FLUID SYSTEMS

Andrzej J. Osiadacz
Maciej Chaczykowski
Łukasz Kotyński

Program do obliczania zapasu przepustowości sieci gazowej o dowolnej strukturze

Andrzej J. Osiadacz, Maciej Chaczykowski, Łukasz Kotyński, Fluid Systems Sp z o.o.,
ul. Opaczewska 43 lok. 13, 02 - 201 Warszawa

FLUID SYSTEMS

Maksymalna przepustowość sieci gazowej

- Świadczenie usługi przesyłowej/dystrybucyjnej przez Operatora sieci gazowej wymaga m.in. informacji na temat maksymalnej przepustowości sieci.
- Maksymalna przepustowość sieci gazowej jest to maksymalny strumień objętości/masy przesyłany tą siecią przy spełnieniu ograniczeń narzuconych na ciśnienie w wybranych punktach oraz prędkość w określonych segmentach tej sieci.

Maksymalna przepustowość sieci gazowej (c.d.)

Wiedza Operatora w tym zakresie jest niezbędna ze względu na:

- prawidłowo realizowaną usługę przesyłową/dystrybucyjną,
- efektywną ekonomicznie rozbudowę sieci wynikającą z prognozowanego wzrostu zużycia gazu.

Usługa przesyłowa/dystrybucyna

Zamawianie usługi przesyłowej/dystrybucyjnej polega na złożeniu przez ZUP/ZUD wniosku o usługę przesyłową/ dystrybucyjną, który następnie jest analizowany przez Operatora z punktu widzenia możliwości jej realizacji.

Prawidłowa realizacja usługi transportu gazu polega na przesłaniu z określonego punktu do określonego punktu sieci określonej ilości gazu , w określonym przedziale czasu zachowując odpowiednie warunki ciśnieniowe.

Zadanie maksymalizacji przepustowości

Algorytm omówiony poniżej pozwala na określenie maksymalnej przepustowości sieci gazowej o dowolnej strukturze i dowolnym poziomie ciśnienia lub kilku poziomach ciśnienia, w której mamy do czynienia z ustalonym przepływem gazu.

Zadanie maksymalizacji przepustowości zostało zdefiniowane jako zadanie programowania liniowego po uprzednim zlinearyzowaniu równania przepływu.

Celem optymalizacji jest znalezienie takich wartości obciążenia sieci i takich parametrów pracy elementów nierurowych, aby przepustowość sieci była maksymalna.

Zadanie maksymalizacji przepustowości (c.d.)

Funkcją celu ZPL jest suma obciążeń w węzłach wskazanych jako przedmiot optymalizacji:

$$\max L = \sum_{k=1}^{o} L_k$$

gdzie: L_k - obciążenie w k-tym węźle,

o - liczba węzłów podlegających optymalizacji.

Ograniczenia:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{P}^*_{\mathbf{min}} \\ \mathbf{P}_{\mathbf{min}} \\ \mathbf{f}_{\mathbf{min}} \end{bmatrix} \leq \begin{bmatrix} \mathbf{P}^* \\ \mathbf{P} \\ \mathbf{f} \end{bmatrix} \leq \begin{bmatrix} \infty \\ \mathbf{P}_{\mathbf{max}} \\ \mathbf{f}_{\mathbf{max}} \end{bmatrix}$$

Zadanie maksymalizacji przepustowości (c.d.)

gdzie:

f - przepływy przez elementy nierurowe,

P - ciśnienia na wyjściu elementów,

P^* - ciśnienia w pozostałych węzłach,

Istotnym ograniczeniem przy maksymalizacji przepustowości jest maksymalna prędkość czynnika w rurze. Przepływ rzeczywisty zapisać można jako:

$$\mathbf{Q_R = F \times w}$$

Gdzie: **F** - wektor z wartościami pola przekroju rur,

w - wektor prędkość przepływu w rurach.

Zadanie maksymalizacji przepustowości (c.d.)

W równaniu przepływu w postaci wektorowej:

$$-\mathbf{A}^{\mathbf{T}}\mathbf{P}' = \alpha \mathbf{Q}_{\mathbf{N}}^{2}$$

wektor przepływów w warunkach normalnych $\mathbf{Q_N}$ zastąpiono wektorem przepływów rzeczywistych:

$$-\mathbf{A}^{\mathbf{T}} \times \mathbf{P}' = \alpha \times \left(\beta \times \mathbf{F} \times \mathbf{w}\right)^{2}$$

gdzie: **P′**- wektor ciśnień we wszystkich węzłach,

α - macierz współczynników oporu hydraulicznego,

A - macierz incydencji węzłów i łuków,

β - diagonalna macierz współczynników przeliczenia na warunki normalne

Zadanie maksymalizacji przepustowości (c.d.)

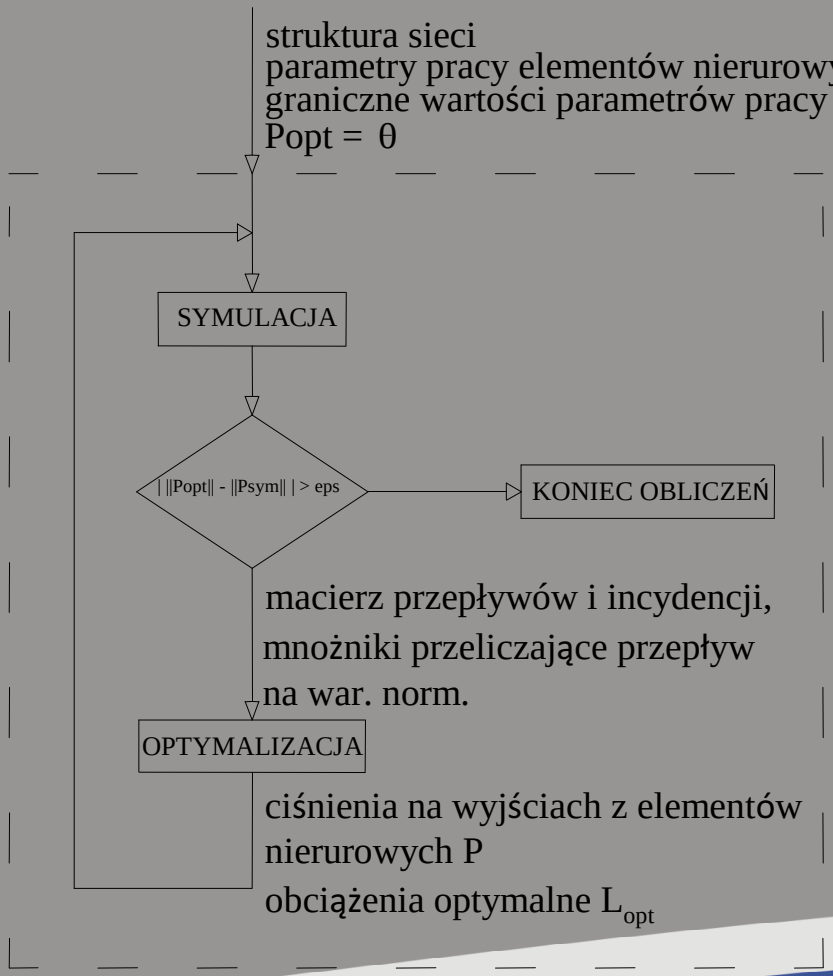
Ograniczenia na prędkość czynnika w rurach wyznaczono poprzez:

- dekomponowanie macierzy **A** na macierze:
  $\mathbf{A_2}$ - opowiadającą węzłom wyjściowym z elementów nierurowych i $\mathbf{A_1}$- odpowiadającą pozostałym węzłom
- wprowadzenie diagonalnej macierzy $\mathbf{R=\alpha(\beta F)^2}$
- podstawienie w miejsce wektora **w** wektora maksymalnych prędkości $\mathbf{w_{max}}$

w wyniku czego otrzymano ograniczenie na prędkość maksymalną:

$$-\begin{bmatrix} \mathbf{A_1^T} & \mathbf{A_2^T} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \mathbf{P^*} \\ \mathbf{P} \end{bmatrix} \leq \mathbf{R} \times \mathbf{w_{max}^2}$$

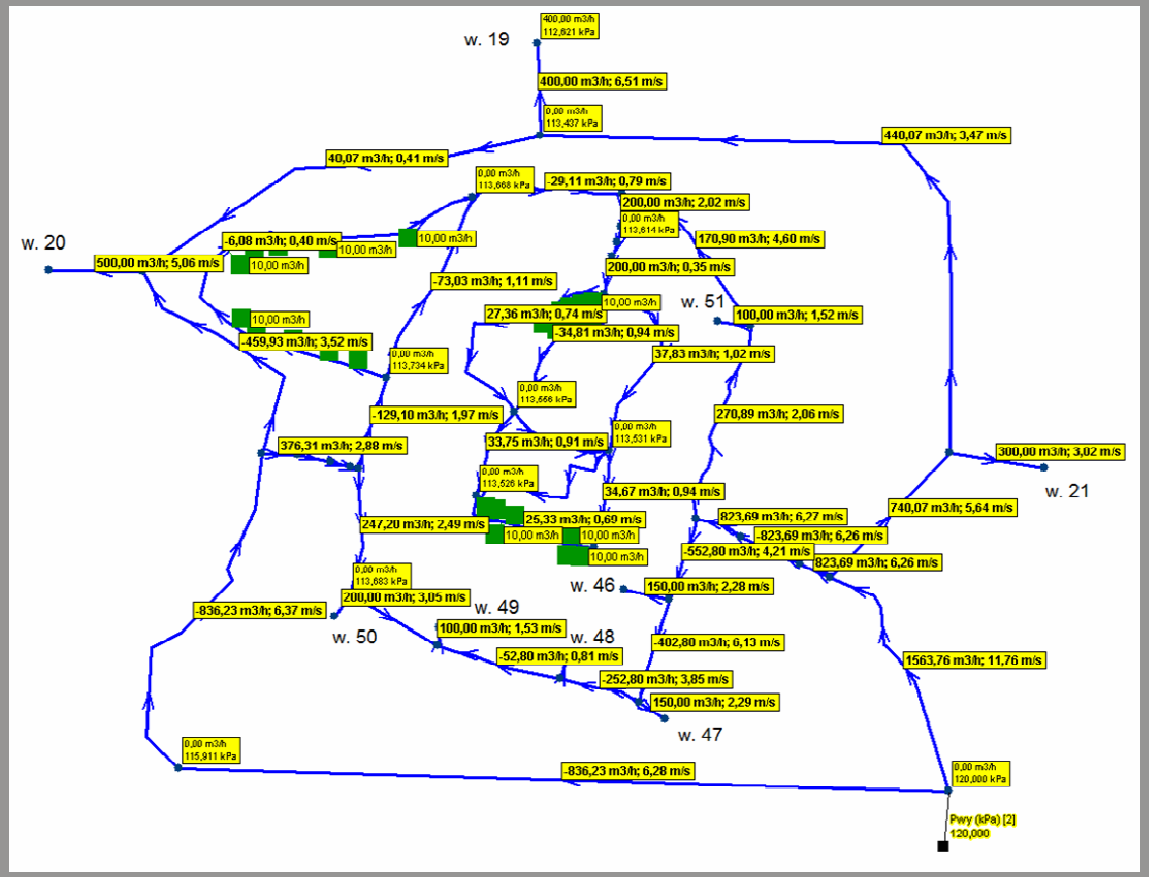
Algotytm maksymalizacji przepustowości



FLUID SYSTEMS

Przykład 1

- W niniejszym przykładzie optymalizowano przepustowość sieci o następującej strukturze:
- Sieć składa się z:
  - 1 źródła,
  - 71 węzłów, w tym 39 obciążonych,
  - 48 rur.



FLUID SYSTEMS

Parametry startowe obiektów

- Źródło – ciśnienie wyjściowe 120 kPa
- Rury:

– do węzła 19 – śr. wewnętrzna 103,09 mm, prędkość gazu 6,51 m/s
– do węzła 20 – śr. wewnętrzna 130,69 mm, prędkość gazu 5,06 m/s
– do węzła 21 – śr. wewnętrzna 130,69 mm, prędkość gazu 3,02 m/s
– do węzła 46 – śr. wewnętrzna 106,30 mm, prędkość gazu 2,28 m/s
– do węzła 47 – śr. wewnętrzna 106,30 mm, prędkość gazu 2,29 m/s
– do węzła 48 – śr. wewnętrzna 106,30 mm, prędkość gazu 3,05 m/s
– do węzła 49 – śr. wewnętrzna 106,30 mm, prędkość gazu 1,53 m/s
– do węzła 50 – śr. wewnętrzna 106,30 mm, prędkość gazu 3,05 m/s
– do węzła 51 – śr. wewnętrzna 106,30 mm, prędkość gazu 1,52 m/s

FLUID SYSTEMS

Parametry startowe obiektów (cd)

- Węzły:
  – węzeł 19 (pobór = 400 m^3/h; ciśnienie = 112,621 kPa),
  – węzeł 20 (pobór = 500 m^3/h; ciśnienie = 113,036 kPa)
  – węzeł 21 (pobór = 300 m^3/h; ciśnienie = 114,473 kPa)
  – węzeł 46 (pobór = 150 m^3/h; ciśnienie = 114,712 kPa)
  – węzeł 47 (pobór = 150 m^3/h; ciśnienie = 113,917 kPa)
  – węzeł 48 (pobór = 200 m^3/h; ciśnienie = 113,646 kPa)
  – węzeł 49 (pobór = 100 m^3/h; ciśnienie = 113,657 kPa)
  – węzeł 50 (pobór = 200 m^3/h; ciśnienie = 113,627 kPa)
  – węzeł 51 (pobór = 100 m^3/h; ciśnienie = 114,823 kPa)

FLUID SYSTEMS

Ograniczenia na parametry obiektów

- Źródło:
  - Minimalna wydajność źródła: 1 m^3/h
  - Maksymalna wydajność źródła: 70 000 m^3/h
- Rura:
  - Maksymalna prędkość w rurze: 20 m/s
- Węzły:
  - Ciśnienie minimalne: 1 kPa
  - Ciśnienie maksymalne: 120 kPa

FLUID SYSTEMS

Wyniki optymalizacji

-	węzeł 19		węzeł 20		węzeł 21		węzeł 46		węzeł 47	
-	Pobór, m3/h	Ciśnienie, kPa	Pobór, m3/h	Ciśnienie, kPa	Pobór, m3/h	Ciśnienie, kPa	Pobór, m3/h	Ciśnienie, kPa	Pobór, m3/h	Ciśnienie, kPa
Przykład podstawowy	400	112,621	500	113,036	300	114,473	150	114,712	150	113,917
Opt. w. 19	1275	97,370	500	106,491	300	109,572	150	110,561	150	109,284
Opt. w. 20	400	101,495	1852	95,267	300	107,087	150	107,905	150	105,864
Opt. w. 21	400	101,146	500	102,954	1881	96,570	150	105,923	150	105,136
Opt. w. 46	400	106,739	500	107,177	300	108,562	1294	103,127	150	106,460
Opt. w. 47	400	106,333	500	106,603	300	108,825	150	107,787	1275	100,413
Opt. w. 48	400	106,607	500	106,803	300	109,289	150	108,629	150	104,665
Opt. w. 49	400	105,476	500	105,481	300	108,605	150	108,143	150	104,498
Opt. w. 50	400	106,111	500	106,033	300	109,396	150	109,332	150	106,765
Opt. w. 51	400	106,371	500	106,812	300	108,168	150	107,277	150	106,936
Opt. w. 19÷21	770	93,940	1852	90,936	299	104,098	150	105,453	150	103,153
Opt. w. 46÷51	400	103,198	500	102,805	300	107,105	149	106,826	149	103,200
Opt w. 19÷51	399	97,912	1467	93,159	299	104,059	149	104,441	149	101,021
Ograniczenia	*brak*	*1÷120*	*brak*	*1÷120*	*brak*	*1÷120*	*brak*	*1÷120*	*brak*	*1÷120*

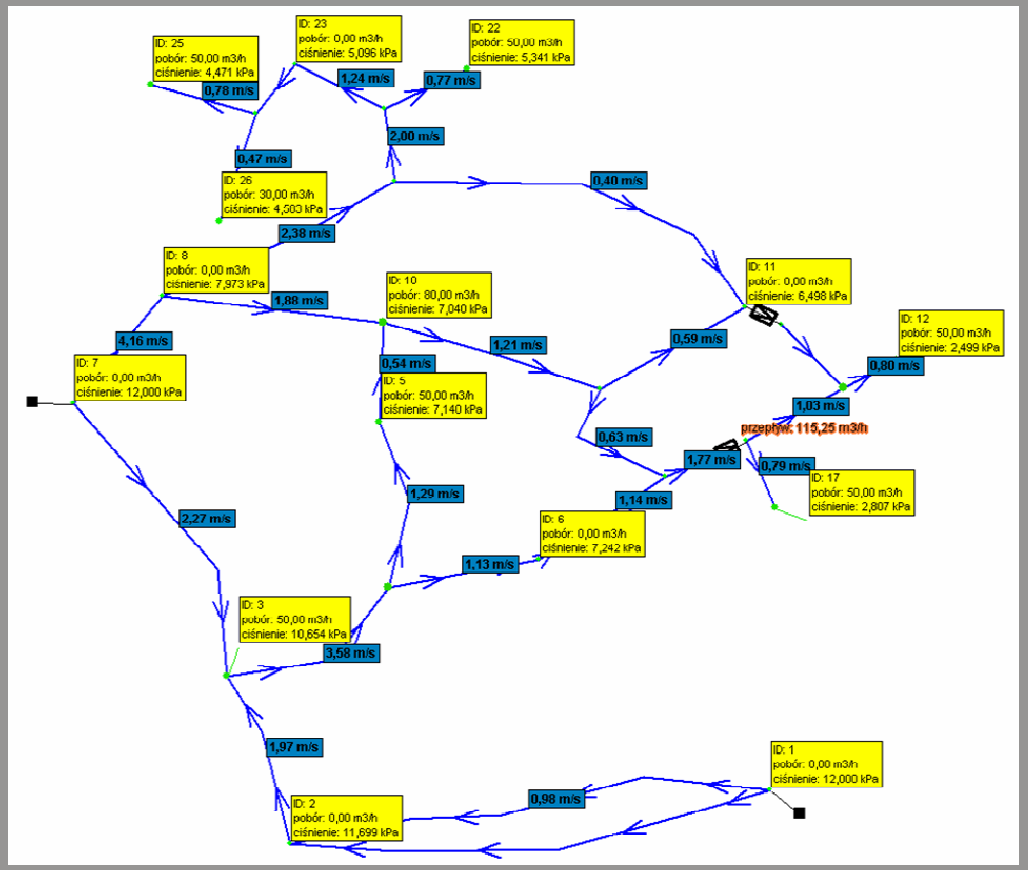
FLUID SYSTEMS

Wyniki optymalizacji

-	węzeł 48		węzeł 49		węzeł 50		węzeł 51	
-	Pobór, m3/h	Ciśnienie, kPa	Pobór, m3/h	Ciśnienie, kPa	Pobór, m3/h	Ciśnienie, kPa	Pobór, m3/h	Ciśnienie, kPa
Przykład podstawowy	200	113,646	100	113,657	200	113,627	100	114,823
Opt. w. 19	200	108,754	100	108,615	200	108,545	100	110,704
Opt. w. 20	200	104,883	100	104,360	200	104,108	100	108,092
Opt. w. 21	200	104,874	100	104,894	200	104,868	100	106,036
Opt. w. 46	200	106,455	100	106,802	200	107,262	100	107,841
Opt. w. 47	200	102,991	100	104,326	200	105,780	100	108,567
Opt. w. 48	1256	100,897	100	104,052	200	105,771	100	109,212
Opt. w. 49	200	102,484	1284	99,509	200	103,684	100	108,631
Opt. w. 50	200	105,453	100	104,598	1261	102,219	100	109,626
Opt. w. 51	200	106,873	100	106,975	200	107,130	1306	102,134
Opt. w. 19÷21	200	102,016	100	101,345	200	101,012	100	105,655
Opt. w. 46÷51	199	101,196	486	99,388	1261	97,551	99	107,243
Opt w. 19÷51	199	99,158	99	97,715	1116	95,337	99	104,746
Ograniczenia	*brak*	*1÷120*	*brak*	*1÷120*	*brak*	*1÷120*	*brak*	*1÷120*

Przykład 2

- W niniejszym przykładzie optymalizowano przepustowość sieci o następującej strukturze:



FLUID SYSTEMS

Przykład 2

- Startowe parametry pracy sieci:

Węzły

	Wartość	Nr węzła
Minimalne ciśnienie:	2,499 kPa	12
Minimalna wysokość:	0 m	1
Maksymalna wysokość:	0 m	1

Rury

	Wartość	Nr rury
Minimalna prędkość:	0,404 m/s	11
Maksymalna prędkość:	4,161 m/s	8
Minimalny wsp. lambda:	0,023	8
Maksymalny wsp. lambda:	0,0381	11
Minimalna liczba Re:	4917	11
Maksymalna liczba Re:	52215	8

Wydajność zródeł:	570,00 m3/h
Suma poborów:	570,00 m3/h
Masa gazu w sieci:	1462 kg
Objętość gazu w sieci:	1782 m3

FLUID SYSTEMS

Przykład 2

- Parametry pracy sieci po optymalizacji:

Węzły

	Wartość	Nr węzła
Minimalne ciśnienie:	1,742 kPa	25
Minimalna wysokość:	0 m	1
Maksymalna wysokość:	0 m	1

Rury

	Wartość	Nr rury
Minimalna prędkość:	0,206 m/s	13
Maksymalna prędkość:	5,297 m/s	9
Minimalny wsp. lambda:	0,0222	8
Maksymalny wsp. lambda:	0,0463	13
Minimalna liczba Re:	2436	13
Maksymalna liczba Re:	65813	9

Wydajność zródeł:	1015,00 m3/h
Suma poborów:	1015,00 m3/h
Masa gazu w sieci:	1431 kg
Objętość gazu w sieci:	1745 m3

FLUID SYSTEMS

Wnioski

- Przedstawiono algorytm optymalizacji przepustowości sieci pozwalający określić maksymalną przepustowość sieci gazowej o dowolnej strukturze.
- Wykorzystując algorytmy programowania liniowego wyznaczane są parametry pracy źródła (źródeł) oraz elementów nierurowych sieci (tłocznie, stacje gazowe, reduktory, węzły systemowe itd.) przy których ilości gazu odbierane z sieci osiągają wartości maksymalne.
- W procesie optymalizacji uwzględniane są jednocześnie ograniczenia eksploatacyjne narzucone na ciśnienie w wybranych punktach sieci oraz na prędkość w rurach.

FLUID SYSTEMS

Wnioski (c.d.)

- Algorytm został zaimplementowany w oprogramowaniu do optymalizacji przepustowości sieci gazowych OptNet SSC
- Program OptNet SSC posiada opcje pozwalające na maksymalizację przepustowości zakładając, że zwiększanie poboru może następować we wszystkich punktach odbioru gazu lub tylko w wybranych węzłach.
- Program umożliwia maksymalizację przepustowości sieci o dowolnym poziomie ciśnienia jak również o kilku poziomach ciśnienia jednocześnie.
- Przeprowadzone badania dla sieci o dowolnych strukturach wykazały całkowitą poprawność algorytmu.

FLUID SYSTEMS

Literatura

[1] Osiadacz A.J., Simulation and analysis of gas networks, E & F. N. Spon, 1987, London

[2] Osiadacz A., Chaczykowski M., Bilans mocy w systemie przesyłowym a opis termodynamiczny przepływu gazu, w materiałach I Konferencji Naukowo - Technicznej '2000 Energetyka Gazowa, Politechnika Śląska, Gliwice, 2000, s. 293-308

[3] OptNet SSC 1.0 – Dokumentacja techniczna oprogramowania, Fluid Systems