

Načrtovanje drevesne poti in dimenzioniranje prenosnega cevnega omrežja na podlagi najmanjših stroškov

Tree Path Design and Dimensioning of Transport Pipe Networks on the Basis of Minimized Costs

ANDRÉJ KROPE - DARKO GORIČANEK - JURIJ KROPE

V prispevku je podan postopek za optimalno izbiro drevesne poti cevnega omrežja in dimenzioniranje cevovodov, ki se uporabljajo za transport nestisljive tekočine.

Matematični model sestavlja nelinearna namenska funkcija in sistem neenačb hidravličnih omejitev, ki jih rešujemo implicitno z uporabo numerične metode Simpleks. Stroškovna primerjava je izvedena po metodi kapitaliziranih stroškov, ki vključujejo vrednost naložbe ter diskontirane stroške obnove, obratovanja in vzdrževanja.

Ključne besede: ogrevanje, optimiranje, metoda Simpleks, primerjave stroškov, software

In this paper the process is given for optimum design of a network tree path and dimensioning of pipes for the transport of incompressible fluids.

The mathematical model is composed of a nonlinear objective function and a system of hydraulic restriction inequalities which are solved implicitly by the use of a numeric Simplex method. The cost analysis is made according to the method of capitalized costs which include the investment, operating and maintenance costs, taking into account the corresponding discount rate.

Keywords: heating, optimization, Simplex method, cost analysis, software

0 UVOD

Zmanjšanje zaloga goriv in s tem v zvezi varčevanje energije terja na področju topotne tehnike iskanje novih tehnično znanstvenih spoznanj z uporabo različnih matematičnih metod za optimalno načrtovanje in dimenzioniranje cevnih omrežij daljinskega ogrevanja. Ker je transport tekočin povezan s stroški, ki so med drugim odvisni tudi od dimenzijs in poteka drevesnega cevnega omrežja, je treba cevno omrežje optimalno načrtovati. Način načrtovanja je lahko običajen ali pa z uporabo operacijskih raziskav. Pri običajnem načrtovanju projektant določi dimenzijs cevnega omrežja po praktičnih izkušnjah in priporočilih, nato pa z izračuni ugotovi, ali hidravlični parametri, npr.: padec tlaka, pretok in hitrost fluida, ne presegajo dovoljenih vrednosti. Pri načrtovanju z uporabo operacijskih raziskav opišemo zakonitosti dogodkov v izbranem cevnem omrežju matematično z namensko funkcijo in neenačbami hidravličnih omejitev. Z določitvijo minimuma namenske funkcije določimo optimalno drevesno pot omrežja.

Metode za določanje minimuma in maksimuma namenske funkcije so znane že dalj časa. Ne glede na to, te bistveno niso vplivale na postopke načrtovanja. Vzrok za to je bila omejitev uporabe v praksi. Prva ovira je bil dolg računski čas, druga omejitev pa rešljivost samih problemov. Npr. Lagrangeova metoda je uporabna, če so funkcije, ki jih vključujemo v matematični model, odvedljive.

Način načrtovanja cevnih omrežij se je korenito spremenil z uporabo računalnikov in operacijskih raziskav. Za optimalno načrtovanje cevnih omrežij so bili izdelani:

0 INTRODUCTION

Reduction of energy supplies and consequently the requirements for energy savings demand the introduction of new engineering and scientific know-how in the field of thermal technique, i.e. the use of different mathematical models for optimum design and dimensioning of district pipe heating. The pipe network should be optimally designed, as the transport of fluid induces costs which are, among other factors, dependent also on the dimensions and layout of the tree pipe network. The design can be either conventional or operational research based. In conventional design, the designer determines dimensions of the pipe network by practical experience and accepted recommendations. He then finds out by calculations if the hydraulic parameters such as pressure drop, fluid flow and velocity do not exceed the allowed values. With operational research design, the lawfulness of events in a selected pipe network is described mathematically by the objective function and inequalities of hydraulic limitations. By determining the minimum of the objective function, we can determine the optimum tree path of the pipe network.

The methods for determining the minimum and maximum of the objective function have been known for quite a time. Nevertheless, they have not substantially influenced the design processes. The reason for this was the limitation of the use in practical applications. The first limitation was the long calculating time, and the second the insolubility of the problems. The Lagrange method, for example, is usable, if functions included in the mathematical model are differentiable.

The design of pipe networks has undergone substantial change with the introduction of computers and operational research. For optimum design of pipe networks the following models have been made:

- Matematični model za optimalno načrtovanje cevnih omrežij z upoštevanjem perspektive širitve cevnega omrežja oziroma povečanja toplotnega odvzema [9]. Rešitev temelji na uporabi Fibonaccijeve metode.
- Matematični model za optimalno namestitev črpalk v različno oblikovana cevna omrežja [7]. Rešitev temelji na uporabi mešanega celoštevilčnega nelinearnega optimiranja.

1 MODEL SOODVISNOSTI PRETKA IN TLAKA

Pri prenosu tekočin v cevnih omrežjih se večkrat srečujemo z nepravilnostmi, katerih vzrok je napačna izbira elementov in naprav oziroma njihova napačna povezava, ki temelji na nepoznavanju odvisnosti: pretok, tlak, upor, zmogljivost črpalk itn. Zato moramo med postopkom optimalne izbire drevesne poti izvajati tudi analizo medsebojnih vplivov med pretokom in tlakom [1] do [3]. Tlačne izgube pri pretoku nestisljive tekočine od vozlišča i do vozlišča j so funkcija premra cevi, pretoka, hrapavosti cevovoda, fizikalnih lastnosti tekočine ter lokalnih uporov in jih določimo z nelinearno Darcy-Weisbachovo enačbo [4] in [5].

Pri zasnovi modela soodvisnosti pretoka in tlaka moramo upoštevati:

- **zveznost pretoka skozi vozlišče** (vsota tokov, ki pritekajo v vozlišče, mora biti enaka vsoti tokov, ki iz vozlišča odtekajo);
- **ohranitev energije v sklenjeni zanki** (vsota padcev tlakov, v katerikoli sklenjeni zanki cevnega omrežja, mora biti enaka nič);
- **zveznost pretoka v cevnem omrežju** (vsota tokov v cevno omrežje mora biti enaka vsoti tokov iz cevnega mrežja).

2 GOSPODARNOST TRANSPORTA FLUIDOV

2.1 Vrednost naložbe in stroški obratovanja

Vrednost naložbe v cevno mrežo

Cena predizoliranih cevi na tekoči meter je funkcija premra cevi (d), določimo jo z zvezo v obliki polinoma druge stopnje [6] in [7]:

$$C_1 = A + B \cdot d + C \cdot d^2 \quad (1)$$

Vrednost naložbe v črpalki

Vrednost črpalk se veča s povečano močjo črpalk (P) in je odvisna od cene črpalk/W (C_p), prostorninskega pretoka (q_v), padca tlaka (Δp) in izkoristka črpalke (η) [7]:

$$C_2 = C_p \cdot P = C_p \cdot \frac{q_v \cdot \Delta p}{\eta} \quad (2)$$

Stroški črpanja

Stroški črpanja so odvisni od cene električne energije (C_e), prostorninskega pretoka (q_v), padca tlaka v cevnem omrežju (Δp), izkoristka črpalke (η) in časa obratovanja (t) [7]:

- Mathematical model for optimum design of pipe networks with consideration of the future extension of the pipe network and increase of heat consumption respectively [9]. The solution is based on the use of the Fibonacci's method.
- Mathematical model for optimum pump location in the pipe networks of different designs [7]. The solution is based on the use of mixed integer nonlinear programming.

1 FLOW - PRESSURE MODEL INTERDEPENDENCE

In fluid transport through pipe networks we are often faced with the incorrectness which is caused by wrong choice of elements or devices respectively, or their wrong connection based on unknown relationships: flow, pressure, friction, pump capacity, etc. This is the reason why we must perform flow-pressure analysis during the process of optimum tree path choice [1] to [3]. Pressure drops in the incompressible fluid flow from node i to node j are a function of the pipe diameter, flow, pipe roughness, physical properties of fluid, local friction, and are determined by the nonlinear Darcy-Weisbach equation [4] and [5].

In planning the flow - pressure model we must consider:

- **continuity of node flows** (the sum of flows which flow into a node must be equal to the sum of those which flow out of a node);
- **preservation of energy around closed loop** (the sum of pressure drops in any closed loop of the pipe network must be equal to zero);
- **continuity of the pipe network flow** (the sum of flows into the pipe network must be equal to the sum of those out of the pipe network).

2 ECONOMICS OF FLUID TRANSPORT

2.1 Investment expenditure and operating costs

Pipe network expenditure

The costs of preinsulated pipes per running metre of the pipe are a function of the pipe diameter (d) and can be defined by the pipe costs polynomial of second grade [6] and [7]:

$$C_1 = A + B \cdot d + C \cdot d^2 \quad (1)$$

Pump investment expenditure

The pump costs increase with the increasing necessary pump power (P) and depend on pump price/W (C_p), flow volume (q_v), pressure drop (Δp) and pump efficiency (η) [7]:

$$C_2 = C_p \cdot \frac{q_v \cdot \Delta p}{\eta} \quad (2)$$

Pumping costs

The pumping costs depend on the price of electrical energy (C_e), flow volume(q_v), pressure drop (Δp), pump efficiency (η) and operating time (t) [7]:

$$C_3 = C_e \cdot P \cdot t = C_e \cdot \frac{q_v \cdot \Delta p}{\eta} \cdot t \quad (3)$$

Vrednost naložbe v gradbena dela

Vrednost gradbenih del na trasi, po kateri potekajo predizolirani cevovodi, je odvisna od premera cevi v določenem cevnem odseku in od sestave trase (asfalt, zelenica, pesek, kamenje itn). Določimo jo z enačbo:

$$C_4 = D + E \cdot d + F \cdot d^2 \quad (4)$$

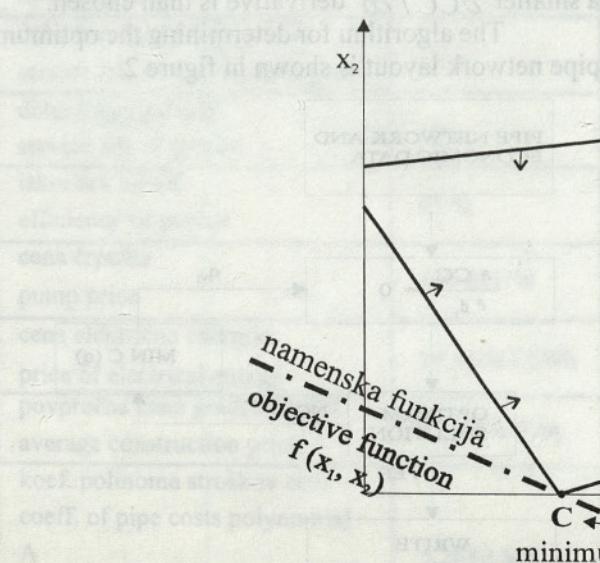
2.2 Primerjava stroškov

Kadar je doba trajanja posameznih naprav, ki jih uporabljamo v prenosnem omrežju, različna, je za stroškovno primerjavo najprimernejša metoda kapitaliziranih stroškov [8]. Kapitalizirani stroški pomenijo sedanje vrednost naložbe, ki jo ponavljamo. Predstavljamo si jih lahko kot vsoto denarja, ki mora biti položena na računu na dan začetka projekta in obrestovana z obrestno mero, ki zagotavlja plačilo vseh stroškov, potrebnih za dobo obratovanja. Pri izračunu kapitaliziranih stroškov (CC) je treba upoštevati naložbo (B_0) in vse stroške, ki nastanejo z obnovo ($B_0 - L_0$), obratovanjem in vzdrževanjem (C_0) v obdobju obratovanja:

$$CC = B_0 + \frac{(B_0 - L_0)}{(1+i)^n - 1} + \frac{C_0}{i} \quad (5)$$

3 MATEMATIČNI MODEL

Za rešitev matematičnega modela, ki določa optimalno drevesno pot cevnega omrežja, so najprimernejše numerične metode linearnega optimiranja [9], med katerimi se najpogosteje uporablja metoda Simpleks. Geometrijski potek metode Simpleks prikazuje slika 1.



Sl. 1. Geometrijski prikaz metode Simpleks

Fig. 1. Geometric presentation of the Simplex method

Construction expenditure

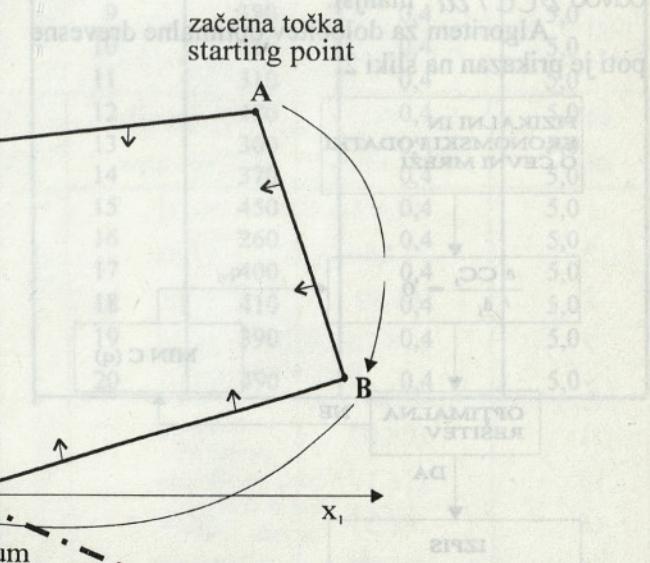
The constructing costs of the preinsulated pipe network layout depend on the pipe diameter (d) in the fixed pipe section, and on layout specifics (asphalt, oasis, sand, rock, etc). They are calculated by the equation:

2.2 Cost comparison

When the service life of individual devices which are used in a transport pipe network is different, the method of capitalized costs is the most appropriate for cost comparison [8]. Capitalized costs represent the present worth of costs for a period of infinite duration. They may be interpreted as the sum of money that must be deposited in a fund at the date of purchase at the stipulated interest rate just to provide all payments for perpetual service. In the calculation of capitalized costs (CC) we must consider all costs which arise with investment (B_0), renewal ($B_0 - L_0$), operation and maintenance (C_0) in an infinite period:

3 MATHEMATICAL MODEL

For the solution of the mathematical model which determines the optimum tree path of the pipe network the numeric methods of linear optimization are most appropriate [9]. Generally the Simplex method is used. Geometric presentation of the Simplex method is shown in figure 1.



Linearne (Simpleks) omejitve možnega področja so v "n" dimenzionalnem prostoru. Postopek reševanja lahko začnemo na kateremkoli stičišču omejitev s postopnim izločanjem sosednjih stičišč in izboljševanjem vrednosti namenske funkcije. Glede na sliko 1 se izračun začne v točki A in se nadaljuje skozi točko B do minimuma v točki C. Ker imajo linearne omejitve vedno končno število stičišč, definiranih z omejitvami brez lokalnega optimuma, dobimo rešitev po končnem številu iteracij.

Kapitalizirane stroške posamezne cevi (CC_j) določimo s seštevanjem vrednosti naložbe ter diskontiranih obratovalnih in vzdrževalnih stroškov po metodi kapitaliziranih stroškov.

Optimalno drevesno pot določimo z iskanjem minimuma nelinearne namenske funkcije kapitaliziranih stroškov:

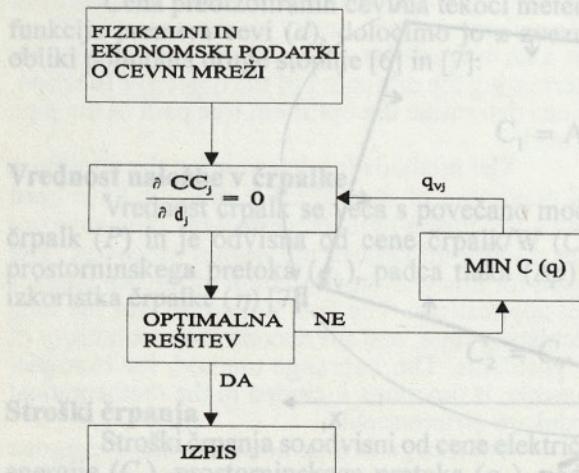
$$\min C(q_V) = \sum_{j=1}^M CC_j \cdot q_{Vj} \quad (6)$$

ki je omejena z enačbami omejitev, te pomenijo zveznost pretoka skozi vozlišča:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^M \pm q_{V_{1j}} + Q_{V_1} &= 0 \\ \sum_{j=1}^M \pm q_{V_{ij}} + Q_{V_i} &= 0 \\ q_{V_{ij}} &\geq 0 \quad (i = 1, 2, 3, \dots, N-1; j = 1, 2, 3, \dots, M) \end{aligned} \quad (7)$$

Optimalne premere cevi določimo z odvajanjem funkcije kapitaliziranih stroškov po premerni cevi (d) in enačenjem odvoda z nič za vsako cev posebej. Izračunani optimalni premer cevi (d) primerjamo z najbližjim manjšim (d_i) oziroma najbližjim večjim standardnim premerom cevi (d_{i+1}). Izberemo standardni premer cevi, pri katerem je odvod $\partial CC / \partial d$ manjši.

Algoritem za določitev optimalne drevesne poti je prikazan na sliki 2.



Sl.2. Algoritem za določitev optimalne drevesne poti

Linear (Simplex) restrictions of a possible field are in "n" dimensional space. The procedure of solving may be started at any contact of restrictions with gradual elimination of the neighbouring contacts and improvement of the objective function value. According to figure 1 the calculation begins at point A and continues through point B to minimum at point C. Because linear restrictions always have a finite number of contacts which are defined by restrictions without local optimum, we get the solution after the finite number of iterations.

The capitalized costs of an individual pipe (CC_j) are determined by summing up the discounted investment, operating and maintenance costs by the capitalized costs method.

The optimum tree path is determined by minimizing the nonlinear capitalized costs objective function:

$$\min C(q_V) = \sum_{j=1}^M CC_j \cdot q_{Vj} \quad (6)$$

by restriction equations which represent continuity of nodes flow:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^M \pm q_{V_{1j}} + Q_{V_1} &= 0 \\ \sum_{j=1}^M \pm q_{V_{ij}} + Q_{V_i} &= 0 \end{aligned} \quad (7)$$

$$q_{V_{ij}} \geq 0 \quad (i = 1, 2, 3, \dots, N-1; j = 1, 2, 3, \dots, M) \quad (7)$$

Optimum pipe diameters are determined by differentiation of the capitalized costs function per pipe diameter (d) and equalizing the derivative by zero for each pipe extra. The calculated optimum pipe diameter (d) is compared with the closest smaller (d_i) and the closest bigger standard pipe diameter (d_{i+1}) respectively. The standard pipe diameter which has a smaller $\partial CC / \partial d$ derivative is than chosen.

The algorithm for determining the optimum pipe network layout is shown in figure 2.

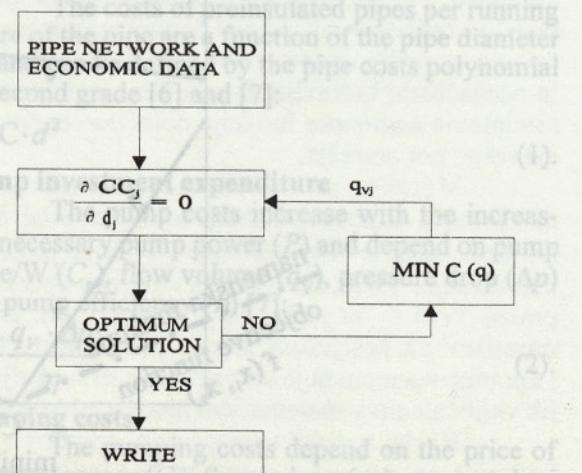
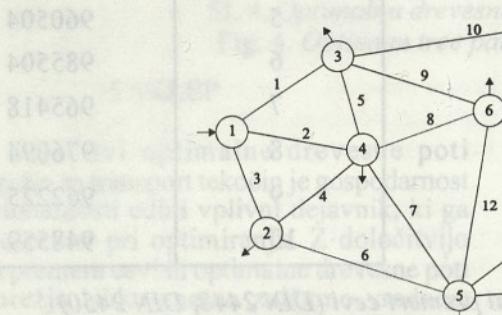


Fig. 2. The algorithm for determining the optimum pipe network layout (tree path)

4 PRIMER

Kot izhodišče za določitev optimalne drevesne poti smo izbrali zankasto cevno omrežje, ki predstavlja vse možne poti, kjer bi cevovodi lahko potekali (sl. 3). Omrežje sestavlja 20 cevnih odsekov in 10 vozlišč. Tekočina, v obravnavanem primeru vroča voda, vstopa v cevno omrežje v vozlišču 1, izstopa pa v drugih vozliščih. Znani podatki so v preglednicah 1 do 3, rezultati optimiranja pa v preglednicah 4 do 6 in sliki 4.



Sl.3. Zankasto cevno omrežje
Fig. 3. Loop pipe network model

Pregl. 1. Fizikalni in ekonomski podatki
Table 1. Physical and economical data

temperatura vroče vode hot water temperature	110 °C
gostota vroče vode hot water density	958,4 kg/m ³
kinematična viskoznost kinematics viscosity	$0,357 \times 10^{-6}$ m ² /s
diskontna stopnja interest rate	8 %
čas obratovanja operating time	8760 h/a
doba trajanja predizol. cevi service life of preinsulated pipes	45 a
doba trajanja črpalk service life of pumps	10 a
izkoritek črpalk efficiency of pumps	65 %
cena črpalke pump price	450 SIT/W
cena električne energije price of electrical energy	16,65 SIT/kWh
povprečna cena gradbenih del average construction price	12000 SIT/m
koef. polinoma stroškov cevi coeff. of pipe costs polynomial	
A	5,2680 SIT
B	1601,3 SIT/m
C	124,36 SIT/m ²

4 AN EXAMPLE

As a starting-point for determination of the optimum tree path a loop pipe network model is chosen, which represents all possible paths where pipes could be laid (Fig. 3). The pipe network is composed of 20 pipe sections and 10 nodes. The fluid, in treating the example of hot water, enters the pipe network in node 1 and comes out in the remaining nodes. Known data are shown in tables 1 to 3, and results of optimization are given in tables 4 to 6 and figure 4.

Pregl. 3. Podatki o cevih
Table 3. Pipe data

cev pipe	<i>l</i> m	<i>k</i> mm	ξ
1	300	0,4	5,0
2	310	0,4	5,0
3	240	0,4	5,0
4	300	0,4	5,0
5	220	0,4	5,0
6	470	0,4	5,0
7	410	0,4	5,0
8	310	0,4	5,0
9	380	0,4	5,0
10	580	0,4	5,0
11	310	0,4	5,0
12	480	0,4	5,0
13	300	0,4	5,0
14	370	0,4	5,0
15	450	0,4	5,0
16	260	0,4	5,0
17	400	0,4	5,0
18	410	0,4	5,0
19	390	0,4	5,0
20	490	0,4	5,0

Pregl. 2. Podatki o vtokih in iztokih (+ vtok, - iztok)
Table 2. Input and output data (+ input, - output)

vozlišče node	$\pm q_v \text{ m}^3/\text{s}$
1	0,150
2	0,009
3	0,011
4	0,014
5	0,012
6	0,023
7	0,015
8	0,037
9	0,018
10	0,011

Pregl. 4. Tlak tekočine v vozliščih
Table 4. Fluid pressure in nodes

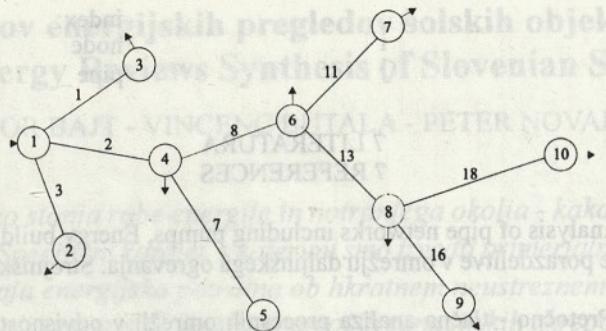
vozlišče node	$p \text{ Pa}$
1	1000000
2	981041
3	979433
4	993229
5	960504
6	985504
7	965418
8	976094
9	962225
10	948559

Pregl. 5. Rezultati optimiranja - optimalni standardni premeri cevi (DIN 2448, DIN 2450)
Table 5. Optimization results - optimum standard pipe diameters (DIN 2448, DIN 2450)

cev pipe	od from	do to	$d \text{ m}$	$q_v \text{ m}^3/\text{s}$	$v \text{ m/s}$	$\Delta p \text{ Pa}$
1	1	3	0,1317	0,011	0,807	20567
2	1	4	0,4327	0,130	0,866	6771
3	1	2	0,1190	0,009	0,809	18959
7	4	5	0,1317	0,012	0,881	32726
8	4	6	0,3888	0,104	0,876	7726
11	6	7	0,1500	0,015	0,849	20085
13	6	8	0,3097	0,066	0,876	9409
16	8	9	0,1678	0,018	0,814	13869
18	8	10	0,1317	0,011	0,807	27535

Pregl. 6. Kapitalizirani stroški CC * 1.000.000 SIT
Table 6. Capitalized costs CC * 1.000.000 SIT

cev pipe	CC ₁ -cevi CC ₁ -pipes	CC ₂ -črpalk CC ₂ -pumps	CC ₃ -črpanja CC ₃ -pumping	CC ₄ -gradb. del CC ₄ -construct.	CC-skupni CC-total
1	91,97	12,31	4,23	33,70	142,21
2	317,40	47,88	16,46	34,83	416,57
3	66,59	9,28	3,19	26,96	106,02
7	125,70	21,36	7,34	46,06	200,46
8	281,50	43,71	15,02	34,83	375,06
11	108,07	16,39	5,63	34,83	164,92
13	216,17	33,78	11,61	33,70	295,26
16	101,31	13,58	4,67	29,21	148,76
18	125,70	16,48	5,66	46,06	193,89
Σ	1434,40	214,76	73,83	320,17	2043,16



Sl. 4. Optimalna drevesna pot cevnega omrežja
Fig. 4. Optimum tree path of the pipe network

5 SKLEP

Pri določitvi optimalne drevesne poti cevnega omrežja za transport tekočin je gospodarnost poleg funkcionalnosti edini vplivni dejavnik, ki ga moramo upoštevati pri optimiraju. Ž določitvijo optimalnega premera cevi in optimalne drevesne poti cevnega omrežja lahko znatno znižamo vrednost naložbe in obratovalne stroške. Rešitev matematičnega modela je izvedena z numerično metodo Simpleks, stroškovna primerjava pa z metodo kapitaliziranih stroškov (po načrtovanih cenah cevi, električne energije, črpalk in gradbenih del). Računalniški program omogoča poleg določitve optimalne drevesne poti prenosnega omrežja tudi oceno vpliva variacije ekonomskih in hidravličnih parametrov na vrednost naložbe in obratovalne stroške cevnega omrežja. Optimalna drevesna pot pomeni najcenejšo transportno pot tekočine od vtoka v cevno omrežje do vozlišč, kjer omrežje zapušča.

5 CONCLUSION

In the design of the optimum pipe network tree path for fluid transport, the only influential factor which besides functionality, must be considered in optimization is economics. By determining the optimum pipe diameter and optimum pipe network path we can reduce investment and operating costs considerably. The solution of the mathematical model is realized by the numerical Simplex method, and the cost comparison by the method of capitalized costs (on the basis of the assumed prices of pipes, electrical energy, pumps and construction). The computer program enables, in addition to the determination of the optimum transport pipe network tree path, also the estimation of the influence of changes in the economic and hydraulic conditions on the investment and operating costs of the pipe network. The optimal tree path represents the cheapest fluid transport path from flow input in the pipe network to the nodes where fluid leaves the network.

6 UPORABLJENE OZNAČBE 6 SYMBOLS

konstanti	A, D	SIT	constants
konstanti	B,E	SIT/m	constants
konstanti	C, F	SIT/m ²	constants
vrednost naložbe	B ₀	SIT	investment costs (first costs of asset)
vrednost naložbe v obnovo	(B ₀ - L ₀)	SIT	costs of the assets renewal
kapitalizirani stroški	C ₀	SIT	capitalized costs
cena črpalke	C _p	SIT/W	pump price
cena električne energije	C _e	SIT/(kWh)	price of electrical energy
obratovalni in vzdrževalni stroški	C _o	SIT	operating and maintenance costs
namenska funkcija	C(q _v)		objective function
notranji premer cevi	d	m	inner pipe diameter
diskontna stopnja	i	mm	interest rate
hrapavost cevi	k	mm	pipe roughness
neodpisana (rezidualna) vrednost	L ₀	SIT	salvage value
dolžina cevi	l	m	pipe length
število cevi	M		number of pipes
število vozlišč	N		number of nodes
doba trajanja naprav, število let	n	a	service life of devices, number of years
moč	P	W	power
tlak fluida	p	Pa	pressure
tlakačna izguba	Δp	Pa	pressure drop
prostorninski vtok oz. iztok	Q _v	m ³ /s	volume input / output
volumski pretok	q _v	m ³ /s	flow volume
čas obratovanja cevne mreže	t	h	operating time of pipe network
hitrost fluida	v	m/s	fluid velocity
izkoristek črpalke	η		efficiency of pump
koeficient lokalnih izgub	ξ		coefficient of local losses

indeks:
vozlišče
cev

Podatki o vtokih in iztokih (+ vtok, - iztok)
Input and output data (+ input, - output)

i
j

Pregl. 4. Tisk na vozliščih
Table 4. Pipe pressure in nodes

index:
node
pipe

Vozlišče node	$\frac{m^3/s}{0,150}$

7 LITERATURA 7 REFERENCES

- [1] Kropé J., Goričanec D.: Analysis of pipe networks including pumps, Energy build., 17 1991, 141 - 145.
- [2] Kropé J.: Analiza pretočne porazdelitve v omrežju daljinskega ogrevanja. Strojniški vestnik, Ljubljana, (29), 1983/1 - 3, 15-18.
- [3] Goričanec D., Kropé J.: Pretočno - tlačna analiza procesnih omrežij v odvisnosti od stopnje odprtosti ventilov. Strojniški vestnik, Ljubljana, (3) 1987/10 - 12, 179-180.
- [4] Kropé J., Goričanec D.: The dynamic characteristic of non return valves, V: ESCAPE 2, Toulouse, France. Pergamon Press Oxford, 1992, 35 - 38.
- [5] Goričanec D., Kropé J.: Hydraulic analysis of overhead steam transport, V: Proceedings of the Sixth Asian Congress of fluid mechanics, Singapore, Nanyang: Centre for Continuing Education, 1995/II, 1352 - 1355.
- [6] Peters M. S., Timm D.: Plant design and economics for chemical engineers. McGraw - Hill International Book Company, Tokyo, 1981.
- [7] Goričanec D.: Optimalna namestitev črpalk v različno oblikovane cevne mreže. Tehniška fakulteta Maribor, 1992.
- [8] Kurtz M.: Handbook of engineering economics. McGraw - Hill, 1984.
- [9] Kropé J., Goričanec D.: Optimal design of processing networks. Hung. J. Ind. Chem., (23) 1995/3, 161 - 165.

Naslovi avtorjev: Andrej Kropé, dipl. inž.
Fakulteta za strojnoštvo
Univerze v Mariboru
Smetanova 17
2000 Maribor

doc. dr. Darko Goričanec, dipl. inž.
prof. dr. Jurij Kropé, dipl. inž.
Fakulteta za kemijo in kemijsko
tehnologijo
Univerze v Mariboru
Smetanova 17
2000 Maribor

Prejeto: 14.2.1997
Received: 14.2.1997

Authors' Addresses: Andrej Kropé, Dipl. Ing.
Faculty of Mechanical Engineering
University of Maribor
Smetanova 17
2000 Maribor, Slovenia

Doc. Dr. Darko Goričanec, Dipl. Ing.
Prof. Dr. Jurij Kropé, Dipl. Ing.
Faculty of Chemistry and Chemical
Technology
University of Maribor
Smetanova 17
2000 Maribor, Slovenia

Sprejeto: 27.2.1998
Accepted: 27.2.1998

cev pipe	CC - cev gradb. del CC - construct CC - const. del	CC - gradb. del CC - construct CC - const. del
1	91,16 length pipe 0.5 meters	4,23 m
2	317,40 internal tube pipe junctions	16,46 m
3	66,59 valve tube length	3,19 m
7	125,70 sum of pipes lengths of tubes	7,34 m
8	281,50 sum of tubes lengths of valves	15,02 m
11	108,07 valve	5,63 m
13	216,17 valves	11,64 m
16	101,51 valve	4,67 m
18	length pipe of outlet connection	5,66 m
Σ	1434,96 length of total network	73,83 m