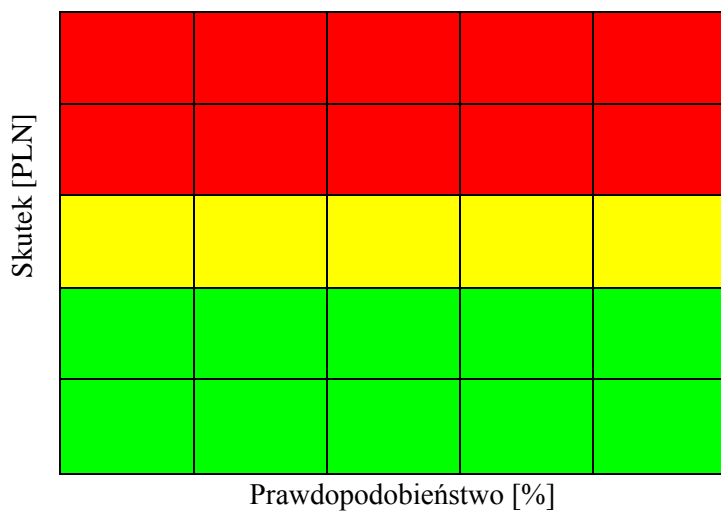
#### 4. Wyniki obliczeń map ryzyka „fragmentu F-3”



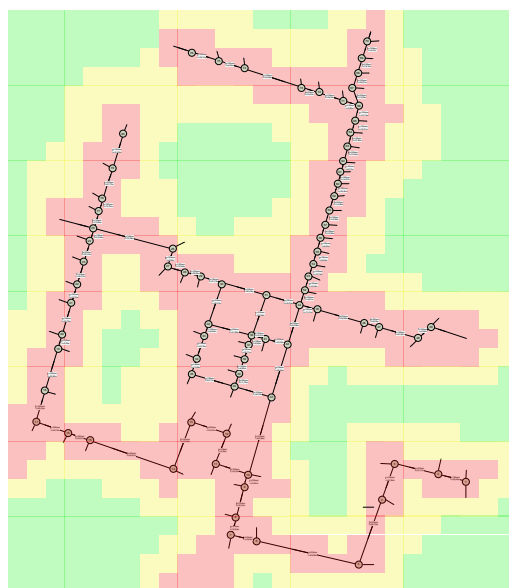
**Rys. 11.** Wykres mapy ryzyka – fragment F-3; *źródło: materiały własne*  
**Fig. 11.** Chart of risk map. Part F-3

**Tabela 3.** Wyniki tabelaryczne fragment F-3; *źródło: materiały własne***Table 3.** Tabulated results. Part F-3

Lp.	Nr ID	Typ opisywanego elementu	Wysokość n.p.m., m	Cisnienie piezomet., m	Cisnienie, m	$K_g$	$\ominus$	$T_{pb}$ , d	$T_o$ , h	$T_{on}$ , h	$\mu$ , h <sup>-1</sup>
1	17	Węzeł	114,05	193,26	79,21	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
2	16	Węzeł	99,49	156,76	57,27	0,9948	0,0052	1825	230	12	0,0208
3	14	Węzeł	99,28	156,76	57,48	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
4	12	Węzeł	99,49	156,76	57,27	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
5	11	Węzeł	100,41	156,77	56,36	0,9965	0,0035	2190	186	12	0,0208
6	9	Węzeł	99,49	156,76	57,27	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
7	5	Węzeł	99,49	156,76	57,27	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
8	2	Węzeł	99,28	156,76	57,48	0,9967	0,0033	2190	172	12	0,0208
9	1	Węzeł	115,25	194,26	79,01	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
10	8	Węzeł	114,05	193,26	79,21	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
11	9	Węzeł	114,05	193,26	79,21	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
12	10	Węzeł	114,05	193,26	79,21	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
13	14	Węzeł	114,05	193,26	79,21	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
14	16	Węzeł	114,05	193,26	79,21	0,9948	0,0052	1825	230	12	0,0208
15	21	Węzeł	104,75	193,26	88,51	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
16	31	Węzeł	99,49	156,76	57,27	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
17	32	Węzeł	99,28	156,76	57,48	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
18	34	Węzeł	100,41	156,77	56,36	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
19	35	Węzeł	99,49	156,76	57,27	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
20	38	Węzeł	100,41	156,77	56,36	0,9948	0,0052	1825	230	12	0,0208
21	42	Węzeł	99,49	156,76	57,27	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
22	45	Węzeł	99,49	156,76	57,27	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
23	46	Węzeł	104,75	193,26	88,51	0,9965	0,0035	2190	186	12	0,0208
24	48	Węzeł	99,28	156,76	57,48	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
25	49	Węzeł	99,28	156,76	57,48	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
26	52	Węzeł	99,49	156,76	57,27	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
27	53	Węzeł	100,41	156,77	56,36	0,9967	0,0033	2190	172	12	0,0208
28	54	Węzeł	99,28	156,76	57,48	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
29	65	Węzeł	99,49	156,76	57,27	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
30	75	Węzeł	99,49	156,76	57,27	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
31	76	Węzeł	99,49	156,76	57,27	0,9948	0,0052	1825	230	12	0,0208
32	76	Węzeł	99,28	156,76	57,48	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208
1	17	Węzeł	114,05	193,26	79,21	0,9976	0,0024	2920	168	12	0,0208



**Rys. 12.** Matrycy „sygnalizacji świetlnej” – fragment F-3; *źródło: materiały własne*  
**Fig. 12.** “Light signalling” matrix – part F-3



**Rys. 13.** Wizualna mapa ryzyka – fragment F-3; *źródło: materiały własne*  
**Fig. 13.** Visual risk map – part F-3

## 5. Podsumowanie

Na wstępie należy zauważyć, że wykonane w artykule mapy ryzyka są mapami cząstkowymi, obejmującymi w swojej strukturze nie wszystkie kluczowe elementy systemu zaopatrzenia w wodę i oparte na wybranych sześciu wskaźnikach eksperckich oceny.

W artykule oparto się na sześciu wskaźnikach oceny eksperckiej, którym przyporządkowano prawdopodobieństwa ich występowania oraz koszty skutków wywoływanych przez te wskaźniki (ryzyka techniczne). Wskaźniki te to:

- możliwość pęknięcia bądź złamanie przewodu wodociągowego,
- możliwość uszkodzenie na łączach przewodu wodociągowego,
- możliwość uszkodzenia korozyjnego przewodów wodociągowych,
- możliwość uszkodzenie na zbrojeniu przewodu wodociągowego,
- możliwość uszkodzenia hydrantu przeciwpożarowego,
- inne możliwości uszkodzeń nie sklasyfikowane w powyższych wskaźnikach.

W pracy oparto się także na podstawowych wskaźnikach niezawodnościowych systemu zaopatrzenia w wodę, które przedstawiono w postaci tabelarycznej.

Wskaźniki te to:

- wskaźniki gotowości  $K_g$ ,
- parametr strumienia uszkodzeń  $\omega$ . W przypadku zwyczajnego strumienia wskaźnik ten pokrywa się ze wskaźnikiem intensywności strumienia uszkodzeń  $\omega = \lambda$ ,
- średni czas bezawaryjnej pracy  $T_{pb}$  [d],
- średni czas odnowy  $T_o$  [h],
- średni czas oczekiwania na naprawę  $T_{on}$  [h],
- intensywność odnowy  $\mu$  [ $h^{-1}$ ].

Analiza podstawowych wskaźników niezawodnościowych systemu zaopatrzenia w wodę wykazała, że istnieją w zbiorze wszystkich przewodów wodociągowych takie przewody, których poziom niezawodności w sposób diametralny odbiega od pozostałych – tabele 4÷6.

**Tabela 4.** Wyniki tabelaryczne. Fragment F-1; *źródło: materiały własne***Table 4.** Tabulated results. Part F-1

Lp.	Nr ID	Typ opisywanego elementu	Wysokość n.p.m., m	Ciśnienie piezomet., m	Ciśnienie, m	$K_g$	$\omega$	$T_{pb}, d$	$T_o, h$	$T_{on}, h$	$\mu, h^{-1}$
8	20	Węzeł	117,23	203,36	86,13	0,9967	0,0033	2190	172	12	0,0208
14	38	Węzeł	117,03	203,36	86,33	0,9948	0,0052	1825	230	12	0,0208
23	68	Węzeł	107,73	203,36	95,63	0,9965	0,0035	2190	186	12	0,0208
31	98	Węzeł	102,47	166,86	64,39	0,9973	0,0027	2920	188	12	0,0208

**Tabela 5.** Wyniki tabelaryczne. Fragment F-2; *źródło: materiały własne***Table 5.** Tabulated results. Part F-2

Lp.	Nr ID	Typ opisywanego elementu	Wysokość n.p.m., m	Ciśnienie piezomet., m	Ciśnienie, m	$K_g$	$\omega$	$T_{pb}, d$	$T_o, h$	$T_{on}, h$	$\mu, h^{-1}$
3	8	Węzeł	101,86	161,06	59,2	0,9967	0,0033	2190	172	12	0,0208
8	20	Węzeł	101,86	161,06	59,2	0,9967	0,0033	2190	172	12	0,0208
14	38	Węzeł	116,63	197,56	80,93	0,9948	0,0052	1825	230	12	0,0208
17	54	Węzeł	101,86	161,06	59,2	0,9967	0,0033	2190	172	12	0,0208
20	60	Węzeł	102,99	161,07	58,08	0,9948	0,0052	1825	230	12	0,0208
23	68	Węzeł	107,33	197,56	90,23	0,9965	0,0035	2190	186	12	0,0208
27	75	Węzeł	102,99	161,07	58,08	0,9967	0,0033	2190	172	12	0,0208
28	76	Węzeł	101,86	161,06	59,2	0,9967	0,0033	2190	172	12	0,0208
31	98	Węzeł	102,07	161,06	58,99	0,9948	0,0052	1825	230	12	0,0208

**Tabela 6.** Wyniki tabelaryczne. Fragment F-3; *źródło: materiały własne***Table 6.** Tabulated results. Part F-3

Lp.	Nr ID	Typ opisywanego elementu	Wysokość n.p.m., m	Ciśnienie piezomet., m	Ciśnienie, m	$K_g$	$\ominus$	$T_{pb}, d$	$T_o, h$	$T_{on}, h$	$\mu, h^{-1}$
2	16	Węzeł	99,49	156,76	57,27	0,9948	0,0052	1825	230	12	0,0208
5	11	Węzeł	100,41	156,77	56,36	0,9965	0,0035	2190	186	12	0,0208
8	2	Węzeł	99,28	156,76	57,48	0,9967	0,0033	2190	172	12	0,0208
14	16	Węzeł	114,05	193,26	79,21	0,9948	0,0052	1825	230	12	0,0208
20	38	Węzeł	100,41	156,77	56,36	0,9948	0,0052	1825	230	12	0,0208
23	46	Węzeł	104,75	193,26	88,51	0,9965	0,0035	2190	186	12	0,0208
27	53	Węzeł	100,41	156,77	56,36	0,9967	0,0033	2190	172	12	0,0208
31	76	Węzeł	99,49	156,76	57,27	0,9948	0,0052	1825	230	12	0,0208

Zebrane dodatkowe informacje o opisanych powyżej przewodach wodociągowych pozwalają sądzić że:

- są to przewody wykonane z innych materiałów niż okoliczne przewody sieci wodociągowej, co oznacza, że jako odmienny element systemu są bardziej awaryjne,
- są to przewody wodociągowe, które w czasie dotychczasowej eksploatacji podlegały cyklicznym i częstym naprawom, co oznacza, że znajdują się w niekorzystnym położeniu technicznym (poprzez niekorzystne położenie techniczne rozumiemy takie położenie przewodów wodociągowych, gdzie następuje intensywne oddziaływanie czynników niekorzystnych, np.: agresywne wody gruntowe, czy prądy błędzące).

Analizy wykonanych w pracy map ryzyka wykazały, że przyjęte w pracy wskaźniki eksperckie (ryzyka techniczne) w pełni nie opisały zagrożeń technicznych działających na system zaopatrzenia w wodę. Pozwalają jednak sądzić że:

- ryzyka techniczne bezpośrednio związane z siecią wodociągową wywołują zagrożenia o dość dużej częstotliwości i umiarkowanych skutkach finansowych,
- poziom ryzyka zaistnienia awarii, uszkodzenia systemu zaopatrzenia w wodę, maleje wraz z oddalaniem się do kluczowych, integralnych elementów systemu takich jak: pompownie, pompownie strefowe, zbiorniki wyrównawcze,

- w pierścieniach sieci wodociągowej o zwartym kształcie istnieje zwiększenie poziomu ryzyka technicznego zaistnienia awarii. Wynika to ze zwiększenia gęstości występowania armatury technicznej na omawianym obszarze,
- przewody wodociągowe o większych średnicach wywołują wzrost poziomu ryzyka technicznego zaistnienia awarii. Spowodowane jest to zwiększonym kosztem usuwania skutków awarii tego typu przewodów wodociągowych,
- sieci pierścieniowe w stosunku do sieci rozgałęzionych charakteryzują się niższym poziomem ryzyka technicznego zaistnienia awarii, przyczyną czego jest konstrukcja tych systemów,
- czułość mapy ryzyka bezpośrednio wpływa na możliwość merytorycznej oceny otrzymanych wyników.

## Literatura

1. **Aven T.:** *Reliability and Risk Analysis*. London and New York, Elsevier 1992.
2. **Denczew S.:** *Organizacyjne, techniczno-technologiczne oraz ekonomiczne możliwości usprawnienia zjawiska „uszkodzenie – usunięcie” w procesie eksploatacji układów wodociągowych*. Gaz, woda i technika sanitarna, nr 9/2003.
3. **Denczew S.:** *Wstępna analiza niezawodności zaopatrzenia w wodę m. st. Warszawy*. Gaz, Woda i Technika Sanitarna nr 7/99, Warszawa.
4. **Denczew S.:** *Organizacja i zarządzanie infrastrukturą komunalną w ujęciu systemowym*. Wydawnictwo SGSP, Warszawa 2006.
5. **Jaźwiński J., Ważyńska-Fiok K.:** *Bezpieczeństwo systemów*. Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1993.
6. **Opychal L.:** *Metoda analizy i oceny ryzyka awarii opracowana dla polskich budowli hydrotechnicznych*. Instytut MiGW, Warszawa 2005.
7. **Szopa T.:** *Podstawy modelowania bezpieczeństwa*. W materiałach z VI Symp. Bezpieczeństwa Systemów, Kiekrz 1996.
8. **Wieczysty A., Lubowiecka T., Iwanejko R.:** *Niezawodność człowieka w biotechnicznym systemie zaopatrzenia w wodę*. Materiały III Międzynarodowej (XV Krajowej) Konferencji Naukowo-Technicznej Zaopatrzenie w wodę miast i wsi, Poznań 1998, s. 9÷21.