

07.12.2016

Firma telekomunikacyjna

projekt realizowany w ramach zajęć "**Zarządzanie i harmonogramowanie procesów**"
na Wydziale Elektroniki i Technik Informacyjnych Politechniki Warszawskiej
w semestrze **16Z**

Dokumentacja wstępna

Skład zespołu:

Tomasz Jakubczyk - Analityk, Ekspert dziedzinowy

Michał Łępicki - Kierownik projektu, Projektant rozwiązania

I. Założenia i cel projektowanego systemu

1. Wstęp

Poruszonym problemem jest zarządzanie infrastrukturą sieci szerokopasmowej. Produkt ma wspomagać decyzje podejmowane w firmie średniego szczebla rynku. Po przedstawieniu w systemie obecnej infrastruktury firmy, system będzie umożliwiał modyfikację wprowadzonej infrastruktury oraz wykonanie różnego rodzaju analiz (obciążenia sieci, zysków, rozwoju infrastruktury, zmiany wymagań klientów, odporności na awarie). Analizy będą głównie dotyczyły możliwych do osiągnięcia prędkości transferu danych między klientami a Internetem.

2. Problemy występujące w firmie telekomunikacyjnej

Ważnym, o ile nie najważniejszym aspektem zarządzania firmą jest **maksymalizacja zysków**. Dlatego do infrastruktury chcemy podłączać nowych klientów. Ograniczają nas jednak możliwości wydajnościowe sieci. Aby nie stracić obecnych klientów musimy być pewni, że nasza infrastruktura będzie mogła zapewnić **spełnienie wymagań klientów** pod względem transferu.

Przy szybko rozwijającym się rynku, aby przetrwać firma telekomunikacyjna musi się rozwijać. Dlatego ważnym jest **identyfikacja** i eliminowanie **ograniczających rozwój elementów** zarządzanej infrastruktury **sieci**.

W działającej sieci mogą występować awarie węzłów (najczęściej sprzętu) lub łączy (przykładowo: przerwanie przewieszonego między słupami światłowodu przez przejeżdżającą betoniarke). Przerwa łączności klienta z Internetem wiąże się ze stratami materialnymi i moralnymi. Im wyższa jest ranga klienta tym bardziej należy zwracać uwagę na **zmniejszenie awaryjności sieci**.

3. Cel systemu

- Analiza spełnialności wymagań klientów
- Identyfikacja ograniczających rozwój elementów infrastruktury sieci
- Analiza kosztów i zysków wynikających z podłączenia nowego klienta
- Analiza awaryjności sieci (opcjonalnie, zależnie od wyników prac)

II. Wymagania dla systemu

A. Wymagania niefunkcjonalne

1. System ma szybko reagować na zapytania
2. System ma działać na zwykłym komputerze osobistym

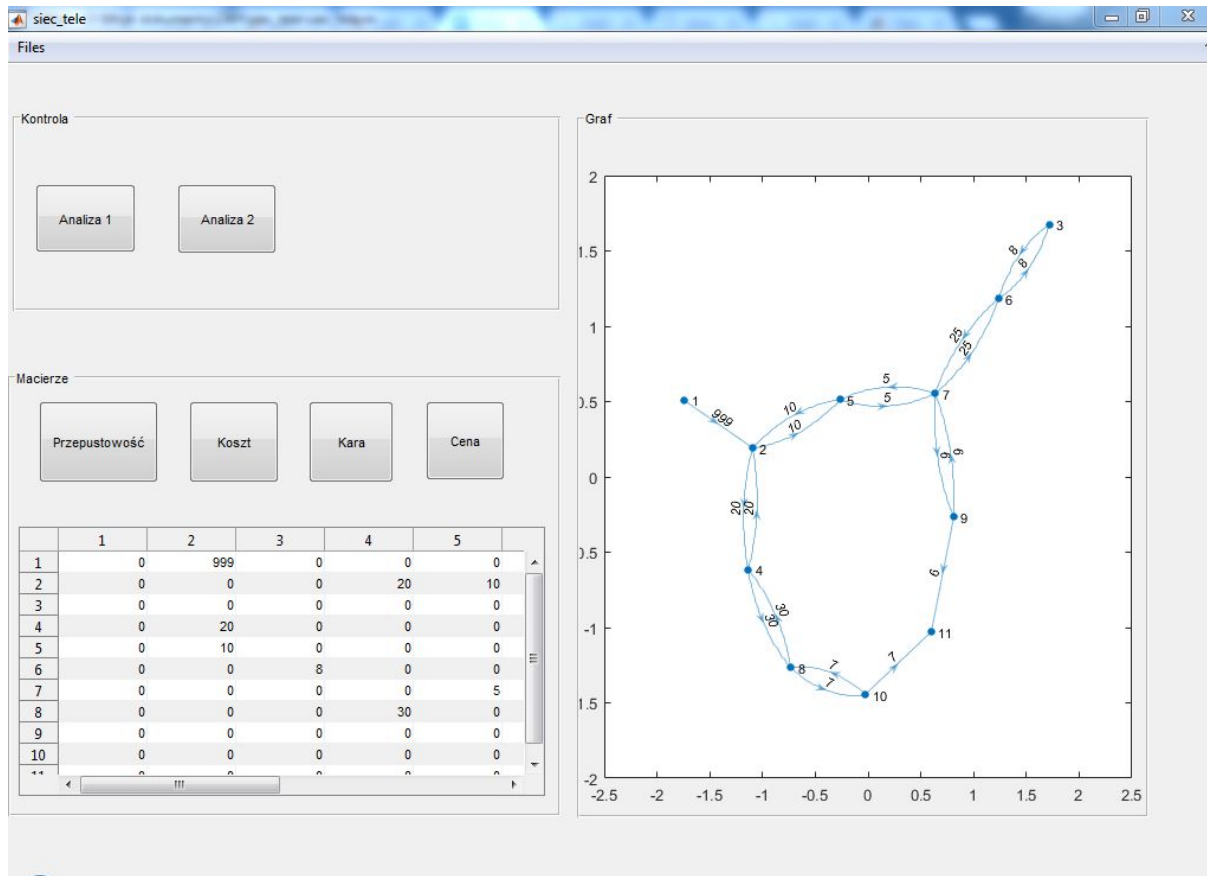
B. Wymagania funkcjonalne

1. Wprowadzanie obecnej topologii i parametrów sieci przez użytkownika
2. Przedstawienie wyników analiz wykonanych w systemie
3. Wprowadzanie proponowanych modyfikacji topologii i parametrów sieci (w szczególności dodanie klienta) i przedstawienie wyników analiz dla zmodyfikowanej sieci
4. Zatwierdzanie proponowanych zmian

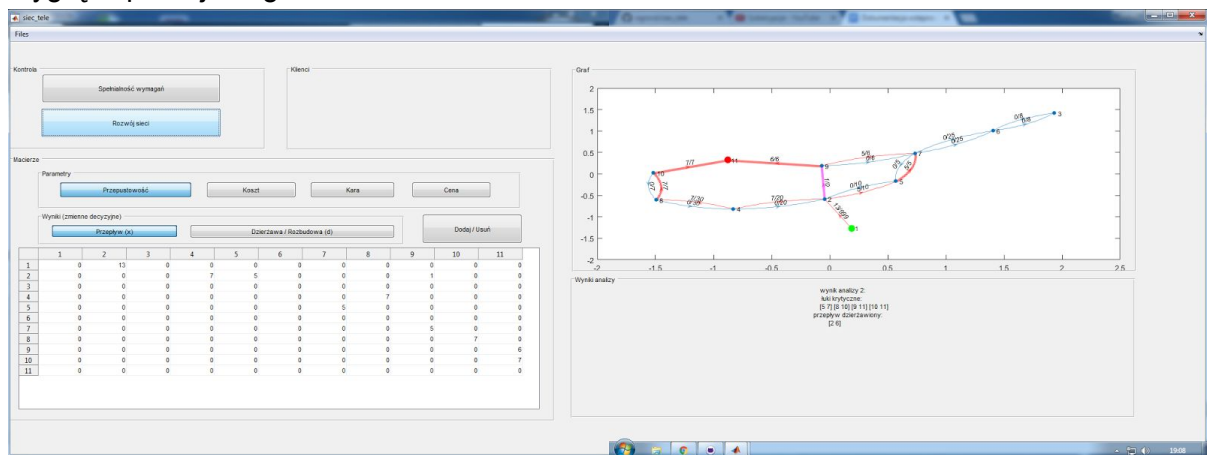
C. Interfejs użytkownika

Załącznik 1

Wstępna wizualizacja interfejsu użytkownika (MATLAB)



Wygląd aplikacji 28 grudnia 2016



System będzie umożliwiał wprowadzenie infrastruktury sieci (m.in. macierzy opisujących parametry sieci) przy pomocy formularzy. Niektóre z nich będą przypominały wyglądem arkusz kalkulacyjny.

System będzie przedstawiał wprowadzoną infrastrukturę sieci jako wizualizację grafu na płaszczyźnie. Funkcja ważna dla wygody użytkownika. Funkcja ta będzie dostarczona przez zewnętrzną bibliotekę.

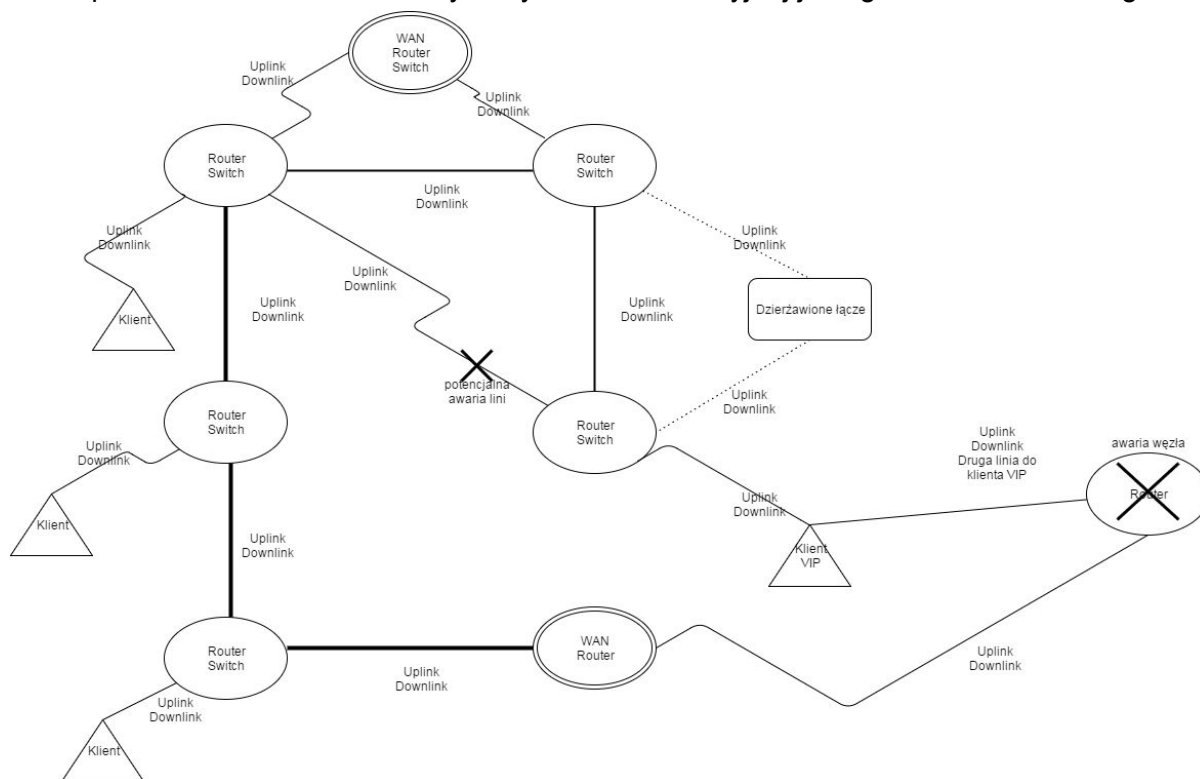
System będzie umożliwiał automatyczne dokonanie wybranej przy pomocy przycisku analizy sieci. Po zakończeniu prac nad przygotowaniem analizy, jej wynik zostanie przedstawiony w oknie programu.

III. Koncepcja działania systemu

1. Model telekomunikacyjnego świata, założenia, uproszczenia

Załącznik 2

Próba przedstawienia infrastruktury firmy telekomunikacyjnej jako grafu nieskierowanego



Zagadnienie sieci telekomunikacyjnych jest bardzo rozległe. Dotyczy ono wymiany danych między szerokim spektrum urządzeń elektronicznych. Występujące sieci różnią się pod względami zastosowań (sieci uniwersalne, wyspecjalizowane), technologii (sieci bezprzewodowe, przewodowe), wykorzystanych protokołów, a w konsekwencji także również pod względami możliwych do osiągnięcia prędkości przesyłu danych, opóźnień, zasięgu połączenia bezpośredniego i innymi.

Sieci telekomunikacyjne mają charakter bardzo dynamiczny. Ruch danych w sieci odbywa się za pomocą przesyłanych między jej węzłami pakietów. O ile w jednej chwili na odcinku sieci mogą nie być przesyłane żadne pakiety z danymi jej użytkowników, to kilka sekund później może ona być wykorzystywana do przesyłania ogromnych ilości danych.

Ze względu na zróżnicowanie sieci telekomunikacyjnych, możemy je badać pod wieloma względami. Powoduje to duże skomplikowanie przy ich modelowaniu komputerowym. Natomiast dynamiczny charakter sieci utrudnia nam te zadanie głównie ze względów wydajnościowych. Dlatego przy tworzeniu rozwiązania zmuszeni jesteśmy do wprowadzenia wielu uproszczeń i założeń.

Sieć telekomunikacyjną modelujemy jako węzły - oznaczające routery - oraz pary jednokierunkowych łuków - oznaczające połączenia telekomunikacyjne między węzłami.

W sieci wyróżnione są trzy rodzaje węzłów (i wynikające z tego podziału rodzaje łuków):

1. Przyłącze do Internetu (WAN) - wykupiony przez naszą firmę
2. Routery wewnętrzne sieci
3. Przyłącze klienta

Prędkości przyłączy do Internetu mogą być ograniczone poprzez wykupiony przez nas transfer. Prędkości łączy wewnątrz sieci ograniczone są przez możliwości techniczne. Prędkości łączy do klienta ograniczone są przez wykupiony przez niego transfer.

Załącznik 3

Wizualizacja sieci dla pierwszego modelu matematycznego. Pary łuków skierowanych uproszczone i przedstawione jako jeden łuk. Na routerach - numer wierzchołka, na łączach - wartość ograniczenia.

2. Kolejne, rozwijane w trakcie prac modele matematyczne (postęp prac)

Model V1.5

$V = \{0, \dots, n + 1\}$ - zbiór wierzchołków, zawiera routery i wierzchołki: początkowy i końcowy

$s = 0 \in V$ - indeks wierzchołka początkowego (wierzchołka łączącego dostępy do WAN)

$e = n + 1 \in V$ - indeks wierzchołka końcowego (wierzchołka łączącego wszystkich klientów)

$i, j \in V$ - indeksy wierzchołków

x_{ij} - zmienna decyzyjna, przepływ **kierunkowy** między wierzchołkiem i-tym, a j-tym

$p_{ij} \in P$ - parametr, ograniczenie przepustowości między wierzchołkiem i-tym, a j-tym. Dla wierzchołków niepołączonych równy zero, służy więc jednocześnie jako macierz incydencji. Musi być symetryczna, czyli $p_{ij} = p_{ji}$, ponieważ światłowodowe dwukierunkowe połączenie modelujemy za pomocą pary jednokierunkowych łuków (patrz ograniczenie 3.)

n - liczba routerów

1. $\max_{x \in R} Q = \sum_{j=s}^e x_{je}$
- p.o.
2. $x_{ij} \geq 0$
3. $\forall_{i \in \{1..N\} \times j \in \{1..e\}} x_{ij} + x_{ji} \leq p_{ij}$
4. $\forall_{j \in \{1..N\}} \sum_{i=s}^e (x_{ij} - x_{ji}) = 0$
5. $\forall_{j \in V} x_{sj} \leq p_{sj}$
6. $\forall_{i \in V} x_{is} \leq 0$
7. $\forall_{i \in V} x_{ie} \leq p_{ie}$
8. $\forall_{j \in V} x_{ej} \leq 0$
9. $\sum_{j=s}^e x_{sj} \leq \sum_{j=s}^e p_{sj}$

Model V2

$V = \{0, \dots, n + 1\}$ - zbiór wierzchołków, zawiera routery i wierzchołki skrajne

$s = 0 \in V$ - indeks wierzchołka początkowego (wierzchołka łączącego dostępy do WAN)

$e = n + 1 \in V$ - indeks wierzchołka końcowego (łączącego wszystkich klientów)

$i, j \in V$ - indeksy wierzchołków

x_{ij} - zmienna decyzyjna, przepływ **kierunkowy** między wierzchołkiem i-tym, a j-tym

d_{ij} - zmienna decyzyjna, wydierżawione łącze (rozbudowa)

$p_{ij} \in P$ - parametr, ograniczenie przepustowości między wierzchołkiem i-tym, a j-tym. Dla wierzchołków niepołączonych równy zero, służy więc jednocześnie jako macierz incydencji. Musi być symetryczna, czyli $p_{ij} = p_{ji}$.

kos_{ij} - parametr, koszty dzierżawienia na jednostkę

kar_{ie} - parametr, kara jednostkowa za niedotrzymanie umowy dla istniejących klientów

cen_{ie} - parametr, cena (przychód) za dostarczenie jednostki

n - liczba routerów

$$1. \max_{x \in R} Q = \sum_{i=s}^e (x_{ie} \cdot cen_{ie}) - \sum_{i=s}^e (kar_{ie} \cdot (p_{ie} - x_{ie})) - \sum_{i \in V, j < i \in V} (d_{ij} \cdot kos_{ij})$$

- funkcja celu - zysk z wypełniania już zawartych umów pomniejszony o kary za niedotrzymywanie umów i koszty rozbudowy lub dzierżawienia nowego łącza p.o.

$$2. x_{ij} \geq 0 \quad - \text{przepływy po skierowanych krawędziach sieci są dodatnie}$$

$$3. \forall_{i \in \{1..N\} \times j \in \{1..e\}} x_{ij} + x_{ji} \leq p_{ij} + d_{ij}$$

- przepływ między dwoma wierzchołkami (w obu kierunkach) jest ograniczony, ale może zostać powiększony przez dzierżawienie lub rozbudowę

$$4. \forall_{j \in \{1..N\}} \sum_{i=s}^e (x_{ij} - x_{ji}) = 0$$

- do wewnętrznych wierzchołków sieci wpływa tyle co wypływa

$$5. \forall_{j \in V} x_{sj} \leq p_{sj} \quad - \text{wpływ do sieci jest ograniczony}$$

$$6. \forall_{i \in V} x_{is} \leq 0 \quad - \text{z wierzchołka źródłowego nie może uchodzić przepływ}$$

$$7. \forall_{i \in V} x_{ie} \leq p_{ie} \quad - \text{ujścia sieci są ograniczone}$$

$$8. \forall_{j \in V} x_{ej} \leq 0 \quad - \text{z ujść sieci nie może być wchodzącego przepływu}$$

$$9. \sum_{j=s}^e x_{sj} \leq \sum_{j=s}^e p_{sj}$$

- wpływ do sieci nie może być większy niż suma ograniczeń przepływów z wierzchołków WAN

Model V3 (wersja robocza)

$V = \{0, \dots, n + 1\}$ - zbiór wierzchołków, zawiera routery i wierzchołki skrajne

$s = 0 \in V$ - indeks wierzchołka początkowego (wierzchołka łączącego dostęp do WAN)

$e = n + 1 \in V$ - indeks wierzchołka końcowego (łączącego wszystkich klientów)

$i, j \in V$ - indeksy wierzchołków

x_{ij} - zmienna decyzyjna, przepływ **kierunkowy** między wierzchołkiem i-tym, a j-tym

d_{ij} - zmienna decyzyjna, wydierżawione łącze (rozbudowa)

kos_{ij} - zmienna, koszty dzierżawienia na jednostkę.

$p_{ij} \in P$ - parametr, ograniczenie przepustowości między wierzchołkiem i-tym, a j-tym. Dla wierzchołków niepołączonych równy zero, służy więc jednocześnie jako macierz incydencji. Dla wierzchołków klientów oznacza wartość wydierżawionego łącza. Musi być symetryczna, czyli $p_{ij} = p_{ji}$.

kar_{ie} - parametr, kara jednostkowa za niedotrzymanie umowy dla istniejących klientów

cen_{ie} - parametr, cena (przychód) za dostarczenie jednostki

r_{ij} - parametr, ograniczenie możliwości rozbudowy. Oznacza maksymalną ilość jednostek o jaką może być zwiększona przepustowość na tym odcinku.

ofe_{ijk} - parametr, koszty dzierżawienia na jednostkę w danym progu

pro_{ij} - parametr, koszt progowy rozpoczęcia dzierżawy

n - liczba routerów

$$1. \max_{x \in R} Q = \sum_{i=s}^e (x_{ie} \cdot cen_{ie}) - \sum_{i=s}^e (kar_{ie} \cdot (p_{ie} - x_{ie})) - \sum_{i \in V, j < i \in V} (kos_{ij})$$

- funkcja celu - zysk z wypełniania już zawartych umów pomniejszony o kary za niedotrzymywanie umów i koszty rozbudowy lub dzierżawienia nowego łącza p.o.

$$2. x_{ij} \geq 0 \quad - \text{przepływy po skierowanych krawędziach sieci są dodatnie}$$

$$3. \forall_{i \in \{1..N\} \times j \in \{1..e\}} x_{ij} + x_{ji} \leq p_{ij} + d_{ij}$$

- przepływ między dwoma wierzchołkami (w obu kierunkach) jest ograniczony, ale może zostać powiększony przez dzierżawienie lub rozbudowę

$$4. \forall_{j \in \{1..N\}} \sum_{i=s}^e (x_{ij} - x_{ji}) = 0$$

- do wewnętrznych wierzchołków sieci wpływa tyle co wypływa

$$5. \forall_{j \in V} x_{sj} \leq p_{sj} \quad - \text{wpływ do sieci jest ograniczony}$$

$$6. \forall_{i \in V} x_{is} \leq 0 \quad - \text{z wierzchołka źródłowego nie może uchodzić przepływ}$$

$$7. \forall_{i \in V} x_{ie} \leq p_{ie} \quad - \text{ujścia sieci są ograniczone}$$

$$8. \forall_{j \in V} x_{ej} \leq 0 \quad - \text{z ujść sieci nie może być wchodzącego przepływu}$$

$$9. \sum_{j=s}^e x_{sj} \leq \sum_{j=s}^e p_{sj}$$

- wpływ do sieci nie może być większy niż suma ograniczeń przepływów z wierzchołków WAN

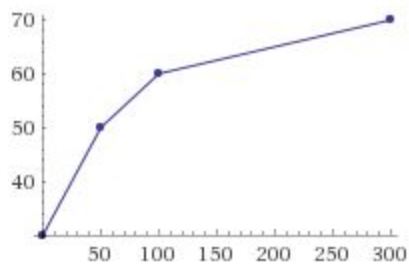
$$10. \forall i \in \{1..N\} \times j \in \{1..e\} \quad d_{ij} \leq r_{ij} \quad - \text{ograniczenie rozbudowy}$$

$$11. ijk \text{ (dla każdego k) } \text{kos } ij \geq \text{ofe } ijk * d + \text{pro } ij * v$$

$$12. v = \text{if } d > 0 \text{ then } 1 \text{ else } 0$$

Zmiany wprowadzone w stosunku do poprzedniego modelu:

- Dodano ograniczenie rozbudowy (parametr r_{ij} i ograniczenie 10.)
- Parametr oznaczający koszt dzierżawy jest teraz zmienną
- Dodano pro - koszt progowy rozpoczęcia dzierżawy
- Dodano macierz ofert oznaczającą
- Dodano ograniczenie 11. odpowiedzialne za wyznaczenie kosztów dzierżawy na podstawie macierzy ofert



przykładowy docelowy wykres ceny w zależności od dzierżawionego łącza.

IV. Opis zastosowania metod i algorytmów

- Wykorzystane narzędzia i metody
 - AMPL
 - programowania liniowe
 - solver MINOS
 - maksymalizacja przepływu sieci
- Podstawowy model programowania liniowego
 - model przepływu
- Model rozszerzony o dzierżawę sieci
 - model maksymalizacji zysku
- Interfejs użytkownika
 - język i biblioteki programu MATLAB

V. Harmonogram prac

14.12.2016 - Przedstawienie dokumentacji wstępnej

04.01.2017 - Prezentacja pierwszej wersji systemu (MVP - "Minimal Viable Product")

05.01.2017 - 17.01.2017 - Dodanie funkcjonalności związanych z analizą słabych punktów sieci i analizą awaryjności sieci.

18.01.2017 - 25.01.2017 - Testowanie systemu, usuwanie niedociągnięć, dopracowanie interfejsu użytkownika i dokumentacji.

25.01.2017 - Prezentacja ostatecznej wersji systemu