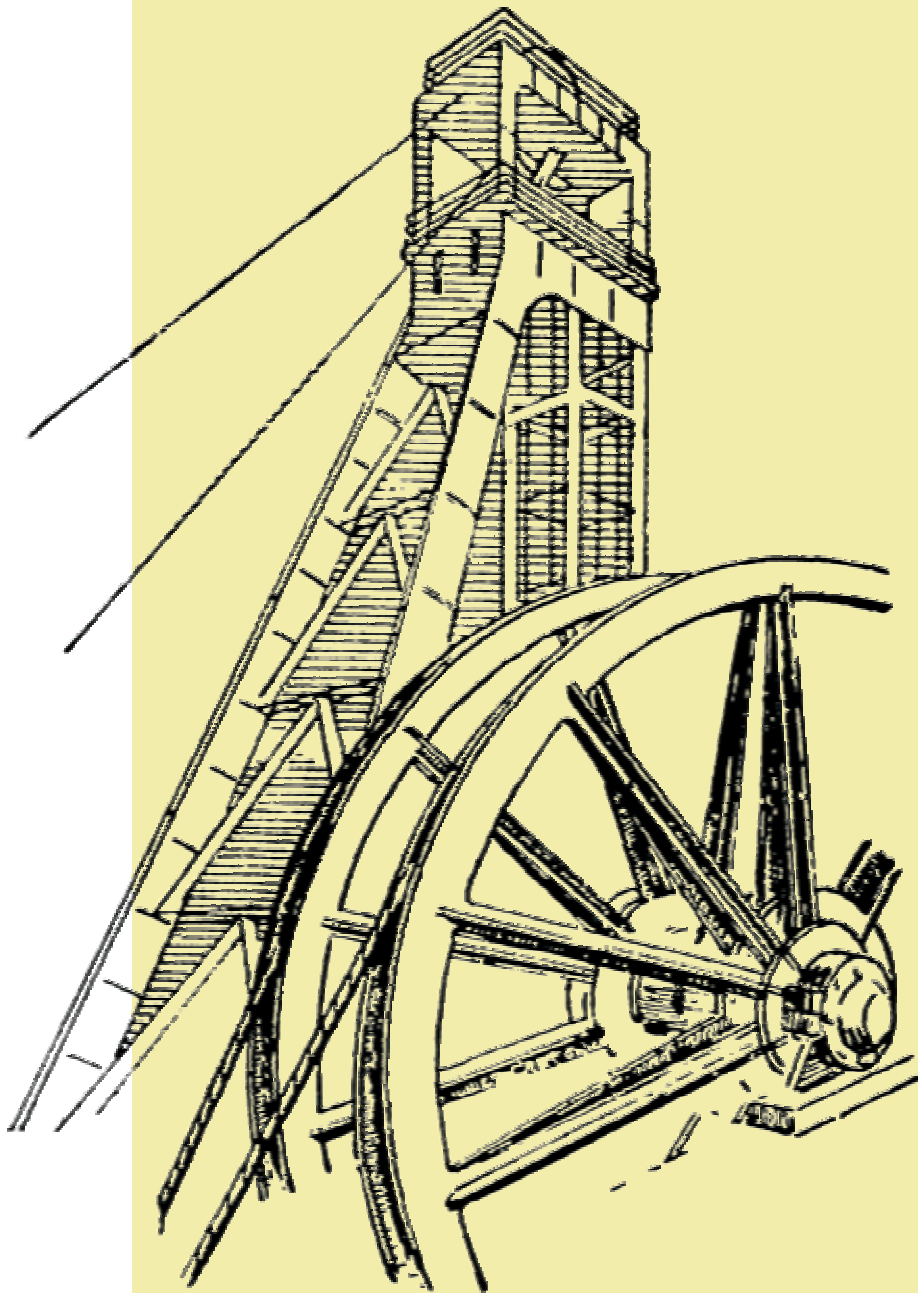


# **STROJNIŠKI VESTNIK**

## **JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING**



cena 800 SIT



ISSN 0039-2480

## Vsebina - Contents

**Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering**  
**letnik - volume 51, (2005), številka - number 5**  
**ISSN 0039-2480**

**Izhaja mesečno - Published monthly**

### **Razprave**

- Gomez, A., de la Fuente, D., Puente, J., Parreño, J.:  
Reševanje problemov zlaganja z uporabo  
simuliranega izničenja in genetskih algoritmov 234
- Oman, J., Kuštrin, I., Bole, I., Gostinčar, P.:  
Zmanjševanje emisij dušikovih oksidov z  
rekonstrukcijo zgorevalnega sistema kotlov  
v Termoelektrarni toplarni Ljubljana 240
- Fošnarič, S.: Vpliv mikroklimatskih in svetlobnih  
obremenitev na uspešnost učencev 252
- Cene, B.: Zmogljivost nove Siemensove lokomotive  
na Slovenskih železnicah 260

### **Poročila**

- Videnič, M.: Sodobna letalska snemalna oprema v  
Sloveniji odpira nove možnosti uporabe  
letalskih posnetkov 267

### **Osebne vesti**

Doktorati, magisteriji in diplome

### **Navodila avtorjem**

### **Papers**

- Gomez, A., de la Fuente, D., Puente, J., Parreño, J.:  
The Resolution of Packing Problems Using  
Simulated Annealing and Genetic Algorithms
- Oman, J., Kuštrin, I., Bole, I., Gostinčar, P.: The  
Reduction of Nitrogen Oxide Emissions by  
the Boiler Firing System Reconstruction at  
the Power Plant Ljubljana
- Fošnarič, S.: The Influence of Microclimatic and  
Lighting Loads on the Efficiency of Pupils
- Cene, B.: Capacity of the New Siemens Locomotive  
on Slovenian Railways

### **Reports**

- Videnič, M.: A Modern Aerial Survey Equipment in  
Slovenia Is Offering New Possibilities for an  
Aerial Photo Usage

### **Personal Events**

276 Doctor's, Master's and Diploma Degrees

277 **Instructions for Authors**

# Reševanje problemov zlaganja z uporabo simuliranega izničenja in genetskih algoritmov

## The Resolution of Packing Problems Using Simulated Annealing and Genetic Algorithms

Alberto Gomez - David de la Fuente - Javier Puente - José Parreño

*S tem prispevkom želimo predstaviti dva algoritma, ki sta načrtovana za optimiranje postopka rezanja na odrezalu oblike L ter zmanjšanje števila kosov, potrebnih za izdelavo določenega števila pravokotnih kosov. Predlagamo dva algoritma, prvega na osnovi genetskih algoritmov in drugega na osnovi simuliranega izničenja. Primerjali smo ju s pomočjo baze primerov. Oba algoritma sta dala zelo dobre rezultate, čeprav imata oba tudi posebnosti, ki so tudi predstavljene v tem prispevku.*

© 2005 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

**(Ključne besede: algoritmi genetski, zlaganje, postopki rezanja, optimiranje postopkov)**

*The aim of this paper is to present two algorithms that are designed to optimise the cutting process of an L-type guillotine and to minimise the number of sheets used to manufacture a number of rectangular pieces. Two algorithms are proposed, one based on genetic algorithms and the other on simulated annealing. They are compared with the help of a bank of examples. Both algorithms provide very good results, although each of them has its peculiarities, which are described in this paper.*

© 2005 Journal of Mechanical Engineering. All rights reserved.

**(Keywords: genetic algorithms, packing, cutting processes, process optimization)**

### 0 INTRODUCTION

This paper describes an application that our work team made for a company in the metalwork industry. The aim was to make a computer programme to minimise the number of sheets of steel used by the company in the course of its production process.

The application that was designed focuses in particular on optimising the use of the L-type guillotine that the company owns. In contrast to traditional guillotines, which can only cut vertically or horizontally, the L-type guillotine can cut in both these directions simultaneously, which lends greater flexibility to the cutting and also leads to more efficient use of the steel sheets.

The company operates in the following way: orders for supplying rectangular pieces are received from the clients, and the order of production and numeric control of the guillotine are decided on the basis of these orders. The parts are cut from a fixed-size, rectangular base surface (which will gen-

erally henceforth be referred to as the metal sheet) measuring  $2995 \times 1250$  mm.

Based on the above premises, the programme to be implemented must situate the different pieces that the client has ordered on the metal sheet, bearing in mind that orders are generally made for more than one unit of a particularly dimensioned piece, and that more than one metal sheet is generally required to complete any given order. The positioning should be such as to make the maximum use of the sheet material, which is equivalent to minimising the number of metal sheets that are used.

Once positioned, the programme provides the guillotine's numeric control with the cutting sequence of the sheets (the order the pieces are to be cut in). The guillotine begins cutting in the top, right-hand corner of the metal sheet, and successive cuts leave the pieces and the leftover material. To do this, an algorithm was designed based on positioning the pieces within the base surface and generating the corresponding cutting sequence for numeric control.

## 1 AN APPROACH TO THE PACKING PROBLEM

The cause of the problem lies in the fact that the raw materials that industry uses are available in certain standard sizes that usually need cutting up before they can be used in the industrial process. The obvious aim of this cutting phase is to make maximum use of the raw material. Outstanding early work in this field was done by Gilmore and Gomory ([1] and [2]) in resolving single-dimension problems; the scope of this paper was widened in 1965 to two-dimensional problems [3]. Analyses of these problems has since spread rapidly, though no global solution has been offered for all of them because of their complexity.

One way of solving this type of problem is to divide it into several sub-problems [4], and try to solve each of them separately. This paper will focus in particular on one such sub-problem, the packing problem, which fits perfectly into the kind of industrial process that a solution is needed for.

Various authors have confronted this particular problem, though none have found a method that provides the optimum solution for every case. From amongst the different approaches that have been put forward, mention should be made of the heuristic methods designed by Coffman [5], and Jakobs [6], which have provided different methods, none of which have solved the problem completely.

## 2 DESCRIPTION OF THE PROBLEM

Before analysing the solution that we have proposed, a more in-depth comment should first be made on the characteristics of the problem to be solved.

The first point to be noted is that the dimensions of the metal sheets are always the same. This simplifies the problem a great deal, as pieces are always placed on the same type of sheet. Furthermore, as customers generally order pieces that are of large dimensions, the number of pieces that fit onto a single metal sheet generally ranges between five and twenty.

Each order is generally made up of several hundred pieces, and as they are usually large, more than fifty metal sheets are generally involved in each order.

Furthermore, the particular conditions of the L-type guillotine used by the company entails space on the metal sheets being lost, which is an important point to be kept in mind. On its first approximation to

the metal sheets the guillotine makes two 'approximation cuts' of 5 mm, one vertically and the other horizontally, in addition to which the clamping system used to hold the metal causes a further loss of 20 mm horizontally. Figure 1 shows the material loss that using this particular L-type guillotine leads to.

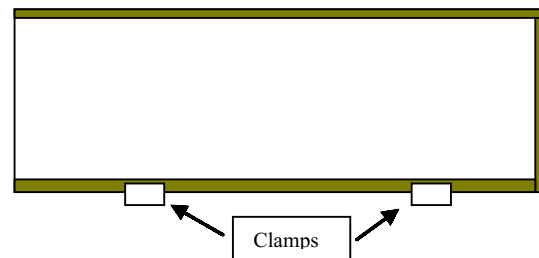


Fig. 1. *Leftovers*

The above factors mean less useable surface; in fact, the dimensions of the metal sheets are:  $[(2995-5) \text{ mm} \times (1250-20-5) \text{ mm}]$ .

Having commented on the particular nature of the problem that was analysed, two independent algorithms will next be developed, the position algorithm (section 3) and the cutting-sequence algorithm (section 4).

## 3 THE SOLUTION PROPOSED FOR CUTTING

This section will analyse the genetic algorithm designed to minimise the number of steel sheets that were used. The steps that were followed to do this will be described next. The codification used in the algorithm is based on integer numbers; each piece to be placed on the metal sheet is assigned a number, and that individual is formed with a string of numbers (a string of parts). The order in which the numbers appear in the string represents the positions of the pieces on the metal sheet.

An example will be worked through so as to explain the codification clearly: imagine you have 4 rectangular pieces to be placed on the metal sheet, and that each of these pieces is assigned a correlative number, the first piece is assigned the number 1, the second is number 2 and so forth. The individual (genotype) (1,3,4,2) could be a solution to the problem, which would mean that the first piece is first onto the metal sheet, followed by 3, then 4, and finally by 2.

In the case being analysed in this paper, this codification needs some modification, because, as has already been mentioned, not all the pieces fit

onto the same metal sheet, and several sheets must be used to make all the pieces ordered by the client.

A piece is assigned to a metal sheet when the “chromosome” is analysed. When the first position of the individual (the first piece) is read, a metal sheet is ‘activated’, and the piece is placed on the sheet; the individual’s second position is then read, and an analysis determines whether it can be fitted onto the sheet or not. If it can, then that piece is assigned to the metal sheet and the third position is read off. This reading process continues until one of the pieces fails to fit onto the metal sheet. On detecting that a piece cannot be assigned to a metal sheet because the space available is not large enough, a second metal sheet is ‘activated’ and the piece is assigned to this second sheet. The process is iterated until all the pieces have been placed.

The next problem to be solved is the positioning of the pieces on the sheets. So far, pieces have been assigned to sheets, but their positions have yet to be specified. To solve this problem a modification of the ‘Bottom-left algorithm’ [6] was used. The reason for using this modification lies in the fact that Jakob’s algorithm does not permit certain positions of pieces on the sheet [7].

This algorithm, called the ‘Free Fall with Replacement algorithm’, works as follows: the first piece assigned to the metal sheet is placed in the bottom, left-hand corner (piece 1 in Figure 2), and the others are placed as low down in the space as they can possibly fit. Once the piece has been placed, a check is made as to whether there is a space below it. If there is a space, then a search ensures to see if one of the rectangles still to be placed fits into that space. If such a rectangle shows up, it is slotted into the space.

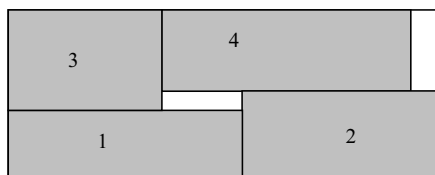


Fig. 2. Free fall with replacement

Having established the methods used to codify the placement of the pieces and to calculate their fit, the type of crossover and mutation to be used must be decided on next. In the light of earlier work that we have carried out [8], a Partial Matching type crossover was opted for, along with an order-based mutation. The Partial Matching Crossover “PMX” [9] is a crossover

type that is widely used in published work on how to resolve the travelling salesman problem by using genetic algorithms with decimal coding. Adapting this crossover to packing problems is simple, and will now be described. Given two “parent chromosomes”, the operator copies a substring of one of the parents directly into the same positions in the offspring. The remaining positions are then filled with the values that have yet to be used, in the same order as they occur in each of the parents.

The mutation, called Order-based Mutation, is based on the work of Davis [10] and consists of interchanging the positions of two rectangles of the same individual.

#### 4 CUTTING THE PIECES

As has already been pointed out, a second algorithm had to be applied in order to instruct the guillotine’s numeric control on how to cut the metal sheets in order to obtain the pieces. It is useful to explain the way the guillotine approaches the steel sheets in order to understand how the algorithm works. The guillotine starts at the top, right-hand corner of the sheet, and after making the initial two cuts that have already been mentioned in section 3, it proceeds to cut the pieces.

The algorithm responsible for carrying out this task acquires the distribution of the pieces in the metal sheet from the genetic algorithm (GA), and generates an output file that tells the guillotine’s numeric control what order to cut the pieces in. In order to indicate this sequence the ‘X’ and ‘Y’ coordinates of the different cuts need to be known. Thus, for example, to cut pieces 1 and 2 of Figure 3, the coordinates of the bottom, left-hand corner of both pieces should be given. The guillotine first cuts up to coordinates ‘X’ and ‘Y’ of the second piece and then cuts the first piece.

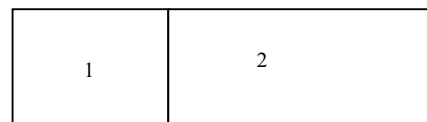


Fig. 3. An example of the cutting sequence

The problem of this cut lies in the areas where there is no piece assigned, which also have to be cut if the pieces ordered by the client are to be produced. Figure 4 highlights the problems that cutting these pieces involves; if the useful pieces are the rectangles (1,2,3,4), (A,B) represent the wasted

parts of the metal sheet, then piece B cannot be obtained from a single cut, and must be divided in two because of its non-rectangular shape.

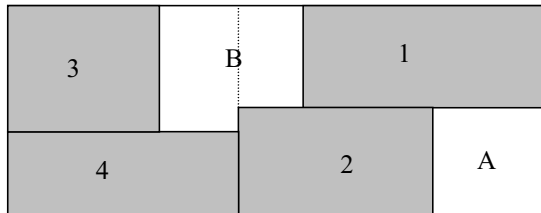


Fig. 4. Cutting sequence

The task of the sequencing algorithm that was designed consists of detecting these problematic parts and of deciding how to divide them. To do this, the algorithm simulates how the guillotine works. First, it acquires the positions of the pieces to be cut from the genetic algorithm, and then it fictitiously places the guillotine in the top, right-hand corner of the metal sheet and attempts to start cutting the different pieces one by one. When it detects that a piece cannot be cut because there is a waste piece in the guillotine's cutting area, it tells numeric control to eliminate this leftover piece before proceeding to cut the customer's piece.

Figure 4 serves to illustrate this process. First, an attempt is made to cut piece 1. To see if this piece can be cut, the guillotine is 'placed' in the lower, left-hand corner of this same piece, and the metal sheet is 'cut' in this position. If the piece is produced cleanly, the following piece is tried; if it not, then the extra material on piece 1 is eliminated. In this example, the piece is obtained without extra material and the cut is accepted; once liberated, the simulator attempts to cut the next piece, which in this particular case is piece 2. However, a problem arises, because if the guillotine is placed in the bottom, left-hand corner of this piece and the cut is made, the piece that is produced is L-shaped, and is made up of pieces A, 2, and part of B. Once this problem is detected the algorithm must determine how to obtain piece 2 without extra material. In this case the algorithm tells numeric control that first piece A should be cut, and in order for this to occur it provides numeric control system with the relevant coordinates for the bottom, left-hand corner; then one part of piece B must be cut, so the algorithm must provide numeric control system with the coordinates. When these cuts have been made, piece 2 can easily be cut out. Piece 3 is the next to be cut,

but before doing so, the part of piece B that has yet to be cut must be cut; finally, piece 4 is cut out.

## 5 RESULTS

The computer programme that was already being used by the company in question was used in the study this paper describes. As this programme was also involved in trying to minimise the number of metal sheets being used, it is useful to compare the solutions provided by this programme with the solutions that our research came up with.

A number of experiments have been carried out using real data provided by the company, and our algorithms and the one previously used by the company were contrasted. Table 1 provides the results of this comparison.

The parameters applied during the different tests by the genetic algorithm are: crossover probability, 0.7; mutation probability, 0.3; special mutation probability, 0.4; number of generations, 3; and population size, 10 (only 30 calculations will be made using these parameters). Similarly, the Simulated Annealing (SA) parameters were selected for 30 calculations. The low number of generations and the small population size are both a result of the type of solution that was demanded. The company required a 'quick fix', where within three minutes the algorithms would generate a solution that was similar to the solution provided by the original system as shown in Table 1 for solution 1.

Table 1 highlights how the heuristics proposed provide better than or at least equal results to those offered by the guillotine's original programme (the old algorithm) in most cases. It also indicates how both the SA and GA solutions get better as the number of pieces involved gets higher.

Column 2 is the number of pieces in the experiment, and the other columns indicate the number of sheets required to manufacture these pieces using each of the algorithms.

Tests were run to generate random solutions (column 3 of Table 1) to check whether GA and SA were really necessary. Generating 30 random solutions and using the free fall with replacement heuristic to analyse the number of sheets needed to place and cut all the rectangles reached the random solution. The results shown in this column confirm the need for GAs or SAs.

Table 1 also highlights how it is impossible to decide which of the two heuristics is better. In



Table 1. *Experiment results*

Example	Pieces	Old Algorithm	Random	Simulated Annealing (SA)	Generic Algorithm (GA)
1	547	69	71	61	67
2	229	45	48	47	45
3	52	21	21	21	21
4	16	5	4	5	4
5	228	42	45	42	42
6	722	110	107	91	103
7	683	151	149	144	149
8	732	176	175	174	173
9	798	114	115	105	111
10	754	136	133	129	131
11	580	82	79	79	79
12	1346	223	219	208	208
13	192	42	42	44	42
14	573	53	57	51	52
15	529	92	89	91	87

some cases the GA provides better solutions, whilst SA is better for other examples.

## 6 CONCLUSIONS

This paper describes two hybrid systems to solve a real-life industrial problem: that of automating an L-type guillotine. Such an automation involves designing a programme to distribute pieces ordered by clients onto a number of rectangular sheets, minimising the number of sheets required. The programme should also indicate the guillotine's

numeric control, the sequence the pieces should be cut in. A series of examples were generated, and the quality of the solutions provided by the algorithms was compared with those generated by the programme supplied by the manufacturer of the machinery. The algorithms were shown to work better in most cases. The two algorithms were also compared to each other to decide which of the two was more suited to this kind of problem. No conclusions could be drawn in this respect, as whether one algorithm is superior to another depends on the particular example that is used.

## 7 REFERENCES

- [1] Gilmore P.C., Gomory R.E. (1961) A linear programming approach to the cutting-stock problem. *Operations Research* 9:724-746.
- [2] Gilmore P.C., Gomory R.E. (1963) A linear programming approach to the cutting stock problem. *Operations Research* 11:863-888.
- [3] Gilmore P.C., Gomory R.E. (1965) Multistage cutting stock problems of two and more dimensions. *Operations Research* 13:94-1120.
- [4] Dyckhoff H. (1990) A typology of cutting and packing problems. *European Journal of Operational Research* 44:145-159.
- [5] Coffman E.G., Shor P.W. (1990) Average-case analysis of cutting and packing in two dimensions. *European Journal of Operational Research* 44:134-144.
- [6] Jakobs S. (1996) On genetic algorithms for the packing of polygons. *European Journal of Operational Research* 88:165-181.
- [7] Gómez A., De la Fuente D., Priore P. (2000) Resolución del problema de strip-packing mediante la metaheurística algoritmos genéticos. *Boletín de la SEIO* 12-16.
- [8] Gómez, A., De la Fuente D. (2000) Resolution of strip-packing problems with genetic algorithms. *Journal of the Operational Research Society*, 51:1289-1295.

- [9] Golberg, D.E., Lingle R. (1985) Alleles, Loci, and the TSP. In Proceedings of the first international conference on genetic algorithms, *Lawrence Erlbaum Associates*, Hillsdale, NJ 154-159.
- [10] Davis L. (1991) Handbook of genetic algorithms. *Van Nostrand Reinhold*, New York.

Authors' Address: Prof.Dr. Alberto Gomez  
David de la Fuente  
Prof.Dr. Javier Puente  
José Parreño  
University of Oviedo  
Campus de Viesques, s/n  
33204 Gijon Asturias  
Spain  
agomez@epsig.uniovi.es  
david@epsig.uniovi.es  
jpuente@epsig.uniovi.es  
parreno@epsig.uniovi.es

Prejeto: 3.12.2004  
Received:

Sprejeto: 25.5.2005  
Accepted:

Odrpto za diskusijo: 1 leto  
Open for discussion: 1 year



## Zmanjševanje emisij dušikovih oksidov z rekonstrukcijo zgorevalnega sistema kotlov v Termoelektrarni toplarni Ljubljana

### The Reduction of Nitrogen Oxide Emissions by the Boiler Firing System Reconstruction at the Power Plant Ljubljana

Janez Oman - Igor Kuštrin - Igor Bole - Primož Gostinčar

*Do konca leta 2007 bo v Sloveniji dovoljena emisija  $NO_x$  znašala  $650 \text{ mg/m}^3$ , od 2008 naprej pa  $600 \text{ mg/m}^3$ , za kurilne naprave z močjo od 50 do 500 MW. V Termoelektrarni toplarni Ljubljana, katere emisije so pogosto presegle zgoraj napisane meje, je bilo potrebno izvesti rekonstrukcijo zgorevalnih sistemov kotlov 1 in 2. Po rekonstrukciji zgorevalnega sistema kotla 3, ki je bila izvedena z uvoženim znanjem, sta bila kotla 1 in 2 glavna vira emisij  $NO_x$  in CO. Rekonstrukcija je bila na obeh kotlih v celoti izvedena z znanjem strokovnjakov Termoelektrarne toplarne Ljubljana in Fakultete za strojništvo Ljubljana. V prispevku je opisana izvedba in rezultati rekonstrukcije, ki je imela za posledico, poleg zmanjšanja emisij daleč pod dopustne meje, tudi opazno povečanje izkoristkov obeh kotlov.*

© 2005 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

**(Ključne besede: emisije  $NO_x$ , sistemi zgorevalni, učinkovitost zgorevanja, gorilniki)**

*In Slovenia,  $NO_x$  emissions from boilers of 50 to 500 MW must be under  $650 \text{ mg/m}^3$  by the end of year 2007. Afterwards, the limit will be  $600 \text{ mg/m}^3$ . The emissions of the Power Plant Ljubljana have often exceeded the stated limiting values. After the reconstruction of the firing system of boiler 3, which was carried out using knowledge from abroad, it was necessary to reconstruct the firing systems of boilers 1 and 2, which remained the main sources of  $NO_x$  and CO emissions. The reconstruction based on domestic knowledge was carried out by experts from the Power Plant Ljubljana and the Faculty of Mechanical Engineering, Ljubljana. The paper describes the essence of the reconstruction and its results. Besides lower emissions there was also a significant improvement in the efficiencies of the boilers.*

© 2005 Journal of Mechanical Engineering. All rights reserved.

**(Keywords:  $NO_x$  emission, combustion systems, efficiency, burners)**

#### 0UVOD

Visokotlačna parna kotla 1 in 2 v Termoelektrarni toplarni Ljubljana (TETOL) sta bila izdelana leta 1964 in dograjena leta 1967. V sklopu toplarniškega postrojenja sta namenjena za proizvodnjo pare, ki se uporablja za proizvodnjo električne energije in toplote za ogrevanje mesta Ljubljana. Vsak kotel proizvaja 180 t/h pare s tlakom 95 bar in temperaturo  $530 \text{ }^\circ\text{C}$ , imenska toplotna moč kotlov je 128 MW, gorivo je premog s kurilnostjo 18 MJ/kg. Da bi zmanjšali onesnaževanje okolja, so se od leta 1993 dalje v TETOLu preusmerjali na uporabo ekološko bolj sprejemljivih uvoženih premogov z

majhnim deležem žvepla in pepela. Problem prevelikih emisij prašnih delcev so na kotlih 1 in 2 odpravili v letih 1994 in 1995 z zamenjavo elektrofiltrov z vrečastimi filtri.

Problem prevelikih emisij  $NO_x$  pa je bil v TETOL še vedno opazen. Iz poročila [1] je razvidno, da je bila v poletnih mesecih leta 2002, ko je obratoval samo blok 1, izmerjena povprečna koncentracija dušikovih oksidov,  $NO_x$ ,  $746 \text{ mg/m}^3$ . Pri spremembi obremenitve kotla pa se je koncentracija  $NO_x$  zvečala tudi do  $900 \text{ mg/m}^3$ . Dovoljena emisija  $NO_x$  bo do konca leta 2007 znašala  $650 \text{ mg/m}^3$ , od 2008 naprej pa  $600 \text{ mg/m}^3$  za kurilne naprave z močjo od 50 do 500 MW.

Temelj za odločitev za rekonstrukcijo zgorevalnih sistemov na kotlih 1 in 2 so bili preizkusi in meritve [2], iz katerih je razvidno, da je mogoče že s sedanjim sistemom zgorevanja opazno zmanjšati emisijo  $NO_x$ . Eden od pogojev za zmanjšanje emisije  $NO_x$  je bilo zmanjšanje količine zgorevalnega zraka. V času meritev je bilo z dodatnimi nastavitvami prerazporeditve zgorevalnega zraka pri največji obremenitvi kotla doseženo zmanjšanje  $NO_x$  iz  $658 \text{ mg/m}^3$  na  $441 \text{ mg/m}^3$ . Bistvo posega je bilo zmanjšanje pretoka zgorevalnega zraka na 68% običajnega pretoka. Drugi ukrep za zmanjšanje emisije  $NO_x$  pa se je nanašal na ustrežnejšo razporeditev zgorevalnega zraka, česar pa s tedanjo regulacijo zgorevalnega sistema in konstrukcijsko zasnovo gorilnikov ni bilo mogoče avtomatično doseči.

Odločitev za rekonstrukcijo zgorevalnih sistemov je bila sprejeta z gospodarskim načrtom TETOL za leto 2003, na kotlu 1 je bil izveden projekt v letu 2003 in na kotlu 2 v letu 2004. Analiza pretokov zgorevalnega zraka kotla bloka 2 je pokazala, da je mogoče z rekonstrukcijo zgorevalnega sistema izboljšati izkoristek kotla za najmanj 1%, kar bi skupaj za kotla 1 in 2 pomenilo za 2500 t/leto manjšo porabo premoga, za 4,5 t/leto manjšo emisijo  $CO_2$  in tudi ustrežno zmanjšanje emisije trdnih delcev.

Odločeno je bilo, da bo projekt rekonstrukcije izpeljan na podlagi lastnih izkušenj in

lastnega znanja. Začetek montažnih del na kotlu 1 je bil v avgustu 2003, konec pa v oktobru istega leta, ko je bil kotel 1 dan v obratovanje.

V prispevku so predstavljena tudi teoretična izhodišča nastajanja dušikovih oksidov in splošni ukrepi pri postopku zgorevanja premogovega prahu, s katerimi je bistveno zmanjšana možnost nastajanja dušikovih oksidov. Prikazane so pomanjkljivosti starih zgorevalnih sistemov na kotlih blokov 1 in 2. Predstavljena so izhodišča, ki so bila uporabljena kot osnova za rekonstrukcijo sedanjih zgorevalnih sistemov v teh kotlih. Predstavljeni rezultati meritev na kotlu 1, izvedeni po rekonstrukciji kurjave, potrjujejo uspešnost izvedene predelave sistema za zgorevanje.

### 1 VPLIVNI DEJAVNIKI IN POGOJI ZA NASTAJANJE $NO_x$ PRI KURJAVAH NA PREMOGOV PRAH

Dušikove okside  $NO$  in  $NO_2$  označujemo s skupno oznako  $NO_x$ . Delež  $NO_2$  v skupni količini  $NO_x$  je običajno manjši od 5 %, prevladuje torej  $NO$ . Mehanizmi nastanka  $NO$  so raznovrstni, dejansko pa ločimo tri osnovne postopke [3]:

- termični  $NO$ ,
- tako imenovani takojšni  $NO$  in
- $NO$  iz goriva, ki nastaja iz dušikovih spojin v gorivu.

Preglednica 1:

Vrsta dušikovega oksida	Mesto nastajanja	Okoliščine	Pogoji za nastanek	
$NO$	termični	v plamenu in v poznejših reakcijah	presežek kisika: $O + N_2 = NO + N$ $N + O_2 = NO + O$ presežek goriva: $N + OH = NO + H$	prisotnost atomarnega kisika * zadrževalni čas, temperatura nad $1300 \text{ }^\circ\text{C}$
	takojšni	v plamenu	zaradi prisotnosti $HCN$ skupine, ki nastaja iz: $CN + H_2O = HCN + OH$ $CH + N_2 = HCN + N$	prisotnost atomarnega kisika * potek zgorevanja, $\lambda$
	iz goriva	v plamenu	zaradi $HCN$ in $NH_3$ skupine	prisotnost $N, O_2$ čas zadrževanja
$NO_2$	dimni kanali, katalitično okolje	$O + N_2 + M = N_2O + M$ $M$ - tretja snov $NO + O_2 = 2NO_2$	prisotnost $O_2$ temperatura pod $650 \text{ }^\circ\text{C}$ , čas	

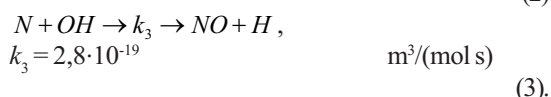
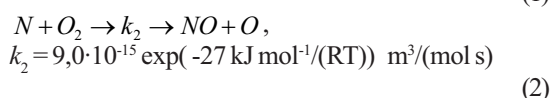
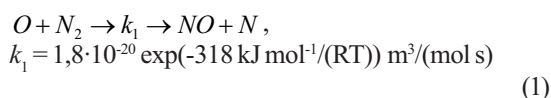
\* - atomarni kisik se pojavlja zaradi disociacije molekul  $O_2$

V preglednici 1 so prikazane okoliščine nastajanja dušikovih oksidov pri zgorevanju v kotlih.

Hitrost nastajanja NO<sub>x</sub> je odvisna od vrste reakcije. V splošnem velja, da najhitreje potekajo reakcije nastajanja takojšnih dušikovih oksidov, najbolj počasi pa poteka reakcija nastanka termičnega NO.

### 1.1 Termični NO

Osnovne reakcije zaporednega nastajanja termičnega NO, ki so prikazane v preglednici 1. potekajo v naslednjem zaporedju [4]:



Reakcija (1) je izhodiščna, torej prva v verigi reakcij. Hitrost poteka te reakcije določa količino termičnega NO, ki nastaja po reakcijah (2) in (3). Zaradi visoke aktivacijske energije reakcije, 318 kJ/mol, poteka reakcija (1) le pri visokih temperaturah, kar daje ime nastalim dušikovim oksidom. Hitrost poteka

reakcije in količina nastalih dušikovih oksidov je odvisna predvsem od višine temperature.

V reakcijah (2) in (3) sodeluje atomarni dušik v navidezno stabilnem stanju, zato je potek teh reakcij zelo hiter, kar omogoča, da reakcijsko hitrost nastajanja termičnega NO lahko zanesljivo opišemo le kot funkcijo hitrosti poteka reakcije (1) [5]:

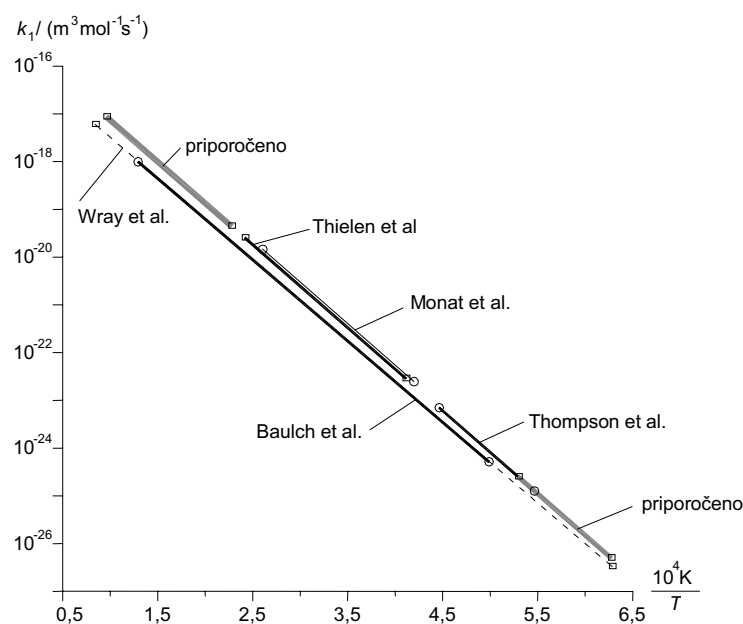
$$\frac{d[NO]}{dt} = 2k_1[O][N_2] \quad (4)$$

Iz izraza (4) je vidno, da je reakcijsko hitrost nastajanja termičnega NO mogoče zmanjšati z zmanjševanjem koncentracij [O] in [N<sub>2</sub>] ter z zniževanjem ravnotežne konstante k<sub>1</sub>. Vrednost ravnotežne konstante se hitro zmanjšuje z nižanjem temperature.

Pojav termičnega NO lahko pričakujemo v plamenih, kjer so temperature nad 1300 °C, zato so koncentracije termičnega NO v kuriščih z višjo toplotno obremenitvijo večje kakor v manj toplotno obremenjenih kuriščih.

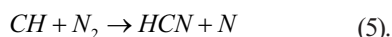
### 1.2 Takojšni NO

Takojšne dušikove okside imenujemo tudi zgodnje, ker nastajajo že na čelu plamena. Mehanizem nastajanja takojšnega NO je bolj zapleten od mehanizma nastajanja termičnih dušikovih oksidov. Nastanek takojšnih NO je posledica navzočnosti radikala CH, ki je rezultat vmesnih reakcij na čelu



Sl. 1. Odvisnost  $k_1 = k(1/T)$  za reakcijo  $O + N_2 \rightarrow NO + N$  [13]

plamena. CH reagira najprej z dušikom iz zraka, nakar v navzočnosti kisika nastaja tudi NO [6]. Iz obširnega spiska mogočih reakcij s hidrokarbonatnimi skupinami šteje kot pomembna za nastanek dušikovih oksidov [7], predvsem naslednja reakcija:



Tu nastaja atomarni dušik, ki je v navidezno stabilnem stanju. Atom dušika se nagiba k oddajanju elektronov in se zelo hitro veže s kisikom v NO. Osnova za nastajanje takojšnjega NO je torej navzočnost ogljikovodikovih radikalov in atomarnega dušika. Taka stanja so značilna za plamen, v katerem poteka zgorevanje pri razmerniku zraka manjšem od 1, to je plamen, ki je bogat z gorivom. Aktivacijska energija reakcije (5) je majhna, zato takojšni NO nastaja tudi pri sorazmerno nizkih temperaturah, okrog 700 °C. Atomarni dušik nastaja tudi pri reakciji:

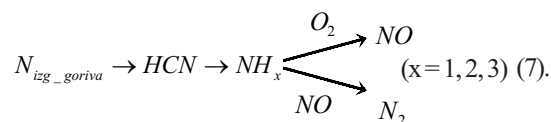


ki pa šteje kot manj pomembna. Višanje temperature izrazito pospeši nastajanje takojšnjega NO po obeh reakcijah. V takih plamenih je od skupno nastalih dušikovih oksidov delež takojšnjega NO lahko pri visokih temperaturah večji od deleža termičnega NO [8]. Pomembna ugotovitev je, da je za nastanek termičnih in takojšnjih dušikovih oksidov ključna navzočnost atomarnega dušika v plamenu.

### 1.3 NO iz dušikovih spojin v premogu

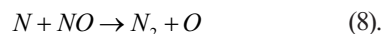
Večina raziskovalcev šteje dušik, vezan v snovi goriva, za najpomembnejši vir dušikovih oksidov pri zgorevanju premogov, pri katerih imajo NO iz goriva tudi preko 75-odstotni delež od skupnih NO<sub>x</sub> v dimnih plinih [7]. Vzrok nastanka NO je razpad komponent, ki vsebujejo dušik. Razlog je v sorazmerno nizkih temperaturah zgorevanja in lokalnih pojavih s premogom prebogatih mešanic v plamenu. NO iz goriva nastaja hitreje od termičnega, ker so N-H in N-C vezi dušika v premogu bistveno šibkejše od vezi v molekuli dušika, ki morajo pri nastajanju termičnega NO disociirati. Reakcije potekajo med snovmi plinaste faze, torej med hlapnimi komponentami premoga, zato prispevajo k nastanku tovrstnih dušikovih oksidov le dušikove spojine v letečih delcih.

V začetni fazi gorenja dušik izpareva iz katranov kot HCN v obliki letečih delcev. Sprememba v HCN spojine je neodvisna od oblike vezanosti dušika v izvornih snoveh. Reakcije potekajo naprej:



HCN razpada v amine, NH<sub>x</sub>, ti pa naprej ali oksidirajo v NO ali reagirajo z NO in ustvarjajo N<sub>2</sub>. Iz reakcije (7) je vidno, da pri večjih koncentracijah dušikovih spojin prihaja do njihovih medsebojnih reakcij, v katerih zopet nastaja molekularni dušik N<sub>2</sub>.

Molekularni dušik nastaja tudi pri reakciji, ko se NO veže z atomarnim dušikom:



Dušik je v premogu večinoma vezan v stabilnih krožnih aromatskih spojinah. V fazi termičnega razpada se večina dušika iztrga iz teh spojin in se primeša preostalim letečim delcem. Dušikovi ostanki pirolize so HCN, NH<sub>3</sub> in tudi nitroskupine v katranu. Pri kurjavah s premogovim prahom je prav to glavni razlog, da nastaja največ NO<sub>x</sub> iz dušikovih spojin v letečih delcih, ki se pri zgorevanju delcev premoga izplinjajo v fazi pirolize.

## 2 DUŠIKOVI OKSIDI PRI KURJAVAH NA PREMOGOV PRAH

### 2.1 Kemične reakcije in vpliv sestave premoga na nastajanje NO<sub>x</sub>

Dejstvo je, da delež dušika v gorivu vpliva na koncentracijo dušikovih oksidov v dimnih plinih. Rezultati meritev pri premogih, ki vsebujejo 1 % dušika, v primerjavi s premogi, ki vsebujejo 2 % dušika, pokažejo približno 50 % različne emisije NO<sub>x</sub>. Čeprav so rezultati preizkusov pokazali, da pri premogih z enakim deležem dušika vendar z različnim deležem letečih delcev ni zaznati bistvenih razlik emisij dušikovih oksidov, pa se po drugi strani izkaže, da so leteči delci glavni vir dušikovih oksidov. Dušik, vezan v plinastih spojinah, je bolj nagnjen k oksidiranju kakor dušik, ki je trdno vezan v koksnih strukturi premoga. Pri povezavi med deležem dušika v premogu in emisijami NO<sub>x</sub> je torej najbolj pomembno dejstvo, koliko dušika je v izparljivi masi premoga. Večji deleži izparljive mase, letečih delcev,

kar je npr. lastnost bituminoznih premogov, neposredno ne vplivajo na povečanje količine dušikovih oksidov. Vpliv količine letečih delcev je le posreden, saj je večja količina letečih delcev vzrok za višje lokalne temperature v plamenu, ki najprej povzročijo, da se upari več dušika, potem pa pospešujejo oksidacijo dušika iz goriva in tudi dušika iz zgorevalnega zraka.

Zaradi zapletenih razmerij med dinamiko v gorilniku in kemičnimi reakcijami v splošnem ni preprosto določiti, katera reakcija je pri nastajanju dušikovih oksidov prevladujoča. Pri kurjavah na premogov prah vseeno velja, da je dušik v izparljivih dušikovitih spojinah premoga najpomembnejši vir dušikovih oksidov. Koncentracije termičnega NO so v splošnem pri kurjavah na premogov prah majhne, delno pa prevladujejo v reakcijah za plamenom tam, kjer se dodaja dodatni zrak nad plamenom. Pomembnejše količine termičnega NO nastajajo v premogovih plamenih le pri temperaturah nad 1650 K. Mehanizem nastajanja takojšnjega NO pri kurjenju s premogom oziroma pri kurjavah na premogov prah ni tipičen in tudi ne zelo pomemben pojav [7].

Pomembni so torej postopki nastajanja dušikovih oksidov iz kemično vezanega dušika v premogu. V neugodnih razmerah se v NO lahko spremeni do 50 % dušika iz letečih delcev premoga. Dejanska količina oksidiranega dušika iz letečih delcev pa je v praksi bistveno odvisna od postopkov mešanja v plamenu, od razporeditve in višine temperatur ter od stehiometričnih razmer pri zgorevanju.

Končna koncentracija NO iz dušikovih spojin premoga je manjša pri zgorevanju z gorivom bogatih mešanic. Koncentracijo NO iz goriva zmanjšuje tudi navzočnost drugih dušikovih spojin, ker prihaja do medsebojnih reakcij in nastajanja N<sub>2</sub>, kakor je prikazano v enačbah (7) in (8). Čeprav v tem postopku temperatura plamena nima tako pomembne vloge kakor pri nastajanju termičnega NO, se je vseeno treba izogibati lokalnim pojavom visokih temperatur.

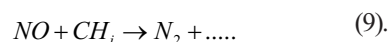
## 2.2 Primarni ukrepi za zmanjševanje emisije dušikovih oksidov

Ugotovili smo, da je pri kurjavah na premogov prah glavni vir dušikovih oksidov dušik iz goriva, ki je kemično vezan v izparljivi masi premoga. Rezultati osnovnih raziskav in strokovnih izkušenj, ki so predstavljeni v prejšnjih poglavjih, pokažejo, da je mogoče skonstruirati kurilne naprave in

postopek kurjenja tako, da v postopku kurjenja nastanejo pogoji za zmanjšanje količine dušikovih oksidov, ki nastanejo iz dušikovih spojin v gorivu. Preurediti je treba dovode goriva, spremeniti obliko in velikost gorilnikov, prilagoditi dovode zgorevalnega zraka in rekonstruirati sistem obtoka vročih in hladnih dimnih plinov. Neprijetno je, da prav načelo kakovostnega kurjenja premoga, ki je povezano z zgorevanjem pri visokih temperaturah in z zadostno količino zraka za zgorevanje, pospešuje nastajanje dušikovih oksidov.

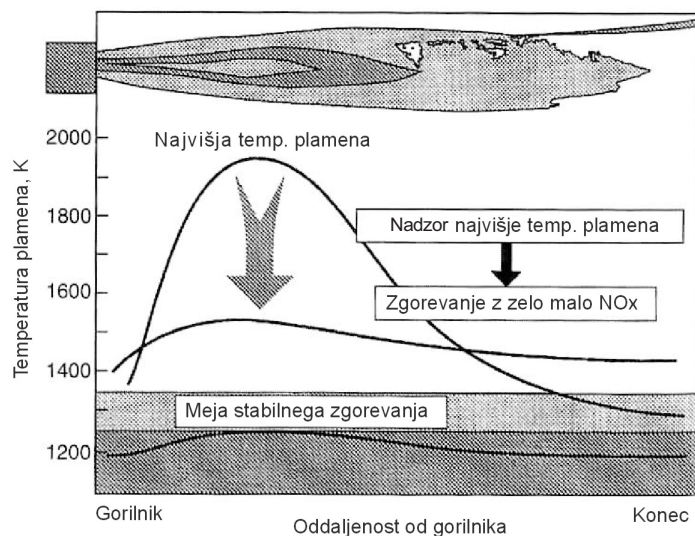
Za zmanjševanje nastajanja dušikovih oksidov iz dušikovih spojin v gorivu in takojšnjih dušikovih oksidov je pri kurjavah na premogov prah osnovni ukrep stopenjsko zgorevanje. S preoblikovanjem običajnih kurilnih naprav je mogoče tako zmanjšati emisijo dušikovih oksidov za 50 do 80 odstotkov.

Postopek poteka v več stopnjah. Na prvi stopnji, takoj po izstopu iz gorilnikov, vzpostavimo razmere z gorivom bogate mešanice, v kateri je razmernik zraka manjši od teoretično potrebnega in se giblje okoli vrednosti 0,7. Namen te faze kurjenja je, da se zmanjša nastajanje zmesi NO<sub>x</sub> + HCN + NH<sub>3</sub>. Po tej stopnji se vzpostavijo razmere zgorevanja s kisikom bogatejšo mešanico, tako da se na tej drugi stopnji razmernik zraka giblje okoli vrednosti 1. N<sub>2</sub> in N, ki sta nastala v prvi fazi, bosta oksidirala v NO, ker je na tem mestu v kurišču temperatura plamena zaradi prenosa toplote s sevanjem v uparjalnik že nižja. Če na koncu te stopnje poskrbimo še za presežek kisika, se bo nekoliko zmanjšal tudi delež že nastalih NO. Na tretji stopnji zopet dodamo gorivo, kar vzpostavi razmere za ponovno redukcijo NO. V mešanicah, bogatih z gorivom, nastajajo CH<sub>i</sub> radikali, ki povzročajo redukcijo dušikovih oksidov po reakciji [9]:



Za zmanjšanje nastanka termičnih dušikovih oksidov so ukrepi nekoliko drugačni. Reakcija nastajanja termičnega NO potrebuje veliko energijo aktiviranja, zato nižanje temperaturnih konic v plamenu bistveno pripomore k zmanjševanju nastajanja termičnih NO. Ukrepi nižanja temperaturnih konic v plamenu so različni. Lahko dodajamo neaktivne snovi, npr. dušik, vodo ali hladne dimne pline, ki prevzemajo presežke sproščene energije v plamenu in znižajo temperaturo. Temperaturne konice nižamo tudi tako, da se gorivo in zgorevalni zrak ne mešata pred izstopom iz gorilnika, temveč neposredno v območju zgorevanja.





Sl. 2. Vpliv temperature plamena na nastanek NO<sub>x</sub>

### 2.3 Posledice ukrepov za zmanjšanje emisije dušikovih oksidov

Okoliščine, ki nastanejo v kurišču po vzpostavitvi razmer za zmanjšanje emisije dušikovih oksidov, niso v skladu z optimalnimi razmerami za zgorevanje pri kurjavah na premogov prah. Pričakujemo lahko, da se bodo hkrati z ukrepi za zmanjšanje NO pojavitve v kurišču in na kotlu določene težave in neželeni stranski pojavi [10]. Mogoče neželene in škodljive učinke lahko strnemo v naslednje skupine:

- Znižanje temperatur in manjši presežki zgorevalnega zraka povzročijo povečanje izgub zaradi nezgorelih deležev v pepelu, žlindri in dimnih plinih ter s tem znižanje izkoristka kotla.
- Zaradi spremembe značilnic plamena se prerazporedijo toplotni tokovi med ogrevalne površine kotla, kar lahko povzroči, da se s sedaj vgrajenimi ogrevalnimi površinami in krmilno opremo težko vzdržuje ali imenske količine ali imenske parametre sveže pare.
- Redukcijska atmosfera v kurišču povzroča znižanje temperature taljenja pepela in povečuje možnost zažlindranja grevalnih površin. Redukcijska atmosfera pospešuje tudi korozijo sten cevi na strani dimnih plinov.
- Pri najmanjših obremenitvah kotla se zmanjša stabilnost plamena, zaradi česar je treba omejiti najmanjšo moč kotla.
- Plamen se podaljša, kar lahko povzroča težave na ogrevalnih površinah za kuriščem.

- Zaradi povečanja masnega pretoka obtočnih dimnih plinov, povečanja pretočnih uporov skozi gorilnike in zaradi zahtevane večje drobnosti mletja premoga se poveča lastna raba električne moči kotla.

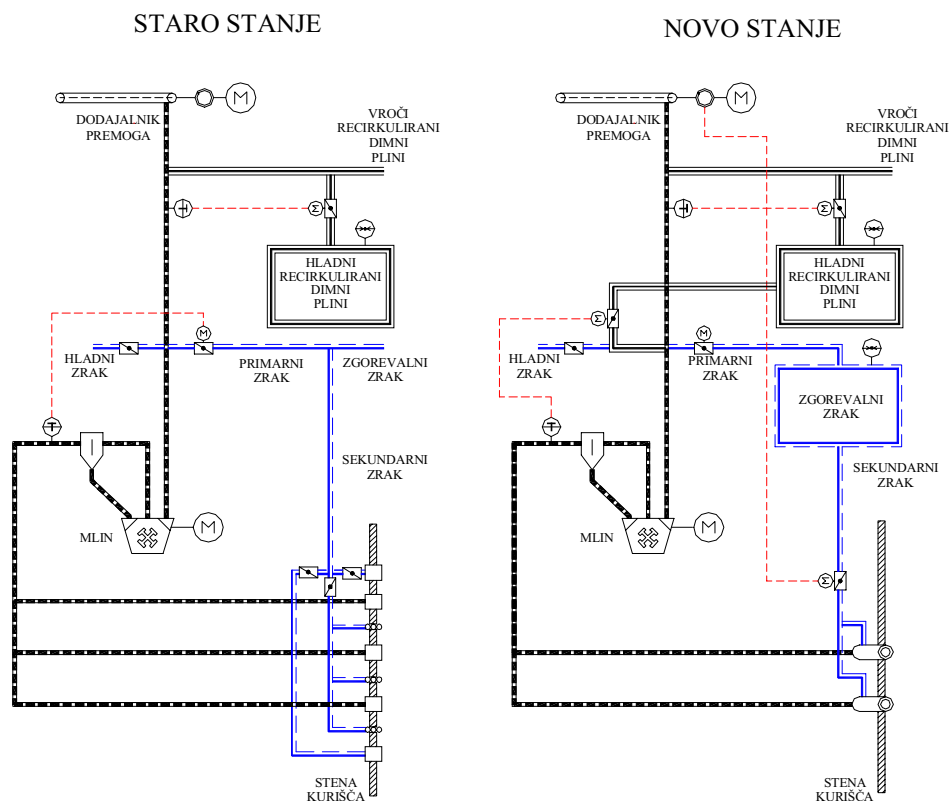
## 3 REKONSTRUKCIJA GORILNIKOV IN KURJAVE NA KOTLIH 1 IN 2

### 3.1 Kurjava pred rekonstrukcijo

Na temelju opisanih teoretičnih spoznanj in praktičnih izkušenj strokovnjakov iz TE-TO je bila izvedena rekonstrukcija gorilnikov in kurjave, najprej na kotlu 1, potem pa še na kotlu 2.

Pred rekonstrukcijo razvoda zgorevalnega zraka in gorilnikov na kotlih 1 in 2 je vsak mlin napajal tri gorilnike. Dovajanje sekundarnega zraka se je krmililo z ročnimi loputami. Sekundarni zrak je bil razdeljen na zrak nad zgornjim gorilnikom, zrak pod spodnjim gorilnikom in sredinski zrak. Z daljinskim krmiljenjem je bilo obremenitvi mogoče prilagajati le količino primarnega zgorevalnega zraka. Ker se je temperatura prašne zmesi za mlino uravnavala z dodajanjem primarnega zraka pred mlino (sl. 3), je bilo tega zraka vedno preveč, oziroma več kolikor bi ga bilo treba za kakovostno zgorevanje. Zaradi prevelikega presežka zgorevalnega zraka so bile izgube s toploto dimnih plinov prevelike, izkoristek kotla pa nižji. Prevelika količina primarnega zraka je povzročala tudi velike emisije NO<sub>x</sub>, včasih pa tudi samovžig premoga pred gorilnikom. Zaradi





Sl. 3. Razvod zgorevalnega zraka in hladnih obtočnih plinov pred rekonstrukcijo in po njej

samovžigov so se pojavljale deformacije prahovodnih kanalov in poškodbe na obzidavi gorilnikov, kar je zmanjševalo zanesljivost obratovanja.

Pred rekonstrukcijo se je količina zgorevalnega zraka prilagajala obremenitvi kotla. Pretok zgorevalnega zraka je bil merjen v sesalnih kanalih vetril podpiha. Dejanska količina zgorevalnega zraka, ki je vstopala v kotel, je bila vedno precej manjša od izmerjene. Vzrok za to so bile vedno navzoče netesnosti vrtilnih obnovljivih grelnikov zraka. Razlika med izmerjeno in dejansko količino je bila odvisna od absolutnega tlaka v zračnih in dimnih kanalih na vstopu v grelnik zraka. Pri večji tlačni razliki je bil vdor zraka v dimni kanal večji in nasprotno, tako da ni bilo nikoli zanesljivo, koliko nadzorovanega zgorevalnega zraka je dejansko vstopilo v kotel.

### 3.2 Rekonstrukcija kurjave

Rekonstrukcija gorilnikov, sistema krmiljenja in razvoda zgorevalnega zraka ter sistema obtoka dimnih plinov je bila načrtovana in izvedena

tako, da so bili doseženi naslednji učinki:

- manjši presežki zgorevalnega zraka in boljši izkoristek kotla,
- doseganje zakonsko dovoljenih emisij dušikovih oksidov in ogljikovega monoksida.

Prvi cilj je mogoče doseči z nadzorovanim dovajanjem zgorevalnega zraka, temperatura v mlinih pa se uravnava s primešavanjem hladnih obtočnih dimnih plinov.

Drugi cilj je dosegljiv z novo konstrukcijo gorilnikov, ki omogočajo nadzorovano dovajanje zgorevalnega zraka in so izdelani v skladu z naj sodobnejšimi spoznanji o gorilnikih, ki dajejo malo dušikovih oksidov.

#### 3.2.1 Gorilniki

Prvotno sta imela kotla štiri gorilnike s štirimi pravokotnimi izstopnimi šobami, ki so jih zaradi premajhnih izstopnih hitrosti iz gorilnikov in nestabilnega plamena leta 1992 zamenjali s tremi pravokotnimi šobami, kakor je prikazano na sliki 4, levo. Vsak gorilnik je imel razporeditev sekundarnega zraka zgoraj, spodaj in med izstopnimi šobami.



Sl. 4. Fotografiji starih in novih gorilnikov

To staro obliko gorilnikov so pri rekonstrukciji nadomestili z gorilniki vrtničnega tipa. V vsak vogal kurišča so namestili po dve gorilniški šobi s toplotno močjo 35 MW (sl. 4, desno). Šobe so izdelane posebej za indonezijski premog, katerega uporabljajo v vseh treh kotlih. Zmes premogovega prahu, vročih dimnih plinov in primarnega zraka se vrtniči iz osrednjega dela šobe gorilnika, po zunanjem kolobarju pa se dovaja sekundarni zrak, ki se vrtniči v nasprotni smeri. Tako se premog in sekundarni zrak zmešata šele v območju zgorevanja in ne prej, doseženo pa je tudi dobro mešanje zraka in premogovega prahu. Odločitev za dve šobi v gorilniku namesto treh je temeljila na dejstvu, da je tako lažje in preprosteje uravnoteženo porazdeliti premogov prah in sekundarni zrak med šobe. Pri optimiranju zgorevanja na kotlu 1 in kotlu 2, se je potrdila pravilnost odločitve za dve šobi v vsakem gorilniku.

### 3.2.2 Sekundarni zrak

Za uravnavanje količine sekundarnega zraka, ki vstopa v gorilnike, so vgrajene daljinsko krmiljene lopute. Z vsako posamezno loputo se uravnava količina sekundarnega zraka za obe šobi posameznega gorilnika. Količina sekundarnega zraka, oziroma odprtost loput v kanalih sekundarnega zraka, se prilagaja obremenitvi dodajalnikov po algoritmu, vgrajenem v sistem za krmiljenje zgorevanja.

Namesto vgradnje neposrednih meritev pretoka sekundarnega zraka so bile opravljene enkratne meritve odvisnosti pretoka zraka od

odprtosti lopute. Meritve so bile opravljene v času preizkusnega obratovanja pri znanem in nespremenljivem tlaku zraka pred loputami in v kurišču. Z uporabo podatkov o tlaku in temperaturi zgorevalnega zraka v kanalu ter odprtosti lopute se med obratovanjem sproti izračunava pretok sekundarnega zraka skozi loputo. Enak tlak pred vsako loputo je zagotovljen s sklenjenim obročnim kanalom sekundarnega zraka okoli kotla. Krmiljenje dovoda zgorevalnega zraka je bila spremenjena tako, da vetrili podpiha sedaj vzdržujeta stalen tlak zgorevalnega zraka v tem obročnem kanalu.

### 3.2.3 Hitrosti v kanalih

Za dobro delovanje novih gorilnikov so potrebni nekateri pogoji. Hitrosti prašne zmesi v ustjih gorilnikov morajo biti okoli 18 m/s, zagotovljena mora biti tudi ustrezna kakovost mletja in enakomerna porazdelitev premogovega prahu in zraka med šobe gorilnika. Če so hitrosti prevelike, se plamen trga od ustja gorilnika, če pa so premajhne, se plamen širi v ustje gorilnika in ga poškoduje. Prevelike hitrosti v prahovodnih kanalih odnašajo tudi večji delež velikih delcev premogovega prahu iz mlina proti gorilniku. Preveliki delci v kurišču ne zgorijo in se izločijo kot nezagorelo v žilindri ali kot nezagorelo v pepelu, kar slabša izkoristek kotla. V času preizkusnega obratovanja so bile izvedene meritve hitrosti v prahovodnih kanalih pred posameznimi šobami gorilnikov [11]. Hkrati se je odesaval premogov prah za analizo kakovosti mletja in za ugotovitev porazdelitve premogovega prahu med

posamezne gorilnike in šobe. Pri prvem merjenju so bile hitrosti v ustjih gorilnikov prevelike in so se gibale med 24 in 28 m/s. Tudi kakovost mletja ni bila ustrezna, porazdelitev premogovega prahu med šobi posameznega gorilnika pa ni bila uravnotežena.

Da bi zmanjšali hitrosti v ustjih gorilnikov, so bile na rotorje mlinov nameščene udarne plošče z manjšo površino. Pri ponovnem merjenju so bile hitrosti v ustjih gorilnikov med 19 in 23 m/s. Zaradi manjših hitrosti se je zmanjšal delež večjih delcev v premogovem prahu. Z nastavitvijo lege prahovodnih loput med mlini in gorilniki, se je uravnotežila porazdelitev premogovega prahu med šobi posameznega gorilnika.

### 3.2.4 Uravnava temperatur v mlinih

Temperatura zmesi vročih plinov in premoga za mlinom, ki se je prej uravnava z dodajanjem primarnega zraka, se po rekonstrukciji vzdržuje s hladnimi obtočnimi dimnimi plini iz zveznega kanala dimnih plinov tik ob mlinih. Lopute primarnega zraka in hladnega zraka so sedaj ves čas zaprte. Spremenjen način vzdrževanja temperature za mlinom zahteva

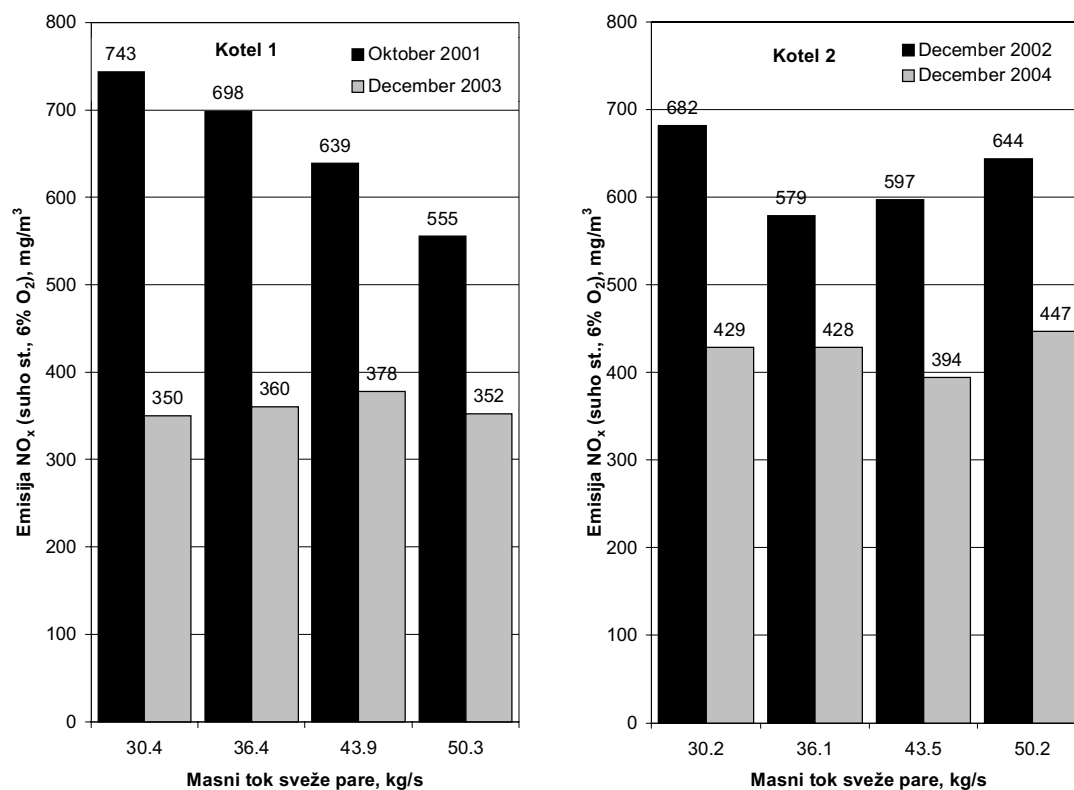
dobavo večje količine obtočnih dimnih plinov. Zato je bil prigrajeno dodatno vetrilo. To je tudi povečalo zanesljivost obratovanja kotla, saj je okvara edinega vetrila hladnih obtočnih plinov prej ogrozila obratovanje kotla.

## 4 ANALIZA REZULTATOV MERITEV

Po končanih nastavitvah gorilnikov in porazdelitvah zgorevalnega zraka so bile na kotlu 1 opravljeni preizkusi kakovosti obratovanja kotla. Preizkuse je izvedla skupina Laboratorija za termoenergetiko Fakultete za strojništvo v Ljubljani. Analiza rezultatov preizkusov [12] je potrdila, da so bili zastavljeni cilji projekta v celoti doseženi.

### 4.1 Zakonski predpisi in omejitve

Na podlagi Zakona o varstvu okolja je bila izdana Uredba o emisiji snovi v zrak iz velikih kurilnih naprav, ki uvršča kotla 1 in 2 v TETOL med sedanje stare velike kurilne naprave [14]. Za te ostanejo do vključno 31. decembra 2007 v veljavi določbe 13. člena Uredbe o emisiji snovi v zrak iz kurilnih naprav



Sl. 5. Emisija NO<sub>x</sub> na kotlih 1 in 2 pred rekonstrukcijo in po njej

[15]. Mestna občina Ljubljana je sprejela tudi Odlok o zmanjšanju mejnih emisijskih koncentracij za sedanje velike kurilne naprave [16].

Na podlagi teh podzakonskih odredb so določene mejne vrednosti emisij, ki se pri obratovanju kotlov ne smejo presegati. Na državni ravni je za polutant  $\text{NO}_x$  omejitev  $650 \text{ mg/m}^3$  za polutant CO pa  $250 \text{ mg/m}^3$ . Na ravni mestne občine so omejitve strožje. Za  $\text{NO}_x$  je omejitev  $600 \text{ mg/m}^3$ , za CO pa  $150 \text{ mg/m}^3$ .

#### 4.2 Rezultati meritev emisij dušikovih oksidov in ogljikovega monoksida

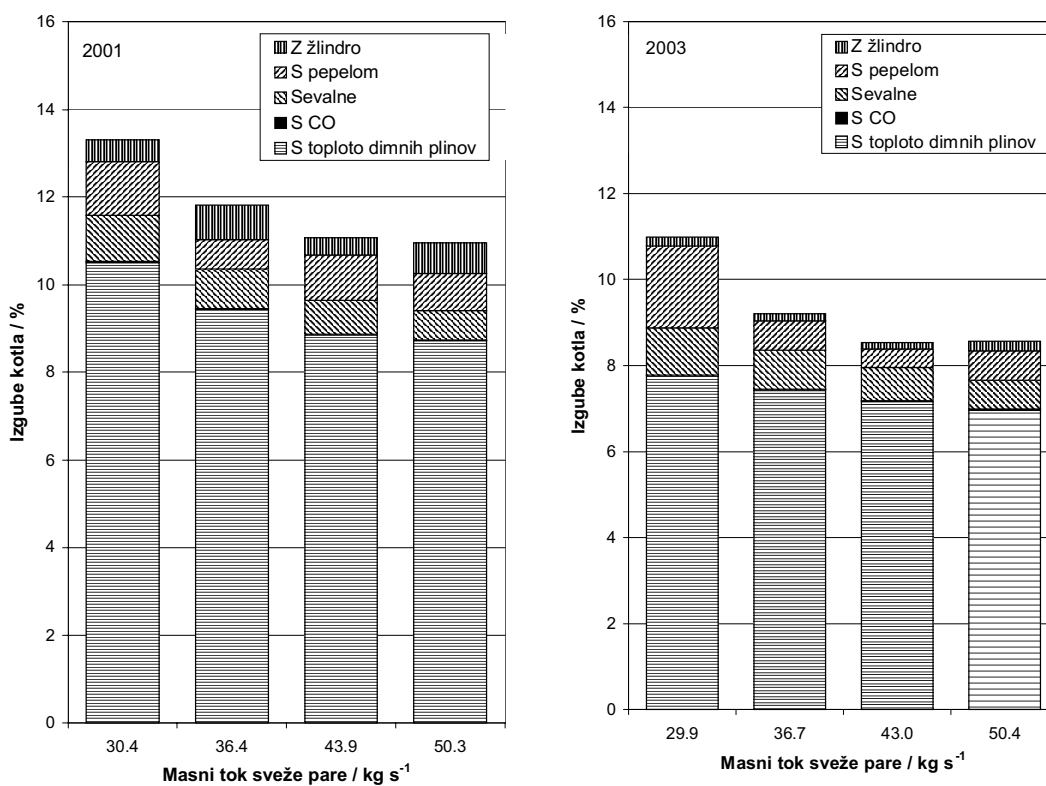
Na levi strani na sliki 5 so prikazani rezultati meritev koncentracije  $\text{NO}_x$  na kotlu 1, na desni strani pa koncentracije  $\text{NO}_x$  za kotel 2, v obliki masnih deležev v dimnih plinih na izstopu iz kotla. Za kotel 1 je prikazana primerjava med rezultati, dobljenimi pred rekonstrukcijo, oktober 2001, in rezultati po rekonstrukciji v decembru 2003, za kotel 2 pa rezultati pred rekonstrukcijo v decembru 2002 in po rekonstrukciji v decembru 2004. Pri obeh kotlih so rezultati pri štirih različnih obremenitvah. Sočasno se je merila tudi koncentracija CO.

Dobljeni rezultati pokažejo, da je bila pred rekonstrukcijo zgorevalnega sistema emisija  $\text{NO}_x$  na kotlu 1 med  $555$  in  $743 \text{ mg/m}^3$ , po rekonstrukciji pa pri nobeni obremenitvi ni presegla  $378 \text{ mg/m}^3$ . Tudi po rekonstrukciji kotla 2 se je emisija  $\text{NO}_x$  na tem kotlu bistveno zmanjšala in v času preizkusov ni bila večja od  $450 \text{ mg/m}^3$ .

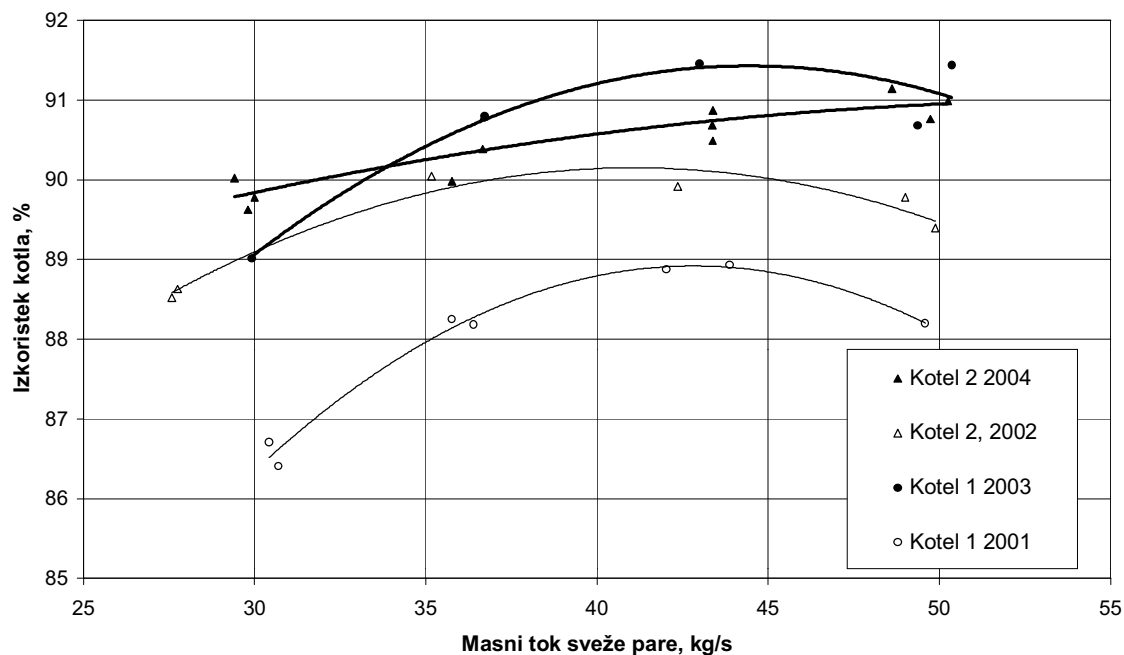
Koncentracija CO se je na obeh kotlih po rekonstrukciji nekoliko dvignila, vendar v nobenem primeru ni presegla polovične vrednosti dopustnih emisij. Ugotovimo torej lahko, da so po rekonstrukciji emisije  $\text{NO}_x$  in CO na obeh kotlih daleč pod dopustnimi vrednostmi.

#### 4.3 Izgube in izkoristek

Na sliki 6 so prikazane izgube kotla 1, ki so na podlagi rezultatov meritev izračunane po DIN 1942. Po rekonstrukciji kurjave so se zmanjšale vse izgube. Predvsem je očitno zmanjšanje izgube s toploto dimnih plinov, ki so se pri vseh obremenitvah zmanjšale za več ko dva odstotka. To zmanjšanje najbolj vpliva na opazno zmanjšanje vsote vseh izgub. Manjše izgube s toploto dimnih



Sl. 6. Izgube kotla 1 pred rekonstrukcijo in po njej



Sl. 7. Izkoristek kotlov 1 in 2 pred rekonstrukcijo in po njej

plinov so posledica bolj nadzorovanega dovoda zraka in zato manjšega razmernika zraka. Zmanjšale so se tudi izgube z nezgorelim v žilindri in pepelu, predvsem zaradi prej omenjenih ukrepov na mlinih in zato boljšega mletja. Zaradi manjših izgub se je izboljšal izkoristek kotla 1 v povprečju za več ko dva odstotka (sl. 7).

## 5 SKLEPI

Nastajanje dušikovih oksidov pri kurjenju premogovega prahu je postopek, ki je predvsem posledica sestave in kurilnosti premogov. Postopek je specifičen, vzroki in mehanizmi pa nekoliko drugačni kakor jih poznamo pri drugih vrstah goriv. Glavna vzroka za pojav dušikovih oksidov v dimnih plinih kurjav na premogov prah sta delež dušika v izparljivi masi premoga in take razmere v plamenu, ki omogočijo oksidacijo prostega molekularnega dušika. V okviru ustvarjanja pogojev za zmanjševanje nastajanja dušikovih oksidov je treba najprej ustvariti redukcijsko atmosfero, ki omogoči redukcijo že nastalih oksidov, v naslednji fazi pa je treba preprečiti, da bi v plamenu prihajalo do oksidacije prostega molekularnega dušika. Hkrati je tudi treba preprečevati pojave območij v plamenu z visokimi temperaturami ter tudi v celotnem plamenu

vzdrževati tako nizke temperature, pri katerih še ne nastajajo termični dušikovi oksidi.

Taka so bila tudi izhodišča projekta rekonstrukcije kurjave na kotlih blokov 1 in 2 z vidika zmanjšanja emisije  $\text{NO}_x$ . Z vidika izboljšanja razmer obratovanja pa je bilo postavljenih še nekaj dodatnih zahtev. Želeni cilji so bili kakovostnejše in avtomatsko uravnavanje dovoda zgorevalnega zraka in hladnih obtočnih dimnih plinov, kar mora povečati zanesljivost obratovanja kotla, izboljšati izkoristek kotla, emisija  $\text{NO}_x$  pa se mora zmanjšati pri vseh obremenitvah kotla pod predpisane meje.

Da bi dosegli zastavljene cilje, je bilo treba v rekonstrukcijo vključiti gorilnike, sistem za dovod in razdelitev sekundarnega zraka in hladnih obtočnih plinov ter sistem krmiljenja temperature v mlinih.

Rezultati preizkusov na kotlih 1 in 2 so potrdili uspešnost rekonstrukcije. Emisije  $\text{NO}_x$  in CO so sedaj daleč pod dopustnima vrednostima, ki sta določeni z Odlokom mesta Ljubljane. Zaradi izboljšanja postopka kurjenja so se zmanjšale izgube v obeh kotlih. Izkoristek kotla 1 se je v povprečju izboljšal za več ko dva odstotka, prav tako je po rekonstrukciji večji tudi izkoristek kotla 2. Dosedanje obratovalne izkušnje iz kurilne sezone 2003/04 so potrdile, da se je povečala tudi zanesljivost obratovanja kotla 1.

## 6 LITERATURA

- [1] EIMV (2002) Ocena emisij snovi v zrak in rezultati meritev emisijskih koncentracij TETO Ljubljana v letu 2002, Tehnično poročilo št.: EKO 1148, *Elektroinštitut Milan Vidmar*, Ljubljana.
- [2] Kuštrin, I., J. Oman (2002) Pretoki zgorevalnega zraka kotla bloka 2 Termoelektrarne Toplarne Ljubljana; Tehnično poročilo št. 03-15/1-02/IK, UL, *Fakulteta za strojništvo*, Laboratorij za termoeenergetiko, Ljubljana.
- [3] Żelkowsky, J. (1986) Kohleverbrennung, Band 8. der Fachbuchreihe Kraftwerkstechnik, *VGB-Kraftwerkstechnik*, Essen.
- [4] Warnatz, J., U. Maas, R.W. Dibble (2001), *Combustion*, 3<sup>rd</sup> Edition, *Springer-Verlag*.
- [5] Gardier, W.C. (1984) *Combustion chemistry*, *Springer-Verlag*.
- [6] Fenimore, C.P. (1979) Studies of fuel-nitrogen in rich flame gases. *Proc. Comb. Inst.* 17, 661.
- [7] Smoot, L.D. (1993) *Fundamentals of coal combustion*, *Elsevier*.
- [8] Glassman, I. (1996) *Combustion*, (third edition), *Academic Press*.
- [9] Kolb, T., P. Jansohn, W. Leuckel (1988) Reduction of NO<sub>x</sub> emission in turbulent combustion by fuel-scaling effects of mixing and stoichiometry in the reduction zone, 22<sup>th</sup> Symposium on Combustion, *The Combustion Institute*, 1193-1203.
- [10] Skorupska N M (1993) Coal specifications – impact on power station performance. *IEA Coal Research*, London.
- [11] Kuštrin, I., J. Oman (2004) Analiza razmer v prahovodnih kanalih mlinov in kanalih sekundarnega zraka kotla 1 po vgradnji novih gorilnikov, poročilo št.: 03-2/1-04/IK, UL, *Fakulteta za strojništvo*, Laboratorij za termoeenergetiko, Ljubljana.
- [12] Kuštrin, I., A. Senegačnik, J. Oman (2004) Analiza obratovanja kotla 1 po rekonstrukciji sistema za razvoj zgorevalnega zraka, poročil št.: 03-1/1-04/JO, UL, *Fakulteta za strojništvo*, Laboratorij za termoeenergetiko, Ljubljana.
- [13] Riedel, U., R. Schmidt, J. Warnatz (1992) Different levels of air dissociation chemistry and its coupling with flow models. In: Bertin J.J., Periaux J., Ballmann J. (eds), *Advances in Hypersonics - Vol. 2: Modeling Hypersonic Flows*, Birkhauser, Boston.
- [14] Uredba o emisiji snovi v zrak iz velikih kurilnih naprav (Ur.l. RS, št. 46/2002)
- [15] Uredba o emisiji snovi v zrak iz kurilnih naprav (Ur.l. RS, št. 73/94, 51/98, 105/00)
- [16] Odlok o znižanju mejnih emisijskih koncentracij za velike kurilne naprav (Ur.l. RS, št. 51/97)

Naslova avtorjev: prof.dr. Janez Oman  
dr. Igor Kuštrin  
Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za strojništvo  
Aškerčeva 6  
1000 Ljubljana  
janez.oman@fs.uni-lj.si  
igor.kustrin@fs.uni-lj.si

Igor Bole  
Primož Gostinčar  
Termoelektrarna toplana Ljubljana  
Toplarniška ul. 19  
1000 Ljubljana

Prejeto: 15.11.2004  
Received:

Sprejeto: 24.2.2005  
Accepted:

Odperto za diskusijo: 1 leto  
Open for discussion: 1 year



## Vpliv mikroklimatskih in svetlobnih obremenitev na uspešnost učencev

### The Influence of Microclimatic and Lighting Loads on the Efficiency of Pupils

Samo Fošnarič

*Učenci in učitelji so kot udeleženci učnega postopka izpostavljeni obremenitvam, ki jih povzročata učenje, ter hkrati obremenitvam, ki jih povzročata delovno okolje. Pri tem lahko k obremenitvam delovnega okolja nezanemarljivo prispeva tudi kakovost izpisa delovne naloge, ki ob neprimerni razsvetljavi in mikroklimi onemogoča uspešno delo. Rezultati proučevanja nakazujejo, da je treba, prav zaradi pomembnega vpliva delovnega okolja na učence, temu področju nameniti več pozornosti.*

© 2005 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

**(Ključne besede: okolje delovno, okolje notranje, storilnost, parametri toplotnega okolja)**

*Pupils and teachers, as participants in the learning process, are exposed to the pressures caused by the learning and working environments. The pressures in the working environment can be significantly increased by the text writeout quality, which during insufficient lighting and in an inappropriate climate can prevent successful work. The results of investigations show that this topic should be given more consideration, especially because of the non-negligible influence of the working environment on pupils.*

© 2005 Journal of Mechanical Engineering. All rights reserved.

**(Keywords: working environments, interior environments, efficiency, thermal parameters)**

#### OUVOD

Ljudje smo v današnjem času pogosto izpostavljeni številnim različnim obremenitvam. Te so lahko še posebej problematične v času odrasčanja, saj povzročajo probleme v razvoju in imajo velik vpliv na izoblikovanje osebnosti ([20] in [22]). Pri tem tudi učenci in učitelji niso izjeme. Neprestano so namreč pod vplivom številnih obremenitev, ki jih po [15] delimo na biomehanske, zaznavalne, energetske in duševne. Tako lahko hitro začnemo razmišljati o posledicah, ki vodijo tudi do zdravstvenih preobremenjenosti. Te pa se, kakor navaja [23], lahko stopnjujejo vse do izčrpanosti ali celo patoloških odzivov. Zaradi tega je ugodno počutje pri izvajanju fizičnega in umskega dela ključnega pomena za doseg dobrih rezultatov. Otroke je namreč prav zato treba sorazmerno zgodaj navajati na ergonomsko in ekološko prijaznejše okolišine dela.

Na kaj vse moramo biti pri tem pozorni, smo skušali ugotoviti skozi elemente v prispevku opisane raziskave. Njen glavni cilj je namreč bil

proučiti vpliv različnih klimatskih in svetlobnih delovnih razmer ter kakovosti delovne predloge na učinkovitost opravljanja preprostih delovnih nalog otrok.

Ali obstaja kakšna povezava med vplivom delovnega okolja in kakovostjo izpisa besedila na delovno uspešnost, je poskušalo ugotovljati že veliko avtorjev. Še posebej se je raziskovalo razmerje svetlobno delovno okolje – kakovost besedila na predlogi. Pri tem so raziskovali številne učinke karakteristik izpisov v različnih svetlobnih razmerah [3]. Nekateri, npr.: [2] so ugotavljali, koliko znakov lahko človek razpozna v določenem času, upoštevajoč odziv oči pri branju odlomkov v besedilu. Tudi vpliv hitrosti branja [10], glede na velikost črk v besedilu ali razpoznavnost številke glede na kontrast [19] je že bilo predmet raziskav. Še posebej pri branju številke, ki so bile glavna besedilna informacija v naši raziskavi, je bilo ugotovljeno, da ima osvetljenost po ugotovitvah nekaterih avtorjev ([17] in [7]) izrazito pomembno vlogo. Če vpletemo v obseg še toplotno delovno okolje, ki je prav tako po

ugotovitvah številnih avtorjev ([18] in [14]) ključnega pomena za delovno uspešnost, pa zadeva postane bistveno manj raziskana. Še posebej, če se omejimo na specifično generacijo ljudi – otroke.

## 1 MATERIALI IN METODE

### 1.1 Udeleženci in instrumenti

Na podlagi predstavljenih izhodišč smo se tako odločili raziskati vpliv dveh dejavnikov delovnega okolja, in sicer toplotnega ter svetlobnega okolja, vključujoč kakovost delovne predloge (besedila) na učinkovitost pri delu. Pri tem smo uporabili klasična besedila za ugotavljanje učinkovitosti pri delu z različno jasnostjo izpisa na podlagi, na kateri so zajemali osnovno matematično opravilo seštevanja. Raziskava je potekala v umetno ustvarjenih razmerah klimatizirne komore (sl. 1), v njo pa je bilo vključenih 18 učencev nižjih razredov osnovne šole, starih od 9 do 10 let. Pri vsem tem smo izhajali iz osnovne zamisli, da spremenljivost mikroklimatskih in svetlobnih delovnih razmer povzroča različno uspešnost. V raziskavi nismo zajeli elementov zvočnega delovnega okolja ter kakovosti zraka, ki bi lahko, gledano hipotetično, pomembno sooblikovala elemente učinkovitosti pri delu.

Najpomembnejši parametri toplotnega delovnega okolja (temperatura zraka, hitrost gibanja zraka, relativna vlažnost) so bili vzdrževani z ustreznimi nastavitvami v klimatizirni komori ter nastavljeni na določene vrednosti. Podobno so bili vzdrževani tudi parametri svetlobnega delovnega okolja (osvetljenost) v klimatizirni komori. Ker smo

izbrali tri področja toplotnega delovnega okolja, tri področja svetlobnega delovnega okolja ter dve kategoriji kakovosti izpisa, je bil vsak učenec 18-krat vključen v obseg raziskave. To pa je pomenilo 324 opravljenih meritev.

### TESTNE NALOGE

Na podlagi predvidevanj, da spremenljivost mikroklimatskih ter svetlobnih delovnih razmer, upoštevajoč kakovost delovne predloge, pomembno vpliva na delovno uspešnost, smo se odločili izdelati teste, ki bi po svoji preprostosti in splošnosti izločili vpliv vsake predhodne vadbe in bi bili popolnoma neodvisni drug od drugega, kar pomeni da se določen problem vzdolž vseh besedil ne bi ponovil. Testi so bili sestavljeni iz preprostih računov, ki so vsebovali osnovno matematično opravilo seštevanja. Na vsakem listu je bilo 36 računov, in sicer takšnih, da je učenec moral sešteti številke in rezultat vpisati pod črto. Učenci so pred začetkom izvedbe meritev imeli 3 do 5 minut časa za prilagoditev danim razmeram dela. Samo testiranje pri posamezni kombinaciji delovnih razmer je trajalo 15 minut. Ker je bil čas reševanja omejen in ker je obstajala velika verjetnost, da bi kateri od učencev prehitro rešil vse izračune in ostal brez dela, smo pripravili še dodatna dva testna lista. Pri končni analizi so šteli izključno le pravilni in nepravilni odgovori. Števila in z njimi sestavljeni računi so bili izbrani po naključni izbiri z uporabo preglednic naključnih števil [21]. Po vsaki končani testni kombinaciji so učenci izpolnili tudi vprašalnik o subjektivnih občutkih med izvedbo meritev.



Sl. 1. Nadzorna miza in vhod v klimatsko komoro

**KLIMATSKI RAZMERE**

V zamisli raziskave smo učinek posameznih dejavnikov toplotnega okolja izrazili z enim indeksom. Osredotočili smo se na indeks efektivne temperature – ET, ki izhaja iz subjektivne primerjave toplotnega občutja v nekem okolju s primerjalno klimo. Iz tega izhaja, da je efektivna temperatura tista temperatura skoraj mirujočega zraka ( $v=0,1$  m/s) nasičenega z vodno paro ( $RV=100\%$ ), ki človeku vzbuja enak toplotni občutek kot kombinacije temperature zraka, vlage in hitrosti gibanja zraka v analiziranem prostoru [13]. Naši klimatski parametri so upoštevali priporočila ([1] in [13]), iz katerih smo določili optimalne vrednosti ET za specifično šolsko delo (glej preglednico I).

Pri določitvi vrednosti efektivne temperature smo uporabili enačbo:

$$ET = 37 - \frac{1}{0,68 - 0,14 \frac{RV}{100} + \frac{1}{1,76 + 1,4 \times v_{ar}^{0,75}}} \times (37 - t_a) - 0,29 \times t_a \left(1 - \frac{RV}{100}\right)$$

pri tem pomenijo:

- ET efektivna temperatura v °C
- RV relativna vlažnost zraka v %
- $v_{ar}$  hitrost gibanja zraka v m/s
- $t_a$  temperatura zraka v °C

Prav tako smo v tem obsegu posamezne kombinacije toplotnih klimatskih razmer v približkih ovrednotili z indeksom PSV (predvidena srednja vrednost), povzetem po standardu SIST EN ISO 7730 [9], ki ga je razvil Fanger [5]. Indeks PSV je dejansko predvidena ocena udobja, ki jo lahko podajo osebe po sedemstopenjski toplotni lestvici [1]. Indeks PSV se lahko razbere iz posebnih preglednic, podanih v standardu ISO 7730 ali pa se izračuna po naslednji enačbi:

$$PSV = (0,303^{-0,036M} + 0,028) \{ (M - W) - 3,05 \times 10^{-3} \times [5733 - 6,99(M - W) - p_a] - 0,42 \times [(M - W) - 58,15] - 1,7 \times 10^{-5} M (5867 - p_a) - 0,0014 M (34 - t_a) - 3,96 \times 10^{-8} f \times [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \}$$

kjer so:

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028(M - W) - I_{cl} \{ 3,96 \times 10^{-8} f_{cl} \times [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] + f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \}$$

$$h_c = \begin{cases} 2,38(t_{cl} - t_a)^{0,25} & \text{za } 2,38(t_{cl} - t_a)^{0,25} > 12,1\sqrt{v_{ar}} \\ 12,1\sqrt{v_{ar}} & \text{za } 2,38(t_{cl} - t_a)^{0,25} < 12,1\sqrt{v_{ar}} \end{cases}$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1,00 + 1,290 I_{cl} & \text{za } I_{cl} \leq 0,078 m^2 \text{ } ^\circ C / W \\ 1,05 + 0,645 I_{cl} & \text{za } I_{cl} > 0,078 m^2 \text{ } ^\circ C / W \end{cases}$$

M presnova v W/m<sup>2</sup>

W mehansko zunanje delo v W/m<sup>2</sup>

$I_{cl}$  toplotni upor obleke v m<sup>2</sup>°C/W

$f_{cl}$  razmerje med površino oblečenga in golega človeka

$t_a$  temperatura zraka v °C

$p_a$  parni tlak v Pa

$h_c$  koeficient konvekcijskega prenosa v W/m<sup>2</sup>°C

$v_{ar}$  hitrost gibanja zraka v m/s

**SVETLOBNE RAZMERE**

Stopnje osvetlitev smo izbrali s predpisi za razsvetljavo šolskih prostorov, pri tem pa upoštevali tudi mogoče verjetnosti različnih težavnostnih razmer dela. Pri določitvi vrednosti osvetljenosti delovnega prostora smo se osredotočili neposredno na predpise v tej meri, da smo hkrati upoštevali mednarodna priporočila in veljavne standarde, to so nemški DIN, IES in TGL [8].

Preglednica 1. Nastavljivi parametri klimatskih in svetlobnih razmer v klimatski komori

PODNEBNE RAZMERE					SVETLOBNE RAZMERE
Temperatura °C	Relativna vlažnost %	Hitrost gibanja zraka m/s	ET °C	PSV indeks	Osvetljenost delovne površine lx
18	30	0,3	15,5 (ETmin)	- 0,74 malo hladno	100 – 110 (Emin)
23	50	0,3	20,2 (ETopt)	0,36 nevtrarno	650 – 700 (Eopt)
28	40	0,3	23,6 (ETmaks)	+ 1,34 malo toplo	1000 – 1100 (Emaks)

## DELOVNA PREDLOGA

V sklopu priprave delovne predloge za testiranje smo izhajali iz predvidevanj, da se učencem in tudi vsem drugim velikokrat dogaja, da je zapis, ki ga dobimo za prebrati, slabši. Še veliko huje je, če je ta zapis ključnega pomena, na podlagi katerega pričakujemo ustrezne rezultate in z vsem tem povezan uspeh. Tako smo kot skrajno slab izpis upoštevali izpis "slab izpis - osnutek", ki ga računalniški matrični tiskalnik izpiše takrat, ko ima že slabši trak. Za dober izpis pa tistega, ki ga z uporabo računalniškega izpisa dobimo v področju "dober". Na ta način smo dobili dva različna izpisa testnih nalog, ki bi imela lahko pomembno vlogo pri ugotavljanju uspešnosti v različnih delovnih razmerah.

## 1.2 Izvedba in postopek preizkusa

Meritve so bile izvedene v klimatski komori, ki ima izmere 2,95 m × 1,84 m × 2,36 m ter omogoča dosego temperaturnih razmer v razponu od -30 °C do +50 °C (± 0,5 °C), relativne vlažnosti od 25% do 95% (±1%), kar je odvisno od nastavljene temperature ter dokaj zvezno spreminjane hitrosti gibanja zraka skozi klimatsko komoro v mejah od 0,3 m/s do 1,2 m/s (± 0,05 m/s). Postopek meritev je bil izveden v prostoru klimatske komore na takšen način, da so učenci v parih reševali testne naloge. Po dobljenih rezultatih, ki so jih sestavljali pravilni ali napačni izračuni učencev, smo podatke statistično obdelali s statističnim programom za družbene vede SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*). Pri tem smo na ravni 5-odstotnega tveganja uporabili analizo variance. Tako smo uporabili v fazi potrjevanja oziroma zavrnitve raziskovalnih hipotez test t za testiranje razlik med aritmetičnimi povprečji dveh skupin, test F za testiranje razlik med aritmetičnimi povprečji več skupin ter korelacijsko analizo.

## 2 REZULTATI IN RAZPRAVA

V raziskavi smo se osredotočili na opazovanje vpliva posameznih dejavnikov delovnega okolja na uspešnost ter hkrati tudi na opazovanje vpliva teh dejavnikov v medsebojnih vplivih na delovno uspešnost.

Zastavili smo si številne hipoteze, ki smo jih kategorično razdelili v dve skupini, na podlagi katerih predvidevamo, da:

- imajo različni dejavniki delovnega okolja pomemben vpliv na učinkovitost pri delu;
- dejavniki delovnega okolja v vseh mogočih medsebojnih odnosih pomembno vplivajo na učinkovitost pri delu.

Na podlagi dobljenih rezultatov, lahko sklepamo, da ima kakovost delovne predloge pomemben vpliv na uspešno reševanje nalog ( $P=0,017$ ), seveda če je predmet opazovanja samo delovna predloga. Razmerje med delovno uspešnostjo in delovno predlogo lahko razberemo iz preglednice 2.

Osvetljenost delovnega prostora prav tako kakor sama delovna predloga pomembno vpliva na delovno uspešnost otrok ( $P=0,013$ ). Število rešenih preprostih izračunov je torej najboljše takrat, ko je osvetljenost največja ( $E_{maks.}$ ), najslabše pa takrat, ko je osvetljenost najmanjša ( $E_{min.}$ ), kar lahko razberemo iz preglednice 3. Premajhna osvetljenost učilnice je lahko torej tisti dejavnik, ki povzroči upadanje uspešnosti pri delu, medtem ko povečana osvetljenost to uspešnost dviguje. Vsekakor to ni neomejeno!

Toplotne razmere v razredu imajo dokaj pomembno vlogo. Učenci se že pri reševanju preprostih nalog odzovejo vplivom toplotnega okolja, kar pomeni samo še potrditev študij nekaterih drugih avtorjev, opravljenih v 70. letih in kasneje

Preglednica 2. Statistično pomembna razlika števila pravilnih odgovorov glede na kakovost izpisa delovne naloge

Kakovost delovne predloge	Število pravilnih odgovorov						
	N	Povprečje	Stand. odstopanje	Stand. napaka	t	Stopnja prostosti	P
slaba draft - (1)	162	58,08	20,17	1,59	- 2,39	322	0,017
dobra normal - (2)	162	63,55	20,96	1,65			

Preglednica 3. Statistično pomembna razlika števila pravih odgovorov glede na tri različne svetlobne pogoje

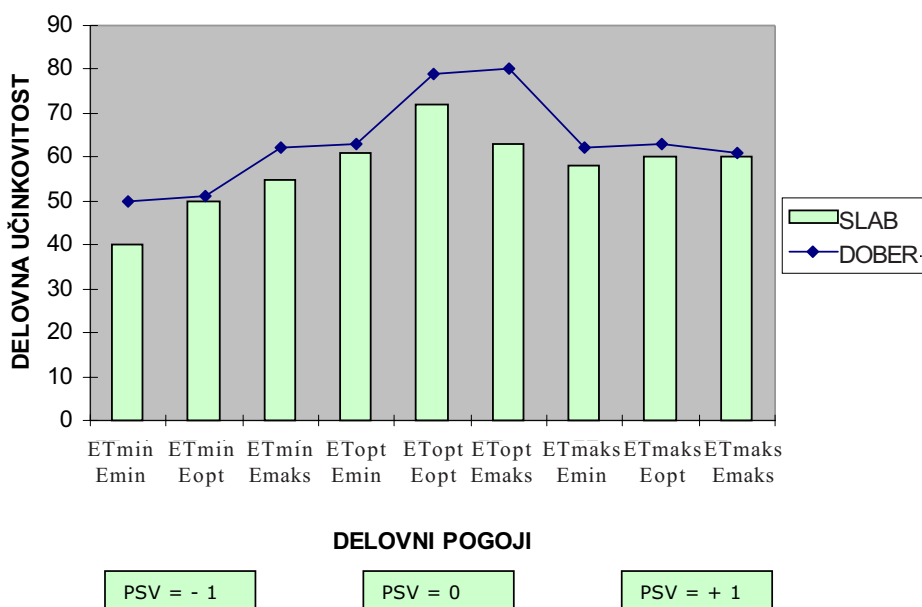
Število pravih odgovorov					
E	N	Povprečje	Stand. odstopanje	F	P
Emin.	108	56,15	19,50	4,415	0,013
Eopt.	108	62,22	21,61		
Emaks.	108	64,07	20,36		

Preglednica 4. Statistično pomembna razlika števila pravih odgovorov glede na tri različne toplotne pogoje

Število pravih odgovorov					
ET	N	Povprečje	Stand. odstopanje	F	P
ETmin.	108	51,72	17,21	26,281	0,000
ETopt.	108	70,69	21,08		
ETmaks.	108	60,04	19,32		

([14] in [16]). Rezultati opravljenih meritev so statistično pomembni na ravni ( $P=0,000$ ). Iz preglednice 4 je mogoče razbrati, da so odstopanja v uspešnosti dela dokaj velika v obeh skrajnih klimatskih področjih (območje ocenjenega indeksa PSV; - 1 malo hladno ter + 1 malo toplo). Meritve so tudi pokazale, da je toplotno okolje pri  $ET_{min}$  (PSV = - 1) za učence manj ugodno kakor pa okolje  $ET_{max}$  (PSV = + 1).

Pri proučevanju učinka vseh treh parametrov, torej toplotnega in svetlobnega okolja ter kakovosti delovne predloge v medsebojnem odnosu na delovno učinkovitost rezultati sicer nakazujejo večjo uspešnost v ugodnejših kombinacijah delovnega okolja, vendar niso statistično pomembni ( $P=0,545$ ). Večja uspešnost se lahko razbere iz stolpcev grafičnega prikaza (sl. 2) v optimalnih razmerah ( $ET_{opt}$ .



Sl. 2. Grafični prikaz medsebojnega vpliva dejanske temperature (ET), osvetljenosti (E) in kakovosti delovne predloge ("slabo - draft" in "normalno - normal") na učinkovitost pri delu

Preglednica 5. Pregled izračunanih korelacijskih koeficientov in statističnih pomembnosti

	Pravilni odgovori	Napačni odgovori	Vprašanje 1	Vprašanje 2	Vprašanje 3	Vprašanje 4	Vprašanje 5	Vprašanje 6
Pravilni odgovori	-	- 0,0621 P=0,265	- 0,3062 P=0,000 **	0,2536 P=0,000 **	0,1928 P=0,000 **	0,1940 P=0,000 **	0,1593 P=0,000 **	0,3613 P=0,000 **
Napačni odgovori	- 0,0621 P=0,265	-	- 0,1355 P=0,015 *	0,1499 P=0,007 **	- 0,1226 P=0,027 *	- 0,0747 P=0,180 -	- 0,1688 P=0,002 **	- 0,1501 P=0,007 **
Vprašanje 1	- 0,3062 P=0,000 **	- 0,1355 P=0,015 *	-	- 0,3564 P=0,000 **	- 0,3063 P=0,000 **	- 0,2207 P=0,000 **	- 0,1427 P=0,010 *	- 0,4365 P=0,000 **
Vprašanje 2	0,2536 P=0,000 **	0,1499 P=0,007 **	- 0,3564 P=0,000 **	-	0,6393 P=0,000 **	0,5092 P=0,000 **	0,3448 P=0,000 **	0,5580 P=0,000 **
Vprašanje 3	0,1928 P=0,000 **	- 0,1226 P=0,027 *	- 0,3063 P=0,000 **	0,6393 P=0,000 **	-	0,3170 P=0,000 **	0,0928 P=0,095 -	0,5091 P=0,000 **
Vprašanje 4	0,1940 P=0,000 **	- 0,0747 P=0,180 -	- 0,2207 P=0,000 **	0,5092 P=0,000 **	0,3170 P=0,000 **	-	0,1585 P=0,004 **	0,3851 P=0,000 **
Vprašanje 5	0,1593 P=0,000 **	- 0,1688 P=0,002 **	- 0,1427 P=0,010 *	0,3448 P=0,000 **	0,0928 P=0,095 -	0,1585 P=0,004 **	-	0,3574 P=0,000 **
Vprašanje 6	0,3613 P=0,000 **	- 0,1501 P=0,007 **	- 0,4365 P=0,000 **	0,5580 P=0,000 **	0,5091 P=0,000 **	0,3851 P=0,000 **	0,3574 P=0,000 **	-

(\*) = 0,113 statistična pomembnost korelacije (5%)

(\*\*) = 0,148 velika statistična pomembnost korelacije (1%)

(-) = nepomembna korelacija

oziroma  $PSV=0$  ter  $E_{opt}$ ), pri katerih je delovna učinkovitost boljša kakor pri ekstremno dobrih oziroma slabih delovnih razmerah. V področju najslabših delovnih razmer ( $ET_{min}$  oziroma  $PSV=-1$  ter vse možne kombinacije E) lahko opazimo, da ima poseben prispevek k delovni uspešnosti osvetljenost, saj je delovni rezultat s povečanjem osvetljenosti vse boljši (to velja za obe kakovosti delovne predloge). Pri najboljših delovnih razmerah ( $ET_{maks}$  oziroma  $PMV=+1$  ter vse mogoče kombinacije E) pa je razbrati, da ima toplotno okolje pomembnejšo vlogo, saj ne glede na osvetljenost v delovni uspešnosti ni bistvenih razlik. To velja tako za slabšo kakor za boljšo kakovost delovne predloge. Težnja v tej smeri smiselno poudarja tudi korelacijska analiza subjektivnih ocen (Preglednica 5).

Z analizo subjektivnega gledanja posameznika smo poskušali najti zanimivejše korelacijske zveze, ki lahko rabijo kot dodatna vodila k razkrivanju problematike. Tako so učenci po vsakem testiranju odgovarjali na naslednjih pet vprašanj, ki so imela petstopenjsko ocenjevalno lestvico ter na

eno vprašanje odprtega tipa:

*Vprašanje 1: Kako ocenjuješ svojo utrujenost po opravljeni nalogi ?*

*Vprašanje 2: Kako ocenjuješ splošne razmere pri izvajanju naloge ?*

*Vprašanje 3: Kako ocenjuješ toplotne razmere, pri katerih si računal ?*

*Vprašanje 4: Kako ocenjuješ svetlobne razmere, pri katerih si računal ?*

*Vprašanje 5: Kaj meniš o kakovosti izpisa (tiska) na delovnih listih pri teh razmerah dela ?*

*Vprašanje 6: Z nekaj besedami opiši splošno počutje in razpoloženje v času izvajanja testiranja !*

Razlaga posameznih zvez:

- Učenci, ki po svojem delu niso bili utrujeni (*VPR.1*) so imeli več pravilnih odgovorov ( $r_1=0,306$ ).
- Učenci, ki so najbolje ocenjevali toplotne razmere (*VPR.3*), svetlobne razmere (*VPR.4*) ter kakovost delovne predloge (*VPR.5*), so imeli tudi več pravilnih odgovorov ( $r_3=0,193$ ;  $r_4=0,194$ ;  $r_5=0,159$ ).
- Učenci, ki po opravljeni nalogi niso bili utrujeni



(VPR. 1), so splošne razmere bolje ocenjevali (VPR. 2). ( $r_{1,2}=-0,354$ )

- Učenci, ki so se med testiranjem počutili bolje (VPR.6), so naredili tudi manj napak ( $R_6=-0,150$ ).
- Zanimivo, da korelacijska povezanost med boljšim ocenjevanjem svetlobnih razmer (VPR. 4) ter manj napakami obstaja, vendar ni statistično pomembna ( $r_4=-0,075$ ).

Gledano primerjalno (sl. 2 in odgovori učencev) lahko ugotovimo, da se pozitivni odgovori učencev in rezultati meritev še posebej ujemajo v območju optimalnih delovnih razmer. To daje pomembno informacijo o nujnosti spremljave delovnih razmer v šolah od ustreznih služb, ki bi naj preverile, kako se upoštevajo ustrezno predpisani standardi teh razmer v resničnih šolskih razmerah.

### 3 SKLEP

Problemi v odnosu delovno okolje – človek so vedno bolj pomembni in velikokrat se nanje resno opozarja ([11], [12] in [4]). Zato ugotovitve, ki jih daje predstavljena raziskava niso nekaj čisto novega. Nakazujejo pa, da dejavnikov delovnega okolja ne gre zapostavljati. Po vsem predstavljenem lahko povzamemo, da slabša kakovost delovne predloge v vseh proučevanih delovnih okoljih, gledano posamično, pomembno vpliva na delovno učinkovitost. Če pa opazujemo postopek širše (upoštevanje vzajemnega vpliva vseh dejavnikov), lahko ugotovimo, da kljub nakazani težnji o statistično pomembnem vplivu ne moremo govoriti,

čeprav analiza subjektivnih ocen učencev daje drugačne namige.

Toplotno in svetlobno delovno okolje ter kakovost delovne predloge so torej lahko takšni dejavniki, ki prispevajo h končnemu uspehu celo pri razmeroma preprostih delovnih nalogah.

Izhajajoč iz ugotovljenega lahko napovemo, da bi bil v primeru zahtevnejših nalog in vključevanja drugih elementov delovnega okolja, npr. hrup in kakovost zraka, vpliv proučevanega delovnega okolja še bolj izrazit.

Gledano iz ergonomsko-ekološkega vidika se lahko po opravljenem preizkusu tudi vprašamo, ali je časovna postavitev različnih sklepnih preverjanj znanj učencev v podnebno neugodno, zgodnje poletno obdobje, primerna.

Praksa velikokrat kroji svojo pot. Zato naj jo teorija začrta tako, da bo ta čim bolj prilagodljiva. In prilagajanje delovnega okolja ritmu, načinu, vrsti in možnostim dela naj bi bila podlaga obveznostim učencev, ki jih narekuje učni postopek.

Tako dandanes že potekajo temeljitejša proučevanja “varnostno tehničnih” razmer v slovenskih šolah [6]. Le te vključujejo v svoje programe tudi meritve proučevanih razmer. Že prvi rezultati kažejo, da bo potreben bistveno temeljitejši primerjalni postopek v tem smislu, da bo postala šola hkrati tudi varna in zdrava šola. Navsezadnje je učenje v primernem podnebju, ob primerni naravni ali umetni razsvetljavi, vključujoč dober uporaben način, ne samo učinkovitejše, temveč bolj sproščujoče in navsezadnje lažje. In ker se po navadi vse začne ter konča pri denarju, gledano dolgoročno, tudi bistveno cenejše.

### 4 LITERATURA

- [1] ASHRAE. (1992) Thermal environmental conditions for human occupancy, *ASHRAE Standards*, (New York: ASHRAE).
- [2] Bouma, H. (1980) Visual reading processes and the quality of text displays. In Gradjean, E and Vigliani, E. (Eds.) *Ergonomics Aspects of Visual Display Terminals*, (London: Taylor & Francis).
- [3] Boxce, P.R. (1981) Human factors in lighting, (London: *Applied Science Publishers*), 111 – 160.
- [4] Evans, G. W., P. Lercher, M. Meis, H. Ising and W.W. Kofler (2001) Community noise exposure and stress in children, *Journal of Acoustical Society of America*, 109, 1023 – 1027.
- [5] Fanger, P.O. (1972) Thermal comfort, New York: *McGraw-Hill Book Company*.
- [6] Fošnarič, S. (2001) Analiza delovnega postopka pri praktičnem pouku s poudarkom na projektni nalogi (An analysis of the working process in practical classes with the accent on the project task), *Strojniški vestnik*, 7, 313-324.
- [7] Grandjean, E. (1988) Fitting the task to the man, 4<sup>th</sup> ed. (London: *Taylor & Francis*).
- [8] IES NOMENCLATURE COMMITTEE. (1979) Proposed American national standard nomenclature and definition for illuminating engineering, *Journal Illuminating Engineering Society*, 9, 2 - 46.

- [9] ISO 7730. (1994) Moderate thermal environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort, *International Standardization Organization*.
- [10] Luckiesh, H. and F.K. Moss (1937) *The Science of Seeing*, (New York: *Van Nostrand*).
- [11] Mah, J. (2000) *The Wichita Eagle, Better schools, better learning*, 7 February, 1A.
- [12] Maxwell, L.E. and G.W. Evans (2000) The effects of noise on pre-school children's pre-reading skills, *Journal of Environmental Psychology*, 20, 91 – 97.
- [13] McIntyre, P.A. (1980) *Indoor climate*. (London: *Applied Science Publishers*).
- [14] Pepler, R.D. (1971) Variations in students tests performances and classroom temperatures in climate controlled and non-climate controlled schools. *ASHRAE Transactions*, 77, 35 – 42.
- [15] Rohmert, W. (1984) Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept, *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* 38, 193 – 220.
- [16] Ryd, H. and D. Wyon (1970) *Methods of evaluating human stress due to climate*, (Stockholm: *National Swedish Council for Building Research*), Document 6.
- [17] Sanders, M.S. and E.J. McCormik (1990) *Human factors in engineering and design*. (New York: *McGraw - Hill International Edition*), 91 - 131.
- [18] Schoer, L. and J. Shaffran (1973) A combined evaluation of three separate research projects on the effects of thermal environment on learning and performance. *ASHRAE Transactions*, 73, 97 – 108.
- [19] Timmers, H. (1978) An effect of contrast on legibility of printed text, *IPO Annual Progress Report*, 13, 64 – 67.
- [20] Troussier, B., C. Tesniere, J. Fauconnier, J. Grison, R. Juvin and X. Phelip (1999) Comparative study of two different kinds of school furniture among children, *Ergonomics*, 42, 516 – 526.
- [21] Wayne, W.D. (1998) *Biostatistics*, 7<sup>th</sup> ed., A foundation for analysis in the health sciences, Table A-2, *Random Digits*, (New York: *John Wiley & Sons, Inc.*).
- [22] Whittfield, J.K., S.J. Legg and D.I. Hedderley (2001) The weight and use of schoolbags in New Zeland secondary schools, *Ergonomics*, 44, 819 – 824.
- [23] Wiener, J.S. (1982) The measurement of human workload, *Ergonomics*, 25, 953 – 965.

Avtorjev naslov: prof.dr. Samo Fošnarič  
Univerza v Mariboru  
Pedagoška fakulteta  
Koroška cesta 160  
2000 Maribor  
samo.fosnaric@uni-mb.si

Prejeto: 12.9.2003  
Received:

Sprejeto: 2.12.2004  
Accepted:

Odrpto za diskusijo: 1 leto  
Open for discussion: 1 year

## Zmogljivost nove Siemensove lokomotive na Slovenskih železnicah

### Capacity of the New Siemens Locomotive on Slovenian Railways

Bojan Cene

*Slovenske železnice so v Sloveniji največji prevoznik v tovornem in v potniškem prometu. Zaradi vse večjih zahtev sosednjih držav in notranjih podjetij v državi po prevozu tovora se je izkazalo, da v Sloveniji potrebujemo sodobnejša vlečna vozila, saj naše lokomotive niso zmožne zadovoljiti mednarodnih zahtev. Stare so že okoli 40 let, nimajo zadovoljive moči, poleg tega so njihovi stroški vzdrževanja previsoki. Zaradi tega bo pričela v letu 2006 na Slovenskem obratovati Siemensova večsistemska lokomotiva 6 MW, ki je izdelana po vseh evropskih merilih in bo lahko obratovala v različnih sistemih električne vleke. V prispevku so podrobno prikazane vse značilnosti te lokomotive z njeno zmogljivostjo, ki je pomembna predvsem za vleko tovornega vlaka na neustreznih progah s prevelikimi vzponi.*

© 2005 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

**(Ključne besede: lokomotive, sile vlečenja, obremenitve, moč)**

*The Slovenian railways are considered the largest carrier of freight and passenger traffic in Slovenia. Because of permanently increasing demands of neighbouring countries and domestic companies for transporting of loads we need more modern traction vehicles in Slovenia. Slovenian locomotives are around 40 years old, they are becoming too expensive to maintain, and being too weak they are not capable of satisfying international demands. That is why in 2006 the Slovenian railways will introduce multi-voltage Siemens 6 MW locomotives. This locomotive is made to meet all European standards and will be able to work in different systems of electric traction. In addition to the obsolete locomotives, Slovenia also has unsuitable tracks with too steep climbs. That is why all the characteristics of this locomotive are shown in detail in the paper and this locomotive has a large capacity for the traction of goods trains.*

© 2005 Journal of Mechanical Engineering. All rights reserved.

**(Keywords: locomotives, traction force, locomotive loadings, locomotive power)**

#### OUVOD

Slovenske železnice imajo namen kupiti 20 Siemensovih večsistemskih lokomotiv v skupni vrednosti 77,8 milijonov evrov. Gre za štiriosne večsistemske lokomotive z maso 87 ton (sl. 1). Nove lokomotive bodo lahko vozile v naslednjih sistemih električne vleke:

- enosmerni sistem 3 kV,
- enofazni sistem 25 kV, 50 Hz,
- enofazni sistem 15 kV, 16 2/3 Hz.

Njihova moč bo 6 MW z vlečno silo 300 kN in oznako SŽ 541. Lokomotiva bo dosegla največjo hitrost 200 km/h pri vleki potniškega vlaka.

Podobne lokomotive že vozijo tudi po progah nemških, madžarskih, avstrijskih in italijanskih železnic. Za nakup lokomotiv s podobnimi karakteristikami so se odločili tudi v Švici in na Češkem. Pred izbiro je med 19. in 23. januarjem 2004 potekalo natančno preizkušanje večsistemske lokomotive z oznako ES 64 F4 004, ki ima enake elemente kakor izbrani tip lokomotive; razlike so le v končni hitrosti in vrsti podstavnih vozičkov. Preizkusi so potekali na progi Koper - Divača. Lokomotiva je vse preizkuse odlično opravila in dosegla kar nekaj rekordov na tej progi. Obremenitev omenjene lokomotive pri preizkusih na koprski progi je bila v območju od 727 t do 1856 t. Pri tem so se testirale



Sl. 1. Siemensova večsistemska lokomotiva

speljave vlaka na največjem vzponu 26 ‰, pri čemer je ta lokomotiva zelo izpopolnjena, saj je pri masi vlaka 900 t na tem odseku dosegla hitrost 70 km/h.

Težava se je pojavila v energetskega sistema. Pri preizkusni vožnji ni smel na tem območju voziti noben drugi vlak, ker je ta lokomotiva povzročila prevelike obremenitvene toke in padce napetosti. Pomeni, da imamo v Sloveniji premalo električnih napajalnih postaj za lokomotive 6 MW.

#### 1 VLEČNA KARAKTERISTIKA SIEMENSOVE LOKOMOTIVE 6 MW

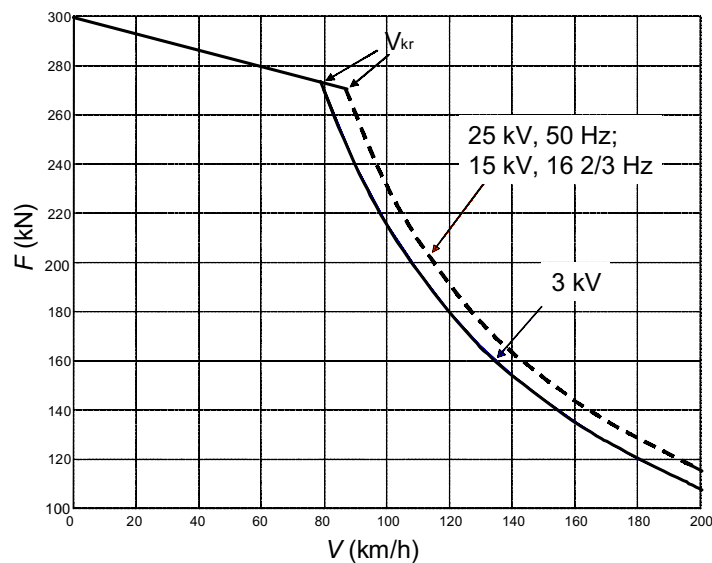
Za oceno uporabne vrednosti neke lokomotive je zelo pomembna oblika krivulje, ki prikazuje velikost vlečne sile  $F_v$  (njeno spreminjanje) na obodu pogonskih koles v odvisnosti od hitrosti:

$$F_v = f(v) \quad (1).$$

To zvezo imenujemo VLEČNA KARAKTERISTIKA LOKOMOTIVE, ki jo običajno prikazujemo grafično.

Na sliki 2 je prikazana vlečna karakteristika trisistemske Siemensove lokomotive v enosmernem delovanju 3000 V ter v enofaznem sistemu 25 kV, 50 Hz in 15 kV, 16 2/3 Hz [1].

Lokomotiva doseže pri speljavi največjo vlečno silo na obodu pogonskih koles 300 kN. Pri pospeševanju do hitrosti 80 km/h vlečna sila upade na 270 kN v enosmernem načinu delovanja, pri izmeničnem načinu delovanja pa pri 83 km/h na 265 kN. Vrednosti 80 km/h in 83 km/h pomenita kritično hitrost lokomotive pri največji vlečni sili. To pomeni, da bi trajna vožnja s polno vlečno silo s to hitrostjo povzročila pregreteje električnih vlečnih motorjev.



Sl. 2. Vlečna karakteristika Siemensove trisistemske lokomotive

Vlečna sila torej pada od kritične hitrosti po hiperboli [2]:

$$F_v = \frac{P}{v} \quad (2),$$

kjer so:

- $F_v$  vlečna sila v kN,
- $P$  mehanska moč lokomotive na obodu pogonskih koles v kW,
- $v$  hitrost v km/h.

Vlečna karakteristika, ki jo vidimo na sliki 2, je podana od proizvajalca vlečnega vozila, na podlagi katere je treba v vsaki železniški upravi (državi) izračunati zmogljivost lokomotive za vleko določenega vlaka.

## 2 IZRACHUN ZMOGLJIVOSTI SIEMENSOVE LOKOMOTIVE 6 MW

Zmogljivost lokomotive pove, kakšno maso vlaka je lokomotiva zmožna vleči na določeni progi in s kakšno hitrostjo. Obremenitev lokomotive se izračuna na podlagi največjega vzpona na določenem delu proge. Vzpon proge se izraža v promilih (‰) ali v daN/t po naslednji obliki:

- za vsako tono mase vlaka nastane na vsaki promili vzpona za 10 N upora vzpona ali strmina proge ( $i$ ) = 1 ‰ = 1 daN/t.

Računska in grafična analiza zmogljivosti lokomotive je glavni pogoj, na podlagi katerega se železniška uprava odloči za nakup lokomotive. Vsi izračuni obremenitev lokomotiv se izvajajo po enotnih enačbah, ki veljajo za vso Evropo.

### 2.1 Izračun obremenitve trisistemske Siemensove lokomotive na koprski progi

Nova lokomotiva 6 MW je najbolj pomembna za vleko tovornih vlakov na progi Koper – Divača.

Obremenitev lokomotive izračunamo po naslednji enačbi [3]:

$$Q = \frac{F_v - W_l - i \cdot L}{W_v + i} \quad (3),$$

kjer so:

- $Q$  masa vlaka (vagonov) v t,
- $W_l$  upor lokomotive v daN,
- $i$  strmina proge v ‰,
- $L$  masa lokomotive v t,
- $W_v$  upor vagonov v daN/t.

Vlečno silo preberemo iz karakteristike (sl. 2), ki znaša v enosmernem sistemu 3 kV pri kritični hitrosti 270 kN (27000 daN).

Upor lokomotive izračunamo po naslednji enačbi [4]:

$$W_l = 0,65 + \frac{13 \cdot n_{po}}{L} + 0,01 \cdot v + \frac{0,03 \cdot v^2}{L} \quad (\text{daN}) \quad (4),$$

kjer sta:

- $n_{po}$  število pogonskih osi lokomotive,
- $v$  hitrost v km/h.

Osnovni upor posameznih vrst vagonov izračunamo po naslednji enačbi [3]:

$$W_v = 2,2 - \frac{80}{v + 38} + (k + 0,007) \cdot \left(\frac{v}{10}\right)^2 \quad (\text{daN/t}) \quad (5),$$

kjer je:

- $k$  koeficient vrste vagona (0,107 – prazni tovorni vagoni, 0,057 – mešani tovorni vagoni, 0,032 – težki tovorni zaprti vagoni, 0,033 – dvoosni in triosni potniški vagoni, 0,025 – štiriosni potniški vagoni) [4].

Pri hitrosti 80 km/h izračunamo po enačbi (4) osnovni upor lokomotive 4,287 daN in po enačbi (5) glavni upor mešanega tovornega vagona 6,096 daN/t. Podatke vstavimo v enačbo (3) in dobimo naslednji izsledok:

Na progi z vzponom 25 ‰ zmore Siemensova trisistemska lokomotiva 6 MW vleči vlak z maso 800 t s hitrostjo 80 km/h. Pri tej hitrosti že doseže lokomotiva kritično hitrost. Hitrost tovornih vlakov v Sloveniji je največ 75 km/h, pri kateri bo lokomotiva potrebovala manjšo silo od 270 kN.

### 2.2 Obremenitev Siemensove lokomotive 6 MW na določenih vzponih

V preglednici 1 so prikazane obremenitve Siemensove 6 MW lokomotive na različnih vzponih na Slovenskih železnicah. Obremenitve veljajo za hitrost 80 km/h.

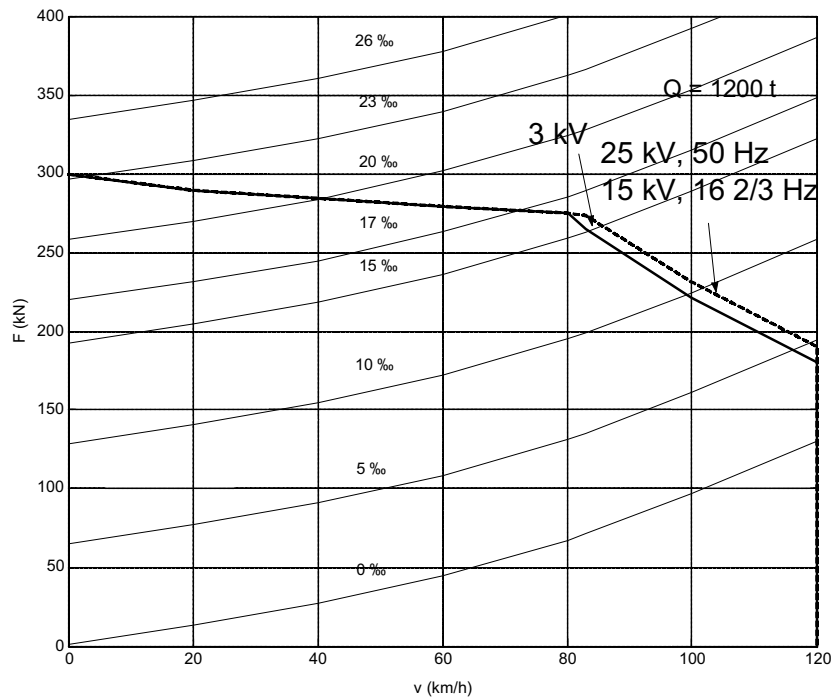
### 2.3 Zmogljivost Siemensove lokomotive 6 MW pri vleki vlaka z maso 1200 t

Ker je pogoj Evropske zveze vleka tovornega vlaka z maso 1200 t [5], je treba na diagram vlečne karakteristike vrisati vse upore vlaka z maso 1200 t, kar prikazuje slika 3 [1].

Na sliki vidimo, da pri polni vlečni sili prekoračimo kritično hitrost 80 km/h na vzponu proge

Preglednica 1. Največje obremenitve lokomotive 6 MW na različnih vzponih

VLEČNA SILA LOKOMOTIVE	$v = 80 \text{ km/h}$	VZPON PROGE V ‰	MASA VLAKA V t
		$F_v = 270 \text{ kN}$	0
	5	2394	
	10	1624	
	15	1219	
	20	969	
	25	800	



Sl. 3. Vlečna karakteristika lokomotive 6 MW in upori vlaka z maso 1200 t

17 ‰. To je dopustno le kratek čas, sicer bi poškodovali vlečne motorje. Presečišče med vlečno karakteristiko in določeno krivuljo uporov določa največjo hitrost na tem vzponu. To pomeni, da lahko vlak z maso 1200 t na vzponu 17 ‰ vozi 70 km/h, kar je v primerjavi z dosedanjo najmočnejšo lokomotivo na SŽ izjemen napredek.

Na večjem vzponu od 17 ‰ lokomotiva ni več sposobna vleči vlaka z maso 1200 t. S tem smo računsko in grafično potrdili zahtevo Evropske zveze [3], ki določa gradnjo novih prog z največjim vzponom 17 ‰.

Na sliki 4 je prikazana za primerjavo najmočnejša električna lokomotiva na SŽ z oznako 363. Lokomotiva je francoske izvedbe in ima največjo moč na kolesih 2750 kW.

Lokomotiva serije 363 se na SŽ uporablja pretežno za vleko težkih tovornih vlakov na koprski progi. Na sliki 5 sta prikazani njena vlečna karakteristika in zmogljivost.

Lokomotiva serije 363 ima v primerjavi z večsistemsko Siemensovo lokomotivo precej manjšo vlečno silo, ki znaša pri speljavi 260 kN. Njena kritična hitrost 37,5 km/h je precej manjša od Siemensove lokomotive, kar pomeni slabo prepustnost proge. S slike 5 vidimo, da zmora lokomotiva serije 363 na vzponu 16 ‰ vleči vlak z maso 800 t s hitrostjo 70 km/h. Če primerjamo zmogljivost Siemensove lokomotive na vzponu 16 ‰ (sl. 3), vidimo da zmora na tem vzponu vleči vlak z maso 1200 t pri isti hitrosti.

### 3 ADHEZIJSKA VLEČNA SILA LOKOMOTIVE SIEMENS 6 MW

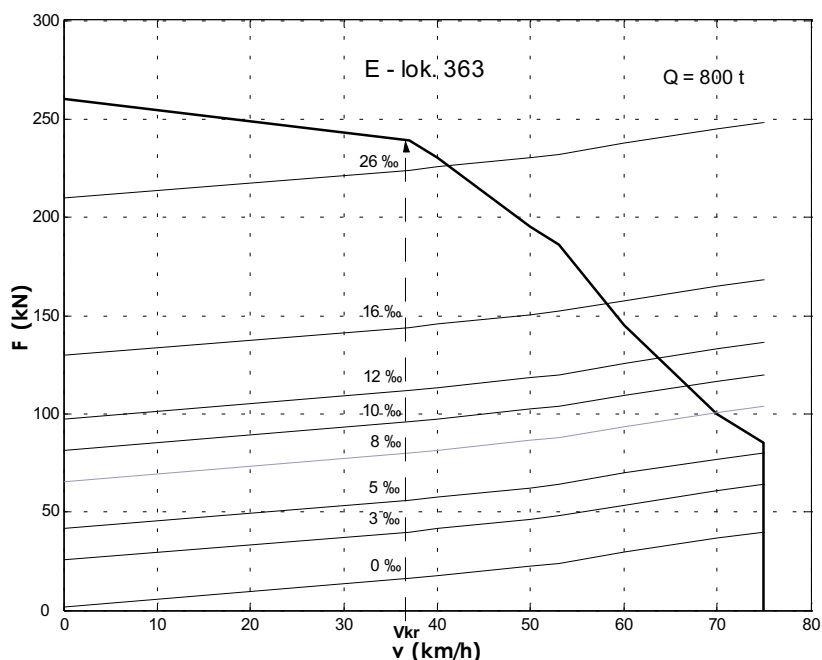
#### 3.1 Splošno o adhezijijski vlečni sili lokomotive

Pri speljavi in pri vleki vlaka moramo upoštevati še silo trenja med kolesom in tirnico. Iz





Sl. 4. Francoska lokomotiva enosmerne sistema 3000 V, serije 363



Sl. 5. Vlečna karakteristika lokomotive 363 in upori vlaka z maso 800 t

fizikalnih zakonov sledi, da lahko vlak speljemo oziroma vlečemo na določenem delu proge, če je vlečna sila lokomotive manjša ali enaka adhezijijski masi lokomotive, kar ponazarja naslednja enačba [6]:

$$F_a \geq F_v \quad (6),$$

kjer je:

-  $F_a$  adhezijijska vlečna sila lokomotive v kN.  
Adhezijijsko vlečno silo lokomotive  $F_a$  izračunamo po naslednji enačbi [6]:

$$F_a = \psi \cdot G_a \quad (7),$$

kjer sta:

- $\psi$  adhezijijski koeficient trenja med kolesom lokomotive in tirnico,
- $G_a$  adhezijijska masa lokomotive v kN.

Adhezijijsko maso lokomotive izračunamo po drugem Newtonovem zakonu:

$$G_a = m \cdot g \quad (8),$$

kjer sta:

- $m$  masa lokomotive v t,
- $g$  pospešek ( $9,8 \text{ m/s}^2$ ).

Adhezijski koeficient izračunamo po enačbi [6]:

$$\psi = 0,25 + \frac{8}{160 + 20 \cdot v} \quad (9).$$

### 3.2 Posebnost adhezijske vlečne sile pri Siemensovi lokomotivi 6 MW

Pri hitrosti 80 km/h Siemensove večsistemske lokomotive znaša po enačbi (7) adhezijska vlečna sila lokomotive 217,5 kN. Vlečna sila na obodu pogonskih koles (sl. 2) pa znaša 270 kN. To pomeni, da niso izpolnjeni adhezijski pogoji (en. 6) za takšno hitrost in bo lokomotiva zadržala. Šele pri manjši hitrosti oziroma manjši vlečni sili bo adhezijska vlečna sila večja od vlečne sile lokomotive na obodu pogonskih koles.

Omenjene težave imamo v Sloveniji na progah z velikimi vzponi, zaradi česar lahko želeno maso vlaka vozimo z zelo majhnimi hitrostmi (okoli 40 km/h).

Nova Siemensova lokomotiva 6 MW ima elektronsko krmiljenje adhezijskega koeficienta, ki zaradi tega znaša nespremenljivo 0,36 pri speljavi in pri velikih hitrostih [2]. Po izračunih znaša adhezijska vlečna sila Siemensove lokomotive pri hitrosti 80 km/h 313,2 kN, kar je precej nad vlečno silo lokomotive na obodu pogonskih koles (270 kN). Pomeni, da bomo z novo Siemensovo lokomotivo 6 MW zaradi krmiljenja na koprski progi brez težav obvladali maso vlaka 800 t pri hitrosti 75 km/h.

## 4 MOČ SIEMENSOVE LOKOMOTIVE 6 MW

### 4.1 Mehanska moč lokomotive

Mehanska moč lokomotive je moč na obodu pogonskih koles lokomotive in jo izračunamo po enačbi [7]:

$$P_m = \frac{F_v \cdot v}{360} \quad (\text{kW}) \quad (10).$$

Pri trisistemski Siemensovi lokomotivi znaša mehanska moč pri hitrosti 80 km/h in pri vlečni sili 270 kN točno 6000 kW.

### 4.2 Moč lokomotive na vlečnem kavljju

Moč lokomotive na vlečnem kavljju je koristna moč za vleko vlaka in je od mehanske moči lokomotive  $P_m$  manjša za osnovni upor lokomotive

(4). To moč izračunamo po enačbi [7]:

$$P_k = \frac{(F_v - w_l) \cdot v}{360} \quad (\text{kW}) \quad (11),$$

kjer je:

-  $P_k$  moč lokomotive na vlečnem kavljju.

Pri Siemensovi trisistemski lokomotivi znaša moč na vlečnem kavljju pri hitrosti 80 km/h 5998 kW.

### 4.3 Električna moč lokomotive

Električna moč lokomotive je tista, ki jo dobimo na odjemniku toka lokomotive in je v odvisnosti od obremenitvenega toka lokomotive in od napetosti voznega omrežja. Obremenitveni tok lokomotive v enosmernem omrežju 3000 V izračunamo po enačbi [8]:

$$I_o = \frac{F_v \cdot v}{1000} \quad (\text{A}) \quad (12),$$

kjer je:

-  $I_o$  obremenitveni tok lokomotive.

Siemensova trisistemska lokomotiva obremenjuje enosmerno vozno omrežje napetosti 3000 V pri vlečni sili 270 kN in pri hitrosti 80 km/h s tokom 2160 A.

Če to vrednost pomnožimo z imensko napetostjo voznega omrežja 3000 V dobimo vrednost električne moči lokomotive 6480 kW.

## 5 SKLEP

Trisistemska Siemensova lokomotiva moči 6 MW pomeni za Slovenske železnice velik napredek. Trenutno najmočnejša lokomotiva na SŽ ima moč 2,75 MW in zmore na vzponu proge 26 ‰ obremenitev vlaka z maso 700 t s hitrostjo 40 km/h. Siemensova 6 MW lokomotiva zmore na tem vzponu obremenitev 800 t s hitrostjo 80 km/h, kar pomeni precejšnji napredek v prepustnosti proge. Na sliki 3 smo videli, da je vzpon proge glavni problem obremenitve lokomotive in da je vzpon 17 ‰ mejna vrednost sodobne večsistemske lokomotive. Zato se vse nove proge v Evropi projektirajo z največjim vzponom 17 ‰. Naslednja težava Slovenskih železnic je v zastarelem in pomanjkljivem elektroenergetskem sistemu. Električna moč Siemensove lokomotive 6 MW doseže pri polni obremenitvi prek 6 MW, kar pomeni, da je lokomotiva močnejša od večine električnih napajalnih postaj na Slovenskih železnicah. Moči napajalnih postaj se pri nas gibljejo

od 4,5 MW do 7,5 MW. Povprečna medsebojna oddaljenost napajalnih postaj je v Sloveniji 30 km. Evropske države, ki imajo enosmerni sistem električne vleke 3000 V, so podvojile število električnih

napajalnih postaj z največjo medsebojno oddaljenostjo 15 km. Zato je na tej lokomotivi omogočeno s posebnim stikalom omejiti vlečno silo in se tako prilagoditi sedanjemu sistemu.

## 6 LITERATURA

- [1] Cene, B. (2004) Modernizacija električne vleke na SŽ, Magistrsko delo, *Univerza v Mariboru, FERI*, Maribor.
- [2] Jagodič, F. (1963) Električna vleka, *Univerzitetna založba v Ljubljani*, Ljubljana.
- [3] NAVODILO 52 NA JŽ, Poslovodni odbor Skupnosti Jugoslovanskih železnic, Beograd, 1989.
- [4] Siemens, Predstavitev trisistemske lokomotive, Sejem elektronike v Ljubljani, Ljubljana, 2001.
- [5] Direktiva 96/48/ES, Bruselj, 2002.
- [6] Dinić, D. (1984) Železniška vučna vozila, *Saobračajni fakultet u Beogradu*, Beograd.
- [7] Cene, B. (1999) Elektromotorski pogoni sodobnih potniških vlakov, *Univerza v Mariboru, FERI*, Maribor.
- [8] Cene, B. (2004) Poraba električne energije pri vleki vlakov, *Revija ER št. 2/2004*, Ljubljana.

Avtorjev naslov: Bojan Cene  
Ul. II. bataljona 10  
3230 Šentjur  
bojan.cene@email.si

Prejeto: 9.12.2004  
Received:

Sprejeto: 24.2.2005  
Accepted:

Odprto za diskusijo: 1 leto  
Open for discussion: 1 year

## Poročila - Reports

### Sodobna letalska snemalna oprema v Sloveniji odpira nove možnosti uporabe letalskih posnetkov A Modern Aerial Survey Equipment in Slovenia Is Offering New Possibilities for an Aerial Photo Usage

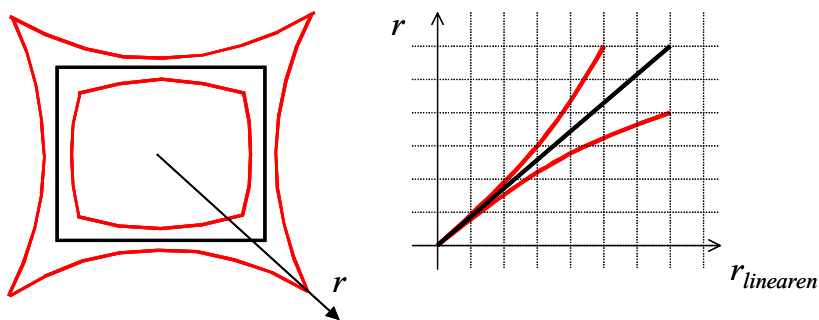
#### UVOD

Letalski posnetek pridobimo z uporabo letal, kjer so kamere na poseben način vgrajene tako, da sta pomikanje filma naprej in odprtost zaslonke usklajeni glede na hitrost letenja. S tem omogočimo, da ima vsak posnetek vsaj 60-odstotni preklop, ki je potreben za stereoskopsko gledanje. Postopek razumevanja se močno naslanja tudi na terenske izkušnje. Za interpretira je potrebno poznavanje posebnosti na terenu, da lahko razume, kaj opazuje na posnetku. Letalski posnetki imajo prečno popačenje, kar pomeni, da se objekti pojavijo nagnjeni navzven iz središča posnetka (slika 1), zaradi upogiba svetlobe, ko le-ta prehaja skozi leče kamere. V zelo reliefnem terenu lahko to popačenje postane težavno. Popačenja lahko nastanejo tudi zaradi postopnega ali nenadnega odstopanja v višini z nagibanjem letala (pozibavanje kljuna, pozibavanje kril). Stereopar sta dva posnetka, ki sta fotografirana z različnih stojišč in imata 50-odstotni preklop [2]. Edino področje na stereoparu, kjer ni popačenja, je točka na pol poti med obema središčema posnetka, imenovana perspektivni center. Spektralno popačenje, ki ga povzroča prečni izpad svetlobne jakosti naprej iz centra letalskega posnetka, je znana kot vinjetiranje. To se pojavi zaradi ukrivljenosti leč in ga lahko nadomestimo z uporabo filtrov [7].

Fotogrametrija je uporabna znanost, ki pridobiva zanesljive meritve iz letalskih posnetkov. Je natančna meritev oziroma pregled posebnosti na zemeljskem površju iz letalskih posnetkov. Pomemben dejavnik letalskega snemanja je pridobivanje ekonomsko primerne površine z največjo stopnjo natančnosti. Z ozirom na to je prva največja skrb merilo. Zmanjšanje merila letalskega posnetka ima dvostranski vpliv:

- zmanjša celotno natančnost, na katero je lahko podrobnost na zemeljskem površju usklajena (oboje načrt in višina), uporabljajoč stereorisalnik.
- zmanjša število letalskih posnetkov s preklopom, potrebnih za prekritje določenega področja, s tem zmanjša tudi bistvene stroške in material, ki je potreben za nadzor le-teh ter tudi uspešnost risanja.

Kompromis med natančnostjo in gospodarnostjo ima več stranskih posledic, ki terjajo pazljivo načrtovanje projekta (še posebej tam, kjer omejenost risalnika vpliva na upoštevanje terena in izbire letala) in ne vključujejo le rešitev tehničnih problemov, ampak tudi logistične in gospodarne dejavnike. Do določene mere razumevanje letalskih posnetkov zahteva znanje o instrumentih, ki pridobijo podobo posnetku in znanje o računalniških procesnih tehnikah, ki so potrebne za nastanek posnetka.



Sl. 1. Prečno popačenje točke odmakne v prečni smeri in tako vpliva na obliko slike [4]

## LETALSKA SNEMALNA OPREMA

Letalsko snemanje v Sloveniji izvaja Geodetski Zavod Slovenije (GZS) s sedežem v Ljubljani in izpostavo na Brniku. GZS ima lastni letališki hangar in posebno letalo na izpostavi kakor tudi dobro izurjeno snemalno skupino na Oddelku za aeronemanje. Letalsko snemalno skupino sestavljajo trije člani in en izkušen pilot. Sposobnost, da se vključiš v letalsko snemalno ekipo kot delovni član, je najpomembnejša. Pilot, ki je vajen leteti za potrebe snemanja, bo vedel, kako najbolje postaviti letalo. Pilot se mora, medtem ko vzdržuje celotno vodenje v letalu v vseh pogledih varnega letenja, med snemanjem podrediti glavni vlogi navigatorja. Zahteve za posebne akcije kakor so rahli nagibi, podaljšani naleti, počasno letenje itn. podá navigator in jih mora pilot brez vprašanj izpolniti. Zagotavljanje varnosti tu ni vključeno. Navsezadnje je navigator tisti, ki odgovarja za vse napake med fazo snemanja.

Letalska fotografija se izvaja večinoma navpično metrično, občasno panoramsko s kamero Hasselblad. GZS ima na voljo trenutno eno letalo - Piper Navajo Chieftain PA 31-350 z registrsko označbo S5-CGC, ki je posebej prirejeno za letalsko snemanje (sl. 2). Letalo s svojima dvobatnima motorjema vrste Lycoming TIO 540- J2BD doseže višino 24000 ft (~7320 m), vendar je za potrebe letalskega snemanja v Sloveniji dovolj višina do 22000 ft (~6710 m). Vsak tip letala je že bil kdaj pa kdaj uporabljen za letalsko fotografijo, vendar še vedno ni splošnega tipa letala.

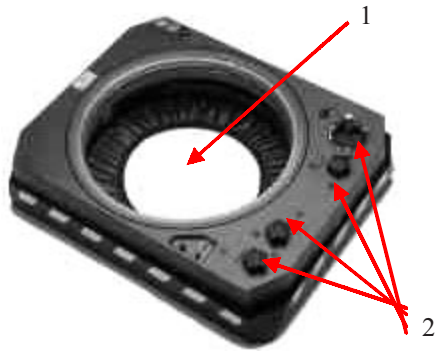
Nekoč so uporabljali na GZS metrično kamero WILD R-8. Kasneje sta jo zamenjali kameri

RMK A 15/23 in Zeiss LMK 1000. Kljub še dovolj dobri kakovosti obeh zadnjih kamer, so se vodilni na GZS v letu 1998 odločili posodobiti letalsko snemalno opremo s kamero Leica RC30 in njenimi deli. Z novo velikoformatno metrično kamero RC30 so se tako približali sodobnejši tehnologiji daljinskega zaznavanja, ki terja uporabo krajevnega določevalnega sistema (GPS) za izračun projekcijskih središč. Sistem RC30 kamere z vrtavčnostabiliziranim podstavkom PAV30 (sl. 3) zajema tudi navigacijski daljnogled PSNF3 in sredstvo za nadzor letalskega snemanja (ASCOT - Aerial Survey Control Tool) sistem z GPS; EDI, vmesnik med ASCOT in nadzornimi instrumenti v letalu; programsko opremo (ASCOT Office, SKI modul AERO, PATB GPS); anteno GPS na letalu ter referenčno točko GPS na terenu. Sistem ASCOT vsebuje še računalnik AOT10, nadzorno enoto ACU30 in prikazovalnik za pilota APV10 (sl. 4).

Objektivi 8.8/4 SAGA-F, 15/4 UAG-S, 30/4 NAT-S omogočajo pri zaslonki vrednost 4, slikovne kote 120°, 90° in 53°. Na GZS razpolagajo z objektivom 15/4 UAG-S. Medtem ko je zaznavalo za avtomatsko merjenje svetlobe pritrjeno na objektiv in zajema teren pod kotom 80° [8]. Ima popravljeno spektralno občutljivost in je zato uporabno tudi za snemanje v bližnjem infrardečem področju. Svetlobe ne meri skozi filter, vendar je le-to treba poprej nastaviti s korekcijskim količnikom vinjetiranja (AV), glede na vrsto filma in tip filtra. Te lastnosti novega objektiva zagotavljajo večjo ločljivost in doseganje optimalnih rezultatov pri odprti zaslonki, kar pomeni tudi možnost uporabe filmov z veliko ločljivostjo vendar majhno občutljivostjo. Kamera je vgrajena v vrtavčno-stabiliziran podstavek



Sl. 2. Letalo GZS Piper Navajo Chieftain PA 31-350



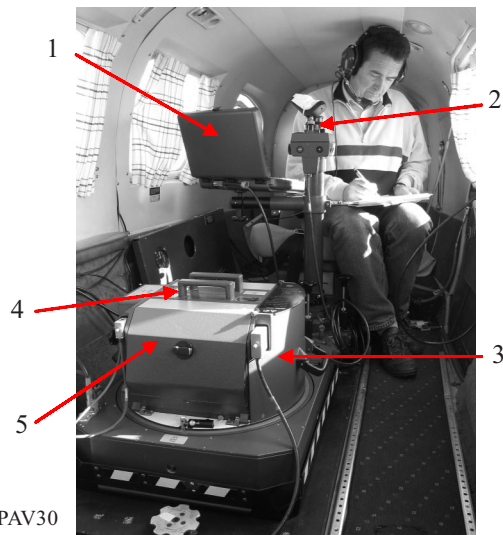
- 1 - prazen prostor, kamor se vstavi objektiv  
2 - štiri gumbi za ročno izravnavanje v različnih smereh

Sl. 3. Vrtavčnostabiliziran podstavek PAV30



- 1 - računalnik AOT10  
2 - nadzorna enota ACU30  
3 - prikazovalnik za pilota APV10  
4 - vezni element za pritrditev

Sl. 4. Sestavni deli sistema ASCOT



- 1 - nadzorna enota ACU30  
2 - navigacijski daljnogled PSNF3  
3 - vrtavčnostabiliziran podstavek PAV30  
4 - kasetna s filmom  
5 - vidna oznaka, znotraj katere je treba vstaviti objektiv

Sl. 5. Sestavljena oprema kamere RC30 in član letalske snemalne skupine

PAV30 (sl. 5), ki ima vgrajen mehanizem za kompenzacijo pomika slike med osvetlitvenim časom, vzdolžno in prečno na smer letenja. Celo z najkrajšim možnim osvetlitvenim časom reda 1/1000 s ali 1/2000 s je vedno mogoč pomik slike zaradi hitrosti osvetlitvene plošče, kar pa pogubno vpliva na kakovost slike. Poprava premege gibanja (FMC) ima všteti pomik filma pri hitrosti, enaki tisti, ko slika postane zasnovana.

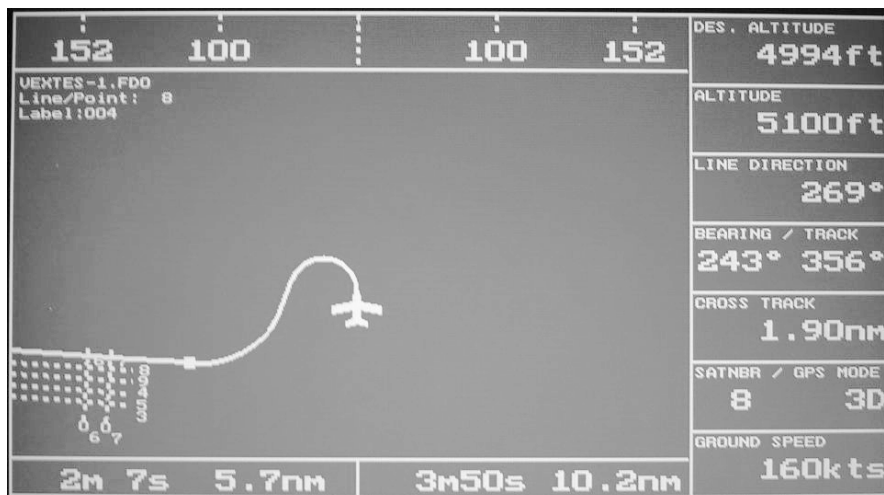
#### PROGRAM ASCOT

ASCOT je oznaka za program, v katerem se načrtuje in ki rabi kot nadzor pri letalskem snemanju.

Zasnovan je bil v diskovnem operacijskem sistemu (DOS), ker Windows 95 (v času razvoja ASCOT) še ni bil takšno izvedljivo okolje, ki bi bilo zmožno opravljati toliko nalog. Prednosti programa ASCOT pred navadnim ročnim navigiranjem so:

- načrti letalskih snemalnih pasov/blokov so izvedeni v pisarni pred vzletom,
- črte pasov s koordinatami začetka snemanja so natančne,
- preklon med pasovi je zmanjšan,
- snemalni film je ekonomično porabljen,
- mogoča je simulacija izvajanja načrtov kakor tudi priprava letalskih snemalcev.





Sl. 6. Prikaz naleta letala in točnega začetka črte snemalnega pasu prikazuje eno izmed številnih prednosti programa ASCOT

Program je dokaj preprost z zelo jasnimi možnostmi in izbirami v menijih. Primer naleta letala in začetka črte snemalnega pasu, programiranega v ASCOT je prikazan na sliki 6, kjer so na zaslonu prikazani vsi spremljajoči dejavniki: zgoraj merilo za razdaljo; spodaj je merilo za čas; desno zaželeno višina letala za snemanje (1 ft = 30,479 cm), dejanska višina letala, smer leta, azimut, zanos letala (pojavi se zaradi različnih smeri vetra na različnih višinah), število satelitov v trenutku snemanja in stanje GPS kakor tudi hitrost letala.

Računalnik vsebuje disk, narejen iz silikona, ker bi se običajni diski v višinah znotraj kabin, ki niso pod tlakom, pokvarili zaradi sprememb tlaka, ali pa se zaradi manjših turbulenc tudi mehansko poškodovali. Kabina letala ni pod tlakom, zato je nad določeno višino potrebna tudi uporaba mask s kisikom! Računalnik prav tako vsebuje elektroniko PAL, ki je vgrajena zato, ker VGA ni zmožna prenesti signalov na zelo veliko razdaljo (primer snemanja na 21000 ft ~ 7000 m). Kamera RC30 ima tudi navigacijski teleskop za optično navigacijo in navigacijski sistem GPS. Oba sistema sta združena na enem mestu, tako da lahko operater uporablja oba naenkrat. S tem se delo navigatorja in snemalca združi v delo ene same osebe. Pilot med snemanjem preko prikazovalnika spremlja in ustrezno popravlja odstopanje od smeri in dovoljeno (zaželeno) višino. Ob neupoštevanju postavljenih odstopanj v smeri, sistem avtomatsko ne izvede osvetlitve posnetka in je snemanje ustavljeno ter dragoceni čas v zraku izgubljen. Vendar pa je prav zaradi natančnosti snemanja manjkajoče

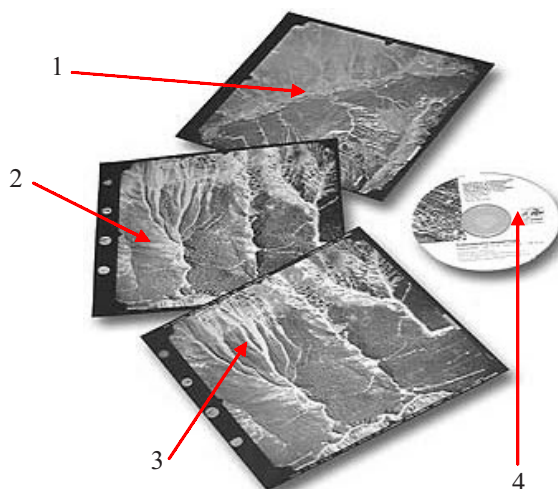
posnetke mogoče izvesti pozneje z dodatnim preklpom na že narejene posnetke. Če koordinate niso natančne, je dodatno snemanje težko izvedljivo.

Nadalje se s pomočjo projekcijskih zemeljskih podnožnih središč iz meritev GPS v letalu in na primerjalni točki podatke vključi v izravnavo letalske triangulacije. Tako se lahko izračuna koordinato središča letalskega posnetka s podatki iz zemeljske postaje GPS. Leica Geosystems je v avgustu 2003 na trgu predstavila programsko opremo 'SPIDER GPS' za primerjalne postaje GPS. Deluje pod sistemom Windows 2000 ali XP. Namenjena je nadzoru in upravljanju primerjalnih postaj in mrež GPS ter podpori posredovanja podatkov GPS končnim uporabnikom [10].

#### LETALSKO SNEMANJE V RAVNOTEŽJU S FOTOLABORATORIJEM

Posneti film je prinesen v fotolaboratorij na razvijanje in izdelovanje stičnih kopij (sl. 7). V laboratoriju GZS razpolagajo med drugim tudi s tremi pomembnejšimi stroji: razvijalni stroj COLENTA 30, kopirnik SCANATRON P11C in povečevalnik DURSTHL 2506.

Vendar so tako kakor pri vsakem drugem delu tudi pri letalski fotografiji mogoče napake. Letalski posnetki so lahko predani naprej v obdelavo, če so kakovostni. Kakovosten letalski posnetek je dokaz dobrega snemanja, navigiranja, pilotovega letenja in postopka v fotolaboratoriju. Napake se lahko pojavijo zaradi človeškega dejavnika ali pa



- 1 - stična kopija letalskega posnetka iz črnobelega filma  
 2 - stična kopija letalskega posnetka iz infrardečega filma  
 3 - stična kopija letalskega posnetka iz barvnega filma  
 4 - zgoščenka z digitalno verzijo (skenirane stične kopije zračnih posnetkov)

Sl. 7. Primer stičnih kopij za tri različne vrste filmov

drugih vzrokov in morajo biti v čim večji meri odpravljene. Naj naštejemo nekaj primerov pomembnejših napak [7]:

pri snemanju v zraku:

- neizravnana ali stresena kamera med snemanjem (človeški dejavnik in/ali vzrok nepričakovane turbulence);
- sij ali odsev sonca na objektiv (kot sonca glede na lego letala, ni človeški dejavnik);
- napačna osvetlitev ali upoštevanje faktorja AV pri RC30 kameri (človeški dejavnik pred začetkom snemanja);
- nepravilna uporaba tipa filtra glede na vremenske razmere (lahko je človeški dejavnik pred pripravo na snemanje še na tleh ali celo pred snemanjem v zraku, vendar pa ne moremo vedeti, kako gosto bo ozračje na kraju snemanja);
- zaprašen objektiv (prav tako je lahko človeški dejavnik, toda nekatera letala nimajo pokrova za objektiv na spodnji strani trupa letala in je tako leča kamere pri vzletanju izpostavljena drobcem, ki se neizogibno pojavljajo na letališčih).

Po drugi strani pa postopek letalskega snemanja ni končan, ko letalo varno pristane in je film nepoškodovan prinesen v fotolaboratorij. Lahko bi rekli »ni konca, dokler ni KONEC«. Tudi v fotolaboratoriju lahko pride do napak :

- drgnjenja filma po ostrem predmetu (človeški dejavnik),

- nepravilnega časa razvijanja (človeški dejavnik),
- nepravilne osvetlitve temnične luči (človeški dejavnik),
- zračnih mehurčkov pri razvijanju [5] (človeški dejavnik in/ali pretečen rok za uporabo razvijalnih tekočin),
- neenakomerne prerazporeditve površine filma med kopiranjem za stično kopijo (človeški dejavnik in/ali star neavtomatski stični kopirnik)
- odprtosti zaslonke pri povečevanju (človeški dejavnik).

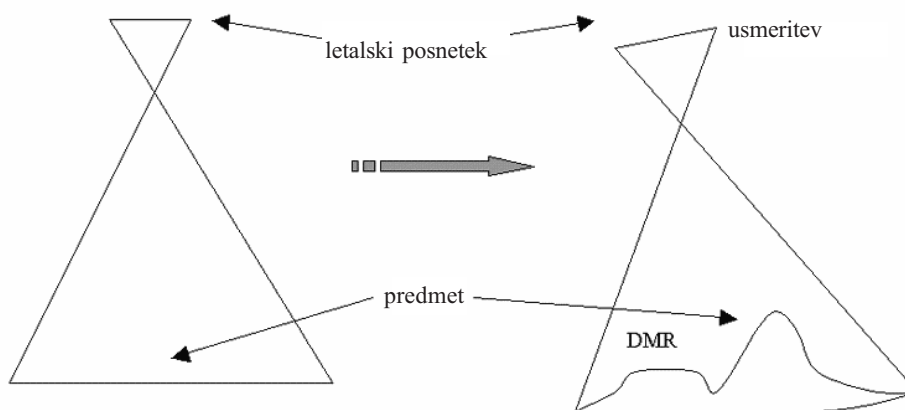
Mnogo napak je odpravljenih že z dobrim poznavanjem celotnega postopka letalskega snemanja in tudi dela v fotolaboratoriju. Dobro izurjena skupina, kakršno imajo na GZS, zaradi svoje odličnosti, prilagajanju potreb naročnika, dokaj majhnega letala in poguma za letenje v ozkih strmih dolinah nižje od najvišjih vrhov kakor tudi zaradi cenovne ugodnosti pridobiva delo tudi zunaj državnih meja (Hrvaška, Bosna in Hercegovina, Makedonija, Avstrija, Nemčija itn.).

#### LETALSKI IN PRAVI POSNETKI

Letalski posnetki so posneti v snemalnih pasovih, ki imajo medsebojni preklap najmanj 10%. Ti snemalni pasovi so največkrat usmerjeni sever-jug ali vzhod-zahod, zaradi lažje navigacije. Večina zračnih fotoposnetkov je navpičnih, da se zmanjša



Sl. 8. Letalski posnetek (levo) in ustrezni pravi foto načrt (desno) [15]



Sl. 9. Bistvo prave fotografije

popačenje. V nekaterih okoliščinah pa je kakorkoli že uporabneje delati s poševnimi posnetki. Kakovostni letalski posnetki so uporabni za izdelavo geografskih informacijskih sistemov (GIS), kart, temeljnih topografskih načrtov v merilu 1:5000 (TTN-5), za fotointerpretacijo, za digitalno pravo foto (DPF) obdelavo, za popravljanje kart itn.

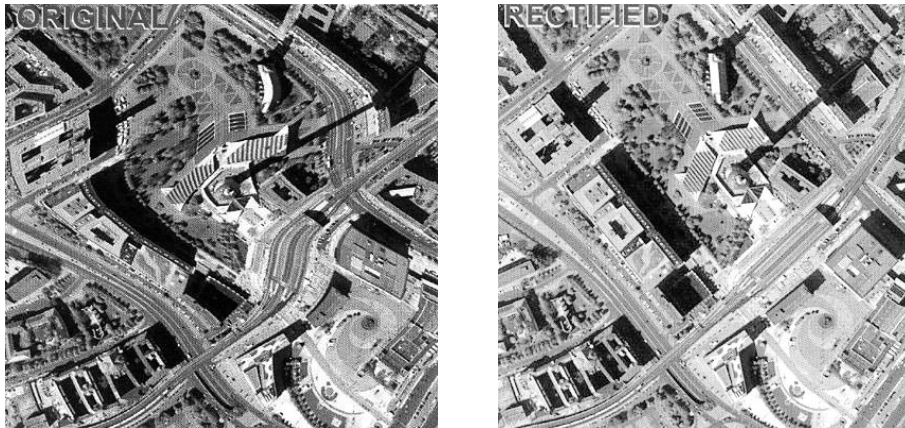
Slovenija je v celoti prekrita s pravimi foto načrti (3258 slik v mreži listov v merilu 1:5000) iz časovnega obdobja 1997 do 2003. Ortofoto je skeniran letalski posnetek, ki je z upoštevanjem osrednje projekcije posnetka in digitalnega modela reliefa (DMR), prenesen v državni koordinatni sistem. Primer letalskega posnetka in ustreznega pravega foto načrta je prikazan na sliki 8.

Izdelek je v metričnem pomenu enak linijskemu načrtu ali karti. Bistvo pravega posnetka je razvidno s skice, ki jo prikazuje slika 9. Če bi fotografirali vodoravno zemeljsko površje z letalsko snemalno kamero, ki bi bila vzporedna s to ravnino, bi dobili načrt v določenem merilu samo s povečavo te fotografije. Ker posnetki

nikoli niso popolnoma vodoravni, še manj pa je ravno zemeljsko površje, je potrebno poznavanje usmeritve letalskih posnetkov in DMR.

Digitalni pravi foto načrti s slikovnim elementom 0,5 m in izrisom v merilu 1:5000 (DOF 5) in digitalne prave foto karte s slikovnim merilom 2 m in izrisom 1:25000 (DOF 25) se izdelujejo iz posnetkov cikličnega letalskega snemanja (CLS), ki se izvaja v črnobeli tehniki v merilu 1:17400 do 1:25000 ob trenutnem obdobju štirih let. Geodetska uprava (GU) načrtuje, da bo prave foto načrte obnavljala na 6 do 9 let in da bo v naslednjih letih uvedla barvna snemanja [3]. Izboljšanje pravega foto načrta s slikovnim elementom 0,5 m je izvedena na podlagi DMR z gostoto 25 m oziroma 40 m, prave foto karte s slikovnim elementom 2 m pa na podlagi DMR z gostoto 100 m [12]. Izboljšanje pravega foto načrta pomeni izboljšavo pravega foto načrta glede na DMR. Posnetek je digitalno obdelan, tako da se izračunajo daljice, ki imajo s krivuljo ali lokom krivulje (približno) enako dolžino (sl. 10).





Sl. 10. Izvirni posnetek pred izboljšavo (levo) in po njej (desno)



Sl. 11. Digitalni pravi foto načrt možnega poplavnega območja z obrisi, planimetrijo, lokacijami prerezov in koordinatno mrežo [14]

Uporabnost letalskih posnetkov je vedno bolj priljubljena. Kljub napredni satelitski tehniki bo letalsko snemanje za kartografske potrebe velikih in srednjih meril še vedno najprimernejše, saj zagotavlja predvsem gospodarno zbiranje prostorskih podatkov [1]. Analogne posnetke (filme) je treba za uporabo v digitalni fotogrametriji skenirati. Izvirniki letalskih posnetkov so neprecenljive vrednosti kot objektivni dokument prostora in časa. Primer skeniranega letalskega posnetka tj. digitalnega pravega foto načrta, ki lahko služi kot podlaga za dodatne načrte, je prikazan na sliki 11.

#### FOTOMOZAIKI IN RAČUNALNIŠKA TEHNIKA

Fotomozaik je sestavljen iz posameznih letalskih posnetkov, zlepljenih skupaj v obliko, ki daje celosten videz območja, ki je bilo prekrito s

snemanjem. Mozaiki so najbolj uporabni za načrtovanje uporabe zemljišča, inženirske projekte, mestne raziskave, geološke študije. Lahko jih uporabimo kot planimetrične karte, nadomestke, pri katerih se natančnost ne izgubi preveč. Ena izmed najbolj pomembnih oznak fotomozaika je čas: predstavlja velik prihranek časa in stroškov v primerjavi s preiskavami za topografske karte.

Prav tako so letalski posnetki oziroma njihove povečave uporabni za izdelavo fotomozaikov. Tako kakor k ročni tudi k avtomatski obdelavi fotomozaikov pripada sodobna računalniška oprema. V svetu se pojavlja vedno več in bolj razvitih programov za mozaično zlaganje letalskih posnetkov, njihovo prekrivanje in urejanje slikovnih datotek. Ena izmed različnih kartografskega programa je tudi programska oprema IBIS, ki je zelo primerna za letalske, satelitske in topografske

rasterske podatke pa tudi za standardne kartografske formate podatkov, vključno s Shape in DXF [11]. Računalniška obdelava letalskih posnetkov se izogne napakam, ki nastanejo pod vplivom človeškega dejavnika pri izdelavi fotoskic, fotokart in fotomozaikov. Neprimerno lažje je z računalnikom razporediti vse letalske posnetke in jih pravilno usmeriti, jih sestaviti in izbrati smer prekrivanja. Letalski posnetki in njihove povečave so rezane vedno v črti in na natančen preklap, ni premikov, ni narobnega lepljenja, ni težav z ročnim zlaganjem. Tudi izris povečave in fotomozaika prek računalnika je mogoč na svitek papirja. Omejenost končnega izdelka je sorazmerna širini risalnika in v primeru kaširanja, izmere podlage (primer PEN plošča).

#### IZ PRETEKLOSTI SKOZI SEDANJOST V PRIHODNOST

V prvih dneh letalske fotografije v preteklosti je bil glavni problem pridobiti dovolj višine, s katero bi lahko zajeli veliko območje snemanja. Pojav reaktivnih letal in zmožnost uporabe zelo kakovostnih letalskih posnetkov za civilne uporabnike v merilih, boljših od 1:100000, se je za kratek čas zdelo zadovoljivo [9]. Tudi satelitske slike so pričele prihajati v uporabo v 70. letih in pojavila se je potreba po še bolj specializiranih analizah področij strateško določenih s sateliti in prekrivnim območjem zaradi velike višine. Zahteva se je zopet razširila do nove generacije nizkih, počasi letečih letal, ki bi omogočala bolj specializirana prekrivna območja za

posamezne uporabnike, pogosto izvajana od samih uporabnikov.

Letalski posnetki in visoko ločljive satelitske slike so v splošnem lahko uporabne za načrtovanje in reševanje problemov, ki se nanašajo na raziskave mineralnih nahajališč, za pomoč pri lociranju odtokov in izvirov, za raziskave prelomljenih rezervoarjev, za opazovanje poplav itn. Daljinsko zaznavanje pomaga pri lociranju voda in v nekaterih primerih lahko ločimo celo svežo od sladko-slane vode, pomembno je lahko tudi opazovanje vode zaradi sprememb slanosti, temperature ali turbulentnosti. Poplave in površinski odtoki vode lahko povzročijo erozijo, kakršno povzroča valovanje vode ob obali. Mnogi od ekonomskih termalnih virov lahko sploh nikoli ne bodo kartirani. In prav termalne slike ponujajo edinstveno priložnost za kartiranje geotermalnih sistemov [6].

Po drugi strani pa je uporaba v logistiki in inženirstvu najpomembnejša in hkrati največkrat prezrta funkcija geološkega daljinskega zaznavanja.

#### PRIZNANJA

Avtorica se zahvaljuje letalski snemalni ekipi na Oddelku za aerosnemanje in delavcem fotolaboratorija. Posebna zahvala je namenjena Kostji Divjak za vse posredovano znanje. Prav tako je avtorica hvaležna tudi vodstvu GZS Ljubljana, ki so omogočile strokovno izpopolnjevanje pri priznanem podjetju Leica, Heerbrugg (Švica).

#### LITERATURA

- [1] Bric, V., D. Tanko (1999) Posodobitev aerosnemanja in digitalne fotogrametrije na Geodetskem zavodu Slovenije d.d., *Geodetski vestnik*, Slovenija, Vol.43, Št.3, 250-253, GZS d.d., Ljubljana.
- [2] Kraus, K. (1997) Photogrammetry II – Advanced methods and applications, *Dummer Verlag*, Bonn.
- [3] Lipej, B. (2003) Novi izzivi in priložnosti za slovensko geodezijo, *Geodetski Vestnik*, Slovenija, Vol. 47, Št. 4, 381, GZS d.d., Ljubljana.
- [4] Perš, J.: Radialna distorzija leč, *Fakulteta za elektrotehniko, Laboratorij za slikovne tehnologije, Univerza v Ljubljani*, Slovenija.
- [5] Platt, R. (1995) The professional guide to photo data, Third Edition, *Mitchell Beazley*.
- [6] Prost, G.L. (2001) Remote sensing for geologists, a guide to image interpretation, Second Edition, *Gordon and Breach Science Publishers, Sheridan Books*, Ann Arbor, MI.
- [7] Videnič, M. (1996) Aerofotografija – aerosnemanje, pripravniški dnevnik, *Geodetski zavod Slovenije*, Ljubljana.
- [8] Videnič, M. (1997) Tečaj za kamero RC30/ASCOT/GPS Leica, Heerbrugg, Švica – podrobno poročilo, appendix - Camera course RC30/ASCOT/GPS Leica, Heerbrugg - Switzerland, *GZS d.d. Ljubljana*.

- [9] Worton, F.J. (1980) Navigation and flight systems, *RSP Aeronewsletter*, No.18, Royal Photographic Soc., 7-8.
- [10] <http://www.ibissoftware.com>, avgust 2002.
- [11] <http://www.leica-geosystems.com>, <http://www.gis.leica-geosystems.com>, avgust 2003.
- [12] <http://www.gzs-dd.si>, junij 2003.
- [13] <http://www.swisstopo.ch/en/image/ortho.htm>, Januar 2005.
- [14] <http://www.uga.edu/~crms/gim.htm>
- [15] Geodetski zavod Slovenije, Oddelek za aerofotografijo, Ljubljana

Naslov avtorice: Mojca Videnič  
Glinškova pl.2  
1000 Ljubljana  
[mojca.videnic@mors.si](mailto:mojca.videnic@mors.si)



## Osebne vesti - Personal Events

### Doktorati, magisteriji in diplome - Doctor's, Master's and Diploma Degrees

#### DOKTORATI

Na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani sta z uspehom zagovarjali svoji doktorski disertaciji:

*dne 12. aprila 2005: mag. Maja Rotar*, z naslovom: "Numerično modeliranje energijskih karakteristik hladilnega stolpa na naravni vlek".

*dne 14. aprila 2005: mag. Darja Horvat*, z naslovom: "Optodinamski opis absorpcije laserskih bliskov na gladini kapljevine".

S tem sta navedeni kandidatki dosegli akademsko stopnjo doktorja znanosti.

#### MAGISTERIJI

Na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani je z uspehom zagovarjal svoje magistrsko delo:

*dne 6. aprila 2005: Branko Štremfelj*, z naslovom: "Multi-regresijski model razvlaknjenja vlaken mineralne volne na štirikolesni centrifugi".

Na Fakulteti za strojništvo Univerze v Mariboru je z uspehom zagovarjala svoje magistrsko delo:

*dne 11. aprila 2005: Tanja Bolte*, z naslovom: "Vpliv prometa na imisijo delcev".

S tem sta navedena kandidata dosegla akademsko stopnjo magistra znanosti.

#### DIPLOMIRALISO

Na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani so pridobili naziv univerzitetni diplomirani inženir strojništva:

*dne 26. aprila 2005: Aleš HANČIČ, Gašper JANŠA, Uroš JAZBEC, Jakob JELENC, Danijel KUZMA, Borut MEDVED, Andrej ŽEROVNIK, Roman ŽUNIČ.*

Na Fakulteti za strojništvo Univerze v Mariboru so pridobili naziv univerzitetni diplomirani inženir strojništva:

*dne 21. aprila 2005: Andrej HOLER, Dominik KOBOLD, Mihael SIMIČ.*

\*

Na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani so pridobili naziv diplomirani inženir strojništva:

*dne 15. aprila 2005: Simon JURJEVIČ, Matjaž STRUŠNIK, Bojan ZADNIK.*

Na Fakulteti za strojništvo Univerze v Mariboru so pridobili naziv diplomirani inženir strojništva:

*dne 21. aprila 2005: Dejan BRKIČ, Andrej DROBNE, Damir GORIČANEC, Jernej JAGRIČ, Stanislav KOZODERC, Vincenc KRAŠEK, Tomaž LINASI, Alojz ŠINKO, Anton TUMPEJ, Aleš WEISS; dne 25. aprila 2005: Janko BAUMAN.*

## Navodila avtorjem - Instructions for Authors

Članki morajo vsebovati:

- naslov, povzetek, besedilo članka in podnaslove slik v slovenskem in angleškem jeziku,
- dvojezične preglednice in slike (diagrami, risbe ali fotografije),
- seznam literature in
- podatke o avtorjih.

Strojniški vestnik izhaja od leta 1992 v dveh jezikih, tj. v slovenščini in angleščini, zato je obvezen prevod v angleščino. Obe besedili morata biti strokovno in jezikovno med seboj usklajeni. Članki naj bodo kratki in naj obsegajo približno 8 strani. Izjemoma so strokovni članki, na željo avtorja, lahko tudi samo v slovenščini, vsebovati pa morajo angleški povzetek.

Za članke iz tujine (v primeru, da so vsi avtorji tujci) morajo prevod v slovenščino priskrbeti avtorji. Prevajanje lahko proti plačilu organizira uredništvo. Če je članek ocenjen kot znanstveni, je lahko objavljen tudi samo v angleščini s slovenskim povzetkom, ki ga pripravi uredništvo.

### VSEBINA ČLANKA

Članek naj bo napisan v naslednji obliki:

- Naslov, ki primerno opisuje vsebino članka.
- Povzetek, ki naj bo skrajšana oblika članka in naj ne presega 250 besed. Povzetek mora vsebovati osnove, jedro in cilje raziskave, uporabljeno metodologijo dela, povzetek rezultatov in osnovne sklepe.
- Uvod, v katerem naj bo pregled novejšega stanja in zadostne informacije za razumevanje ter pregled rezultatov dela, predstavljenih v članku.
- Teorija.
- Eksperimentalni del, ki naj vsebuje podatke o postavitvi preskusa in metode, uporabljene pri pridobitvi rezultatov.
- Rezultati, ki naj bodo jasno prikazani, po potrebi v obliki slik in preglednic.
- Razprava, v kateri naj bodo prikazane povezave in posplošitve, uporabljene za pridobitev rezultatov. Prikazana naj bo tudi pomembnost rezultatov in primerjava s poprej objavljenimi deli. (Zaradi narave posameznih raziskav so lahko rezultati in razprava, za jasnost in preprostejše bralčevo razumevanje, združeni v eno poglavje.)
- Sklepi, v katerih naj bo prikazan en ali več sklepov, ki izhajajo iz rezultatov in razprave.
- Literatura, ki mora biti v besedilu oštevilčena zaporedno in označena z oglatimi oklepaji [1] ter na koncu članka zbrana v seznamu literature. Vse opombe naj bodo označene z uporabo dvignjene številke<sup>1</sup>.

### OBLIKA ČLANKA

Besedilo članka naj bo pripravljeno v urejevalniku Microsoft Word. Članek nam dostavite v elektronski obliki.

Ne uporabljajte urejevalnika LaTeX, saj program, s katerim pripravljamo Strojniški vestnik, ne uporablja njegovega formata.

Enačbe naj bodo v besedilu postavljene v ločene vrstice in na desnem robu označene s tekočo številko v okroglih oklepajih

Papers submitted for publication should comprise:

- Title, Abstract, Main Body of Text and Figure Captions in Slovene and English,
- Bilingual Tables and Figures (graphs, drawings or photographs),
- List of references and
- Information about the authors.

Since 1992, the Journal of Mechanical Engineering has been published bilingually, in Slovenian and English. The two texts must be compatible both in terms of technical content and language. Papers should be as short as possible and should on average comprise 8 pages. In exceptional cases, at the request of the authors, speciality papers may be written only in Slovene, but must include an English abstract.

For papers from abroad (in case that none of authors is Slovene) authors should provide Slovenian translation. Translation could be organised by editorial, but the authors have to pay for it. If the paper is reviewed as scientific, it can be published only in English language with Slovenian abstract, that is prepared by the editorial board.

### THE FORMAT OF THE PAPER

The paper should be written in the following format:

- A Title, which adequately describes the content of the paper.
- An Abstract, which should be viewed as a mini version of the paper and should not exceed 250 words. The Abstract should state the principal objectives and the scope of the investigation, the methodology employed, summarize the results and state the principal conclusions.
- An Introduction, which should provide a review of recent literature and sufficient background information to allow the results of the paper to be understood and evaluated.
- A Theory
- An Experimental section, which should provide details of the experimental set-up and the methods used for obtaining the results.
- A Results section, which should clearly and concisely present the data using figures and tables where appropriate.
- A Discussion section, which should describe the relationships and generalisations shown by the results and discuss the significance of the results making comparisons with previously published work. (Because of the nature of some studies it may be appropriate to combine the Results and Discussion sections into a single section to improve the clarity and make it easier for the reader.)
- Conclusions, which should present one or more conclusions that have been drawn from the results and subsequent discussion.
- References, which must be numbered consecutively in the text using square brackets [1] and collected together in a reference list at the end of the paper. Any footnotes should be indicated by the use of a superscript<sup>1</sup>.

### THE LAYOUT OF THE TEXT

Texts should be written in Microsoft Word format. Paper must be submitted in electronic version.

Do not use a LaTeX text editor, since this is not compatible with the publishing procedure of the Journal of Mechanical Engineering.

Equations should be on a separate line in the main body of the text and marked on the right-hand side of the page with numbers in round brackets.

### Enote in okrajšave

V besedilu, preglednicah in slikah uporabljajte le standardne označbe in okrajšave SI. Simbole fizikalnih veličin v besedilu pišite poševno (kurzivno), (npr.  $v$ ,  $T$ ,  $n$  itn.). Simbole enot, ki sestojijo iz črk, pa pokončno (npr.  $\text{ms}^{-1}$ , K, min, mm itn.).

Vse okrajšave naj bodo, ko se prvič pojavijo, napisane v celoti v **slovenskem jeziku**, npr. časovno spremenljiva geometrija (ČSG).

### Slike

Slike morajo biti zaporedno oštevilčene in označene, v besedilu in podnaslovu, kot sl. 1, sl. 2 itn. Posnete naj bodo v ločljivosti, primerni za tisk, v kateremkoli od razširjenih formatov, npr. BMP, JPG, GIF. Diagrami in risbe morajo biti pripravljene v vektorskem formatu.

Pri označevanju osi v diagramih, kadar je le mogoče, uporabite označbe veličin (npr.  $t$ ,  $v$ ,  $m$  itn.), da ni potrebno dvojezično označevanje. V diagramih z več krivuljami, mora biti vsaka krivulja označena. Pomen oznake mora biti pojasnjen v podnapisu slike.

**Vse označbe na slikah morajo biti dvojezični.**

### Preglednice

Preglednice morajo biti zaporedno oštevilčene in označene, v besedilu in podnaslovu, kot preglednica 1, preglednica 2 itn. V preglednicah ne uporabljajte izpisanih imen veličin, ampak samo ustrezne simbole, da se izognemo dvojezični podvojitvi imen. K fizikalnim veličinam, npr.  $t$  (pisano poševno), pripišite enote (pisano pokončno) v novo vrsto brez oklepajev.

**Vsi podnaslovi preglednic morajo biti dvojezični.**

### Seznam literature

Vsa literatura mora biti navedena v seznamu na koncu članka v prikazani obliki po vrsti za revije, zbornike in knjige:

- [1] Tarng, Y.S., Y.S. Wang (1994) A new adaptive controller for constant turning force. *Int J Adv Manuf Technol* 9(1994) London, pp. 211-216.
- [2] Čuš, F., J. Balič (1996) Rationale Gestaltung der organisatorischen Abläufe im Werkzeugwesen. *Proceedings of International Conference on Computer Integration Manufacturing*, Zakopane, 14.-17. maj 1996.
- [3] Oertli, P.C. (1977) Praktische Wirtschaftskybernetik. *Carl Hanser Verlag*, München.

### Podatki o avtorjih

Članku priložite tudi podatke o avtorjih: imena, nazive, popolne poštno naslove in naslove elektronske pošte.

### SPREJEM ČLANKOV IN AVTORSKE PRAVICE

Uredništvo Strojniškega vestnika si pridržuje pravico do odločanja o sprejemu članka za objavo, strokovno oceno recenzentov in morebitnem predlogu za krajšanje ali izpopolnitev ter terminološke in jezikovne korekture.

Avtor mora predložiti pisno izjavo, da je besedilo njegovo izvirno delo in ni bilo v dani obliki še nikjer objavljeno. Z objavo preidejo avtorske pravice na Strojniški vestnik. Pri morebitnih kasnejših objavah mora biti SV naveden kot vir.

### Units and abbreviations

Only standard SI symbols and abbreviations should be used in the text, tables and figures. Symbols for physical quantities in the text should be written in italics (e.g.  $v$ ,  $T$ ,  $n$ , etc.). Symbols for units that consist of letters should be in plain text (e.g.  $\text{ms}^{-1}$ , K, min, mm, etc.).

All abbreviations should be spelt out in full on first appearance, e.g., variable time geometry (VTG).

### Figures

Figures must be cited in consecutive numerical order in the text and referred to in both the text and the caption as Fig. 1, Fig. 2, etc. Pictures may be saved in resolution good enough for printing in any common format, e.g. BMP, GIF, JPG. However, graphs and line drawings should be prepared as vector images.

When labelling axes, physical quantities, e.g.  $t$ ,  $v$ ,  $m$ , etc. should be used whenever possible to minimise the need to label the axes in two languages. Multi-curve graphs should have individual curves marked with a symbol, the meaning of the symbol should be explained in the figure caption.

**All figure captions must be bilingual.**

### Tables

Tables must be cited in consecutive numerical order in the text and referred to in both the text and the caption as Table 1, Table 2, etc. The use of names for quantities in tables should be avoided if possible: corresponding symbols are preferred to minimise the need to use both Slovenian and English names. In addition to the physical quantity, e.g.  $t$  (in italics), units (normal text), should be added in new line without brackets.

**All table captions must be bilingual.**

### The list of references

References should be collected at the end of the paper in the following styles for journals, proceedings and books, respectively:

- [1] Tarng, Y.S., Y.S. Wang (1994) A new adaptive controller for constant turning force. *Int J Adv Manuf Technol* 9(1994) London, pp. 211-216.
- [2] Čuš, F., J. Balič (1996) Rationale Gestaltung der organisatorischen Abläufe im Werkzeugwesen. *Proceedings of International Conference on Computer Integration Manufacturing*, Zakopane, 14.-17. maj 1996.
- [3] Oertli, P.C. (1977) Praktische Wirtschaftskybernetik. *Carl Hanser Verlag*, München.

### Author information

The information about the authors should be enclosed with the paper: names, complete postal and e-mail addresses.

### ACCEPTANCE OF PAPERS AND COPYRIGHT

The Editorial Committee of the Journal of Mechanical Engineering reserves the right to decide whether a paper is acceptable for publication, obtain professional reviews for submitted papers, and if necessary, require changes to the content, length or language.

Authors must also enclose a written statement that the paper is original unpublished work, and not under consideration for publication elsewhere. On publication, copyright for the paper shall pass to the Journal of Mechanical Engineering. The JME must be stated as a source in all later publications.