

Michał Orsetti

Wydział Informatyki i Zarządzania
Wyższej Szkoły Informatyki w Łodzi

Promotor: dr hab. inż. Marek Rudnicki, prof. WSIInf

INFORMATYCZNE ASPEKTY OPTIMALNEGO PROJEKTOWANIA SIECI ELEKTRYCZNYCH

Streszczenie – Celem artykułu jest pokazanie sposobu obliczenia optymalnego ze względu na koszty oraz poprawnego elektrotechnicznie usytuowania rozdzielni elektrycznych i okablowania do podłączenia linii produkcyjnych oraz pozostałych odbiorników w fabryce kosmetyków. Jako narzędzia użyte będą programowanie liniowe i algorytm ewolucyjny. We wnioskach znajdzie się analiza i porównanie otrzymanych wyników z oryginalnym projektem, według którego zbudowana została fabryka

1 Wykorzystanie metody programowania liniowego do rozwiązywania problemów z nieliniową funkcją celu

Rozważana sytuacja to poszukiwanie współrzędnych x pozwalających na zminimalizowanie odległości geometrycznych od znanych punktów na płaszczyźnie.

Poszukujemy takich współrzędnych, dla których suma długości będzie najmniejsza. Poszczególne wielkości odległości wyceniamy odmiennie ważąc je za pomocą wag w_k .

Zadanie minimalizacji sumy wartości bezwzględnych formułujemy następująco:

$$(1) \quad S = \sum_{k=1}^n w_k * |x - x_{0k}| \rightarrow \min$$

$$(2) \quad A * x = b$$

$$(3) \quad x \geq 0$$

Oznaczmy:

s_k^+ - współrzędna x większa niż współrzędna x_{a_k} , różnica $x - x_{a_k}$ gdy $x \geq x_{a_k}$

s_k^- - współrzędna x mniejsza niż współrzędna x_{a_k} , różnica $x_{a_k} - x$ gdy $x \leq x_{a_k}$

Oba rodzaje zmiennych s_k^+ i s_k^- przyjmują wartości nieujemne. Ponieważ dla decyzji x nie może wystąpić jednocześnie sytuacja, kiedy wielkość odległości będzie dodatnia i ujemna, to ograniczenia dla zmiennych s_k^+ i s_k^- będą miały postać:

$$(4) \quad s_k^+ \geq 0, s_k^- \geq 0, s_k^+ s_k^- = 0 \quad k = 1, 2, \dots, r$$

Każdy k -ty człon funkcji celu (1) można zastąpić wyrażeniem liniowym

$$(5) \quad w_k |c_k^T - c_{a_k}| = w_k (s_k^+ + s_k^-) \quad k = 1, 2, \dots, r$$

Stąd zadanie (1)-(3) można przedstawić w sposób zastępczy:

$$(6) \quad S = \sum_{k=1}^r w_k * (s_k^+ + s_k^-)$$

$$(7) \quad A * x = b$$

$$(8) \quad c_k^T * x - s_k^+ + s_k^- = c_{a_k}, \quad k = 1, 2, \dots, r$$

$$(9) \quad x \geq 0, \quad s_k^+ \geq 0, \quad s_k^- \geq 0, \quad k = 1, 2, \dots, r$$

$$(10) \quad s_k^+ * s_k^- = 0, \quad k = 1, 2, \dots, r$$

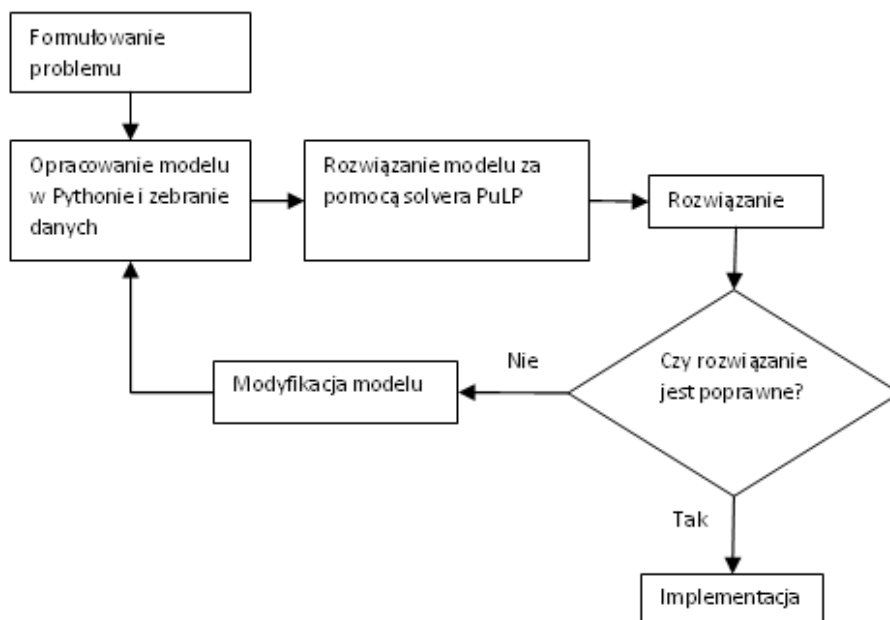
Ze względu na warunek (10) zadanie nie jest zadaniem programowania liniowego.

Jeżeli w otrzymanym zadaniu (6)-(10) pominiemy nieliniowy warunek (10), to otrzymamy zadanie programowania liniowego. Rozwiązując powyższe zadanie metodą simpleks mamy gwarancję spełnienia nieliniowego warunku (10). Zmienne s_k^+ i s_k^- nie znajdą się nigdy wśród zmiennych bazowych, ponieważ wektory współczynników przy tych zmiennych są współliniowe.

Zatem problem decyzyjny opisany za pomocą zadania (1)-(3) możemy rozwiązać jako zadanie programowania liniowego (6)-(9). Nowe zadanie ma o r więcej ograniczeń i o $2r$ więcej zmiennych niż zadania wyjściowe (1)-(3).

2 Proces optymalizacji liniowej

Cały proces przedstawiony jest w diagramie metodologii badań operacyjnych:



Rys. 1. Diagram metodologii badań operacyjnych.

Opis problemu

Na terenie fabryki znajdują się zlokalizowane linie produkcyjne i maszyny zasilane energią elektryczną. Zlokalizowana jest również stacja zasilająca trafo. Poszukujemy takich lokalizacji pośrednich rozdzielnic elektrycznych, aby koszt okablowania pomiędzy tymi urządzeniami był najniższy.

Odbiorniki energii elektrycznej znajdują się wewnątrz pomieszczeń, natomiast rozdzielnice nie mogą znajdować się na terenie pomieszczenia, muszą być zlokalizowane wzdłuż ścian tych pomieszczeń. Kable mogą być prowadzone tylko równoległe do osi budynku – nie mogą być prowadzone na ukos.

Matematyczne sformułowanie problemu

Funkcja celu:

Poszukujemy minimum funkcji będącej sumą iloczynów długości kabli między urządzeniami i ich ceną.

$$S = \sum_{k=1}^r w_k * L \rightarrow \min$$

gdzie w – cena kabla, L – długość kabla

Długość kabla jest sumą odległości w osi X i odległości w osi Y między urządzeniami (ograniczenie, że kable muszą być prowadzone równoległe do osi budynku).

Zatem funkcja celu ma postać:

$$S = \sum_{k=1}^r w_k * (|x - x_{0k}| + |y - y_{0k}|) \rightarrow \min$$

gdzie: w_k - współczynnik ceny kabla

x, y - współrzędne rozdzielnic

x_{0k}, y_{0k} – współrzędne kolejnych maszyn i trafo

Ograniczenia:

Rozdzielnicza musi być zlokalizowana wzdłuż ściany pomieszczenia, w którym znajdują się odbiorniki. Z tego wynikają ograniczenia:

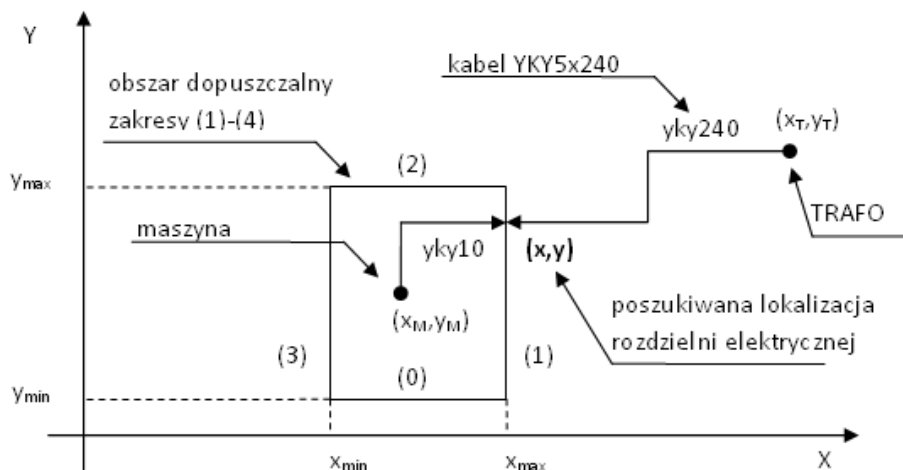
$$x = x_{\max} \text{ i } x = x_{\min} \text{ i } y = y_{\max} \text{ i } y = y_{\min}$$

Ponieważ ograniczenia te są parami sprzeczne musimy rozłożyć problem na sumę czterech problemów (zakresy (0) – (3)), w których występują tylko ograniczenia niesprzeczne ze sobą nawzajem. Na przykład $x = x_{\max}$, $y \geq y_{\min}$ i $y \leq y_{\max}$. Po rozwiązaniu wszystkich cząstkowych problemów wybierzemy najlepsze rozwiązanie.

Ponieważ nasza funkcja celu zawiera moduły wyrażeń i tym samym przestaje być funkcją liniową, aby optymalizować ją za pomocą PL musimy wprowadzić kolejne ograniczenia (opis z punktu 2.4.)

$$x - s_k^+ + s_k^- = x_{0k},$$

Ograniczenia, że zmienne muszą być większe od zera można pominąć, ponieważ zmienne zawierają się w dodatnich przedziałach *min-max*.



Rys. 2. Graficzne przedstawienie problemu optymalizacji

Zapis problemu w postaci programu

Program napisany został w postaci skryptu w środowisku Python korzystając z funkcji biblioteki PuLP.

```
from pulp import *
```

Najpierw wprowadzamy dane – współrzędne odbiorników energii i stacji trafo oraz współczynniki cen kabli.

wsp1 = wartość

Następnie deklarujemy zmienne decyzyjne:

```
x = LpVariable("x", xmin, xmax)
```

Następnie deklarujemy problem i kierunek optymalizacji:

```
prob = LpProblem("ZPL", LpMinimize)
```

Następnie wprowadzamy funkcję celu i ograniczenia:

```
prob += (funkcja)
```

W kolejnych krokach wykonujemy następujące czynności:

zapis problemu do pliku zpl.lp, do którego eksportowany jest zapis funkcji celu i ograniczenia:

```
prob.writeLP("ZPL.lp")
```

uruchomienie solvera:

```
prob.solve()
i wydruk wyników:
```

```
print "Status:", LpStatus[prob.status]
```

Skrypt został napisany w postaci pętli rozwiązującej ZPL dla czterech cząstkowych problemów – podzielonego obszaru dopuszczalnego. Kody skryptów rozwiązujących wszystkie pojedyncze ZPL dla kolejnych rozdzielnic znajduje się w plikach zpl____.py

Wyniki

Obliczenia zostały przeprowadzone dla czterech, największych rozdzielnic w fabryce. Wyniki znajdują się w tabeli poniżej.

W tabeli zostały zamieszczone wyniki optymalizacji za pomocą ZPL - poszukiwane lokalizacje rozdzielnic na terenie fabryki. Ponadto umieszczone są zmiany długości kabli względem oryginalnego projektu oraz sprawdzenie spadków napięć na długości obciążonych przewodów wg wzoru:

$$\frac{\Delta U}{U_n} = \frac{\sqrt{3} * I_n * l * \cos \varphi}{\sigma * U_n * s} * 100\%$$

gdzie: I_n - prąd znamionowy [A],

l - długość linii zasilającej [m],

σ – konduktywność, dla miedzi 58 [S*m/mm²],

U_n - napięcie znamionowe [V],

s – przekrój kabla zasilającego [mm²], razy ilość kabli

Zgodnie z pkt. 3.6.7 normy SEP-E-002 spadek napięcia w obwodach odbiorczych, od licznika energii elektrycznej do punktu przyłączenia odbiornika nie powinien przekraczać 3 %, przy czym równocześnie całkowity spadek napięcia od złącza instalacji elektrycznej do zacisków dowolnego odbiornika nie powinien przekraczać 4 %. Z tabeli wynika, że norma ta będzie spełniona.

Tabela. 1. Tabela wyników dla ZPL

rozdzielnia DB-M2												
xP4min =		12970										
xP4max =		14170										
yP4min =		28										
yP4max =		3186										
Projekt					ZPL							
maszyna	nazwa odb.	xMx	yMx	L0 [m]	L1 [m]	zysk	ilość żył	prze krój	ilość kabli	spadek napięcia		
maszyna M1	SA9	13434	2656	5,53	12,66	-7,13	YKY 5x	10	1	0,25%		
maszyna M2	SA13	13420	2030	11,65	19,06	-7,41	YKY 5x	10	1	0,31%		
maszyna M3	SA11	13446	1596	16,25	23,14	-6,89	YKY 5x	10	1	0,50%		
maszyna M4	SA12-1	13409	875	23,13	30,72	-7,59	YKY 5x	50	1	0,20%		
maszyna M5	SA12-2	13828	758	28,45	27,7	0,75	YKY 5x	10	1	1,50%		
		xR0	yR0	L0 [m]	xR1	yR1	L1 [m]					
rozdzielnia	DB-M2	13411	3186	90,54	14170	3186	75,36	15,18	YKY 5x	185	2	0,71%
rozdzielnia DB-2.1												
xP4min =		10095										
xP4max =		10718										
yP4min =		3625										
yP4max =		4920										
Projekt					ZPL							
maszyna	nazwa odb.	xMx	yMx	L0 [m]	L1 [m]	zysk	ilość żył	prze krój	ilość kabli	spadek napięcia		
maszyna M1	SGP-2T	11897	1341	89,36	87,8	1,56	YKY 5x	95	2	0,75%		
maszyna M2	K-1	12535	2685	37,62	36,84	0,78	YKY 5x	50	1	0,20%		
maszyna M3	C-1A	12535	2240	42,07	41,29	0,78	YKY 5x	50	1	0,22%		
maszyna M4	C-5	12095	2520	34,87	34,09	0,78	YKY 5x	50	1	0,18%		
maszyna M5	CHB-1	12569	4637	25,4	19,36	6,04	YKY 5x	120	1	0,17%		
		xR0	yR0	L0 [m]	xR1	yR1	L1 [m]					
rozdzielnia	DB-2.1	10377	4289	193,74	10718	4552	175,62	18,12	YKY 5x	240	3	1,08%
rozdzielnia DB-2.2												
xP4min =		10095										
xP4max =		10718										
yP4min =		3625										
yP4max =		4920										
Projekt					ZPL							
maszyna	nazwa odb.	xMx	yMx	L0 [m]	L1 [m]	zysk [m]	ilość żył	prze krój	ilość kabli	spadek napięcia		
maszyna M1	SGP-1.25T	12153	1659	83,96	86,56	-2,6	YKY 5x	95	2	0,74%		
maszyna M2	SGP-6T	11760	500	99,28	101,88	-2,6	YKY 5x	95	2	0,87%		
maszyna M3	PW-B2	14144	1090	67,58	68,88	-1,3	YKY 5x	35	1	0,85%		
		xR0	yR0	L0 [m]	xR1	yR1	L1 [m]					
rozdzielnia	DB-2.2	10377	4081	199,98	10718	4552	175,62	24,36	YKY 5x	150	3	1,43%
rozdzielnia DB-1												
xP4min =		10095										
xP4max =		10718										
yP4min =		3625										
yP4max =		4920										
Projekt					ZPL							
maszyna	nazwa odb.	xMx	yMx	L0 [m]	L1 [m]	zysk [m]	ilość żył	prze krój	ilość kabli	spadek napięcia		
maszyna M1	T1	9764	7275	31,49	30,54	0,95	YKY 5x	150	1	0,02%		
maszyna M2	T2	9794	6308	21,52	20,57	0,95	YKY 5x	150	1	0,04%		
maszyna M3	J3	9791	5116	9,63	8,68	0,95	YKY 5x	150	1	0,03%		
maszyna M4	J1	9796	4064	12,48	7,87	4,61	YKY 5x	150	1	0,05%		
maszyna M5	J2	9813	2914	23,81	19,2	4,61	YKY 5x	150	1	0,11%		
maszyna M6	B1	9819	1027	42,62	38,01	4,61	YKY 5x	150	1	0,21%		
		xR0	yR0	L0 [m]	xR1	yR1	L1 [m]					
rozdzielnia	DB-1	10373	4735	191,46	10095	4552	194,31	-2,85	YKY 5x	240	3	1,75%

3 Analiza wyników

Celem tej pracy jest przekonanie się, czy użycie metod optymalizacji w omawianym projekcie budowy fabryki da wymierne, materialne korzyści.

Sprawdźmy zatem, czy opłacało się przeprowadzić proces optymalizacji omawianego projektu.

3.1 Zastosowanie wyników optymalizacji do opisu problemu

Poniżej znajduje się zestawienie długości użytych kabli w projekcie i po optymalizacji ZPL.

Przekrój kabla	Projekt - suma długości kabli [m]	ZPL - suma długości kabli [m]
YKY 5x10	61,88	82,56
YKY 5x35	67,58	68,88
YKY 5x50	137,69	142,94
YKY 5x95	272,6	276,24
YKY 5x120	25,4	19,36
YKY 5x150	341,53	300,49
YKY 5x185	90,54	75,36
YKY 5x240	385,2	369,93

3.2 Porównanie kosztorysów realnego projektu i projektu zoptymalizowanego

Aby dokonać porównania kosztów wykonania instalacji nie wystarczy zwyczajnie podać różnicy wartości użytych kabli. Kable te należy przywieźć, magazynować, ułożyć. Każda czynność w budownictwie opisana jest, jako pozycja kosztorysowa składająca się z wielu pozycji. Czynność zawiera nie tylko użyty materiał, ale również inne materiały pomocnicze, środki transportu i robociznę. Tak opisana czynność pokazuje jej rzeczywistą wartość.

Tabela. 2. Pozycja kosztorysu w programie Norma

L p	Podstawa	Opis	jm	Nakłady	Koszt jedn.	R	M	S
1d 1	KNR- W 5-10 0118- 02	Układanie kabli wielożyłowych o masie do 1.0 kg/m na nap. znam. poniżej 110 kV w budynkach, budowlach lub na estakadach z mocowaniem obmiar = 61.88m	m					
1*		-- R -- robocizna 0.155r-g/m * 15.00zł/r-g	r-g	9.5914	2.325	143.87		
2*		-- M -- wazelina techniczna 0.007kg/m * 29.50zł/kg	kg	0.4332	0.207		12.78	
3*		opaski kablowe OKi 0.05szt/m * 1.18zł/szt	szt	3.0940	0.059		3.65	
4*		materiały pomocnicze 4% * 16.43zł	%	4.0000	0.0106		0.66	
5*		kabel YKY 5x10 mm2 1.04m/m * 21.24zł/m	m	64.355	22.090		1366.90	
6*		-- S -- środek transportowy 0.0067m-g/m * 83.45zł/m-g	m-g	0.4146	0.559			34.60
7*		przyczepa do przewożenia kabli 0.0044m-g/m * 7.83zł/m-g	m-g	0.2723	0.034			2.13
8*		ciągnik kołowy 0.0044m-g/m * 66.38zł/m-g	m-g	0.2723	0.292			18.07
9*		żuraw samochodowy 0.0044m-g/m * 109.70zł/m-g	m-g	0.2723	0.483			29.87
		Razem koszty bezpośrednie: 1612.59 Ceny jednostkowe			26.060	143.87 2.325	1383.99 22.367	84.67 1.368

Powyższa tabela pokazuje różnicę, o której pisałem wcześniej. Koszt 61,88m kabla YKY5x10mm2 wynosi 1366,90zł , natomiast cała czynność związana z ułożeniem takiej ilości kabla wynosi. 1621,59zł. Dlatego właśnie sporządziłem kosztorys obejmujący wszystkie czynności związane z układaniem kabli, które występowały w naszym przypadku.

I oto wyniki. Koszt całkowity ułożenia rozważanych kabli wynosi odpowiednio:

projekt	564.644,35 zł
optymalizowany	531.156,27 zł
różnica:	33.488,08 zł

Wnioski nasuwają się same.

Rozważaliśmy tylko niewielki wycinek instalacji elektrycznej – zajmowaliśmy się kablami o łącznej długości ok. 1400 m, natomiast w całej fabryce szacunkowo zostało zużyte łącznie ok. 170 tysięcy metrów kabli. Biorąc to pod uwagę można się spodziewać naprawdę wymiernych oszczędności.

4 Podejście ewolucyjne

Rozpatrywany przez nas problem można rozwiązać również w sposób ewolucyjny.

W rozdziale szóstym przedstawione zostały różne rodzaje algorytmów ewolucyjnych. Omówione zostały rodzaje operatory genetyczne oraz metody selekcji i reprodukcji.

Do rozwiązania postawionego problemu można alternatywnie zastosować algorytm genetyczny w celu znalezienia optymalnych rozwiązań.

Znowu posłużymy się skrypcem w środowisku Python korzystając tym razem z narzędzia Pyevolve

Skrypt został napisany w Pythonie z użyciem biblioteki Pyevolve, jako silnika algorytmu ewolucyjnego. Dzięki możliwości różnego kodowania chromosomów użyte zostało kodowanie rzeczywiste. Chromosom składa się z dwóch genów odpowiadającym współrzędnym rozdzielnicy. Jedno pokolenie składa się domyślnie z 80 osobników.

Funkcja oceny chromosomu jest identyczna jak funkcja celu w ZPL. Ma postać:

$$S = \sum_{k=1}^r w_k * (|x - x_{0k}| + |y - y_{0k}|)$$

i optymalizujemy ją w kierunku minimum.

W algorytmie ewolucyjnym nie możemy użyć ograniczeń, tak jak to zrobiliśmy w ZPL. W celu zmuszenia algorytmu do poszukiwania rozwiązania w określonym z góry obszarze, zastosowałem funkcję kary. Ma on postać:

$$kara = \begin{cases} 0 & \text{chromosom w obszarze dopuszczalnym} \\ \min(L_i) & \text{poza obszarem dopuszczalnym} \end{cases}$$

Wartość funkcji kary wynosi 0, jeżeli chromosom reprezentujący współrzędne znajduje się w obszarze dopuszczalnym. W przeciwnym przypadku jej wartość jest równa geometrycznej odległości wskazywanego punktu od obszaru dopuszczalnego. W funkcji przez L_i oznaczyłem odległości wskazywanego punktu od wszystkich czterech częściowych obszarów dopuszczalnych. Następnie wybierana jest wartość najmniejsza. W zależności od rozpatrywanego przypadku

(położenia obszaru dopuszczalnego względem maszyn i trafo) należało pomnożyć wartość funkcji kary o $10^3 \cdot 10^6$, aby otrzymać poprawne wyniki algorytmu.

Kody skryptów rozwiązujących wszystkie pojedyncze zadania dla kolejnych rozdzielnic znajduje się w plikach ae____.py

Wyniki dla wszystkich czterech rozdzielnic przedstawione są w tabeli.

Tabela. 3. Porównanie wyników dla ZPL i AE

rozdzielnia	ZPL		AE		ilość pokoleń	odległość od optimum
	x	y	x	y		
DB-M2	14170	3186	14204	3186	4000	30cm
DB-2.1	10718	4552	10033	4557	200	685cm
DB-2.2	10718	4552	10095	4552	200	623cm
DB-1	10095	4552	10095	4552	200	0cm

Użycie algorytmu ewolucyjnego było tym, co mnie skłoniło do podjęcia tematu tej pracy. Daje on możliwość szybkiego i intuicyjnego opisywania problemu. Kod skryptu jest o połowę krótszy niż w przypadku programowania liniowego. Również matematyczny zapis problemu był łatwiejszy – był czytelny. Funkcję celu można było zapisać wprost, ograniczenia zostały zapisane w postaci pojedynczej, prostej funkcji kary o dość dowolnej treści.

Fascynujące jest to, że algorytmy te w ogóle działają. Statystyka i prawdopodobieństwo, jak dla mnie, nie wyjaśniają otrzymywania tak dokładnych wyników, na dodatek w tak krótkim czasie. W czwartym rozważanym przypadku algorytm odnalazł optymalny wynik wśród 225 milionów możliwych kombinacji po zbadaniu zaledwie 16 tysięcy możliwych w czasie ok. 1,5 sekundy. Zresztą jak wynika z literatury matematycy nadal nie udowodnili większości stosowanych algorytmów ewolucyjnych.

Jednak jak się przekonałem w zastosowaniu algorytmów ewolucyjnych kryje się pewna pułapka – trzeba dobrać parametry, z jakimi uruchomimy silnik algorytmu. Ponieważ każdy rozwiązywany problem jest inny, nie istnieją dla większości gotowe zestawy parametrów.

5 Wnioski

Omawiany projekt fabryki, który był przeze mnie optymalizowany został stworzony przez bardzo doświadczonego projektanta, który pracował przy wielu dużych inwestycjach na całym świecie. I on sam miał wątpliwości czy układ urządzeń w fabryce jest optymalny

ekonomicznie. Powstał na podstawie pierwszej i jedynej koncepcji. Na nic więcej nie było czasu. Stąd był pomysł na temat niniejszej pracy.

Zakres tej pracy obejmował 1400 metrów ze 170 tysięcy metrów kabli w fabryce, czyli ok. 0,5% całości. Nie obejmował całej reszty urządzeń elektrycznych jak np. oświetlenie czy aparaty w rozdzielniach,

Po napisaniu kilkudziesięciu linii skryptu oszacowałem oszczędności rzędu kilkudziesięciu tysięcy złotych. Można sobie tylko wyobrazić sumę dotyczącą kompletnego projektu. A to tylko jedna branża. Tak samo można poddać optymalizacji architekturę i budownictwo, wentylację i klimatyzację, kanalizację, odwodnienie. Można zoptymalizować nie tylko koszty budowy instalacji, powinno się również optymalizować koszty wieloletniej eksploatacji.

Można, a nawet chyba należy się zastanowić nad etyką takiego postępowania. (Kodeks etycznego postępowania jest co roku przesyłany członkom izby inżynierów budownictwa.) Oszczędności wielokrotnie przekroczyłyby wartość samego wykonania projektu. Tylko co w sytuacji, kiedy to inwestor narzuca skrajnie krótkie terminy? Może projekt powinien więcej kosztować, więcej osób go powinno wykonywać? Tylko co, kiedy inwestor jest biznesmanem i targuje się o każdą złotówkę?

Mam nadzieję, że kiedyś znajdę odpowiedzi na te pytania.

Literatura

- [1] Seidler J., Badach, A., Molisz, W. Metody rozwiązywania zadań optymalizacji. Warszawa : WNT, 1980.
- [2] POLSKA NORMA PN-IEC 60364-5-523:2001 Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego. Obciążalność prądowa długotrwała przewodów. Warszawa : PKN, 2001.
- [3] Pike Ralph W., Optimization for Engineering Systems. Louisiana : Louisiana State University, 2001.
- [4] Michalewicz Z., Algorytmy genetyczne + struktury danych = programy ewolucyjne. Warszawa : WNT, 2003.
- [5] Mitchel S. PuLP v1.4.6 documentation.
- [6] Miszczyński M. Badania operacyjne - wykłady. Łódź : UŁ KBO, 2007.
- [7] Findeisen W., Szymanowski J., Wierzbicki A., Teoria i metody obliczeniowe optymalizacji. Warszawa : PWN, 1980.
- [8] Perone C. Pyevolve documentation.
- [9] Arabas J. Wykłady z algorytmów ewolucyjnych. Warszawa : WNT, 2004.

OPTIMAL ASPECTS OF COMPUTER DESIGN OF ELECTRICAL NETWORKS

Summary – This article aims is to show how to make optimal calculation due to the cost and the correct positioning of electric switching and cabling to connect the production lines and other receivers in the factory of cosmetics. A linear programming and evolutionary algorithm will be used as a tool. The conclusions will contain: an analyze and the results comparison obtained with the original project, which was built by the factory

