

# Wykorzystanie możliwości GIS-u z punktu widzenia symulatora sieci płynowych na podstawie oprogramowania SimNet

## Using GIS capabilities from a fluid network simulator perspective based on SimNet software

Łukasz Kotyński<sup>\*)</sup>

**Słowa kluczowe:** *gis, sieci płynowe, symulacja*

### Streszczenie

Streszczenie: GIS jest niezbędnym narzędziem w każdym przedsiębiorstwie zajmującym się dystrybucją wody, ciepła czy gazu. Informacje pochodzące z tego systemu często są wykorzystywane przez symulatory sieci płynowych. W artykule zaprezentowano jakiego typu błędy mogą pojawić się przy pobieraniu danych z GIS-u. Został tutaj zaprezentowany wpływ układu współrzędnych na długości odcinków, wpływ dokładności danych wysokościowych na odczyt wysokości poszczególnych punktów w sieci czy zaprezentowano wpływ niedokładnego odwzorowania schematu sieci na późniejsze obliczenia hydrauliczne.

**Keywords:** *gis, fluid networks, simulation*

### Abstract

Abstract: GIS is an essential tool for any company involved in water, heat or gas distribution. Information from this system is often used by fluid network simulators. This article presents what types of errors can occur when extracting data from GIS. The influence of the coordinate system on the length of pipes, the influence of the accuracy of elevation data on the height reading of individual points in the network and the influence of an inaccurate representation of the network diagram on subsequent hydraulic calculations are presented here.

## 1. Wstęp

Każdemu właścicielowi czy operatorowi sieci ciepłowniczej, gazowej, wodociągowej lub każdej innej przyświeca jeden główny cel – dostarczyć każdemu odbiorcy usługi spełniające odpowiednie normy i wymagania. Dla sieci ciepłowniczej będzie to dostarczenie ciepła o odpowiedniej mocy i temperaturze tak, żeby podgrzać wodę na wymienniku instalacji CO, CWU i CT do odpowiedniej temperatury. Dla sieci gazowej dostarczenie gazu o odpowiednim ciśnieniu oraz kaloryczności. W przypadku sieci wodociągowej będzie to odpowiednie ciśnienie wody w instalacji. Poza tym podstawowym celem, kolejny cel to uzyskanie wysokiej rentowności przedsiębiorstwa, która związana jest również z optymalną pracą i obsługą sieci. W realizacji tych celów nieodłącznym narzędziem wspomagającym jest symulator sieci oraz GIS. Symulator SimNet pozwala na integrację z zewnętrznymi narzędziami GIS a sam bazuje na mapie wykorzystującej GIS, dzięki czemu uzyskujemy dwa narzędzie w ramach jednej aplikacji. Oprogramowanie SimNet [5] występuje w kilku wersjach, w zależności od symulowanego medium oraz rodzaju wykonywanej symulacji. Możemy wyróżnić m.in. następujące pakiety:

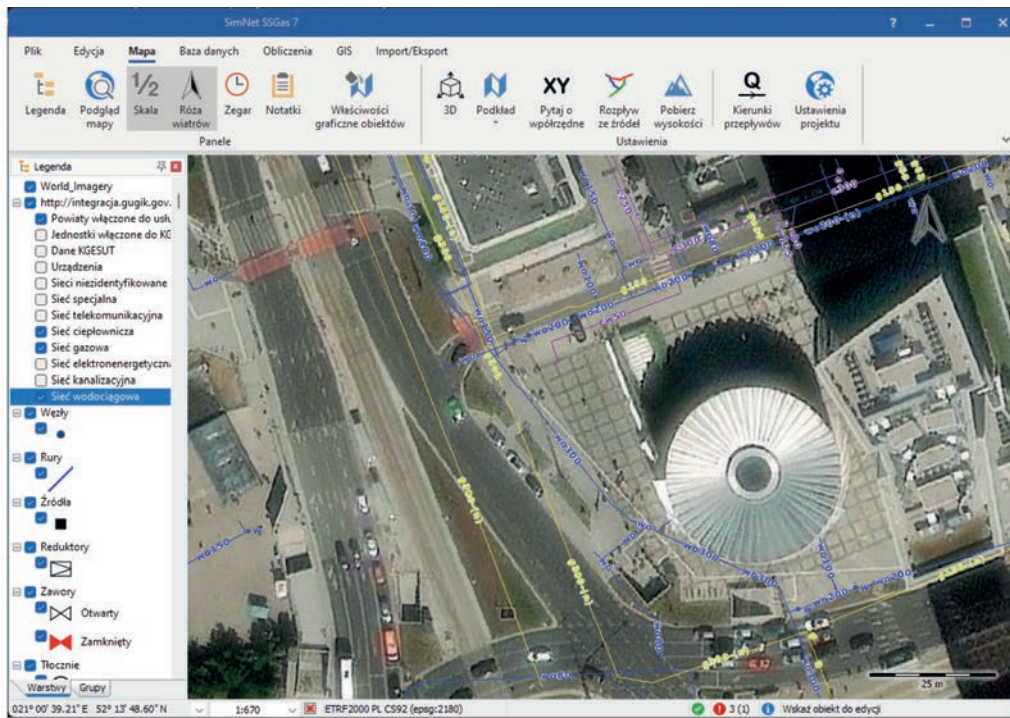
- SimNet SSHeat – symulator stanów ustalonych dla sieci ciepłowniczych,
- SimNet TSHeat – symulator stanów nieustalonych (zmiennych w czasie) dla sieci ciepłowniczej,
- SimNet SSGas – symulator stanów ustalonych dla sieci gazowej,
- SimNet TSGas – symulator stanów nieustalonych (zmiennych w czasie) dla sieci gazowej,
- SimNet SSWater – symulator stanów ustalonych dla sieci wodociągowej,

- SimNet TSWater – symulator stanów nieustalonych (zmiennych w czasie) dla sieci wodociągowej.

GIS (Geographic Information System) czyli System Informacji Geograficznej, to nie tylko oprogramowanie, które często jest rozumiane jako istota GIS-u. Na komponenty GIS-u składają się [6]:

- Dane – jeden z najistotniejszych komponentów. W skład danych wchodzi dane wektorowe, rastrowe, zdjęcia lotnicze i satelitarne oraz atrybuty opisujące konkretne obiekty. Bardzo istotne jest aby dane był dokładne i aktualne.
- Metody – są to wszelkiego rodzaju wytyczne, specyfikacje, procedury i standardy opisujące jak GIS ma być wdrażany, używany i aktualizowany.
- Oprogramowanie – zawiera w sobie zestaw funkcji oraz narzędzi wykorzystywanych do zapisywania, analizowania i wyświetlania danych. Będzie to więc samo oprogramowanie GIS, oprogramowanie systemów operacyjnych oraz baz danych a także oprogramowanie sieciowe.
- Sprzęt – to komputer z urządzeniami peryferyjnymi (drukarki, skanery, plotery, digitizery). W przypadku udostępniania dużych ilości danych przez sieć komputerową, sprzętem będzie również odpowiednio wydajny serwer.
- Ludzie – są nieodłącznym elementem GIS-u na każdym jego etapie tworzenia i użytkowania. Od momentu projektowania struktury bazy danych, przez wprowadzanie i weryfikację danych, ustalanie procedur i wytycznych, po wykorzystywanie GIS-u i tworzenie zaawansowanych zapytań w celu otrzymania konkretnych wyników.

<sup>\*)</sup> Łukasz Kotyński, dr inż., Zakład Systemów Ciepłowniczych i Gazowniczych, Politechnika Warszawska, ORCID: 0000-0002-3989-7762, lukasz.kotyński@pw.edu.pl



Rys.1 Widok interfejsu aplikacji SimNet SSGas z wyświetlonymi mapami z serwisów WMTS obrazujące zdjęcie terenu oraz sieci: wodociągową (linia niebieska), ciepłowniczą (linia fioletowa) oraz gazową (linia żółta)

Fig. 1. View of the SimNet SSGas application interface with displayed maps from WMTS services showing a snapshot of the site and networks: water (blue line), district heating (purple line) and gas (yellow line)

Zanim schematy sieci i dane dotyczące elementów jej wyposażenia trafiły do komputerów, były tworzone i trzymane na papierowych mapach. Komputeryzacja i rozwój GIS-u pozwoliły na znaczne przyspieszenie pracy z takimi danymi oraz dały cały szereg nowych możliwości związanych z obróbką danych. Wcześniejszy pojedynczy dostęp do danego arkusza mapy został zastąpiony przez wielodostęp, po podłączeniu do bazy danych. Wszelkie informacje mogą być teraz uzupełniane, weryfikowane i wykorzystywane przez wiele osób naraz. W celu wykluczenia różnych błędów i udzielenia użytkownikom konkretnych możliwości działania, na bazie zadziałają metody opracowane dla GIS-u (dotyczące praw dostępu czy weryfikacji wprowadzanych informacji).

## 2. Schemat sieci

Dane dotyczące schematów sieci, poza informacją prywatną danego przedsiębiorstwa, są również udostępniane w Internecie przez różne serwisy i instytucje. Informacje te pozwalają różnym branżom na projektowanie swoich sieci, bez wchodzenia w kolizję z innymi mediami. W Polsce dane udostępniane są np. przez Główny Urząd Geodezji i Kartografii, który za pomocą portalu internetowego [geoportal.gov.pl](http://geoportal.gov.pl) [7] udostępnia m.in. różne dane geodezyjne, istotne z punktu widzenia symulatora sieci. Dane udostępniane są za pomocą różnych typów serwisów takich jak:

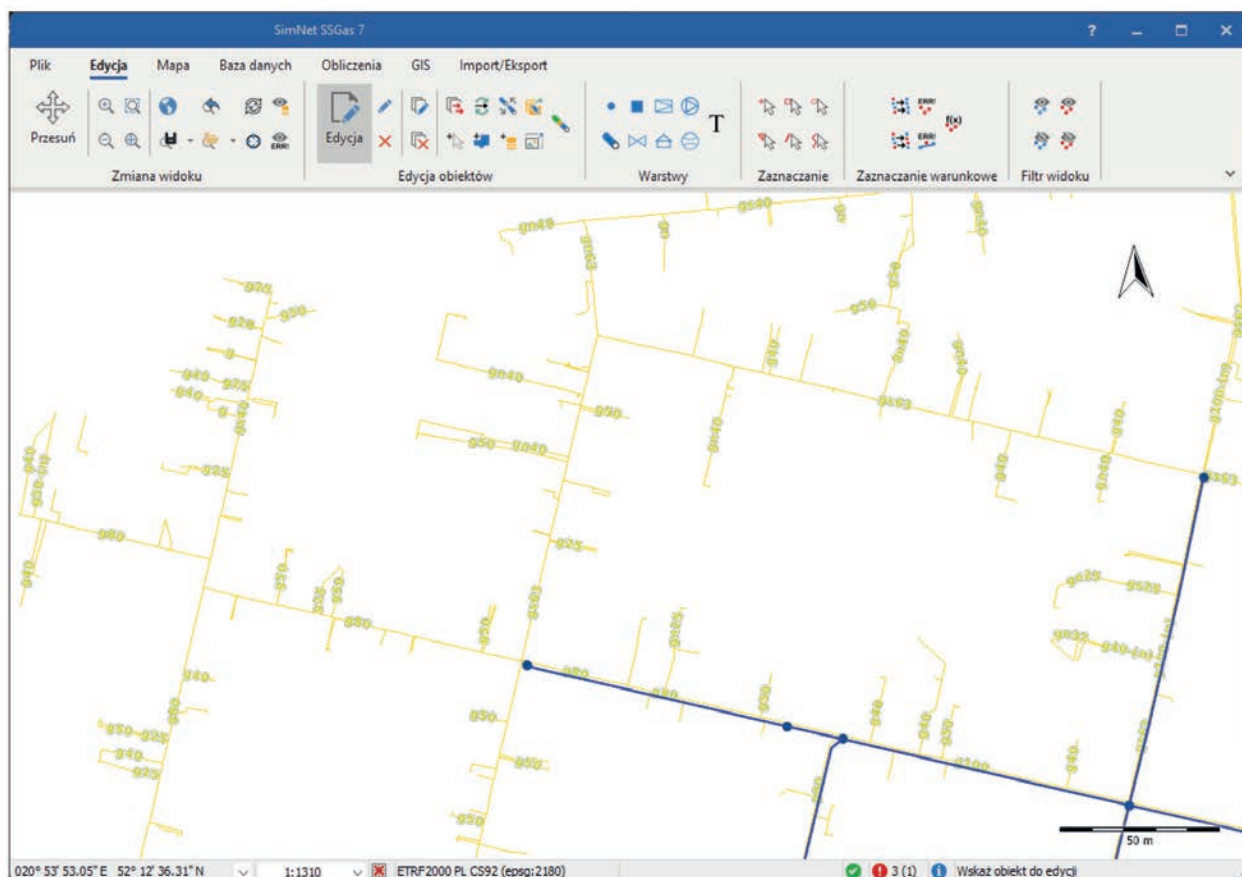
- WMS (Web Map Service) – jest to międzynarodowy standard udostępniania danych przestrzennych przez Internet w postaci rastrowej.
- WMTS (Web Map Tile Service) – podobnie jak WMS jest to międzynarodowy standard udostępniania danych przestrzennych przez Internet w postaci rastrowej, jednak dane wyświetlają się w postaci predefiniowanych fragmentów mapy czyli tzw. kafelków. Serwis WMTS może działać wydajniej niż serwis WMS, ponieważ aktualizowane są tutaj tylko te fragmenty mapy (kafelki) które są aktualnie potrzebne. Kafelki są dodatkowo ładowane równolegle jako ograniczone rozmiarowo grafiki co znacznie przyspiesza proces ładowania mapy. Dane z serwisów WMS wymagają aktualizacji za każdym razem całej dostępnej grafiki w ramach danego serwisu, dlatego działają trochę wolniej.

- WFS (Web Feature Service) – w odróżnieniu od dwóch poprzednich typów serwisów tutaj dane udostępniane są w postaci wektorowej. Użytkownik może wybrać jakie informacje mają zostać zwrócone w ramach udostępnianych danych. Same dane są natomiast przesyłane w formacie GML (Geography Markup Language), czyli wersji języka XML (Extensible Markup Language) rozszerzonej o różne informacje geograficzne.
- WCS (Web Coverage Service) – to kolejny międzynarodowy standard udostępniania danych rastrowych. Można uzyskać tutaj dostęp do takich informacji jak ortofotomapy (przetworzone zdjęcia lotnicze lub satelitarne) czy numeryczne modele terenu (NMT) czyli udostępniane dane wysokościowe.

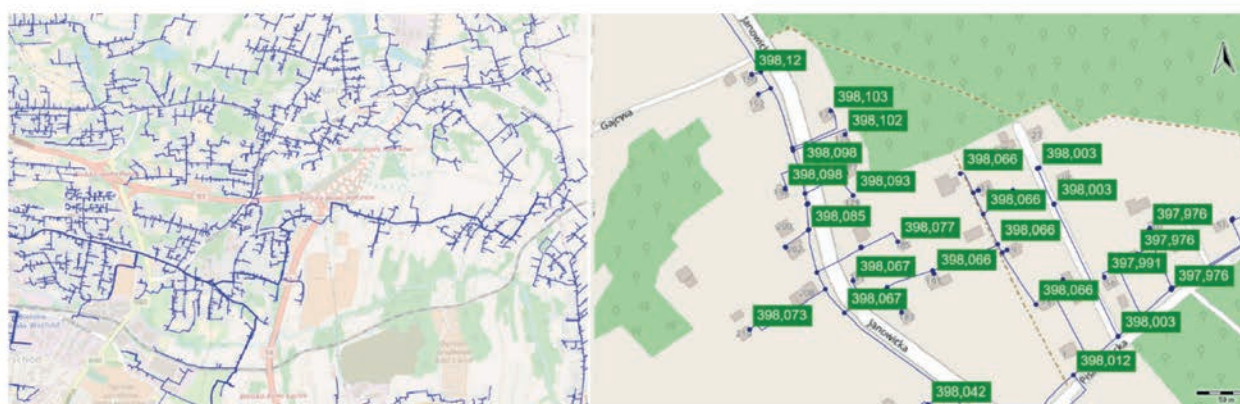
Chcąc wprowadzić schemat sieci do symulatora, można częściowo skorzystać z serwisów wymienionych powyżej. Aplikacja SimNet umożliwia połączenie z każdym z tych serwisów i pobranie odpowiednich danych. Dla sieci ciepłowniczej, gazowej czy wodociągowej najistotniejsze dane powinny być zapisane w formie wektorowej i prezentować rurociągi. Jedynie serwis WFS może udostępniać dane w tym formacie, jednak nie są dostępne żadne mapy, zawierające takie schematy sieci. Można skorzystać również z serwisów WMS i WMTS, które udostępniają informację dotyczącą uzbrojenia terenu i zawierają potrzebne dane. Z uwagi na udostępnianie danych przez te serwisy w formie rastrowej, nie ma za bardzo możliwości przeniesienia ich do postaci wektorowej (lub taka konwersja zawierałaby dużo błędów – wszelkie opisy z warstwy również mogłyby zostać potraktowane jako element rurociągu).

Rozwiązaniem może być ręczna digitalizacja, czyli przeniesienie schematu sieci w postaci rastrowej do postaci wektorowej. Wykonuje się to poprzez przerysowywanie poszczególnych odcinków rur, wykorzystując warstwę rastrową jako podkład z rurociągami, po których śladzie rysujemy właściwą sieć. Nie jest to jednak wydajne rozwiązanie, ponieważ wiąże się z dużym nakładem pracy. Poniżej zaprezentowano częściowo wprowadzoną sieć na podstawie takiego podkładu.

Preferowanym rozwiązaniem, w ramach danego przedsiębiorstwa, jest skorzystanie z kolejnej opcji którą jest wykorzystanie własnych schematów sieci zapisanych w bazie GIS [2]. Jeśli dane przedsiębiorstwo nie dysponuje jeszcze takimi danymi, to warto je wprowadzić, w celu usprawnienia działania firmy. Pozwala to na



Rys. 2. Rysowanie rurociągów do symulacji (linie niebieskie) na tle sieci gazowej (linie żółte)  
 Fig. 2. Drawing of pipelines for simulation (blue lines) against the gas network (yellow lines)



Rys. 3. Widok rurociągów w małej skali (po lewej) i powiększenie ze szczegółami (po prawej)  
 Fig. 3. Small scale view of the pipelines (left) and zoom in with details (right)

inwentaryzację majątku sieciowego wraz ze wskazaniem lokalizacji, przyspiesza obieg dokumentów związanych z siecią oraz daje możliwość na wykorzystanie tych danych na potrzeby symulatora sieci. Wykorzystanie symulatora pozwala natomiast zaoszczędzić czas i pieniądze, sprawdzając czy planowane trasy i średnice rurociągów dadzą oczekiwane rezultaty odnośnie ciśnienia u odbiorców. Symulacja pozwala również sprawdzić możliwości hydrauliczne sieci pod kątem podłączania nowych odbiorców, czy zachowania się sieci na wypadek wystąpienia awarii. Każde przedsiębiorstwo może trochę inaczej wykorzystywać rezultaty symulacji, natomiast zawsze jest to wartość dodana, która przynosi wymierne korzyści.

Schematy sieci na potrzeby GIS-u czy symulacji powinny być zapisane jako warstwy wektorowe, a wszelkie informacje na temat samej sieci można wprowadzić do bazy, jako poszczególne atry-

buty danych obiektów. Należy pamiętać aby każdy rodzaj obiektu znajdował się na innej warstwie. Podział na warstwy pozwala na rozgraniczenie różnych typów obiektów i nadanie im indywidualnego zestawu atrybutów. Tego typu operacja pozwala także na dostosowanie wyświetlanych informacji do naszych potrzeb. Na warstwach można ustawić konkretne symbole dla różnych typów obiektów, czy po prostu wyłączyć warstwy których nie używamy w danej chwili. Wyłączenie warstw pozwala na zwiększenie płynności przesuwania mapy, czy czasu potrzebnego na wyświetlenie wszystkich obiektów. Dla warstw możemy zastosować również podział na wyświetlanie obiektów, w zależności od aktualnej skali mapy. Przy małej skali mapy nie potrzebujemy np. wyświetlać informacji o odbiorcach. Wystarczy tutaj jedynie warstwa z rurociągami, aby mieć ogólny wgląd w którym miejscu sieci się znajdujemy. Dopiero powiększając

mapę, możemy włączać kolejne warstwy, zwiększając szczegółowość wyświetlanych informacji. Takie dopasowanie wyświetlania warstw, w zależności od skali, pozwala również na przyspieszenie ładowania się treści na mapie.

Z punktu widzenia symulacji, jakość i dokładność danych jest bardzo istotna. Aplikacja SimNet pozwala na import struktury sieci oraz innych elementów wchodzących z jej skład z wielu formatów wektorowych takich jak: shp, dwg, dxf, gml, gpkg, kml, mif, tab, dgn, osm, xyz i wielu innych.

### 3. Dokładność danych

Dokładność danych w kontekście GIS-u związana jest również z właściwym układem współrzędnych, w jakim dane zostały zapisane. Zgodnie z Dziennikiem Ustaw [3] dla Polski aktualne są następujące układy współrzędnych płaskich prostokątnych: PL-LAEA, PL-LCC, PL-UTM, PL-1992 i PL-2000. Każdy z tych układów różni się punktem odniesienia, obszarem stosowania i błędami odwzorowania długości na powierzchni płaskiej. Jak ważne jest ustawienie poprawnego układu współrzędnych dla danych z GIS-u przedstawiono w tab.1.

Zestawiono tutaj długości teoretycznej rury, zaimportowane w różnych układach współrzędnych. Układem odniesienia był układ PL-1992, układ obejmujący obszar całego kraju dla opracowań średnio i mało skalowych. W tym układzie w miejscowości Piątek – geometrycznym środka Polski – narysowano rurę o długości 1648,57m. Następnie w programie SimNet zaimportowano tą rurę, traktując ją jako stworzoną w poszczególnych układach współrzędnych (długości obliczono na podstawie współrzędnych X, Y początku i końca rury). Wymuszenie układu było sztuczne, ponieważ program automatycz-

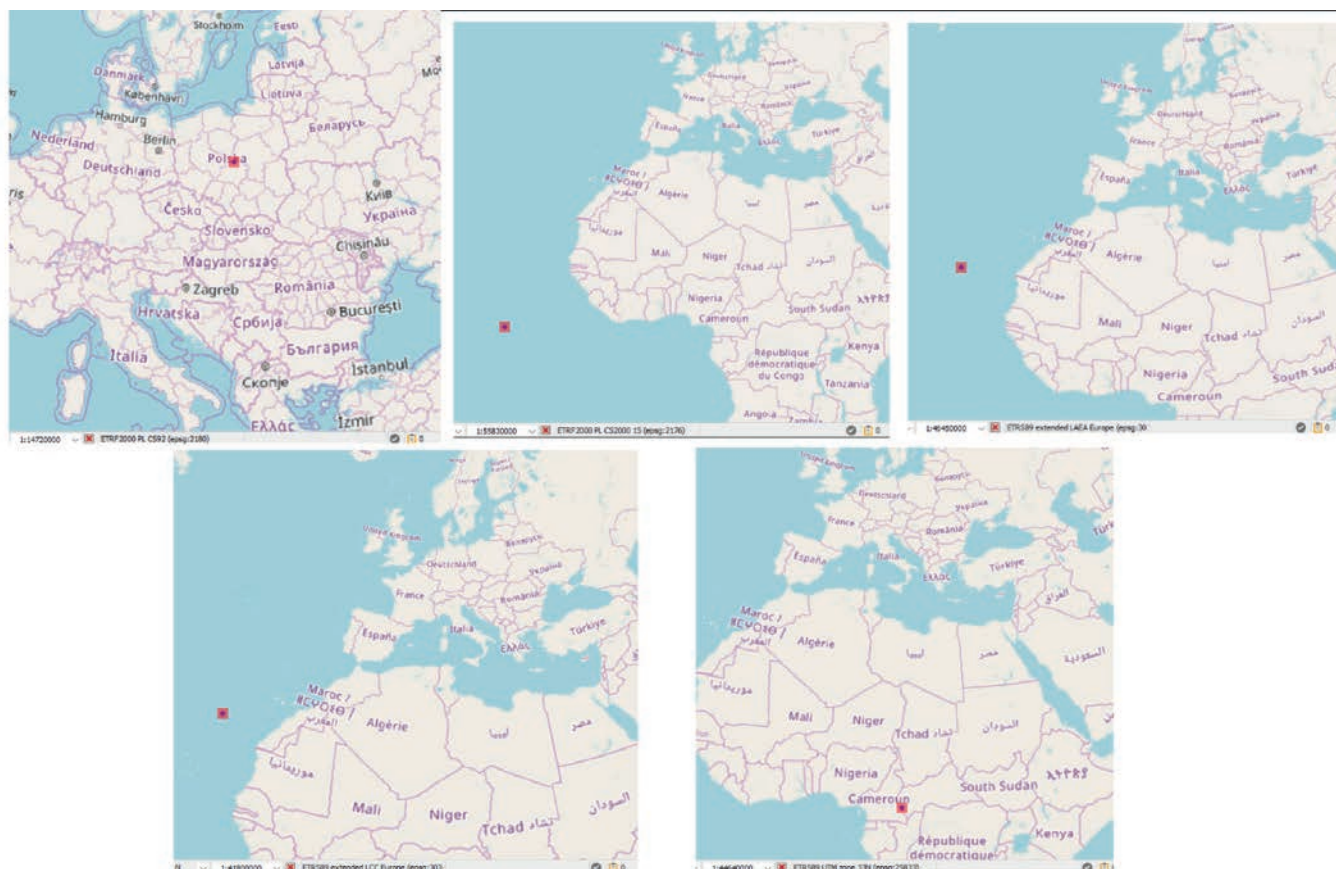
Tabela 1. Zestawienie długości rury przy imporcie w różnych układach współrzędnych

Table 1. Summary of pipe lengths at import in different coordinate systems

Układ współrzędnych	Kod EPSG	Długość [m]	Błąd względny
ETRF2000 PL CS92	2180	1648,57	-
ETRF2000 PL CS2000 15	2176	1495,91	-9,26%
ETRF2000 PL CS2000 18	2177	1375,51	-16,56%
ETRF2000 PL CS2000 21	2178	1244,8	-24,49%
ETRF2000 PL CS2000 24	2179	1111,93	-32,55%
ETRS89 extended LAEA Europe	3035	1663,27	0,89%
ETRS89 extended LCC Europe	3034	1511,19	-8,33%
ETRS89 UTM zone 33N	25833	1648,02	-0,03%
ETRS89 UTM zone 34N	25834	1648,02	-0,03%
ETRS89 UTM zone 35N	25835	1648,02	-0,03%

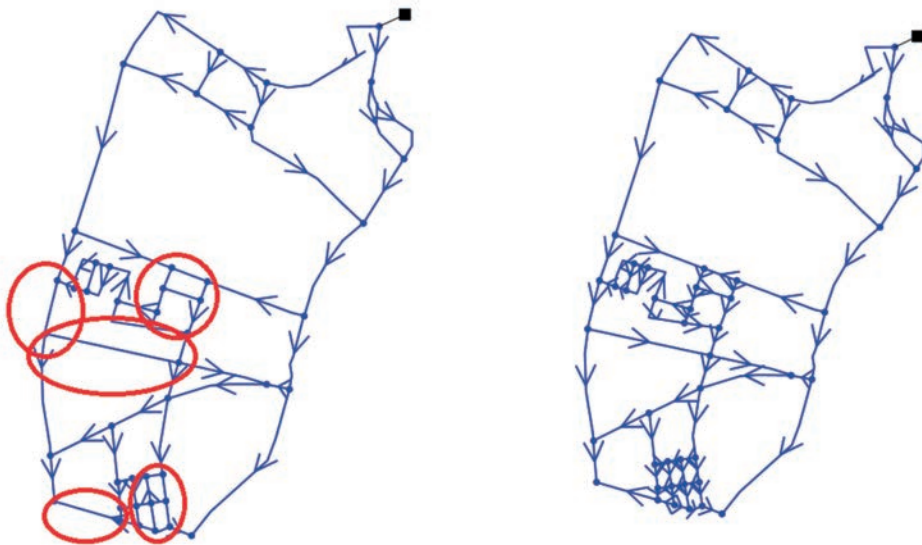
nie rozpoznawał układu importowanej rury i przy wstawianiu jej do nowych układów wynikowych, przeliczył odpowiednio długość rur. Został tutaj zobrazowany problem, który mógłby wystąpić gdyby nie było wykorzystanego GIS-u podczas importu danych.

Dane dostarczane do symulacji mogą pochodzić z różnych źródeł. Różne źródła danych mogą również używać innych (dopuszczalnych) układów współrzędnych. Kombinacja różnych układów, bez ich poprawnego odwzorowania, może zatem prowadzić do poważnych błędów. Tutaj na przykład długość różniła się w najgorszym



Rys. 4. Różna lokalizacja przykładowej rury dla różnych układów odniesienia. Na górze od lewej: PL-1992, PL-2000/15, LAEA Europe. Na dole od lewej: LCC Europe, UTM zone 33N

Fig. 4. Different location of the sample pipe for different reference systems. Top from left: PL-1992, PL-2000/15, LAEA Europe. Bottom from left: LCC Europe, UTM zone 33N



Rys. 5. Rozpływ po wykonaniu symulacji dla schematu z błędami (lewa strona) i dla poprawnego schematu. Po lewej stronie zaznaczono rury w których został błędnie policzony przepływ w związku z błędami ciągłości sieci

Fig. 5. Flow after simulation for the scheme with errors (left side) and for the correct scheme. On the left, pipes in which the flow was miscalculated due to network continuity errors are marked

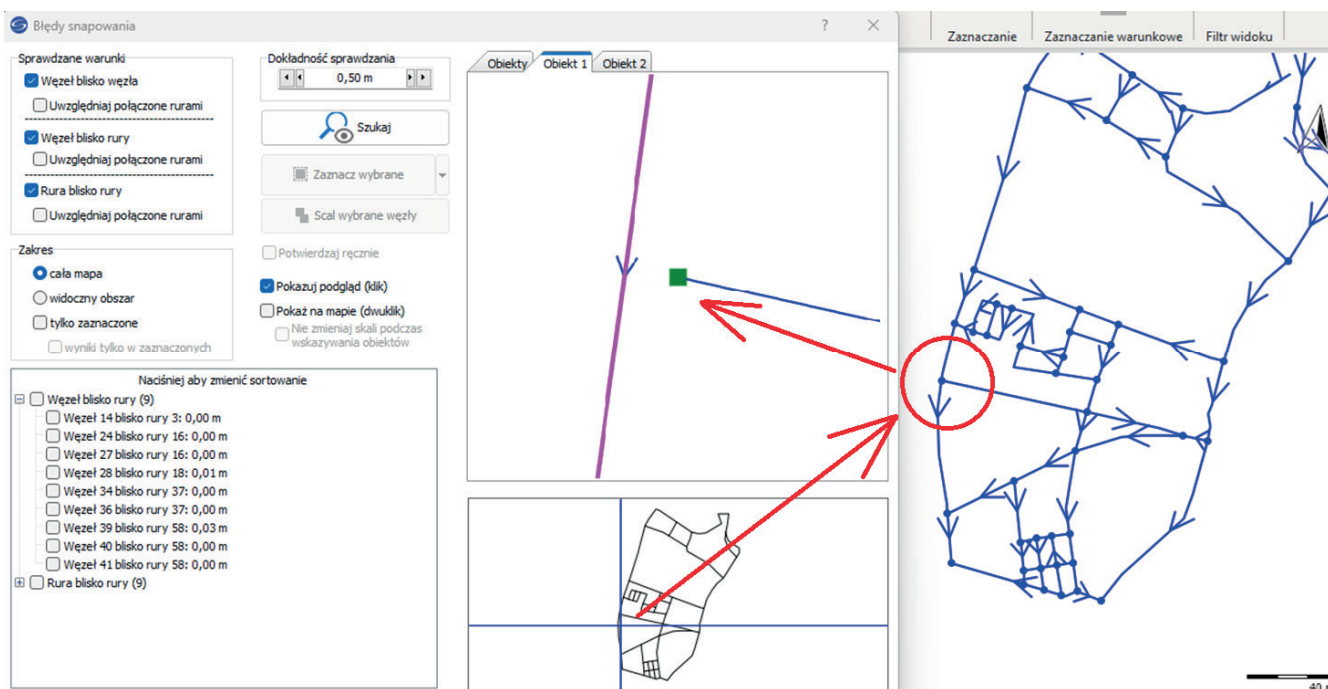
przypadku o prawie 33%. Drugi problem, który mógłby wynikać z błędnego odwzorowania danych, to lokalizacja obiektów. Dla każdego układu współrzędnych mamy różne punkty odniesienia. Poniżej została zaznaczona importowana rura oraz jej położenia dla różnych narzuconych układów odniesienia dla Polski – innych niż domyślny układ PL-1992 w którym dana rura została narysowana.

Oprogramowanie GIS lub symulator typu SimNet wykorzystujący GIS są w stanie poprawnie odwzorować te lokalizacje ,bez względu w jakim układzie współrzędnych będą udostępnione dane.

Jeśli mamy już odpowiedni układ współrzędnych i dane pochodzą z systemu GIS to mogłoby się wydawać, że wszystko jest już w porządku. Otóż okazuje się, że często dane w samym systemie GIS również z jakichś powodów nie są dostatecznie dokładne [1]. W przypadku symulacji sieci ważne jest, żeby była zachowana ciągłość połączeń między poszczególnymi rurami. Brak ciągłości zmienia układ hydrauliczny sieci i w przypadku wykonywania obliczeń, może

generować niepoprawne wyniki. Sytuacja taka została zaprezentowana na rys. 5. Oba schematy sieci prezentują rozpływ gazu w sieci, po wykonaniu symulacji jednak schemat po lewej stronie został zaimportowany bez żadnych poprawek, natomiast na schemacie po prawej stronie podociągano rury w miejscach, gdzie była nieciągłość sieci wynikająca z błędów w systemie GIS. W małej skali tego typu problemy i błędy nie są widoczne i mogą zostać przeoczone. Jednak po przybliżeniu widać faktyczny brak połączeń pomiędzy rurami lub innymi elementami.

Oprogramowanie GIS ma różne mechanizmy, które pozwalają na dociąganie odcinków do siebie. Nie zawsze jest to jednak stosowane, procedury weryfikacji zawodzą , przez co dane do symulacji zostają dostarczane z błędami. Oprogramowanie SimNet ma jednak swoje mechanizmy, które pozwalają na naprawę tego typu błędów. Są to tzw. błędy 'snapowania' czyli dociągania linii lub innych obiektów do siebie. W aplikacji SimNet można sprawdzić całą sieć pod kątem błędów



Rys. 6. Mechanizm naprawy błędów snapowania w aplikacji SimNet

Fig. 6. Snap error repair mechanism in the SimNet application

snapowania, pomiędzy: węzłem i węzłem, węzłem i rurą oraz rurą i rurą. Zastosowanie map GIS-owych pozwala na lokalizację wykrytego błędu i poddanie weryfikacji przez użytkownika, czy w danym miejscu faktycznie powinno pojawić się połączenie sieci. Nie wszystkie miejsca, gdzie nie jest zachowana ciągłość sieci, powinny być faktycznie połączone ze sobą. Ostateczna decyzja, które miejsce wymaga naprawy, należy do użytkownika. Użytkownik ma tutaj do dyspozycji informację odnośnie odległości pomiędzy takimi obiektami oraz wyświetlenie ich lokalizacji – zazwyczaj są to błędy rzędu milimetrów lub mniejsze, które bez znacznego powiększenia są praktycznie nie do wykrycia. Poprawienie tego typu błędów po stronie aplikacji obliczeniowej nie jest jednak rozwiązaniem. Błędne dane w dalszym ciągu mogą pozostać w bazie GIS-owej, użytej do zbudowania modelu symulacyjnego i przy kolejnym ich wykorzystaniu pojawiają się dokładnie te same błędy. Ważne jest zatem aby dane w bazie GIS były dokładne i aktualne. To na ich podstawie wykonywane są dalsze analizy (nie tylko hydrauliczne) i podejmowane są różne decyzje. Na rys. 6 pokazano jak wygląda okno wyszukiwania i naprawy błędów snapowania w aplikacji SimNet. W celu łatwiejszej oceny, czy znalezione miejsce stanowi faktycznie błąd snapowania, po prawej stronie użytkownik ma do dyspozycji przybliżony widok ze szczegółową lokalizacją danego miejsca.

#### 4. Wpływ dokładności danych z GIS na wyniki obliczeń

Przy obliczeniach hydraulicznych, parametrem który jest czuły na dokładność danych związanych z długościami czy wysokościami (w przypadku sieci nie planarnych), jest spadek ciśnienia. W aplikacji SimNet do statycznej symulacji sieci gazowej oraz wodociągowej (sieć ciepłownicza ma ten sam model hydrauliczny co sieć wodociągowa) wykorzystywane jest następujące równanie zachowania pędu [4]:

$$\frac{d\rho}{dx} + \frac{\lambda \rho w^2}{D} + \rho g \sin \alpha = 0$$

gdzie człon „ $\rho g \sin \alpha$ ” uwzględnia wpływ zmiany wysokości rur wzdłuż trasy.

Do sprawdzenia wpływu dokładności danych, dotyczących odległości oraz wysokości na wartość spadku ciśnienia, przyjęto do statycznych obliczeń izotermicznych jedną rurę o długościach uzyskanych dla poszczególnych układów współrzędnych. Na zasilaniu zadano ciśnienie o wartości 100 kPa a pobór ustalono na 500 m<sup>3</sup>/h. Dla rur przyjęto średnicę wewnętrzną o wartości 100 mm oraz chropowatość 0,1 mm. Poniżej zestawiono wyniki obliczeń z wartościami ciśnienia, przy założeniu różnej długości rur, wynikającej z błędnych wartości długości dla różnych układów współrzędnych geograficznych. Dla układu ETRS89 UTM wykonano tylko jedno obliczenie, ponieważ dla każdej z trzech stref długości rur wychodziły z takimi samymi wartościami.

Tabela 2. Wartość ciśnienia na końcu gazociągu oraz błąd względny

Table 2. End-of-pipe pressure value and relative error

Układ współrzędnych	Kod EPSG	Długość [m]	Ciśnienie na końcu [kPa]	Błąd względny
ETRF2000 PL CS92	2180	1648,57	77,163	-
ETRF2000 PL CS2000 15	2176	1495,91	79,399	2,90%
ETRF2000 PL CS2000 18	2177	1375,51	81,144	5,16%
ETRF2000 PL CS2000 21	2178	1244,8	83,019	7,59%
ETRF2000 PL CS2000 24	2179	1111,93	84,906	10,03%
ETRS89 extended LAEA Europe	3035	1663,27	76,946	-0,28%
ETRS89 extended LCC Europe	3034	1511,19	79,177	2,61%
ETRS89 UTM	25833	1648,02	77,171	0,01%

Z tab. 2. widać, że na odcinku ok. 1,5 km wartości ciśnienia mogą się różnić o ponad 10%. Sieci gazowe mają w sumie dużo większe długości więc można się spodziewać jeszcze większych różnic na końcówkach sieci oddalonych od źródła.

Podobne obliczenia wykonano dla sieci wodociągowej. W tym przypadku źródła miały zadane ciśnienie 100 mH<sub>2</sub>O a pobór ustalono na poziomie 15 l/s. Na rurach ustalono takie same parametry jak dla gazu czyli średnica wewnętrzna 100 mm oraz chropowatość 0,1 mm. Po wykonaniu obliczeń symulacyjnych uzyskano następujące wyniki zaprezentowane w tab.3.

Tabela 3. Wartość ciśnienia na końcu wodociągu oraz błąd względny

Table 3. Pressure value at the end of the water main and relative error

Układ współrzędnych	Kod EPSG	Długość [m]	Ciśnienie na końcu [mH <sub>2</sub> O]	Błąd względny
ETRF2000 PL CS92	2180	1648,57	77,744	-
ETRF2000 PL CS2000 15	2176	1495,91	79,805	2,65%
ETRF2000 PL CS2000 18	2177	1375,51	81,43	4,74%
ETRF2000 PL CS2000 21	2178	1244,8	83,195	7,01%
ETRF2000 PL CS2000 24	2179	1111,93	84,989	9,32%
ETRS89 extended LAEA Europe	3035	1663,27	77,545	-0,26%
ETRS89 extended LCC Europe	3034	1511,19	79,599	2,39%
ETRS89 UTM	25833	1648,02	77,751	0,01%

W przypadku sieci wodnej widzimy porównywalne wartości błędów ciśnienia, jak przy sieci gazowej dla odpowiednich długości wynikających z przyjmowania innych układów współrzędnych. Wartość błędu względnego przekracza tutaj maksymalnie 9%. Przy porównywalnym poziomie spadku ciśnienia, wyniki są bardzo zbliżone. Można było się tego spodziewać, ponieważ w sieci gazowej mamy współczynnik ściśliwości bardzo bliski jedności, czyli przepływ gazu jest zbliżony do przepływu medium nieściśliwego jakim jest woda.

Kolejnym parametrem, który został wspomniany, jako mający wpływ na wyniki jest wysokość położenia poszczególnych punktów. W przypadku wcześniejszych obliczeń, nie uwzględniono żadnego wpływu wysokości na spadki ciśnienia w sieci. Dane dotyczące wysokości są ogólnodostępne i można je pobrać z kilku źródeł. Są to głównie serwisy internetowe, udostępniające dane wysokościowe o różnej dokładności. W przypadku wysokości dane te są często zapisywane jako rastry, gdzie wysokość jest zakodowana pod konkretnym kolorem lub odcieniem. W zależności od wielkości pikseli, w rastrach możemy mówić o większej lub mniejszej dokładności takich danych. Rastry o dużych rozmiarach mają małą dokładność, ponieważ zazwyczaj uśredniają wartość wysokości z dużego obszaru którego dotyczą. Małe wielkości pikseli w rastrach dają natomiast większą dokładność i pozwalają na pobranie wysokości dla każdego punktu (węzła rury) z osobna. Dobrą dokładnością charakteryzują się dane, dotyczące numerycznego modelu terenu udostępniane przez GUGIK. Gęstość siatki rastra wynosi tam 1m x 1m, czyli wszystkie obiekty z obrębem 1m<sup>2</sup> mają przyjmowane takie same wysokości. Inne serwisy charakteryzują się dużo gorszą dokładnością, ponieważ udostępniają siatki rastra o oczku wielkości 30m x 30m (ASTER) lub 90m x 90m (SRTM3) [8].

W celu zbadania wpływu jakości danych wysokościowych, na odczytane wartości wysokości, sprawdzono dane pobrane dla jednej rury w układzie ETRF2000 PL CS92 ze źródeł o różnej dokładności wysokości. Wszystkie dane, poza wysokością, zostały takie same jak przy sprawdzaniu wpływu dokładności długości rur. W tab. 4 przedstawiono zestawienie wyników obliczeń dla wysokości, pobranych z różnych źródeł ale dotyczących tej samej rury.

Tabela 4. Wartość ciśnienia na końcu gazociągu oraz błąd względny w zależności od źródła danych wysokościowych

Table 4. Pressure value at the end of the pipeline and relative error depending on the source of the elevation data

Źródło danych	Wysokość węzła początkowego [m]	Wysokość węzła końcowego [m]	Ciśnienie na końcu [kPa]	Błąd względny
-	0	0	77,163	-
GUGIK	106,6	102,3	77,399	0,31%
ASTER	110	108	77,403	0,31%
SRTM3	102	102	77,383	0,29%

Wartości wysokości różnią się nawet o 8m, co daje błąd względy wysokości na poziomie 7%. Nie przeprowadzono obliczeń dla sieci wodociągowej, ponieważ wpływ długości pokazał niewielką różnicę wyników, w stosunku do sieci gazowej. Z tab. 4. widać, że zmiana wysokości wynikająca z różnej dokładności danych wejściowych, ma dużo mniejszy wpływ niż nieodpowiedni układ współrzędnych. Te niewielkie różnice mogą być jednak istotne z punktu widzenia kalibracji modelu hydraulicznego. Można również zauważyć, że dokładność danych faktycznie wpływa na uzyskiwane wartości wysokości. Dla przeciwnych węzłów rury, oddalonych o ponad 1,5 km, najdokładniejszy serwis GUGIK podaje różnice wysokości rzędu 4 m. Różnica wysokości, dla danych ze źródła ASTER to już tylko 2m, ale dla danych z SRTM3 nie mamy różnicy wysokości. Wpływ wysokości ma również większe znaczenie przy sieciach niskiego ciśnienia. Dla wysokiego ciśnienia różnice rzędu kilku metrów będą niezauważalne, przy poziomie odniesienia ciśnienia rzędu kilku mega paskali.

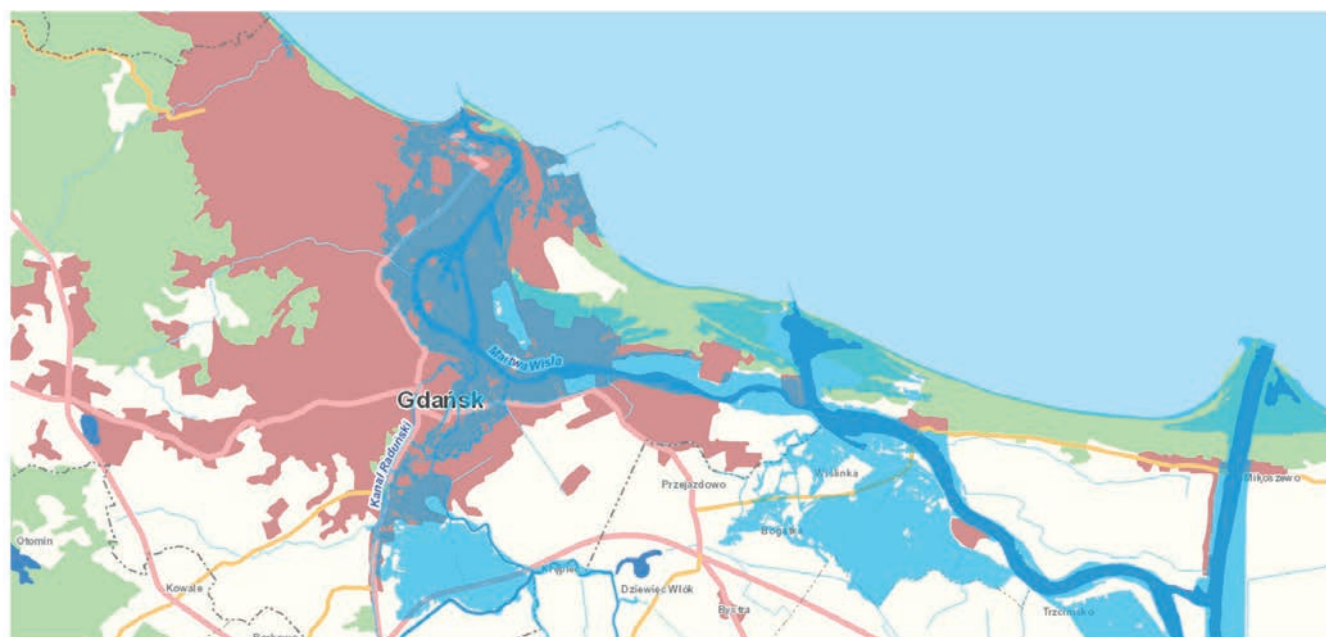
## 5. Inne możliwości wykorzystania danych GIS-owych

Poza danymi wysokościowymi oraz odległościami na mapie, system GIS dysponuje również innymi danymi, które mogą być wykorzystane na wiele innych sposobów.

Jedną z takich mogą być dane pogodowe, obejmujące informacje na temat temperatury, kierunku oraz siły wiatru czy wartości opadów. Tego typu informacje mogą zostać wykorzystane w prognozach przy symulacji dynamicznej – czyli dla zmiennych parametrów w czasie. Gorsze warunki pogodowe mogą skłaniać odbiorców do korzystania z ogrzewania w budynkach. Ta informacja może być natomiast wykorzystana przez operatorów sieci gazowej lub ciepłowniczej, aby odpowiednio wcześniej zareagować na zwiększony odbiór gazu lub ciepła z sieci. Przy wykorzystaniu symulatora można sprawdzić ile wcześniej należałoby podnieść ciśnienie lub zwiększyć temperaturę w sieci ciepłowniczej, aby odpowiedni impuls dotarł do odbiorców w chwili, kiedy zwiększy się ich zapotrzebowanie na dane medium.

Innym przykładem wykorzystania danych z systemu GIS mogą być mapy dotyczące obszarów występowania gleb, roślinności oraz ukształtowania terenu. Te informacje mogą być przydatne na etapie projektowania nowych odcinków sieci. Koszt budowy sieci może wzrosnąć, jeśli sieć będzie prowadzona przez tereny wymagające większego przygotowania wstępnego, jak np. karczowanie lasów. Rodzaj gleby również może być tutaj istotny, ponieważ przy projektowaniu sieci należałoby unikać terenów podmokłych, bagiennych czy kamienistych. Nakładając na sieci mapy, dotyczące różnych informacji oraz wprowadzając odpowiednie wymagania odnośnie wykluczeni i ograniczeń, można skorzystać z narzędzi dostępnych w oprogramowaniu GIS, które zaproponuje prowadzenie trasy sieci. Taka propozycja musi być później jeszcze zweryfikowana przez użytkownika, ale już na tym etapie wykorzystanie możliwości GIS-u pozwala znacznie przyspieszyć pracę związaną z projektowaniem trasy rurociągów.

Dane wysokościowe, poza informacją dla symulatora, mogą również posłużyć przy analizach określających tereny zalewowe na danym obszarze. Dysponując numerycznym modelem terenu oraz lokalizacją rzek i innych cieków wodnych, można sprawdzić które tereny mogą zostać zalane, przy podniesieniu się poziomu wód na daną wysokość. W momencie wystąpienia powodzi lub innego kataklizmu, odpowiednie służby są w stanie określić, które fragmenty sieci powinny zostać wyłączone z eksploatacji, jeszcze zanim taka informacja zostałaby potwierdzona w danym miejscu.



Rys. 7. Wizualizacja zalania terenu przy podniesieniu się poziomu wody w rzekach

Fig. 7. Visualisation of land flooding with rising river levels

## 6. Wnioski

GIS, jako system składający się z wielu komponentów, jest narzędziem bardzo przydatnym dla każdego operatora sieci ciepłowniczej, gazowej czy wodociągowej. Dla potrzeb symulacji, bardzo istotną kwestią jest dokładność danych zawartych w tym systemie. W artykule zaprezentowano jakiego typu błędy mogą pojawić się przy pobieraniu danych z GIS-u. Został tutaj zaprezentowany wpływ układu współrzędnych na długości odcinków, wpływ dokładności danych wysokościowych na odczyt wysokości poszczególnych punktów w sieci, czy zaprezentowano wpływ niedokładnego odwzorowania schematu sieci na późniejsze obliczenia hydrauliczne. Każdy w takich błędów może pojawić się jednocześnie w ramach jednego projektu, co jeszcze bardziej może spotęgować ogólny wpływ błędów na wyniki symulacji hydraulicznej. Wpływ poszczególnych błędów będzie również większy w przypadku symulacji dynamicznej, gdzie suma błędów może propagować wraz z czasem trwania symulacji.

Należy jednak pamiętać, że opisane tutaj błędy wynikają jedynie z możliwej niedokładności danych lub błędów w systemie GIS. Uzyskane błędne wyniki po obliczeniach hydraulicznych, nie są więc kwestią dobranej metody obliczeniowej a jedynie jakością danych wejściowych. Bardzo dobrym podsumowaniem tej zależności jest angielski zwrot „Garbage in, garbage out”, który w odniesieniu do GIS-u mówi o tym, że dokładność danych wyjściowych nigdy nie może być większa od dokładności danych wejściowych. Należy więc zadbać aby system GIS zawierał odpowiednio aktualne i dokładne dane.

Aplikacje obliczeniowe tym SimNet są w stanie naprawić część z napotkanych błędów, występujących w systemie GIS. Taka naprawa zawsze jednak powinna zostać zweryfikowana przez użyt-

kownika, który najlepiej powinien wiedzieć, czy zasugerowane rozwiązanie jest poprawne i możliwe do zaakceptowania. Sam symulator pracy sieci ciepłowniczej, gazowej czy wodociągowej jest natomiast uzupełnieniem możliwości GIS-u i powinien być wykorzystywany w każdym przedsiębiorstwie, które chce być nowoczesne i dąży do jak najlepszego wykorzystania możliwości jakie daje nam GIS.

## LITERATURA:

- [1] Burrough P. A., McDonnell R. A., Lloyd Ch. D., 2015. “Principles of Geographical Information Systems”. Oxford University Press.
- [2] Kotyński Ł., Kwestarz M.. 2017. „Zastosowanie systemów GIS w ciepłownictwie”, *Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja* 48 (11): 443-448.
- [3] Obwieszczenie Prezesa Rady Ministrów z dnia 20 lutego 2024 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Rady Ministrów w sprawie państwowego systemu odniesień przestrzennych, Dz.U.2024.342.
- [4] Osiadacz A. J.. 2000. „Statyczna symulacja sieci gazowych”. *Fluid Systems*, Warszawa.
- [5] Osiadacz A. J., Kotyński Ł., Chaczykowski M.. 2021. „SimNet-pakiet oprogramowania do statycznej symulacji sieci gazowych o dowolnej strukturze”. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 95 (9): 2-10.
- [6] Paul A. Longley, Michael F. Goodchild, David J. Maguire, David W. Rhind. 2006. “GIS. Teoria i Praktyka”. PWN.
- [7] <https://www.geoportal.gov.pl/>
- [8] <https://www.geonames.org/>