



OPTIMIZATION OF THE GAS TRANSPORT IN THE PIPING DISTRIBUTION SYSTEM

OPTIMALIZACE DOPRAVY PLYNU V POTRUBNÍM ROZVODU

Vladimír STRAKOŠ

*VŠB – Technical University of Ostrava
Institute of Economics and Control Systems
Automation in Mining
Ostrava, 708 33, Czech Republic*

1. INTRODUCTION

The piping distribution systems are the base of a man existence in towns. Their projecting is very complicated and demanding on the designer's experience, especially when the minimum demands on operation of these distribution systems and stations should be respected which transport a corresponding medium to these distribution systems, and namely gas, water, hot water, water for heating, cables for electrical power distribution etc. The existing computer technique enables to solve a whole number problems connected with such a proposal. The contribution includes the information concerning the possibilities of the computer technique utilization in projecting of engineering networks, in their reconstruction, in extension of the network or in its reduction on less number of branches. In the following text we will start from the beginning as we would project a new gas distribution and we will utilize the program with the help of which we will create the model of statistical characteristics of the system proposed.

2. SERVICE LIFE OF THE EQUIPMENT PROPOSED

The basic criterion for selection of the distribution structure for transport from gas compressor stations to the consumers is the arrangement of sources and places of consumption. Under the place of consumption the group of houses, housing estate, greater enterprise etc. are understood. The distribution of these places in a map is the basic point of view and the first step to be done.

- Into the map of the region we will draw the places of gas sources (e.g. the stockyards of communal waste) and the places where gas or its power can be utilized. For indication of all

1. ÚVOD

Potrubní rozvody jsou základem existence člověka ve městech. Jejich projektování je značně složité a náročné na zkušenosti projektanta, zvláště když by se měly zohlednit minimální nároky na provoz těchto rozvodů a stanic, které doprovázejí do těchto rozvodů příslušné medium jako plyn, vodu, teplou vodu, vodu pro topení, kably pro rozvod el. energie apod. Dnešní výpočetní technika dovoluje řešit řadu problémů spojených s takovým návrhem. V tomto příspěvku je upozornění na možnosti využívání výpočetní techniky při projekci inženýrských sítí, při jejich rekonstrukci, při rozšiřování sítě a nebo při její redukci na menší počet větví. V následujícím textu začneme od začátku jako bychom navrhovali nový rozvod např. plynu a přitom budeme využívat program, kterým vytvoříme model statických vlastností navrhovaného systému.

2. ŽIVOTNOST NAVRHovanÉHO ZAŘÍZENÍ

Základním kritériem pro výběr struktury rozvodu pro přepravu od kompresorových stanic plynu ke spotřebitelům je rozložení zdrojů a míst spotřeby. Místem spotřeby přitom myslím skupinu domů, sídliště, větší podnik apod. Rozložení těchto míst v mapě je základním hlediskem a prvním krokem který musíme udělat.

- Do mapy oblasti zakreslíme místa zdrojů plynu (na př. skládky domovního odpadu) a místa kde lze plyn nebo jeho energii využít. Pro vyznačení celé problematiky budeme v dalším textu uvažovat 3 zdroje a 3 místa spotřeby .

- problems we will count, in further text, with 3 sources and 3 places of consumption.
- The arrangement of sources and places of consumption will be also transferred into the cadastral map. Best as the independent map layer in some GIS program as e.g. Microstation.

After creating the survey about the sources arrangement, the further step is setting of the sources capacity, and namely the hour capacity in the time period of realization and the long-term perspective for minimally the time period of service life of the equipment used what are the vacuum pumps and gas compressors, piping, heat exchangers and combustion equipment etc. Further, also the perspective consumption of consumers will be determined, as e.g. the possibilities of the production extension, change of technology, innovations of products etc.

- Rozmístění zdrojů a míst spotřeby převedeme také do katastrální mapy. Nejlépe jako samostatnou mapovou vrstvu v některém GIS programu jako např. Mikrostation.

Když jsme si vytvořili přehled o rozmístění zdrojů, tak dalším krokem je stanovení kapacity zdrojů, a to jak hodinovou kapacitu v době realizace, tak dlouhodobou perspektivu minimálně na dobu životnosti použitých zařízení, což jsou vývěvy a kompresory plynu, potrubí, výměníky tepla a spalovací zařízení apod. Dále určíme také perspektivní spotřebu spotřebitelů jako např. možností rozšiřování výroby, změny technologie, inovace výrobků apod.

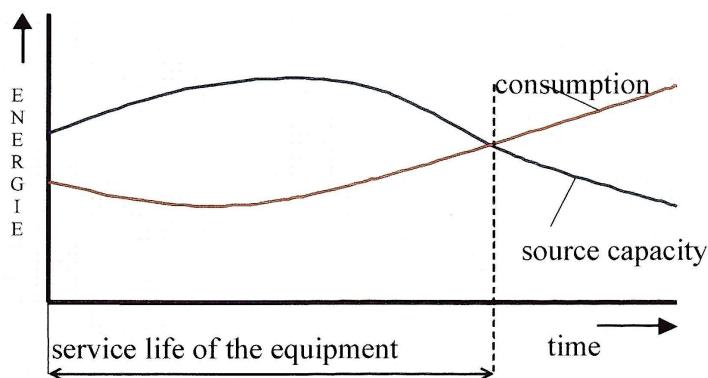


Figure 1 Determination of service life of the equipment proposed for gas distribution
Obrázek 1 Určení životnosti zařízení navrhovaného pro rozvod plynu

In this way we shall obtain an important graph as the result according to the Fig. 1 from which we can easily see when probably the gas from the sources (source) will not be sufficient for covering the consumption and when we will have to solve the further process. Either by the gas purchase from distanced distribution systems or by the gas generation from the fossil fuels or by supplementing of gas power by power from the electrical distribution system or simply by limitation of supply for consumers without settlement of the difference arisen.

On the basis of this consideration we will obtain, with a certain probability, the service life of the equipment proposed or projected and can proceed further.

3. SELECTION OF NETWORK

If we know the sources and places of consumption we can propose the piping network which will connect the places of sources (stockyards or gas storage tanks, transit gas line) with the places of consumption. In projecting of a new distribution

Takovýmto způsobem dostaneme jako výsledek významný graf podle obr. 1 ze kterého snadno vidíme kdy pravděpodobně plyn ze zdrojů (zdroje) nestačí pokrýt spotřebu a kdy budeme muset řešit jak postupovat. Bud' nákupem plynu z dálkových rozvodů nebo výrobou plynu z fosilních paliv nebo doplňováním energie plynu energii z elektrického rozvodu, nebo jednoduše omezením dodávky spotřebitelům bez náhrady vzniklého rozdílu.

Na základě této úvahy zistíme, s určitou pravděpodobností, životnost navrhovaného nebo projektovaného zařízení a můžeme postupovat dále.

3. VOLBA SÍTĚ

Známe-li zdroje a místa spotřeby můžeme navrhnout potrubní síť která bude spojovat místa zdrojů (skladky nebo zásobníky plynu, transitní plynovod) s místy spotřeby. Ať již navrhujeme nový rozvod v sídlišti, nebo rozšíření staršího rozvodu bude

system in the housing estate or extension of the older one it will be suitable to propose several variants of the networks, in the time being, without respect on cadastral maps, i.e. without respect on the problems solution with the pieces of lands owners. The Fig. No. 2 illustrates the example of such variants created with the help of the program GRAFSIT created in VŠB-TUO.

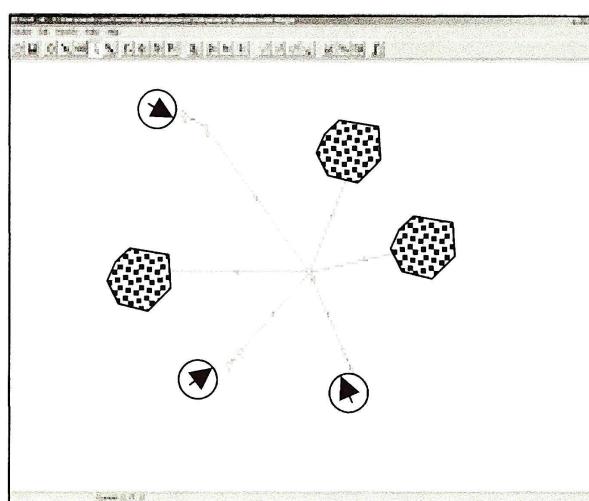
The further important decision which we have to carry out is whether we carry distribute gas up to the consumers or whether we convert the gas power on electrical power and thermal power in the course of gas sources as e.g. the stockyards of communal waste. For simplification of this complicated task we consider now only the gas distribution up to the consumers.

With this decision the solution optimization task with two criteria starts, and namely :

- minimum costs for operation and gas transport,
- minimum costs for the system building up.

The connection of these two criteria is not the easy matter. Let us start at first with the solution of minimum costs for the gas transport.

According to the variants of the gas distribution which we have selected as e.g. in the Fig. 2 and according to the requirements on what gas pressure is required in the terminal points of the network and also according to the sources capacity we will select or find out from the manufacturers (in the time being only preliminarily) the characteristics of compressors and these ones we will use in the model of gas distribution. According to the presupposed daily consumption diagram we will select the most unfavorable situation, i.e. when the sum of the single sources consumption is the greatest one. If we have such a quantity of gas from the sources for our disposal so we continue in selection of the piping diameters.



vhodné navrhnut několik variant sítí, zatím bez ohledu na katastrální mapy tzn., bez ohledu na řešení problému s majiteli pozemků. Na obr.2. je příklad takových variant vytvořených s využitím programu GRAFSIT vytvořeným na VŠB-TU v Ostravě.

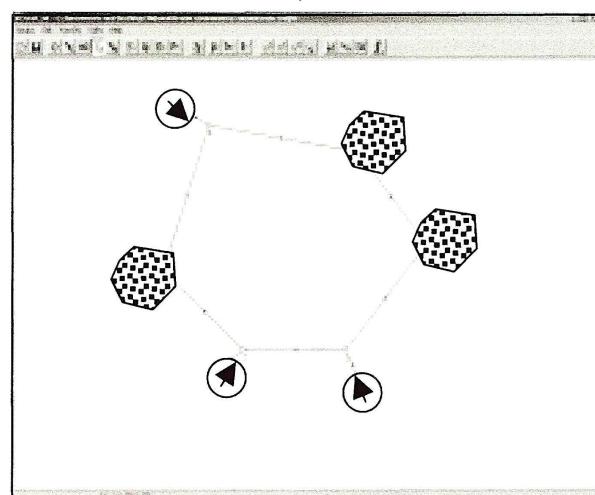
Dalším důležitým rozhodnutím které musíme provést je, jestli budeme ze zdrojů rozvádět plyn až ke spotřebitelům, nebo jestli budeme energii plynu přeměňovat na el. energii a teplou energii v místě zdrojů plynu jako jsou např. skládky domovního odpadu. Pro zjednodušení této složité úlohy uvažujeme zatím pouze o rozvodu plynu až ke spotřebitelům.

Tímto rozhodnutím začíná řešení optimalizační úlohy se dvěma kritérií, a to :

- minimální náklady na provoz a přepravu plynu,
- minimální náklady na výstavbu systému.

Skloubení těchto dvou kritérií není jednoduchou záležitostí. Začněme nejprve řešením minimálních nákladů na přepravu plynu.

Podle variant rozvodu plynu které jsme zvolili jako např. v obr. 2 a podle požadavků na to jaký tlak plynu se požaduje v koncových bodech sítě a také podle kapacity zdrojů, zvolíme, nebo od výrobců zjistíme (zatím předběžně) charakteristiky kompresorů a ty použijeme v modelu rozvodu plynu. Podle předpokládaného denního odběrového diagramu vybereme nejnepříznivější situaci tzn. když součet spotřeb jednotlivých zdrojů je největší. Pokud takové množství plynu ze zdrojů máme k dispozici tak pokračujeme volbou průměrů potrubí.



*Figure 2 Two examples of the network selection with three sources and three places of consumption.
Obrázek 2 Dva příklady volby sítě se třemi zdroji a třemi místy spotřeby*

The diameter of piping will be determined either on the basis of experience or according to specialized literature and so in such a way that we select the greater diameters and these ones then will be optimized in the course of simulation. As soon as we select the diameters of the piping we will estimate the quantity flowing in these branches and according to the information from the manufacturers we will estimate the pressure in sources and, hereby, we can calculate the approximate resistance in the branches which will be used in the model creation.

The resistance of branches will be entered into the network and, with the help of the program GRAFSIT, we will carry out the first calculation of the quantity distribution into the branches in the networks for each variant. After evaluation of the results we proceed in such a way that we will make several variants on each network (this requires a certain experience with the network solution) and we will select that one which corresponds best to our ideas what is still not, in any case, the optimum solution.

The further step is again the work with the model, and namely the detailed setting of the quantity required which we want to supply from single sources. This will be done with the help of the CPM method (Critical Path Method) what is solved again by the program GRAFSIT. With the help of this method – calculation we will set the accurate resistance of all branches and, from these resistance values, we will calculate the diameters of the piping and, according to the piping manufacturer, we will select the suitable resistance and naturally also the wall thickness of the piping but this is not the final proposal of the piping diameter which will be used for distribution.

Now, we will return back to the program GRAFSIT again and to the network selected into which we will enter already the more detailed resistance values calculated according to the existing diameters of the piping. We will carry out the calculation, we will control whether the necessary quantity [$\text{Nm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$] flows in the branches and what is the pressure loss Δp in each branch. This can be seen in the Fig. No. 3 and, in this way, we can calculate the power losses arising from the gas flowing in each branch what is the loss power

$$E_{ztr} = k \cdot \Delta p \cdot Q$$

k ... coefficient including the usage of suitable units
 Δp .. pressure loss in the branch – piping section
 Q ... flowing quantity

Průměr potrubí určíme buď ze zkušeností nebo podle literatury a to tak, že volíme větší průměry a ty potom v průběhu simulace optimalizujeme. Jakmile zvolíme průměry potrubí, tak odhadneme množství proudící v těchto větvích a podle informací od výrobců odhadneme tlak u zdrojů a tím můžeme vypočítat přibližné odpory větví které použijeme pro vytvoření modelu.

Odpory větví zadáme do sítě a programem GRAFSIT provedeme v každé variantě první výpočet rozdělení množství do větví v sítích. Po zhodnocení výsledků postupujeme tak, že na každé síti uděláme několik variant (to vyžaduje určitou zkušenosť s řešením sítí) a vybereme tu, která nejlépe odpovídá našim představám, což ještě není ani náhodou optimální řešení.

Dalším krokem je opět práce s modelem, a to upřesnění požadovaného množství které chceme dodávat z jednotlivých zdrojů. To provedeme metodou CPM (Critical Path Method) což opět řešíme programem GRAFSIT. Touto metodou – výpočtem určíme přesné odpory všech větví a z těchto odporů vypočteme zpětně průměry potrubí a podle výrobce potrubí zvolíme vhodný průměr a samozřejmě tloušťku stěny potrubí, ale ani to ještě není konečný návrh průměru potrubí které pro rozvod použijeme.

Nyní se opět vrátíme k programu GRAFSIT a k vybrané síti do které teď již vložíme upřesněné odpory vypočtené podle nynějších průměru potrubí. Provedeme výpočet, zkонтrolujeme zda ve větvích proudí potřebné množství [$\text{Nm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]. a jaká je tlaková ztráta Δp v každé větví. Toto je vidět na obr. 3. a takto můžeme vypočítat ztráty energie vznikající prouděním plynu v každé větví, což je ztrátová energie

$$[\text{kWh; Pa; kg.s-1}]$$

k ... koeficient zahrnující použití vhodných jednotek
 Δp .. tlaková ztráta ve věti – úseku potrubí
 Q ... proudící množství

The total losses of power necessary for the gas distribution what is also the compressors power input necessary for the gas transport are then given by the sum of the power losses in single branches.

$$E_{ztr,celk} = \sum E_{i,ztr}$$

This loss power and so the costs for operation for one week under the average gas consumption in consumers will be as follows:

$$N_{zt} = 7.24 \cdot E_{ztr,celk} \cdot C_{el}$$

N_{zt} ... hour costs for electrical power necessary for the gas transport

C_{el} ... price for 1 kWh of electrical power

Now, we can simulate various operation situations, i.e. to increase or decrease the pressure in single sources and calculate the total costs for operation, to increase and decrease the quantity consumed and determine the most suitable – the optimum parameters of sources for operation of the gas network. This means how much gas the single sources should deliver so that the least losses would occur in the network, and namely not only in the time period of the operation commencement but also in the long-term time horizon.

Celkové ztráty energie potřebné pro rozvod plynu, což je také příkon kompresorů potřebný na přepravu plynu, jsou pak dány součtem ztrát energií v jednotlivých větvích.

[kWh]

Tato ztrátová energie a tedy náklady na provoz za jeden týden při průměrné spotřebě plynu u odběratelů budou

[CZK; kWh; CZK.kWh⁻¹]

N_{zt} ... hodinové náklady na el. energii potřebné pro dopravu plynu

C_{el} ... cena za 1 kWh el. energie

Nyní můžeme simulovat různé provozní situace tzn. zvyšovat nebo snižovat tlak u jednotlivých zdrojů a vypočítávat celkové náklady na provoz, zvyšovat a snižovat množství odebírané spotřebiteli a určovat tak nejvhodnější – optimální parametry zdrojů pro provoz plynové sítě. To znamená kolik plynu by měly jednotlivé zdroje dodávat, aby v síti byly nejmenší ztráty a to nejenom v době zahájení provozu, ale i dlouhodobě.

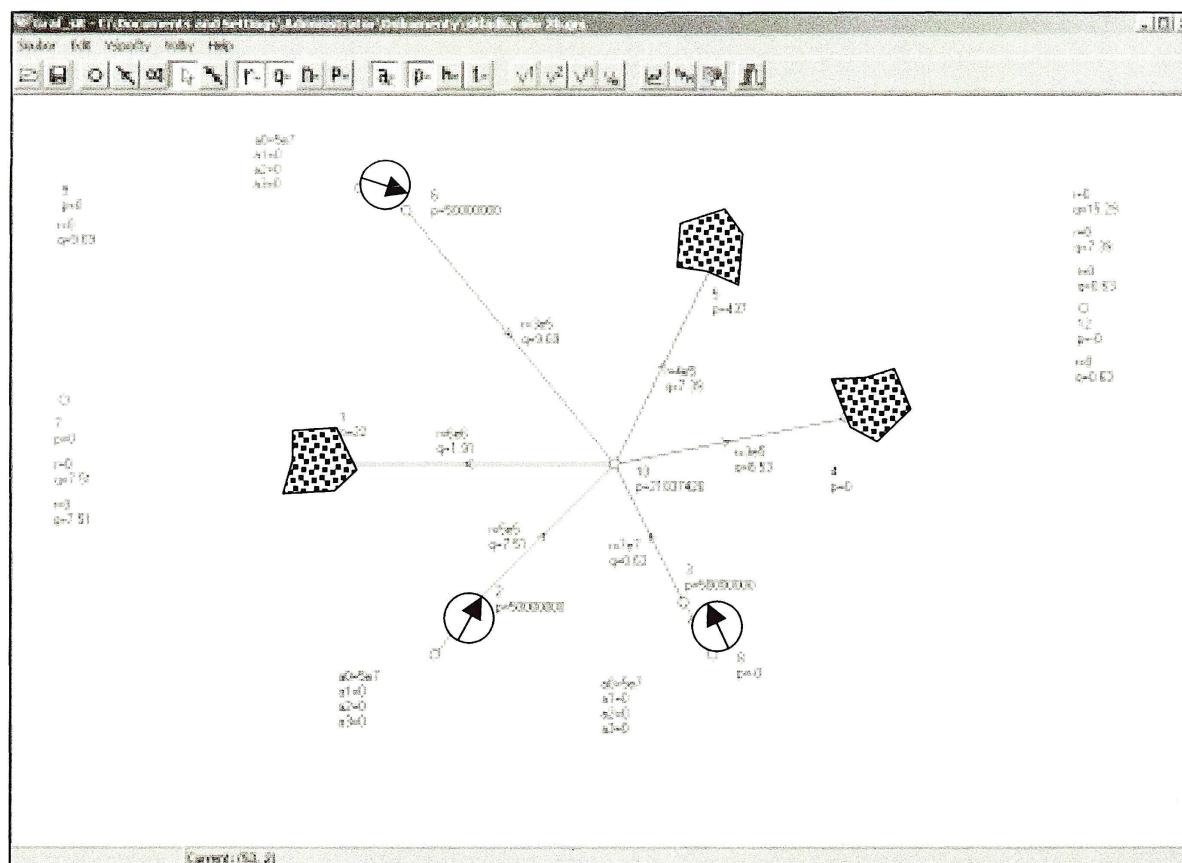


Figure 3 This is the illustration of the solution with the sources pressures, pressures in the nodes, resistance values in branches and flows in the branches.

Obrázek 3 Tak vypadá řešení s tlaky zdrojů, tlaky v uzlech, odpory větví a průtoky ve větvích.

Now we already know the necessary parameters of the sources and so we can select the suitable compressors, and namely according to the information from the suppliers. In a such way we will find out the operation costs N_p for operation of the sources and these ones we will add to the costs for the network operation, so the total costs for 1Nm^3 will make in this time as follows:

$$N_c = (N_{zs} + N_p) \cdot Q_c^{-1} \quad [\text{CZK}; \text{CZK.Nm}^{-3}]$$

but this is still not the final or optimum value at all.

4. PROPOSAL FOR THE NETWORK LAYING IN THE TERRAIN

On the basis of the previous work we have determined all necessary parameters for optimum operation of the gas network proposed in the first phase, and namely according to the Fig. 2. This network, however, must be laid into the terrain and then, its shape will not correspond, in any case, the optimum network according to the original proposal, so that results which we have obtained up to now, are optimum from the viewpoint of the network operation but not from the viewpoint of minimization of costs necessary for laying the network in terrain.

Ted' již známe potřebné parametry zdrojů a nyní můžeme vybrat vhodné kompresory a to podle informací od dodavatelů. Takto zjistíme provozní náklady N_p na provoz zdrojů a ty připočteme k nákladům na provoz sítě, takže celkové náklady na 1Nm^3 zatím budou

ale to ještě není konečná a vůbec ne optimální hodnota.

4. NÁVRH NA ULOŽENÍ SÍTĚ DO TERÉNU

Z předchozí práce jsme určili všechny potřebné parametry pro optimální provoz plynové sítě navržené v první fázi a to podle ob. 2. Tuto síť však musíme uložit do terénu a pak její tvar v žádném případě nebude odpovídat optimální síti podle původního návrhu, takže výsledky, které jsme doposud získali jsou optimální s hlediska provozu sítě, ale ne s hlediska minimalizace nákladů na uložení sítě do terénu.

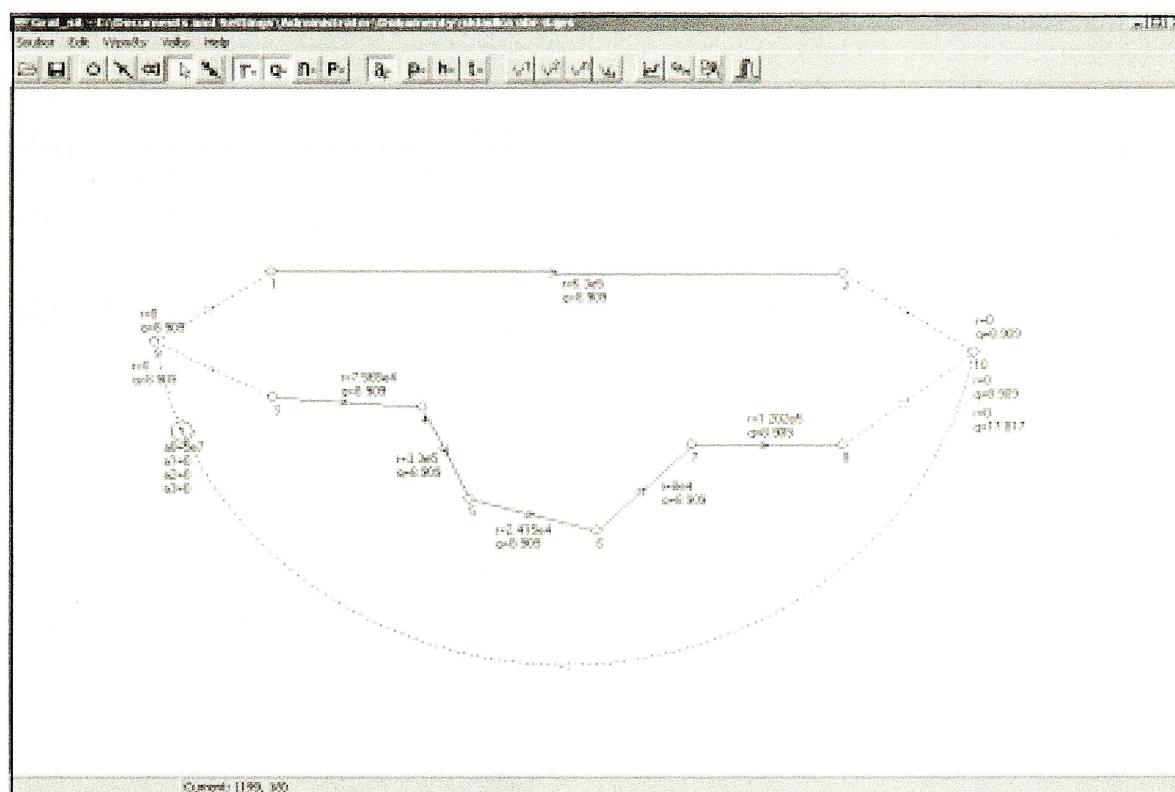


Figure 4 Example of solution of the direct branch replacement by the branch adjusted according to the construction possibility.

Obrázek 4 Příklad řešení nahradby přímé větvě upravenou podle možnosti výstavby

However, what we have determined accurately until now, is the resistance of branches and, these ones, again with the help of the program GRAFSIT will be reduced on the actual shape of the terrain as already outlined on Fig. 4. It means that the resistance of the branch will be distributed on several serial resistance values of the same total resistance but not of the same cross section. This task can be solved in two ways. Either we save the same diameters in this branch as it was proposed and with the help of the program we will control whether such an interference has not a substantial effect on the conditions in the network what will be nearly always or we will change the piping diameter in some section what we will solve again with the help of the program GRAFSIT.

5. SELECTION OF THE ROUTE OF THE NETWORK BRANCHES IN TERRAIN

On the basis of the previous procedure we will draw the routes of the piping which we determined into the map, and namely from the viewpoint of the power consumption optimally, from the viewpoint of the power consumption we have optimally proposed the sources and selected the piping diameters sub-optimally. This, however, is not the final conclusion and we have to start again with the solution of the optimization task, and this is the selection of the route laying – branches – piping into the terrain with the respect of minimization of costs for laying.

In such a case we proceed in such a way that we find out from specialized literature or previous projects the costs on the piping laying in:

1. the dugout at the road or street
2. the dugout in free terrain
3. the transition across the river, creek (water flow)
4. the crossing of other line of the engineering network
5. the laying on the surface in free terrain

The costs for laying depends on how demanding territory is crossed by the route. Into the places evaluated by the number 5 the piping cannot be laid.

If we now such costs so we will place the sources and consumers (points of consumption) on the map of the space and then we will transpose the regular square network with suitable size of edges on the map. For example, we will select the squares 10x10m. According to the map and the network we will attribute the costs for the piping laying from one side to the other one or from one corner to the second one to single squares as already outlined in the example illustrated on Figure 5.

In such a way we will obtain the square network evaluated by the costs for the piping laying into single squares.

Co jsme však do této doby určili přesně je odpovětí a ty, opět pomocí programu GRAFSIT, redukujeme na skutečný tvar v terénu jak je naznačeno na obr. 4. Tzn. odpor větve rozložíme na několik sériových odporů o celkově stejném výsledném odporu, ale již ne o stejném průřezu. Tuto úlohu můžeme řešit dvojím způsobem. Buď necháme v této větvi stejný průměr jako byl navržen a pomocí programu zkонтrolujeme jestli takový zásah nemá podstatný vliv na poměry v síti, což bude téměř vždy a nebo v některém úseku změníme průměr potrubí což opět vyřešíme programem GRAFSIT.

5. VOLBA TRASY VĚTVÍ SÍTĚ V TERÉNU

Podle předchozího postupu zakreslíme a zavedeme do mapy trasy potrubí které jsme určili, a to z hlediska spotřeby energie optimálně, optimálně hlediska spotřeby energie jsme navrhli zdroje a suboptimálně jsme zvolili průměry potrubí. Toto však není konečný závěr a znova musíme začít s řešením další optimalizační úlohy, a to je volba uložení trasy – větví – potrubí do terénu vzhledem k minimalizaci nákladů na uložení.

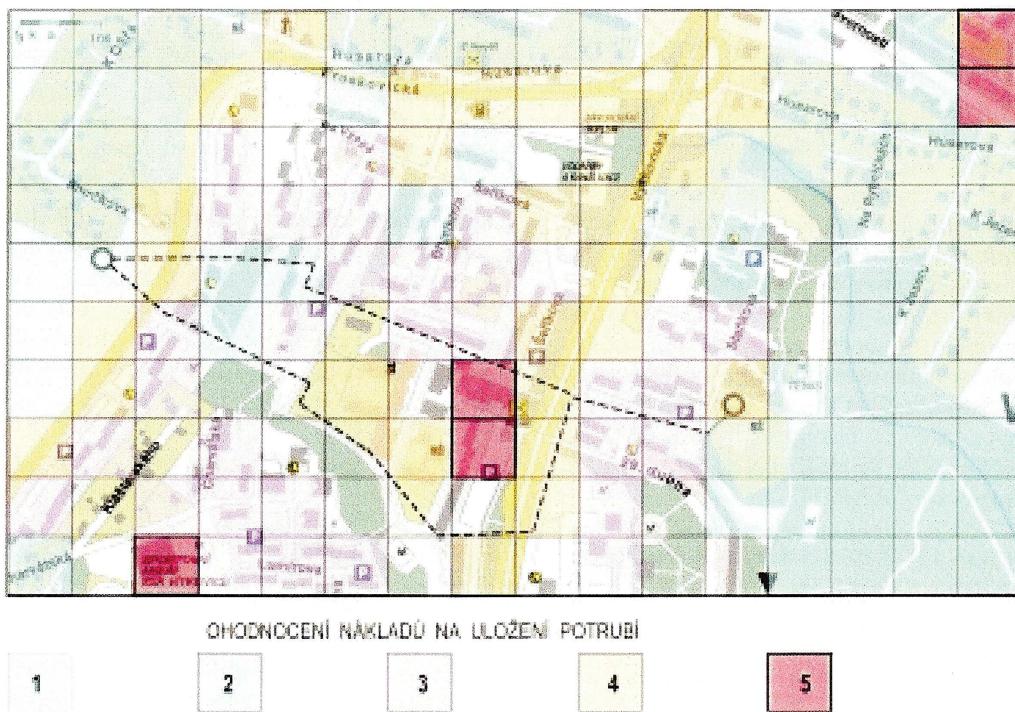
V takovém případě postupujeme tak, že z literatury nebo z dřívějších projektů zjistíme náklady na uložení potrubí do:

1. výkopu u silnice nebo v ulici
2. výkopu ve volném terénu
3. při přechodu přes řeku, potok (vodoteč)
4. při křížování jiného vedení inženýrské sítě
5. při uložení na povrchu ve volném terénu

Náklady na uložení závisí na tom jak náročným územím trasa prochází. Do míst ohodnocených číslem 5 není možné potrubí uložit.

Pokud takové náklady známe, tak na mapu prostoru umístíme zdroje a spotřebiče (místa spotřeby) a na mapu transponujeme pravidelnou čtvercovou síť o vhodné velikosti hran. Např. v terénu zvolíme čtverce 10x10m. Podle mapy a sítě přiřadíme čtvercům náklady na uložení potrubí z jedné strany na druhou anebo z jednoho rohu do druhého jak je to naznačeno na příkladu v obr. 5.

Takto získáme čtvercovou síť ohodnocenou náklady na uložení potrubí do jednotlivých čtverců



*Figure 5 Example of two possibilities of the piping lying in terrain.
Obrázok 5 Příklad dvou možnosti uložení potrubí v terénu.*

Then, with the help of suitable method, we will find out the connection of the sources and points of consumption in single squares with the minimum costs. One of very suitable methods for solution of such a task is the method of genetic algorithms. We will obtain the result which will be the structure of the network which will require the minimum costs for the sources interconnection and consumption points. We know, on the basis of the previous simulations, what diameter of the piping must be used in the network branches so that the costs for the network operation would be the minimum ones. With the respect of the fact that the lengths of the connections of single places will probably differ from the previous intents so the differences will arise in the routes determined

- by the network optimization according to minimum costs for power and
- by the network optimization according to the minimum costs for the route laying.

The differences between the routes obtained in such a way we must solve according to the situation in the terrain as already outlined in previous parts, and namely also with the respect of ownership relationships and other barriers, e.g. family house, garden where the owner will not permit to lay the piping etc. Naturally, the optimum solution which have reached with expending a lot of work will be slightly damaged but we have already worked out the model on which we will find out how great the deviation from the optimum solution and we will decide whether it is negligible or we will have to

Pak vhodnou metodou vyhledáme spojení zdrojů a míst spotřeby po čtvercích s minimálními náklady. Jako jedna z velmi vhodných metod pro řešení takové úlohy jsou genetické algoritmy. Získáme výsledek, kterým bude struktura sítě která bude vyžadovat pro propojení zdrojů a míst spotřeby minimální náklady. Z předchozích simulací známe jaký průměr potrubí se musí ve větvích sítě použít, aby náklady na provoz sítě byly minimální. Vzhledem k tomu, že délky spojení jednotlivých míst se pravděpodobně budou lišit od předchozích záměrů, tak vzniknou rozdíly v trasách určených

- optimalizaci sítě podle minimálních nákladů na energii a
- optimalizaci sítě podle minimálních nákladů na uložení trasy.

Rozdíly mezi takto získanými trasami musíme řešit podle situace v terénu jak bylo naznačeno v předchozích částech a to i s ohledem na majetnické vztahy a jiné překážky jako např. rodinný domek, zahrada, kde majitel nedovolí položit potrubí apod. Samozřejmě že se tím optimální řešení ke kterému jsme pracně dospěli dřívějšími pracemi poněkud naruší, ale máme již zpracován model a na něm zjistíme jak velká bude odchylka od optimálního řešení a rozhodneme, zda je zanedbatelná, nebo budeme hledat obdobným způsobem lepší řešení. Po těchto úpravách získáme nevhodnější strukturu sítě a můžeme zvolit nevhodnější kompresorové stanice které splní naše požadavky na rozvod plynu.

search for better solution in the similar way.

After these adjustment we well obtain the most suitable network structure and we can select the most suitable compressor station which will meet our requirements on the gas distribution.

6. CONCLUSION

In this part I have described the procedure in optimization of the gas distribution from the stockyards into the points of consumption in such a way so that we could make use of the modern methods of the existing science and the means of computer technique.

The second part of the task will arise in case when we transform the gas power directly on the place of its rise, as e.g. on the stockyard of communal waste, on electrical power or heat. Then, in above mentioned way, we will solve two networks, and namely the heat and electrical ones. The above mentioned program GRAFSIT enables the very easy solution both of the electrical distribution and the heat distribution as well, and namely including the heat losses and insulation quality.

6. ZÁVĚR

V této části jsem popsal postup při optimalizaci rozvodu plynu ze skládek do míst spotřeby tak, abychom mohli využít moderní metody současné vědy a prostředky výpočetní techniky.

Část úlohy vznikne v případě když energii plynu přímo na místě vzniku jako na př. na skladce domovního odpadu transformujeme na el. energii a teplo. Pak výše naznačeným způsobem řešíme dve sítě, a to tepelnou a elektrickou. Výše zmíněný program GRAFSIT umožňuje řešit velmi snadno jak elektrický rozvod tak i rozvod tepla a to včetně tepelných ztrát a kvality isolace.

REFERENCES / LITERATURA

- [1] Strakos, V., Kolomaznik, I. 1998. *Modeling and Mine Power Networks Control*. Proceedings of ICAMC'98: 507-510. Vysoké Tatry, Slovak Republic ISBN 80-7099-367-7.
- [2] Kolomaznik, I., 2001. *A Graphic Program for the Solving of Energy Networks*. Proceedings of Mineral Raw Materials and Mining Activity of the 21st Century. VSB-TU Ostrava, Czech Republic: ISBN 80-7078-854-2.Str. 405-409
- [3] Project GAČR No.105/98/K045 with the name "*Project of Realization of the Atmosphere Protection System against the Methane Leakage from the Mines Closed in the Ostrava agglomeration*"
- [4] Project GAČR No.105/01/311 with the name "*Optimization of Mining and Utilization of Biogas from the Stockyards of Communal Waste with the Minimization of its Leakage into the Atmosphere*".

Reviewal / Recenzia: doc. Ing. Daniela Marasová, CSc.