

STROJNIŠKI**VESTNIK 9**

JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING

strani - pages 307 - 344

ISSN-0039-2480 . Stroj V . STJVAX

cena 800 SIT

1. Osnove za konstrukcijo algoritmov minimalne porabe goriva pri vleki

Basic Background for Minimum Fuel Consumption Algorithms in Traction
2. Preskušanje gredi kolesnih dvojic na dizelskih motornih vlakih

Testing of Axles in Wheel and Axle Sets of Diesel-Engine Trains
3. Tehnično ekonomska analiza izrabe odpadne toplote pri hlajenju strojev

Engineering Economic Analysis of Waste Heat at Machine Cooling



Vsebina

Contents

Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering
letnik - volume 45, (1999), številka - number 9

Uvodnik

A. Alujevič: Stopetdeset let železnice Celje-Ljubljana

308

Razprave

Lenart, L., Kos, L., Kariž, Z.: Osnove za konstrukcijo algoritmov minimalne porabe goriva pri vleku

310

Grum, J., Jemec, V., Beci, A.: Preskušanje gredi kolesnih dvojic na dizelskih motornih vlakih

321

Kronovšek, S., Poredoš, A.: Tehnično ekonomska analiza izrabe odpadne toplote pri hlajenju strojev

333

Poročila

339

Novice ZSITS

341

Strokovna literatura

342

Navodila avtorjem

343

Editorial

A. Alujevič: 150th Anniversary of the Celje-Ljubljana Railway

Papers

Lenart, L., Kos, L., Kariž, Z.: Basic Background for Minimum Fuel Consumption Algorithms in Traction

Grum, J., Jemec, V., Beci, A.: Testing of Axles in Wheel and Axle Sets of Diesel-Engine Trains

Kronovšek, S., Poredoš, A.: Engineering Economic Analysis of Waste Heat at Machine Cooling

Reports

News from AMETS

Professional Literature

Instructions for Authors

Uvodnik

Editorial

Stopetdeset let železnice Celje-Ljubljana 150th Anniversary of the Celje-Ljubljana Railway

V mesecu septembru, natančneje 16.9. je preteklo 150 let, odkar je pripeljal prvi uradni vlak iz Celja v Ljubljano, čeprav ni z njim prišel napovedani cesar, ki se je opravičil zaradi bolezni in poslal zastopnike (nadvojvoda, minister).

Prvi vlak v Ljubljano je pomenil razcvet industrije, ko se je mesto po marčni pomladi narodov (1848) začelo buditi kot bodoča prestolnica Slovenije na tleh tedanjih kronskih dežel in kraljestva Ilirije, vendar so politične ideje ponovno zamrle med absolutizmom naslednjih let. Navdušenje nad novo pridobitvijo ni bilo okrnjeno niti zaradi manjkajočega odseka proge čez Semmering (1854), do povezave s Trstom pa je bilo treba počakati še osem let (1857).

Takratna Ljubljana je že premogla Gruberjev prekop (1780) in po Ljubljanici je od 10.10.1840 sopihal prvi parnik. Industrija je obsegala dve cukrarni, predilnico in vevško papirnico. Zvonarna je prevzemala tudi naročila južne železnice.

V Ljubljano sta prvi vlak pripeljali lokomotivi Laibach in Terglou, ki nista ohranjeni. Ima pa najstarejšo podobno lokomotivo Steinbruck dunajski tehnični muzej, za katero vemo, da je tudi vozila po naših progah. Lokomotiva Terglou je bila izdelana 1846 pri podjetju Norris v Philadelphii z oznako 335. Težka je bila približno 17,7 ton in s pogonskimi kolesi premera 1106 mm razvila okoli 133 konjev. Kurjenje z lesom je omogočalo vlek vagonov do 170 ton in hitrost 30 km/h v ravnini. Kurjenje s koksom je povečalo zmogljivosti za 33 odstotkov (40 km/h).

Letos 25.9. so Slovenske železnice praznovale 150. obletnico s proslavo ob Vilharjevi cesti na stranskih tirih, tako da je redni promet lahko potekal nemoteno. Vabljen srenjo je iz Celja pripeljal muzejski vlak, sestavljen iz bistveno modernejše parne lokomotive in vagonov, izdelanih v tem stoletju. Hkrati sta iz drugih smeri pripeljala tudi vlaka pendolino in Siemens, ki bosta prevzela redni prevoz naslednje leto. Tako smo si lahko ogledali tudi notranjost teh hitrih vlakov (TGV), ki bodo kmalu zamenjali zastarele gomulke, zelence, kanarčke itn., ki jih je načela starost.

This month, on the 16th of September to be precise, saw the 150th anniversary of the running of the first official train from Celje to Ljubljana, although it had to do without the Emperor who had been scheduled to make the journey but was indisposed, and who sent proxies in the form of an archduke and a minister.

The first train in Ljubljana was a boom to industry, since after the 1848 Spring of Nations the town, on the site of what were then crown lands and the Illyrian kingdom, began to develop into the future capital of Slovenia. However, political aspirations once again died away during the absolutism of the following years. The excitement over the new acquisition was dimmed neither by the fact that a section of track on the line to Semmering was missing (1854) or that the completion of the connection to Trieste would require a further eight years (1857).

By that time Gruber's canal had already been constructed (1780) and from 10th of October 1840 the first steamship plied the waters of the Ljubljanica. Ljubljana's industry comprised two sugar factories, a spinning mill and the paper mill at Vevče. A bell factory also took over the orders from the southern railway.

The first train to Ljubljana was powered by the locomotives Laibach and Terglou, which unfortunately were not preserved. The oldest similar locomotive which we know ran on our tracks, the Steinbruck, is kept at the Museum of Technology in Vienna. The Terglou was manufactured in 1846 at the Norris works in Philadelphia with the number 335. It weighed approximately 17.7 tons and developed about 133 horsepower with drive wheels measuring 1106 mm. Burning wood for fuel enabled the locomotive to pull cars up to 170 tons and a speed of 30 km/h over level ground. Burning coke increased its output by 33 percent (40 km/h).

On 25th of September of this year Slovenian Railways celebrated the 150th anniversary with festivities on side tracks along Vilhar street, so that regular traffic was able to run undisturbed. Invited guests rode a museum train from Celje which was composed of a much more modern steam locomotive and cars which were produced in this century. It was met from the other direction by Pendolino and Siemens trains which will begin regular service in the coming year. Thus we were also able to view the interiors of these high-speed TGVs which will soon replace the old red, green and yellow cars which are starting to show the signs of age.

V Strojniškem vestniku smo želeli častljivo obletnico primerno poudariti s posebno tematsko številko, podobno kakor leta 1996. Pri tem nam to ni povsem uspelo, saj napovedanega uradnega prispevka SŽ nismo prejeli v dogovorjenem roku. Morda je k temu prispevala tudi sprememba v vrhu SŽ, saj je dr. Marjana Rekarja zamenjal novi direktor g. Igor Zajec. Mi pri SV vsekakor želimo s Slovenskimi železnicami še sodelovati in jim želimo še veliko uspehov v prihodnosti!

Prof.dr. Andro Alujevič
odgovorni urednik

We at the Journal of Mechanical Engineering wished to honour this memorable anniversary with a special issue, similar to the 1996 issue. We were not completely successful in that endeavour, as we did not receive the official contribution from Slovenian Railways before the deadline. Perhaps this was due to the change at the top of Slovenian Railways, as Dr. Marjan Rekar was replaced by Mr. Igor Zajec. In any case, we are looking forward to further cooperation with Slovenian Railways and wish them even greater success in the future.

Prof.Dr. Andro Alujevič
Editor-in-Charge

Osnove za konstrukcijo algoritmov minimalne porabe goriva pri vleki

Basic Background for Minimum Fuel Consumption Algorithms in Traction

Lado Lenart - Leon Kos - Zoran Kariž

Opisana je konstrukcija algoritmov, namenjenih za rešitev nekaterih problemov najnižjega nivoja pri načrtovanju voznih redov na Slovenskih železnicah. Ključni kriterij je minimalna poraba goriva. Algoritmi so zasnovani na rešitvi variacijskega problema z razširitvami glede na različnost robnih pogojev. Pri konstrukciji algoritmov ni bila uporabljena Hamiltonova teorija, rešitve slone na preprostejših izpeljavah.

© 1999 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

(Ključne besede: Slovenske železnice, načrtovanje voznih redov, algoritmi, poraba goriva)

The design of algorithms for solving some low level problems in timetable planning for Slovenian railways is described. The main aim is the use of the minimum amount of fuel. The algorithms are based on a solution of a variational problem with extensions to various types of boundary conditions. The use of the Hamiltonian theory has been avoided and the solutions are based on more simple derivations.

© 1999 Journal of Mechanical Engineering. All rights reserved.

(Keywords: Slovenian Railways, timetables planning, algorithms, fuel consumption)

0 UVOD

Standardni problem minimalne porabe goriva (MPG) se pojavlja v železniški vleki in pri drugih načinih transporta kot naloga prepeljati vlak z enega konca na drugega, v predpisanem času in s predpisano začetno in končno hitrostjo. V normalnih razmerah pride do dveh tipičnih situacij. V prvi situaciji opazi vlakovodja varnostni signal in pospešuje do predpisane hitrosti, ki jo mora doseči na glavnem signalu. V drugi situaciji mora prevoziti dano razdaljo s konstantno hitrostjo, mogoče pa je delati z majhnimi popravki hitrosti, da bi se izboljšala gospodarnost rabe goriva, ne da bi poprave vplivale na vozni red.

Gotovo je pri različnih načinih uporabe v železniški vleki MPG manj pomemben od drugih vlakovnih problemov glede na zelo svojsko in zapleteno tehnologijo. Predstavljeni pregled algoritmov MPG je zato treba gledati v širšem pomenu kakor nabor metod, ki jih lahko uporabimo tam, kjer se zdi vpliv MPG pomemben.

Pod nekimi pogoji (npr. nespremenljiva strmina tira) obstajajo analitične rešitve problema MPG, ki slonijo na načelu največje vrednosti. V praksi vendar pričakujemo uporabo izključno numeričnih algoritmov.

V drugem poglavju je MPG predstavljen formalno, v prvem delu so formulirane osnovne enačbe. V drugem delu so dane posebne rešitve na

0 INTRODUCTION

The classic minimum fuel problem (MFP) as posed by railway traction, and other similar forms of transportation, is to bring the train from the initial to the final position on the track, within the prescribed travel time, initial and final velocities. In normal traffic conditions, the following two typical situations occur. First, the operator observes the warning signal and must accelerate to reach the prescribed velocity at the main signal. Second, the given distance must be covered with constant velocity, although small velocity corrections are allowed to improve the fuel economy without affecting the time schedule.

It is clear that the MFP in railway traction is of less importance than other problems of traction which concern very specific and complex technology. This present review of MFP algorithms must then be regarded, in a broader sense, as a toolbox which could be used if the MFP becomes significant.

Under certain circumstances (e.g. constant track slope), analytic solutions of the MFP problem exist, based on the principle of maximality. In practice however, only the use of numerical solutions is to be expected.

In section 2, the MFP is presented in formal terms, in the first part, basic equations are formulated. In the second part, a particular solution is given

podlagi variacijskega računa. Tretji del obravnava vpliv strmine tira. Do optimalne rešitve je v vseh primerih bilo mogoče priti brez uporabe teorema maksimuma v krmilni teoriji.

based on the variational calculus. In the third part change in the rail inclination is addressed. The optimum solution can be achieved without the use of the maximum principle in the control theory.

1 FORMALIZACIJA PROBLEMA MINIMALNE PORABE GORIVA

1 FORMALIZATION OF MINIMUM FUEL CONSUMPTION PROBLEM

1.1 Osnovne enačbe

1.1 Basic statements

Osnovni izraz za gibanje vlaka kot zgoščene masne točke je [1]:

The general expression for the movement of a train with mass concentrated at a single point is [1]:

$$(m_l + m_t) \frac{d^2 x}{dt^2} = u - R_t - R_l - (m_l + m_t) g i_g \quad (1),$$

kjer pomenijo: x - razdalja od startne točke, t - čas, m_l in m_t - ekvivalentne mase lokomotive in vlaka, vključno rotacijske mase, u - vlečno silo, R_t - povprečni upor vlaka, R_l - povprečni upor lokomotive, i_g - vpliv strmine tira. Upor vlaka lahko aproksimiramo s polinomom drugega reda v odvisnosti od hitrosti. S pozitivnimi polinomskimi koeficienti a, b, c lahko (1) prepišemo kot:

where x is the distance from the starting point, t is the time, m_l and m_t are the equivalent masses of the locomotive and train including rotating masses, u is the tractive force, R_t is the average resistance of the train, R_l is the average resistance of the locomotive, and i_g represents the slope of the track. The resistance of the train can be approximated with a 2nd order polynomial in terms of velocity. With positive polynomial coefficients a, b, c eq. (1) can be rewritten as:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = u - \left[a \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 + b \frac{dx}{dt} + c \right] - m g i_g \quad (2).$$

Robni pogoji so dani z:

The boundary conditions are given as:

$$\begin{aligned} (t = 0) : x = x_0; \quad \frac{dx}{dt} = v = v_0 \\ (t = t_f) : x = x_f; \quad \frac{dx}{dt} = v = v_f \end{aligned} \quad (3).$$

Zaradi enostavnosti naj velja vedno predlog 1, razen če njegova veljavnost ni neposredno odpravljena v spremnem besedilu.

For the sake of simplicity, proposition 1 is valid unless stated otherwise.

Predlog 1:

Hitrost je nepadajoča funkcija v t in x .

Proposition 1:

Velocity v is a nondecreasing function of t and x .

Celotna masa vlaka m je enaka vsoti $m_l + m_t$. Glede na eksperimentalne podatke [1] lahko v normalnem področju hitrosti zanemarimo konstante b, c, i_g v (2) in tako omogočimo, da se analitični izrazi zapišejo bolj kompaktno. Če je vlečna sila u in velja predlog 1, je rešitev enačbe (2) $v = dx/dt$ dana s (4):

The total mass of the train m equals the sum $m_l + m_t$. According to the experimental data in [1], the constants b, c, i_g in (2) can be neglected for normal velocities, thus enabling analytic solutions to be written in a more compact form. If the traction force u is constant and proposition 1 is true, the solution of eq. (2) is $v = dx/dt$ from eq. (4):

$$k = \sqrt{\frac{u}{a}}; \quad w = \frac{2ka}{m}; \quad e_1 = \frac{v_0 + k}{v_0 - k} e^{w \cdot t}; \quad v(t; v_0, u) = -k \frac{1 + e_1}{1 - e_1} \quad (4).$$

Prostor rešitev (4) mora biti dopolnjen z ustaljeno hitrostjo $v = \sqrt{u/a}$. Razdalja x je integral enačbe (4):

The velocity $v = \sqrt{u/a}$ must be added to the solutions of eq. (4). The distance x is derived by integrating eq. (4):

$$\begin{aligned} p = \frac{v_0 + k}{v_0 - k}; \quad p_1 = \ln(1 - e^{w p t}) \\ x(t; v_0, u) = -kt + \frac{2kp_1}{w} - \frac{2k \ln(1 - p)}{w} \end{aligned} \quad (5).$$

Z vložitvijo $v = dx/dt$ je mogoče rešiti (2) v obliki:

$$v(x; v_0, u) = \left[\frac{u}{a} - \left(\frac{u}{a} - v_0^2 \right) \exp\left(-2 \frac{a}{m} x\right) \right]^{1/2} \quad (6).$$

Inverzni rešitvi enačb (6) in (4) sta enačbi:

$$x(v; v_0, u) = \frac{m}{2a} \ln \left(\frac{u_0/a - v_0^2}{u/a - v^2} \right) \quad (7),$$

$$t(v; v_0, u) = \frac{m}{2\sqrt{ua}} \ln \left[\frac{-v - k v_0 - k}{-v + k v_0 + k} \right] \quad (8).$$

Z vstavljanjem (6) v (8) dobimo analitični izraz za $t = t(x; v_0, u)$.

Za rešitev MPG je treba najti vlečno silo u kot funkcijo t , ki minimizira integral v (9):

$$\int_0^{t_f} u dt = \min \quad (9).$$

Enačbe (2), (3) in (9) predstavljajo problem minimalne porabe goriva [2].

1.2 Problem minimalne porabe goriva v variacijskem računu

Iz enačb (1) ali (2) je mogoče u izraziti kot funkcijo $u = u(t, x, x', x'')$ neodvisne spremenljivke t , odvisne spremenljivke x , in njenih derivacij po času x', x'' . Funkcional v (9) je mogoče pisati v obliki:

$$J(x) = \int_0^{t_f} f(t, x, x', x'') dt = \int_0^{t_f} (\alpha x'' + \beta x^2) dt = \min \quad (10)$$

s primernimi konstantami α, β in robnimi pogoji v (3).

Enačbi (10) in (3) sta dobro znani v variacijskem računu. Prirejena Eulerjeva enačba je:

$$\frac{\partial f}{\partial x} - \frac{d}{dt} \frac{\partial f}{\partial x'} + \frac{d^2}{dt^2} \frac{\partial f}{\partial x''} = 0 \quad (11).$$

Enačba (11) je diferencialna enačba četrtega reda s štirimi integracijskimi konstantami, ki jih je mogoče izračunati iz (3). Z vstavitvijo funkcije f iz enačbe (10) v enačbo (11) dobimo:

$$0 - \frac{d}{dt} (2\beta x') + \frac{d^2}{dt^2} (\alpha) = 0; \Rightarrow x'' = 0; \Rightarrow x' = konst \quad (12).$$

Iz izraza za u v (10) in ker je $x'' = 0$ in $x' = konst$, izhaja, da je optimalno krmiljenje u konstantno. Fizikalna interpretacija tega naj bo izražena v naslednji lemi.

Lema 1:

Če je enačba gibanja podana v (1) in če objekt preide pot med 0 in x_f s konstantno hitrostjo (kar implicira $v_0 = v_f$ in $u = konst$) in so pri tem robni

After substituting $v = dx/dt$ eq. (2) can be expressed as:

Inverse solutions for eqns. (6) and (4) are:

If eq. (6) is inserted into (8) the analytical expression for $t = t(x; v_0, u)$ can be obtained.

To solve the MFP, the traction force u must be determined found as a function of t which minimizes the integral in eq.(9):

Eqns. (2), (3) and (9) represent the minimum fuel problem [2].

1.2 Minimum fuel consumption problem in variational calculus

From eqs.(1) or (2) u can be expressed as a function $u = u(t, x, x', x'')$ of independent variable t , dependent variable x , and its time derivatives x', x'' . The functional in eq.(9) can then be expressed in the form:

with suitable constants α, β and the boundary conditions in eq.(3)

Eqns. (10) and (3) are a well known problem in variational calculus. The adjoint Euler equation is:

Eq. (11) is a 4th order differential equation with 4 integration constants, which can be calculated from eq. (3). If the function f from eq. (10) is inserted into eq. (11) the result is:

It follows from the expression for u in eq. (10) when $x'' = 0$ and $x' = konst$. that the optimum control of u is constant. The physical interpretation of this fact shall be formulated in the next lemma.

Lemma 1:

If eq. (1) is the equation of motion and the object traverses the path between 0 and x_f with constant velocity (implying that $v_0 = v_f$ and $u = konst$.) with

pogoji v (3) že izpolnjeni, potem je funkcional porabe goriva v (10) minimalen v množici sočasnih rešitev.

Naj se fizikalni model v lemi 1 spremeni v toliko, da v intervalu $[0, x_f]$ ostane tak kakršen je, v dodatnem diferenčnem časovnem koraku $[t_f, t_f + \Delta t_f]$ pa objekt pospešuje s konstantnim vlekem u in doseže končno hitrost $v_f + \Delta v_f$ v času $t_f + \Delta t$. Enačbo (2) pri $t = t_f$ potem lahko napišemo v diferenčni formi:

$$m \frac{\Delta v}{\Delta t} + av^2 = u \quad (13).$$

Iz te enačbe se izračuna impulz goriva $u\Delta t$:

$$u\Delta t = \frac{m\Delta v u}{u - av^2} \quad (14).$$

V primeru pospeševanja je seveda $u > av^2$ in potem funkcija v (14) monotono pada z naraščajočim u . Z drugimi besedami: poraba goriva se zmanjšuje, če je za vleko uporabljena večja sila. Potemtakem je optimalno krmiljenje neskončni pozitivni u -impulz z omejeno vrednostjo za uporabo goriva, ki trenutno poveča hitrost objekta od v_f do $v_f + \Delta v$. Naravno je, da je velikost vlečne sile tehnološko omejena.

Ker je postavka o u impulzu bistvenega pomena, naj bo argumentirana še na drug način. Naj se sistem po lemi 1 spremeni v toliko, da je sekcija $[0, x_f]$ razdeljena na dvoje intervalov, $[0, x]$ in $[x, x_f]$ in je $x \in [0, x_f]$. Časi pospeševanja naj bodo zanemarjeni in hitrosti objekta v prvem in drugem intervalu naj bosta konstantni in enaki v_1 oziroma v_2 . Potem je MPG mogoče pisati v obliki:

$$\frac{x}{v_1} + \frac{x_f - x}{v_2} = t_f \quad (14b).$$

$$v_1 x + v_2 (x_f - x) = \text{Min}$$

Prva enačba v (14b) je omejitev, druga je kriterijska funkcija. Po lemi 1 je rešitev (14b) enaka $v_1 = v_2 = v_a$ za poljuben $x \in [0, x_f]$. Sistemu naj bo potem dodana še ena omejitev $v_2 = v_{2f}$ z dodatnim pogojem $v_{2f} > v_a$. Lahko se je prepričati, da je rešitev tega novega sistema $x = x_f, v_1 = v_a$ in seveda $v_2 = v_{2f}$. Ta oblika rešitve zahteva, da v točki x_f hitrost trenutno naraste od v_1 na v_{2f} , kar je mogoče storiti samo z u impulzom. Potem zaradi obeh dokazov o pomenu u impulza drži sledeča lema:

Lema 2:

Sistem iz leme 1 naj bo razširjen s pospeševanjem objekta v trenutku t_f od v_f do $v_f + \Delta v_f$ s pozitivnim Δv_f . Potem je optimalno krmiljenje dvostopenjsko. V prvi fazi je optimalno krmiljenje podano z lemo 1 v intervalu $0 \leq t \leq t_f$. Krmiljenje

the boundary conditions in eq. (3) already fulfilled, then the functional in eq. (10) is minimised in the set of concurrent solutions.

Let the physical model in lemma 1 be changed such that in the interval $[0, x_f]$ it remains unchanged and in the additional differential time interval $[t_f, t_f + \Delta t_f]$ the object accelerates under constant u and reaches its final velocity $v_f + \Delta v_f$ at time $t_f + \Delta t$. Eq. (2) at $t = t_f$ can then be written in the differential form:

From this equation the fuel-impulse $u\Delta t$ is :

Clearly in the case of acceleration $u > av^2$, then the function in eq. (14) monotonically decreases with increasing u . In other words, the fuel consumption decreases when greater traction force is applied. Then the optimal control is the infinite positive u -impulse with limited fuel consumption value, which instantaneously changes the velocity of the object from v_f to $v_f + \Delta v$. Naturally the intensity of u is technologically restricted.

As the statement about u impulse is the essential one, it shall be proved otherwise else. Let the system in lemma 1 be changed in the sense, that the section $[0, x_f]$ is divided in two intervals $[0, x]$ in $[x, x_f]$ with $x \in [0, x_f]$. If the acceleration times are neglected, then the object velocities in the first resp. second interval shall be constant v_1 resp. v_2 . Then the MFP can be written by:

The first equation in (14b) is the constraint, the second one is the objective function. By lemma 1 the solution of eq. (14b) is $v_1 = v_2 = v_a$ with arbitrary $x \in [0, x_f]$. Let then the additional constraint be adopted that $v_2 = v_{2f}$ and $v_{2f} > v_a$. It is easy to see that the solution of this new problem is $x = x_f, v_1 = v_a$ and clearly $v_2 = v_{2f}$. This form of solution requires, that at the point x_f the velocity instantly increases from v_1 to v_{2f} , and this can just be done with the u impulse. Then with these findings about u impulse the next lemma holds:

Lemma 2:

Let the system from lemma 1 be extended with an acceleration of the object at the time instant t_f from v_f to $v_f + \Delta v_f$ with Δv_f positive. Then the optimal control is two-stage, and in the first stage optimal control is given by lemma 1 in the interval

v drugi stopnji je maksimalna vlečna sila u_{\max} , ki traja, dokler objekt ne doseže hitrosti $v_f + \Delta v$ in interval $t > t_f$.

Podobno lahko analiziramo gibanje objekta, če sistem iz leme 1 ekspandira proti levi z začetno hitrostjo $v_0 - \Delta v$ ob času $-\Delta t$.

Optimalno krmiljenje za sistema v enačbah (2), (3) in (9) za $v_f > v_0$ lahko določimo takoj. Naj bodo rešitve enačb (4) oz. (5) napisane kot funkcije parametrov $v = v(t; v_0, u)$ in $x = x(t; v_0, u)$. Z uporabo označb s slike 1 je mogoče postaviti naslednji sistem enačb:

$$\begin{aligned}x_1 &= x(t_1; v_0, u_{\max}) \\v_1 &= v(t_1; v_0, u_{\max}) \\x_2 &= v_1 t_2 \\x_3 &= x(t_3; u_{\max}, v_1) \\v_f &= v(t_3; v_1, u_{\max}) \\x_f &= x_1 + x_2 + x_3 \\t_f &= t_1 + t_2 + t_3\end{aligned}\tag{15}$$

Sistem sedmih nelinearnih enačb s sedmimi neznankami $(x_1, x_2, x_3, t_1, t_2, t_3, v_1)$ ima, kar je v splošnem dovolj nenavadno, analitično rešitev. Ker je $(t_1 + t_3) = t(v_f; v_0, u_{\max})$ po enačbi (8) in $(x_1 + x_3) = x(v_f; v_0, u_{\max})$ po enačbi (7), je ustaljena hitrost v_1 podana z:

$$v_1 = \frac{x_f - (x_1 + x_3)}{t_f - (t_1 + t_3)}\tag{16}$$

Druge spremenljivke v (15) lahko izračunamo neposredno. Iz rešitvene sheme zgoraj sledi, da lahko sistem enačb (15) poenostavimo na enačbe za posamezne spremenljivke v eksplicitni obliki. Rešitve na sl.1 so bile računane s podatki iz preglednice 1 s faktorjem upora a kot parametrom. Rezultati za $a = 0,6$ so bili potrjeni tudi numerično z drugimi postopki in rezultati so prikazani na sliki 2. Na njej je izvljučena črta rešitev za primer uporabe kriterija minimalne energije po enačbi (19). Rešitve so v okviru toleranc različnih numeričnih postopkov identične.

Krmilno strategijo na slikah 1 in 2 lahko preprosto formuliramo v lemi 3.

Lema 3:

Krmilna strategija z namenom, da bi bila poraba goriva kar najmanjša, je za sistem opisana v enačbah (15) in ob veljavnosti predloga 1 je trostopenjska strategija. V prvi stopnji je krmiljenje največja vlečna sila u_{\max} , ki vleče toliko časa, da hitrost doseže v_1 iz enačbe (16). V drugi stopnji se objekt premika s stalno hitrostjo v_1 . V tretji stopnji objekt pospešuje zaradi vlečne sile u_{\max} od v_1 do končne hitrosti v_f .

$0 \leq t \leq t_f$. The control action in the second stage is the maximum traction force u_{\max} , applied until the object reaches $v_f + \Delta v$ in the interval $t > t_f$.

In a similar manner a motion analysis can be made if the system from lemma 1 is 'left expanded' with start velocity $v_0 - \Delta v$ at the time instant $-\Delta t$.

The optimal control for the system in eqs.(2), (3) and (9) for $v_f > v_0$ can now be determined. Let the solutions of eqs. (4) and (5) respectively, be written as functions of parameters $v = v(t; v_0, u)$ and $x = x(t; v_0, u)$. Using the notations from fig. (1) the system of equations can be set up as follows:

The system of 7 nonlinear eqs. (15) with 7 unknown variables $(x_1, x_2, x_3, t_1, t_2, t_3, v_1)$ can easily be solved analytically. As $(t_1 + t_3) = t(v_f; v_0, u_{\max})$ according to eq. (8) and $(x_1 + x_3) = x(v_f; v_0, u_{\max})$ according to eq. (7) the constant velocity v_1 is:

Other unknowns in eq. (15) can be obtained directly. From the above approach it follows, that the eqns. system (15) can be reduced to a single variable equation in its explicit form. Solutions in fig. (1) were calculated for the data in table 1 with resistance factor a as a parameter. These results for $a = 0.6$ were verified numerically using other methods and the results appear in fig. 2, where the solid line symbolizes the solution if the minimum energy criterion in eq.(19) is applied. The results are identical within the limits of numerical accuracy.

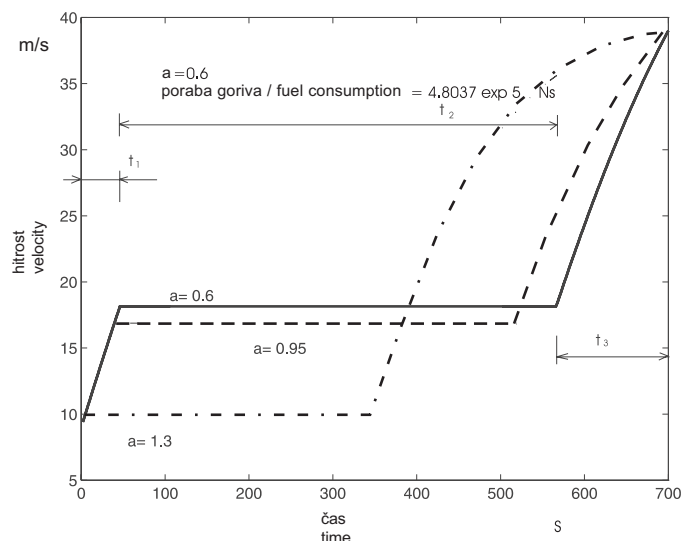
The control strategy from fig. (1) and fig.(2) can be simply formulated in lemma 3.

Lemma 3:

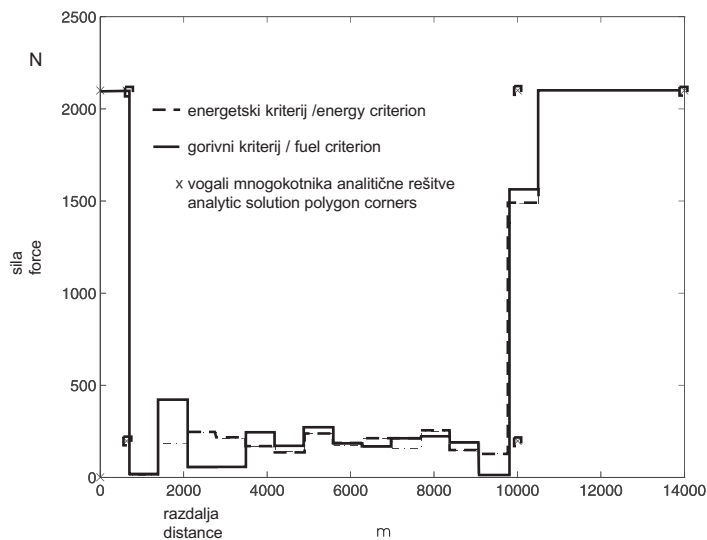
Given that proposition 1 is valid, the minimum fuel control strategy given by eq. (15) is three-staged. In the first stage the control variable equals the maximum of the traction force, u_{\max} , which is applied until the velocity reaches v_1 , as given in eq.(16). In the second stage the object is moving with constant velocity v_1 . In the third stage the object accelerates from v_1 under u_{\max} until the final velocity v_f is reached.

Preglednica 1. Modelni parametri numeričnih rešitev
 Table 1. Model parameters for numeric solutions

opis description	oznaka symbol	vrednost value	enote units
masa vlaka train mass	m	10000	kg
kvadr. upor quadr. resist.	a	0,6	kg/m
začetna hitrost initial velocity	v_0	9	m/s
končna hitrost final velocity	v_f	39	m/s
največja sila vleke max.traction force	u_{max}	2100	N
dolžina poti path length	x_f	14000	m
čas prevoza crossing time	t_f	700	s



Sl. 1. Optimalni hitrostni profili
 Fig.1. Optimal velocity profiles



Sl. 2. Optimalno krmiljenje vlečne sile
 Fig. 2. Tracking force optimal control

Pravi razlog za uvedbo predloga 1 je dejstvo, da se lahko potem problem minimalne porabe goriva rešuje analitično po enačbi (16). Naj bo najprej predlog 1 obrnjen, tj. hitrost naj bo kvečjemu nemonotono padajoča funkcija. Figurativno sta sedaj funkcijska grafa na sl.1 in sl. 2 zrcaljena okoli osi x . Sila vleke (oz. zaviranja) v fazah negativnega pospeška je minimalna ali enaka 0. Analitična rešitev po (16) seveda tudi v tem primeru obstaja. Lahko se predlog 1 tudi kar opusti. Optimalna rešitev za tak splošen primer je dana v naslednji lemi:

Lema 4:

Optimalna strategija v MFP je trifazna strategija: v prvi fazi je treba uporabiti največjo ali najmanjšo vlečno moč, v drugi fazi je hitrost nespremenljiva in v tretji fazi mora biti vlečna moč najmanjša ali največja.

Če je vlečna sila u v lemi 4 v prvi fazi enaka tisti v tretji fazi, je mogoče izrabiti analitično rešitev po enačbi (16). V nasprotnem primeru je treba numerično reševati minimalni problem za določitev hitrosti v drugi fazi, tj. hitrosti v_1 .

Optimalna strategija je invariantna glede na spremembo končne hitrosti v_f . Poraba goriva se zmanjšuje z v_f , dokler je $v_f > v_0$. Če se v_f izenači z ustaljeno hitrostjo v_1 , se lahko izpusti robni pogoj v_f v (3) in je najmanjša poraba goriva dosežena za v_1 , ki se računa po (17) z krmilno strategijo po lemi 4a:

$$x_f - x(v_1; v_0, u_{\max}) = (t_f - t(v_1; v_0, u_{\max}))v_1 \quad (17).$$

Lema 4a:

Strategija najmanjše porabe goriva pri reduciranih robnih pogojih v_0, t_f, x_f, v_f , (tj. če je v_f ustaljena hitrost v_1) v (3) je dvofazna strategija. Najprej je treba z vlečno silo u_{\max} doseči ustaljeno hitrost v_1 kot rešitev (17), v drugi fazi ostane ta hitrost stalna do konca intervala t_f oz. x_f .

Varianto MPG, kakor je formulirana v (2), (3) in (9) z veljavnim predlogom 1, je mogoče spremeniti v krmilni problem s prostim koncem, če t_f v (3) ni določen. Naravna rešitev problema je potem taka, da se objekt upočasni proti $u=0$, medtem ko se čas prehoda neomejeno povečuje. Za izločitev tega pojava je treba uvesti 'kazen' za počasno vožnjo, npr. s ponovno uvedbo negativne konstante - sile trenja c v (2). Vsekakor ostaneta veljavni lemi 1 in 2 z največjo vlečno silo u_{\max} v fazah pospeševanja. Optimalna strategija je potem enaka tisti v lemi 3 s to spremembo, da je hitrost v_1 nadomeščena z ekonomično hitrostjo v_e . Le to je mogoče izračunati iz enačbe (18), v kateri je

The real reason for introducing proposition 1 is that the minimum fuel problem can be solved analytically using eq. (16). Let the first proposition be reversed, i.e. the velocity can only be a non-monotonically increasing function, then the function graphs in fig. 1 and fig. 2 are mirrored in the x -axis. The traction (or braking) force in the phases of deceleration is the minimum or equal to zero. The analytical solution according to eq. (16) exists also in this case and proposition 1 can be completely neglected. The optimum solution for such a general case can then be given as in the next lemma:

Lemma 4 :

The optimum strategy in the MFP is the three-phase strategy: in the first phase the maximum or minimum force u must be applied, in the second phase the velocity is constant and in the third phase the maximum or minimum force must be applied again.

If the traction force u , in lemma 4, in the first phase is equal to that of the third phase, then the analytic solution according to eq. (16) is possible, otherwise it should be solved numerically to determine the velocity in the second phase, v_1 .

The optimum strategy is invariant according to the change in velocity, v_f . Fuel consumption decreases with v_f until $v_f > v_0$. If v_f becomes equal to the velocity v_1 , then the boundary condition v_f in eq. (3) can be omitted and the minimum fuel consumption is achieved for v_1 as calculated in eq. (17) under the control strategy in lemma 4a:

Lemma 4a:

The minimum fuel control strategy with a reduced set of boundary conditions v_0, t_f, x_f, v_f , (i.e. if v_f is the constant velocity v_1) in eq. (3) is the two-phase strategy. The velocity v_1 , as the solution to eq. (17), should be achieved first by applying the traction force u_{\max} , during the second phase the velocity remains constant until the end of the interval t_f or x_f .

The MFP as formulated in eqs.(2), (3) and (9) with the valid proposition 1 can be converted to the 'free end' control problem, if t_f in eq. (3) remains undetermined. The 'natural' solution then is that the object slows down under $u = 0$ while the travelling time increases infinitely. To block this behaviour, the slow motion must be 'penalized', e.g. by setting constant c in eq. (2) to be the negative constant friction force, and lemmas 1 and 2 remain valid with the maximum traction force u_{\max} in the acceleration phases. Then the optimum strategy is the same as that in lemma 3, with the exception that the velocity v_1 is replaced with the economic velocity v_e . This velocity can be calculated from eq. (18)

postavljena zahteva, da je poraba goriva pri ustaljenem gibanju najmanjša:

providing that the fuel consumption at the constant velocity is a minimum:

$$ut_f = (v^2 a + c) \frac{x_f}{v} = \min \quad (18).$$

Če je odvod (18) po spremenljivki v enak ničli, je iz te nove enačbe mogoče izračunati optimalno vrednost $v_e = \sqrt{c/a}$. Krmilna strategija se opiše z naslednjo lemo:

Setting the velocity derivative of eq. (18) to zero gives the optimum value for $v_e = \sqrt{c/a}$. The control strategy can then be described in the following lemma:

Lema 4b:

Najmanjša strategija porabe goriva za problem s prostim koncem z neznanim končnim časom t_f je trofazna strategija, kakor je formulirana v lemi 3, če je v_1 zamenjan z ekonomično hitrostjo v_e . Držati mora predlog 1.

Lemma 4b:

The minimum fuel control strategy for the 'free end' with unknown finishing time t_f is a three-phase strategy as formulated in lemma 3, if v_1 is replaced by the economic velocity v_e and proposition 1 holds true.

Primerno rešitev za vse dosedaj obravnavane primere bi bilo mogoče dobiti tudi z uporabo Hamiltonove funkcije in Pontrjaginovega načela največje vrednosti, vendar se zdi izbrana pot bolj premočrtna in preprosta.

The proper solution in all the above cases could be obtained using the Hamiltonian function and Pontryagin's maximum principle, however, the method described above is much more straightforward and simpler.

Poglavje sklenimo s pripombo, da so nekatere dobljene rešitve veljavne tudi za problem z najmanjšo energijo. V tem primeru funkcional v (10) zapišemo v naslednji obliki:

This section can be brought to a close with the statement that some solutions obtained are also valid for the minimum energy problem. In this case the functional in eq. (10) is written as:

$$J_e(x) = \int_0^{t_f} f(t, x, x', x'') x' dt = \int_0^{t_f} f_e(t, x, x', x'') dt \quad (19).$$

Sklep, dobljen v (12), tj. $x' = konst$ ostane veljaven in zato drži lema 1. Nadalje je po analogiji s (13) in (14) treba pokazati, da je nujno potrebno uporabiti največjo vlečno silo u_{max} , če naj se hitrost zveča za Δv ob najmanjši porabi energije. Porabo energije na skrajnem desnem intervalu poti po lemi 2 zapišemo v naslednji obliki:

The conclusions from eq. (12), i.e. $x' = konst$. remain valid and therefore lemma 1 holds. Next, from an analogy with eqs. (13) and (14) it must be shown that the maximum force u_{max} must be applied if one wishes to increase the velocity by Δv with the minimum energy consumption. The energy consumption in the extended interval by lemma 2 can be written as:

$$u\Delta s \cong u\Delta t \left(v + \frac{\Delta v}{2} \right) = \frac{m\Delta v u}{u - av^2} \left(v + \frac{\Delta v}{2} \right) \quad (14a).$$

Analogno z enačbo (14) se funkcija (14a) monotono znižuje z naraščajočim u . Torej držita tudi lemi 2 do 4.

Analogously to eq. (14) the function in eq.(14a) monotonically decreases with the increasing u . Consequently lemmas 2 to 4 are also valid.

1.3 Spremembe v strmini tira

1.3 Change in track inclination

V točkah 1.1 in 1.2 je bil gravitacijski faktor mg_i v (2) enak ničli. Pri praktični uporabi MPG algoritmov se ta faktor spreminja s strmino tira in enačb (15) ni mogoče neposredno uporabiti. Da bi dobili občutek, kako sprememba strmine tira vpliva na rešitev MPG, lahko začnemo z dinamičnim modelom M_v , v katerem je zanemarjena poraba goriva v fazah pospeševanja in je gravitacijski faktor koračno konstantna funkcija g_i na i -tem odseku dolžine x_f/n vzdolž osi x . Naj bosta potem robna pogoja le čas prevoza t_f in dolžina poti x_f . Problem MFP sedaj lahko zapišemo z enačbama (20) in (21), pri tem je J poraba goriva:

In sections 2.1 and 2.2 the gravitational factor mg_i in eq.(2) was set to zero. For the practical use of the MFP algorithms, however, this factor changes with the track inclination and consequently the system of eq. (15) cannot be used directly. To better understand how this change affects the MFP solution one can start from the dynamic model M_v where the fuel consumption in the acceleration phases is neglected and the gravitation factor is a constant function g_i in the i -th section of the length x_f/n over x axis. Let the crossing time t_f and the path length x_f be the only boundary conditions. Eqs. (20) and (21) can then be written with J as the fuel consumption:

$$t_f = \sum_i \frac{x_f}{n} \frac{1}{v_i} \quad (20)$$

$$J = \sum_i (g_i + av_i^2) \frac{x_f}{n} \frac{1}{v_i} \quad (21),$$

n v (20), (21) je celoštevilčna konstanta in v_i je nespremenljiva sekcijska hitrost. Optimizacijski problem z omejitvami v (20) in (21) je mogoče rešiti z Lagrangeovo funkcijo (22):

$$L = \sum_i (g_i + av_i^2) \frac{x_f}{nv_i} + \lambda \left[\left(\sum_i \frac{x_f}{nv_i} \right) - t_f \right] \quad (22).$$

Parcialno odvajanje enačbe (22) po spremenljivki v_i in izenačitev odvoda z ničlo da (23):

$$v_i^2 = \frac{g_i + \lambda}{a} \quad (23).$$

Po odvajanju (22) po spremenljivki λ in izenačitvi odvoda z ničlo po uporabi (23) rezultira enačba (24), ki se lahko numerično razreši po λ :

$$-t_f + \sum_i \frac{x_f}{n} \frac{a}{\sqrt{g_i + \lambda}} = 0 \quad (24).$$

Iz fizikalne interpretacije (20) in (21) izhaja, da minimum sistema (20) in (21) vedno obstaja za $n = 2$ in lahko se pokaže veljavnost naslednje enačbe (25):

$$J(g_1, g_2, v_1, v_2) = J(0, g_2 - g_1, v_1, v_2) + 2g_1 t_f \quad (25).$$

Iz (25) je očitno, da je lega minimuma (v_1^*, v_2^*) odvisna samo od razlike v gravitacijskih faktorjih g_1, g_2 , saj sta odvoda po v_1, v_2 funkcij $J(g_1, g_2, v_1, v_2)$ in $J(0, g_2 - g_1, v_1, v_2)$ enaka. Potem je lahko za $n = 2$ gravitacijska komponenta g_1 kar enaka ničli in Lagrangeovo funkcijo po skaliranju in normalizaciji zapišemo z novimi koeficienti a', g_2', t_f' kot (26):

$$L = a'v_1 + \left(\frac{g_2'}{v_2} + a'v_2 \right) + \lambda \left(\frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2} - t_f' \right) \quad (26).$$

Lagrangeov koeficient λ lahko izrazimo neposredno iz $\partial L / \partial v_1 = 0$ in $\partial L / \partial v_2 = 0$ kot funkcijo v_1 oz. v_2 . Po izenačitvi obeh izrazov sledi (27):

$$v_1 = \sqrt{v_2^2 - \frac{g_2'}{a'}} \quad (27).$$

Po vstavitvi (27) v izraz $\partial L / \partial \lambda = 0$ sledi posredna enačba (28) za račun v_2 .

$$v_2^2 = (t_f' v_2 - 1)^2 \left(v_2^2 - \frac{g_2'}{a'} \right) \quad (28)$$

Enačba (28) je polinom četrte stopnje po v_2 in jo lahko rešimo numerično ali z radikali. Tehnološko primerna množica rešitev MPG za

n in eqs.(20) and (21) is an integer constant and v_i is the constant section velocity. The constraint optimization problem in eqs. (20) and (21) can be solved with the Lagrangian in eq. (22):

The partial derivative of eq. (22) with respect to v_i and setting the derivatives to zero gives eqs. (23):

After taking the derivative of eq. (22) with respect to λ and setting the derivative to zero and using eq. (23), then eq. (24) is obtained which can be numerically resolved in terms of λ :

Further more, it follows from the physical interpretation of eqs. (20) and (21) that the minimum of the system, (21) and (22), always exists for $n = 2$ and that the following eq. (25) can be proved:

It is clear from eq. (25), that the position of the minimum (v_1^*, v_2^*) depends only on the difference in the gravity factors g_1, g_2 , because the derivatives of $J(g_1, g_2, v_1, v_2)$ and $J(0, g_2 - g_1, v_1, v_2)$ with respect to v_1, v_2 are equal. Then for $n = 2$ the gravitational component g_1 can be zeroed and the Lagrangian written after scaling and normalization with new coefficients a', g_2', t_f' as in eq. (26):

The Lagrangian coefficient λ can be directly expressed from $\partial L / \partial v_1 = 0$ and $\partial L / \partial v_2 = 0$ as a function of v_1 and v_2 respectively. After setting both the expressions to be equal it follows that:

If eq. (27) is inserted into the expression $\partial L / \partial \lambda = 0$ the implicit eq.(28) follows for v_2 .

Eq. (28) above, is a fourth order polynomial of v_2 which can be solved numerically or with radicals. The technologically meaningful set of solutions of the MFP

Lagrangeov problem (26) je prikazana na sliki 3. Interpretacija izraza (27) je podana v lemi 5.

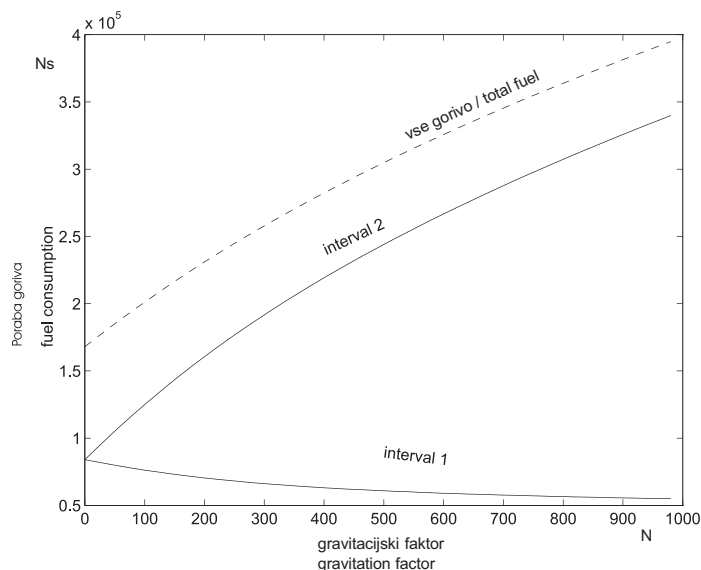
Lema 5:

Pri dinamičnem modelu M_v povečanje gravitacijskega faktorja v točki x_c v intervalu $[0, x_f]$ od vrednosti g_1 na $g_2 > g_1$ povzroči povečanje nespremenljive vlečne sile in povečanje hitrosti v intervalu $[x_c, x_f]$ in zmanjšanje nespremenljive vlečne sile in hitrosti v intervalu $[0, x_c]$, če naj bo količina porabljenega goriva najmanjša.

for the Lagrangian problem (26) is presented in fig . 3. The interpretation of eq. (27) is formulated in lemma 5.

Lemma 5:

For the dynamic model M_v the increase in gravity factor at point x_c in the interval $[0, x_f]$ from value g_1 to $g_2 > g_1$ induces an increase in constant driving force and velocity in the interval $[x_c, x_f]$ and induces a decrease in the constant driving force and velocity in the interval $[0, x_c]$, if the fuel consumption has to be held at the minimum.



Sl. 3. Najmanjša poraba goriva v odvisnosti od gravitacijske komponente
Fig. 3. Minimum fuel consumption as function of gravitational component

2 SKLEP

Opisani so nekateri algoritmi in strategije pri vleki s kriterijem najmanjše porabe goriva. Algoritmi so konstruirani na elementarnih dejstvih, tako da se je bilo mogoče izogniti Hamiltonovi teoriji optimalnega krmiljenja. Razviti so bili numerični algoritmi, ki temeljijo na računu najkrajših časov v grafih [3], na modificirani Newton - Raphson metodi in na kombinaciji Frechet-jevega odvoda z linearnim programiranjem. Od stohastičnih algoritmov je bila uporabljena enostavna varianta simuliranega ogrevanja.

Opis numeričnih algoritmov v članku ni vključen. Numerični rezultati potrjujejo kontrolne strategije kot so le te opisane v lemah 1 do 4. Niso pa bile uporabljene metode dinamičnega programiranja, kot v [4] in [5].

Kljub temu, da numerične tehnike niso posebej opisane, predstavljajo osnovni razlog za postavitev algoritmov optimalne porabe goriva. Tipično za njih je namreč krmiljenje tipa 'vklop - izklop', ki pri računski obdelavi lahko poslabša

2 CONCLUSION

The few traction algorithms and strategies are described with the minimum fuel consumption as the criterion function. Algorithms are derived from elementary ideas avoiding the Hamiltonian theory. Numerical algorithms were developed, based on the shortest time graph algorithm [3], the modified Newton-Raphson method and the combination of the Frechet derivative with the linear programming. From the stochastic algorithms the simplest variant of simulated annealing algorithm was used.

The numerical algorithms are not included into the paper. The numeric results confirm the control strategy as defined in lemmas 1 to 4. The dynamic programming algorithms which were used in [4], [5] are not applied .

Although the numerical procedures are not described in the paper, they present the actual reason why the optimal fuel strategy algorithms were evolved. Typically for them is even the 'on-off' control, which can be the cause of bad convergence in numeric algorithms. Then it was possible to check

konvergenca postopka. Tako je bilo mogoče testirati trivialne rešitve MPG s splošnejšimi numeričnimi algoritmi, ki so potem uporabni za bolj posplošene modele vleke, npr. za model z upoštevanjem karakteristik električne vleke.

out the trivially solutions for MFP with more general numeric algorithms, which can be used for more adequate models of traction too, e.g. for the models where the characteristics of the electric traction are considered .

3 LITERATURA

3 REFERENCES

- [1] Andrews, H.I. (1986) Railway traction; the principles of mechanical and electrical railway traction. *Elsevier, Amsterdam*.
- [2] Athans, M., P.L. Falb (1966) Optimal control. *McGraw-Hill, New York*.
- [3] Gondran, M., M. Minoux (1984) Graphs and algorithms. *John Wiley Inc., New York*.
- [4] Berger, F., Troch, I., E.Wittek (1984) Energieoptimale Tunnelstrassen fuer ein U—Bahn—Netz. *Messen, Steuern, Regeln, 27:39-40*.
- [5] Hoang, H.H., Polis, M.P., A.Haurie (1975) Reducing energy consumption throught trajectory optimization for a metro network. *IEEE Transactions on Automatic Control, 20(5:590-595)*.

Naslovi avtorjev: Lado Lenart

Institut Jožef Stefan
Jamova 39
1000 Ljubljana

Leon Kos
Slovenske železnice
Kolodvorska 11
1000 Ljubljana

doc.dr. Zoran Kariž
Fakulteta za strojništvo
Univerze v Ljubljani
Aškerčeva 6
1000 Ljubljana

Authors' Addresses: Lado Lenart

“Jožef Stefan” Institute
Jamova 39
1000 Ljubljana, Slovenia

Leon Kos
Slovenian Railways
Kolodvorska 11
1000 Ljubljana, Slovenia

Doc.Dr. Zoran Kariž
Faculty of Mechanical
Engineering
University of Ljubljana
Aškerčeva 6
1000 Ljubljana, Slovenia

Prejeto: 26.7.1999
Received:

Sprejeto: 15.9.1999
Accepted:

Preskušanje gredi kolesnih dvojic na dizelskih motornih vlakih

Testing of Axles in Wheel and Axle Sets of Diesel-Engine Trains

Janez Grum - Viktor Jemec - Anton Beci

V tem prispevku smo prikazali preskušanja gredi kolesnih dvojic na dizelskih motornih vlakih in posvetili pozornost tako teoretičnemu kakor tudi eksperimentalnemu delu. Na aluminijastem bloku smo najprej izmerili karakteristike ultrazvočnih glav z uporabo elektrodinamičnih sond. Na voljo smo imeli razstavljene in neuporabljene gredi kolesnih dvojic, na katerih smo na posameznih kritičnih mestih simulirali napake različnih globin. Na temelju napak smo nato ugotavljali primernost uporabe različnih ultrazvočnih glav. Tako smo uspešno preskušali z vsako od izbranih štirih ultrazvočnih glav, in sicer na krajši in daljši strani zobnika gonilne gredi z različnih polj ter pri nastavitvi aparata na 1,5 in 2,5 m. Vsako od izbranih različic preskušanja smo nato posneli za kasnejšo analizo rezultatov. Po izbranih postopkih smo v končni fazi za primerjavo rezultatov eksperimentalnega dela izračunali tudi geometrijske oblike znanih tipov zvočnih poti.

© 1999 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

(Ključne besede: vlaki motorni (dieselski), preskušanje gredi, preskušanje ultrazvočno, analize poškodb)

The present paper treats the testing of axles in wheel and axle sets of diesel-engined trains; attention is devoted both to theoretical and to practical work. First, the characteristics of ultrasonic probes were measured on an aluminium block by means of electrodynamic probes. To this end we had at our disposal unserviceable axles of wheel and disassembled axle sets, where at individual critical points it was possible to simulate defects at various depths. On the basis of the defects, the applicability of individual ultrasonic probes was assessed. Testing was thus successfully carried out with each of the selected ultrasonic probes at the shorter and longer side of the gear wheel of the driving axle from different fields, and with the apparatus setting at 1.5 and 2.5 m. Each of the variants selected was recorded for subsequent analysis of the results. Finally, based on the procedures selected, the geometries of the known types of ultrasonic paths were calculated for comparison with the results of the experimental work.

© 1999 Journal of Mechanical Engineering. All rights reserved.

(Keywords: diesel engine trains, axle-testing, ultrasonic testing, damage analysis)

0 UVOD

Železniški promet terja varnost in zanesljivost obratovanja vseh tirnih vozil. Vzdrževati je treba ustrezne tehnične sisteme in zanj prirejene metode dela, ki zagotavljajo varnost in urejenost prometa. Vsa vlečna sredstva so zato opremljena z ustreznimi varovalnimi napravami, ki izključujejo subjektivne napake operaterjev. Tako se srečujemo z budnostnimi napravami, katerim se pridružijo še tako imenovane avtostop naprave. O dejanskem stanju na železniški progi poročajo radijske zveze, brez katerih si modernega prometa ne bi mogli zamisliti. Poleg varnega vodenja je treba zagotoviti varno delovanje zavornega sistema in stalni nadzor njegovega delovanja, kar pa je treba razširiti še na odkrivanje napak na najpomembnejših elementih lokomotiv, vagonov in tirnic. Za odkrivanje napak se pogosto uporabljajo predvsem neporušne metode, ki morajo biti dovolj hitre za

0 INTRODUCTION

The railway traffic requires safety and reliability of service of all railway vehicles. Suitable technical systems and appropriately adapted working methods, which meet the requirements on safety and good order of traffic, should be maintained. All driving units are, therefore, equipped with corresponding protective devices, these exclude possible subjective errors by operators by the inclusion of dead - man's handles and auto-stop devices - as well as through radio communications permitting reports on the actual state of the railway line, which are indispensable in modern traffic. In addition to safe work it is indispensable to ensure safe operation of the braking system and continuous supervision of its operation, which also includes detection of defects in vital elements of locomotives, wagons and rails. For detection of defects, non-destructive testing methods - which should be quick,

testiranje, pa tudi dovolj zanesljive in poceni. Pregled karakterističnih delov se izvaja po natančno predpisanih internih standardih ali predpisih. Poleg rednih so vključeni še izredni pregledi, ki morajo biti izvedeni po naletih, iztirjenju in oplazitvi železniških vozil.

Med najbolj obremenjene dele železniških vozil uvrščamo gredi kolesnih dvojic, saj njihove poškodbe ali zlomi povzročajo nastanek znatnih materialnih izgub in ogrožajo življenje potnikov in delavcev v železniškem prometu. Zato so že Jugoslovanske železnice izdelale interni standard [1], ki govori o obvezni uporabi ultrazvočnega nadzora gredi kolesnih dvojic, ki jih je nekdanje Železniško gospodarstvo Ljubljana še dopolnilo z navodili [2]. Vzdrževanje tirnih vozil je terminsko predpisano glede na periodične nadzorne preglede, kakor tudi na terminski načrt rednih popravil. Pregledi in popravila so zato predpisana po kriteriju obratovalne dobe, omejene s časom obratovanja lokomotive v prometu ali po kriteriju obratovalne dobe s prevoženo potjo.

1 IZBIRA NAČINA PREGLEDA GREDI MOTORNIKA

1.1 Splošno o gredeh motornika

Slovenske železnice imajo garnituro motornih vlakov serije 813/814, ki je bila v prvi fazi izdelana v italijanski tovarni FIAT, kasneje pa v sodelovanju z DO TVT "Boris Kidrič" iz Maribora. Vozilo je terjalo uvajanje sistematičnega pregleda posameznih sklopov in/ali delov. Tako so bile že leta 1976 ugotovljene prve razpoke na gredeh kolesnih dvojic z uporabo neporušnih preiskav. Iz spoznanj, da so gredi kolesnih dvojic med najbolj obremenjenimi deli železniških vozil in da lahko njihova porušitev povzroča veliko materialno škodo, so začeli z zelo sistematičnim pregledovanjem. Iz razpoložljivih podatkov o stanju gredi kolesnih dvojic je bilo ugotovljeno, da so številne napake na mestih prehoda iz roba pesta kolesa proti osi gredi. Poškodbe gredi so se pojavljale na notranjih mestih prehoda pesto/gred (kritični mesti KM 1 in KM 3), kar je prikazano na sliki 1.

Poleg tega pa so se pojavile tudi poškodbe na obeh straneh prehoda zobnik-gred (kritični mesti KM 2 in KM 4).

1.2 Analiza poškodb na gredeh motornika

Vrsta poškodb na 152 gredeh po 10-letni obratovalni dobi kolesnih dvojic je naslednja:

- napake na notranjem robu pesta kolesa - gred 75,6 %,
- napake na mestu pesta zobnika - gred 24,4 %.

reliable and cost-effective - are most often used. Inspection of characteristic parts is carried out periodically in accordance with internal standards or regulations; inspections may be both regular and extraordinary; the latter should be carried out after collisions, derailment or the grazing of railway vehicles.

The most heavily stressed parts of railway vehicles are the axles in the wheel and axle sets. Their damage or breakdown would, in fact, entail considerable material losses and endanger human lives. Consequently, the former Yugoslav Railways had already issued an internal standard [1] which specified the compulsory application of ultrasonic testing to the axles in the wheel and axle sets. This standard was amended by the former Railway Administration Ljubljana which issued the relevant instructions [2]. Maintenance of railway vehicles is scheduled in accordance with periodic inspections and regular repairs. Inspections and repairs are prescribed according to the criteria of operational life, limited by the time of operation of a locomotive in traffic or according to the criteria of operational life including the path travelled.

1 EXPERIMENTAL PROCEDURE OF RAILCAR AXLES

1.1 General on axles of a railcar

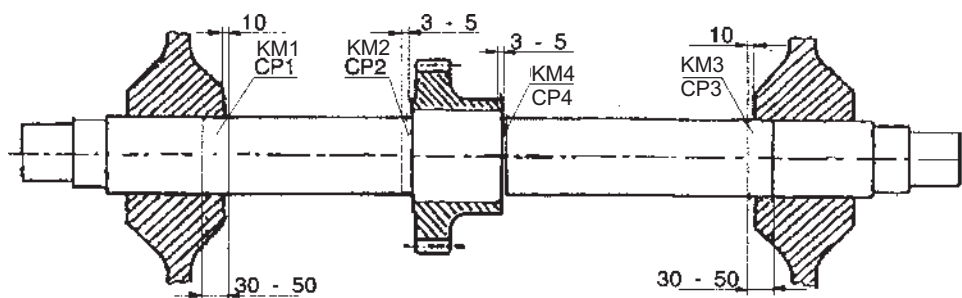
Slovenian Railways have a set of railcars of the series 813/814, which was first manufactured by the Italian firm Fiat, and later in co-operation with DO TVT "Boris Kidrič" from Maribor. The vehicles required the introduction of a systematic inspection of individual assemblies and/or parts. Already in 1976, by means of non-destructive testing the first cracks were found on the axles in the wheel and axle sets. The finding that the axles in the wheel and axle sets belonged to the most heavily stressed parts of railway vehicles led to their systematic inspection. The data available on the state of the axles in the wheel and axle sets indicated that there were numerous defects located at the transition points from wheel hub edge to axle axis. Damages to the axle were found at inner points of the transition from hub to axle (critical points CP 1 and CP 3), as shown in Figure 1.

Damages also appeared on both sides of the transition from gear wheel to axle (critical points CP 2 and CP 4).

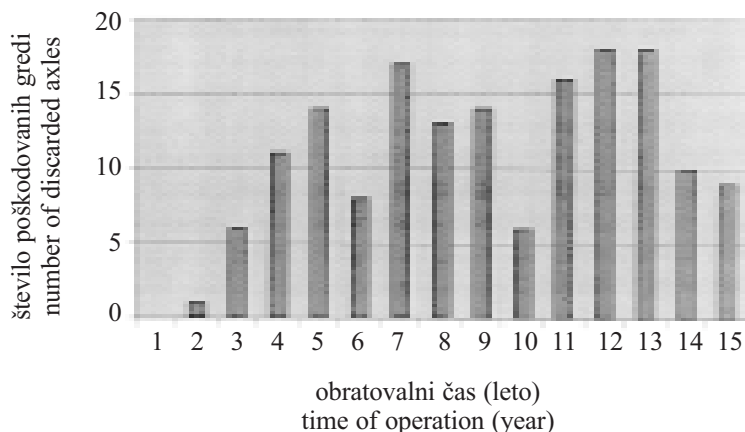
1.2 Analysis of damages to the axles of a railcar

The following kinds of damages have been found on 152 axles after 10 years of service of the wheel and axle sets:

- defects at the inner edge of the transition from wheel hub to axle: 75.6 %,
- defects at the transition from gear wheel to axle: 24.4 %.



Sl. 1. Pregled kritičnih mest na gredah gonilnih kolesnih dvojic
 Fig. 1. Critical points of axles of driving wheel and axle sets



Sl. 2. Število izločenih gredi glede na obratovalno dobo
 Fig. 2. Number of discarded axles with regard to the length of their time of operation

Poleg relativnega deleža poškodb je treba ugotoviti obratovalno dobo gredi kolesnih dvojic. Izdelovalec gredi kolesnih dvojic zagotavlja nemoteno obratovanje v štiriletnem obdobju. Zato je izredno pomemben podatek o kakovosti gredi tudi prikaz frekvence obratovalne dobe. Na sliki 2 je prikazan histogram o izločenih gredah iz prometa v odvisnosti od obratovalne dobe. V splošnem lahko ugotovimo, da je povečevanje števila poškodovanih - izločenih gredi v mejah pričakovanja in da so številne gredi zelo kakovostne, saj vzdržijo tudi 2 do 3-kratno predpisano obratovalno dobo. Žal pa lahko ugotovimo, da je treba veliko več pozornosti posvetiti vzrokom, ki so privedli do poškodb - izločitev gredi pred obratovalno dobo štirih let. Predvidevamo, da gre za slabo kakovost materiala, kar pa zahteva tudi izdelavo ustreznih predpisov o kakovosti materiala na vstopu v izdelovalni proces. Zato se pogosto le pri nekaterih izdelovalcih izvajajo preskusi gredi kolesnih dvojic na najneugodnejšo trajno dinamično izmenično obremenitev.

1.3 Izbira postopka preskušanja

Železniški predpis [1] zahteva obvezen pregled kolesnih dvojic v razstavljenem stanju s posebno ultrazvočno glavo z izstopom zvoka pod kotom 37° - AW 37.

In addition to the relevant proportion of damages, the operational life of the axles in the wheel and axle sets also needs to be established. Consequently, data on axle quality and display of the frequencies of operational life provide very important information. Figure 2 shows a histogram of the discarded axles as a function of the time of operation. Generally, it may be stated that the tendency towards increase in the number of damaged, i.e. discarded, axles is within expectations, and that numerous axles are of high quality since they can last 2 to 3 times the guaranteed operational life. Unfortunately, it has to be stated that much more attention should be paid to causes of damages and discarding of the axles before their operational life of 4 years has elapsed. It is supposed that the material quality is low, which would require elaboration of the relevant regulations on material quality before being released to production; therefore, only some manufacturers perform testing of the axles in the wheel and axle sets with the least favourable cyclic fatigue loading.

1.3 Selection of a testing method

The railway regulation [1] requires a compulsory inspection of the wheel and axle sets in a dismantled state by means of a special ultrasonic probe with the sound exit at an angle of 37° - AW 37.

Za izboljšanje varnosti v železniškem prometu si je služba za defektoskopijo pri Slovenskih železnicah v Ljubljani zadala nalogo, da izboljša zanesljivost preskušanja in zgodnejše napovedovanje napak na gredih. V ta namen so bila že pred nekaj leti opravljene prve sistematične analize, ki so omogočile izdelavo navodil za ultrazvočni pregled. Omenimo lahko, da je metoda pregleda s čela z normalnimi glavami dokaj nezanesljiva, saj prihaja na prehodih do različnih odbojev in spremembe oblike valovanja. Postavljajo se tri vprašanja:

1. Ali je mogoče odkrivanje napake na vseh kritičnih mestih z ozvočenjem z iste strani gredi?
2. Pri kateri velikosti - globini napake dosežemo pravilno razpoznavanje?
3. Katera izmed normalnih ultrazvočnih glav je primerna za uspešno razpoznavanje napak?

Za preskušanje z ultrazvokom smo izbrali tri gonilne in eno tekalno gred. Na njih smo simulirali različne velikosti napak, izvedenih na umeten način s prečnimi zarezi na valjnem delu gredi. Izbrana mesta z zarezi pomenijo tista značilna mesta, pri katerih se pojavljajo razpoke. Ta mesta smo zato imenovali kritična mesta.

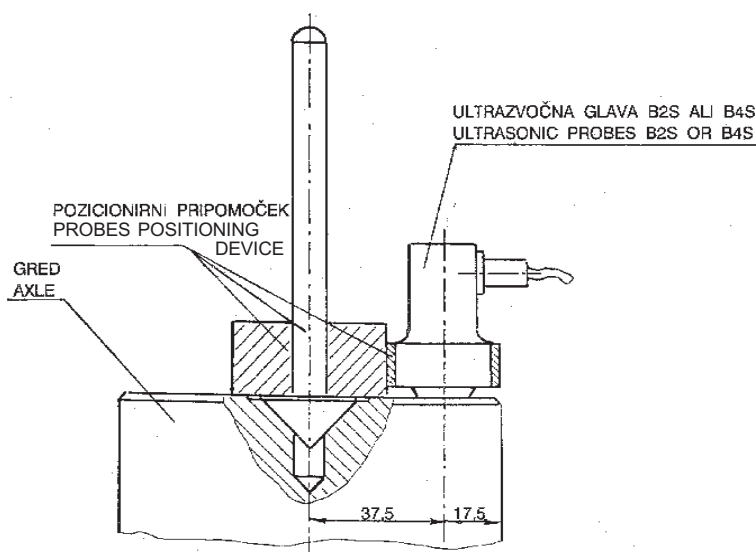
Testiranje smo izvedli z uporabo različnih normalnih ultrazvočnih glav z označbami B2S, MB2S, B4S in MB4S. Identifikacijske postopke smo opravili z obeh čelnih strani posameznih gredi; to je z daljše in krajše strani glede na mesto zobnika, pri čemer je bila nastavitev naprave na 1,5 m in 2,5 m. Za zagotavljanje stalnosti pozicioniranja ultrazvočnih glav na čelni strani gredi smo izdelali ustrezen pripomoček, prirejen za ultrazvočne glave premera 10 mm (sl. 3) in 24 mm (sl.4).

In order to improve safety in railway traffic, the Service for Defectoscopy of Slovenian Railways in Ljubljana has set itself the task of improving the reliability of testing and ensuring earlier detection of defects in the axles. To this end, several years ago, the first systematic analyses were made, which permitted the elaboration of instructions for ultrasonic inspection. It should also be mentioned that the inspection method applied to the front, using normal probes, is rather unreliable since at the transition-points there are various reflections and transformations in the form of wave-motion. Three questions seem to require answers, i.e.:

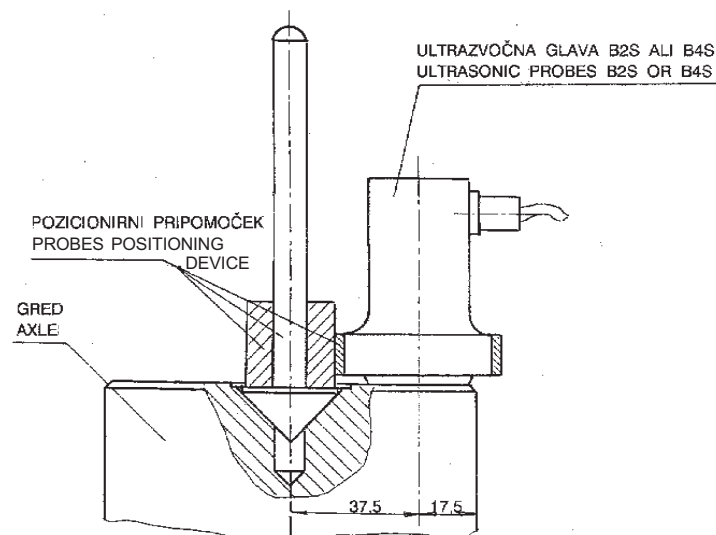
1. Is it possible to detect defects at all critical points by transmission from the same side of the axle?
2. At which size - depth of the defect can appropriate identification be achieved?
3. Which of the normal ultrasonic probes is suitable for efficient identification of defects?

For ultrasonic testing, three driving axles and one running axle were selected. With them three different sizes of artificial defects, which were transverse notches on the cylindrical part of the axles, were simulated. The selected areas with the notches were those characteristic areas where cracks normally appear. These areas were, therefore, called critical areas.

The testing was performed by using different normal ultrasonic probes designated B2S, MB2S, B4S and MB4S. The identification procedure was carried out from both front faces of the individual axles, i.e. from the longer and the shorter face in relation to the gear wheel, while the device used was set at 1.5 and 2.5 m. In order to ensure permanent positioning of the ultrasonic probes at the front face of the axles, a suitable aid was designed and adapted to the ultrasonic probes of 10 mm (Figure 3) and 24 mm (Figure 4) in diameter.



Sl. 3. Pozicionirna naprava za glavo premera 10 mm
 Fig. 3. Positioning device for the probe of 10 mm in diameter



Sl. 4. Pozicionirna naprava za glavo premera 24 mm
 Fig. 4. Positioning device for the probe of 24 mm in diameter

Možnost pregledovanja gredi kolesnih dvojic se je močno skrajšala z nabavo posebne stružnice za obdelavo profila tekalnih koles na gredi motornika. Zato so Slovenske železnice Ljubljana pripravile in sprejele ustrezna navodila za ultrazvočni pregled gredi s čela [2]. Za pregled gredi je treba imeti ustrezne izračune ultrazvočnih poti, ki omogočajo oceniti vse možne signale na zaslonu ultrazvočnega defektoskopa. Vzdolžni val iz normalne ultrazvočne glave se lahko neposredno odbije ali pa se delno odbije po odbojnem zakonu in delno preoblikuje v prečni val pod kotom b_T , ki ima skoraj dvakrat manjšo hitrost. Dobili smo deset tipov zvočnih poti. Dolžine teh zvočnih poti smo izračunali za ozvočenje s krajše strani in daljše strani. Zvočne poti so označene s simboli - velikimi črkami abecede, in sicer tip A, B, C, D, E, F, G, H in K. Za vsak tip zvočnih poti je v prvi vrsti podatek o izračunani zvočni poti, izračunamo pa še število razdelkov na zaslonu naprave, pri katerem se pojavi odboj z umerjanjem naprave na dolžini 1,5 m, oziroma na dolžini 2,5 m ([3] do [6]).

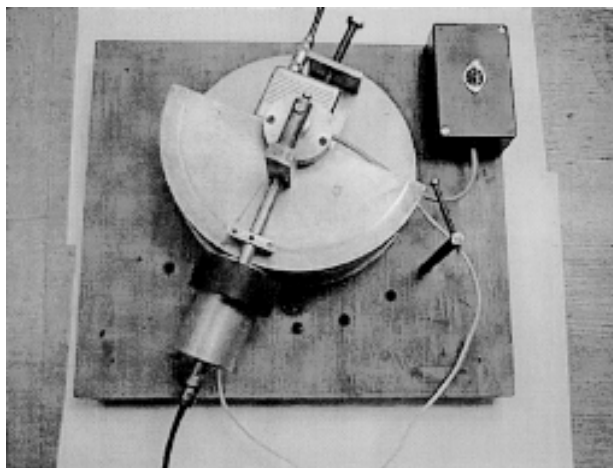
1.4 Pripomoček za merjenje zvočnih pritiskov ultrazvočnih glav

Da bi preverili ustreznost ultrazvočnih glav, smo naredili posebno pripravo - manipulator (sl. 5). Priprava sestoji iz lesenega podstavka, na katerega je vrtljivo nameščena okrogla aluminijasta plošča, ki ima na zgornjem zunanem robu kotno skalo od 0 do 180°. Na lesenem podstavku je nameščena puščica, ki kaže v osnovni legi 90°. Na to ploščo je pritrjen polkrožni blok premera 100 mm in debeline 43 mm. Na ta blok se v sredino z vijakom pritrdi ultrazvočna glava, ki jo želimo pregledati. Pri tem ne smemo pozabiti na stično sredstvo.

The time required for tests on the axles of the wheel and axle sets was considerably reduced by the purchase of a special lathe for profile treatment of running wheels on the axle of a railcar. Slovenian Railways Ljubljana had, therefore, prepared and adopted relevant instructions for ultrasonic testing of the axles from the front face [2]. For testing of the axles it is necessary to have at one's disposal appropriate calculations of the sound path, which make it possible to assess all the signals available on the display of an ultrasonic detector. A longitudinal wave from a normal ultrasonic probe may be reflected either directly or partially in accordance with the law of reflection, and may be partially transformed into a transverse wave at an angle b_T , of which the velocity is nearly twice reduced. Ten types of sound paths were obtained. The lengths of these paths were calculated for transmission from both the shorter face and the longer face. The sound paths are designated by symbols, i.e. capitals of the alphabet. So we have types A, B, C, D, E, F, G, H, and K. For each sound-path type, information is available on the calculated sound path in the first line; then, the number of sections on the device display where reflection appears is calculated by calibrating the device at the lengths of 1.5 m and 2.5 m respectively ([3] to [6]).

1.4 Instrument for measurement of the sound pressure of the ultrasonic probes

In order to check the applicability of individual ultrasonic probes a special appliance, i.e. a manipulator, was designed (Figure 5). The appliance consists of a wooden support on which a rotatable round aluminium plate, which has at its upper edge an angle measuring inset circle from 0 to 180°, is mounted. Onto this plate a semicircular block, 100 mm in diameter and 43 mm in thickness, is mounted. In the middle of this block, the ultrasonic probe which is to be controlled is fixed by a screw. The coupling medium should not be forgotten.



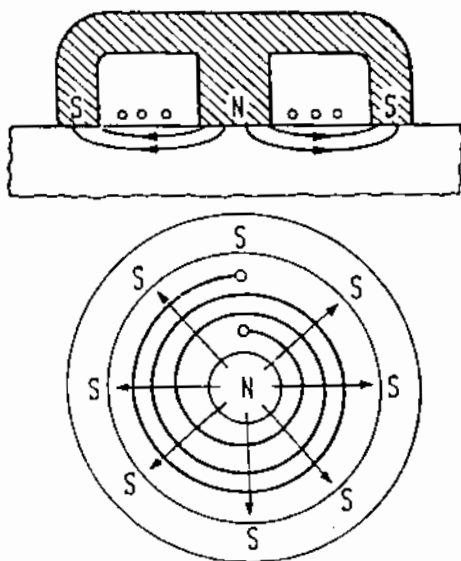
Sl. 5. Polkrožni aluminijasti blok za merjenje karekteristik ultrazvočnih glav
 Fig. 5. Semicircular aluminium block for measurement of characteristics of ultrasonic probes

Na središčni osi je nad polkrožnim blokom nameščena vrtljiva ročica, na katero se nato namesti držalo z elektrodinamično sondo.

Zaradi zelo nehomogenega barijevega titanata, iz katerega je izdelan oddajnik, nam teoretično izračunane vrednosti za divergenco lahko sliko popačijo. Da bi izmerili dejanske zvočne tlake naših ultrazvočnih glav, smo izdelali elektro-dinamične sonde, s katerimi lahko brez dotika zelo blizu površine merimo zvočne tlake. Za merjenje ultrazvočnih tlakov uporabljamo dva tipa elektrodinamičnih sond, in sicer elektrodinamične sonde za merjenje tlaka vzdolžnega ultrazvočnega valovanja in elektrodinamične sonde za merjenje tlaka prečnega ultrazvočnega valovanja.

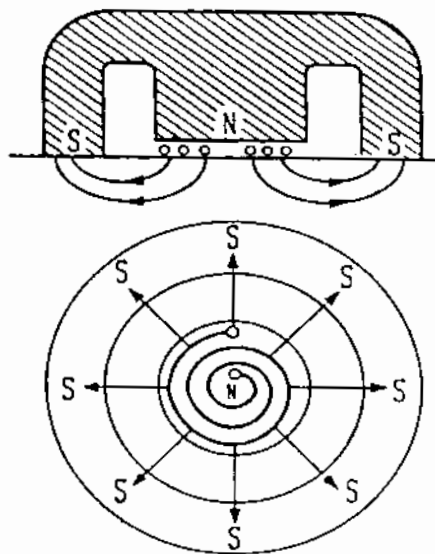
There is a rotatable handle in the central axis above the semicircular block on which the holder for the electrodynamic probe is mounted.

Because of the strong inhomogeneity of barium titanate, of which the transmitter is made, the theoretical values for divergence may deform the picture. In order to measure the actual sound pressures of our ultrasonic probes, electrodynamic probes were designed; these permit measurement of the sound pressures in close vicinity to the surface. Two types of electrodynamic probes are used for measurement of the sound pressures, i.e. electrodynamic probes for pressure measurement of longitudinal ultrasound wave-motion, and those for pressure measurement of transverse ultrasound wave-motion.



Sl. 6. Elektrodinamična sonda za merjenje vzdolžnih valovanj

Fig. 6. Electrodynamic probe for measurement of longitudinal wave-motions



Sl. 7. Elektrodinamična sonda za merjenje prečnih valovanj

Fig. 7. Electrodynamic probe for measurement of transverse wave-motions

Načelo nastajanja in sprejemanja ultrazvočnih valov z elektrodinamično sondo temelji na Lorentzovih zakonih. Na sliki 6 in 7 sta prikazani sondi za merjenje vzdolžne (levo) in prečne (desno) komponente ultrazvočnih valov. Razlika je v načinu navitja. Občutljivost elektrodinamične sonde je približno za 60 dB manjša od piezoelektrične. Njena prednost je v tem, da dela brez dotika in brez stičnega posrednika. Preprosto lahko ločimo vzdolžni od prečnega vala.

1.5 Postopek merjenja in cena izmerjenih karakteristik

V središče odrezane ploskve polkrožnega bloka z vijakom pritrdimo želeno ultrazvočno glavo z naoljeno stično površino. Priklopimo jo na oddajni priključek ultrazvočne naprave. Na gibljivo ročico namestimo držalo z ustrezno elektrodinamično sondo in jo priključimo na koordinatni risalnik ali pa na ultrazvočno napravo kot sprejemnik.

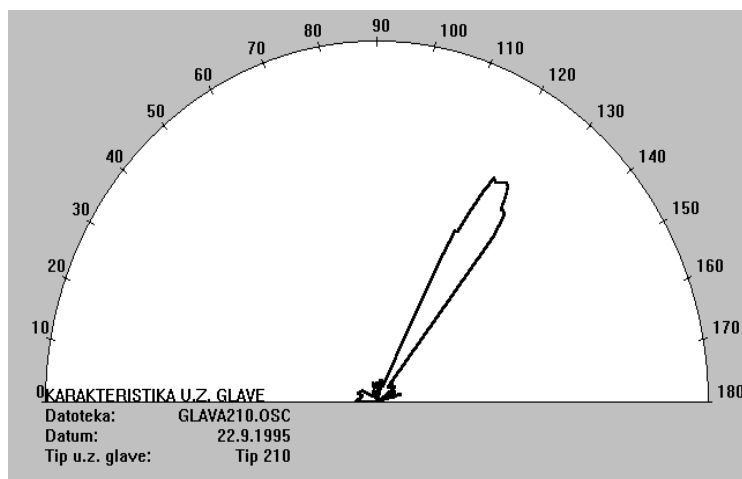
S premikom ročice z elektrodinamično sondo levo-desno iščemo maksimalni zvočni tlak in to že pove, koliko stopinjska je ultrazvočna glava. Ročico nato v tej legi utrdimo. Če imamo na voljo koordinatni risalnik, potem je vezana spodnja plošča s stopinjsko lestvico na linearni potencimeter, ki zarisuje kotne stopinje na abscisni osi. Elektrodinamično sondo priklopimo na ordinatno os in zarisuje zvočni tlak v odvisnosti od kotnih stopinj v polarnem koordinatnem sistemu (sl. 8).

The principle of generation and reception of ultrasonic waves by an electrodynamic probe is based on the Lorentz laws. Figures 6 and 7 show the probes for measurement of longitudinal (left) and transverse (right) components of ultrasonic waves. The difference between them consists in the type of winding. The sensitivity of the electrodynamic probe is approximately 60 dB weaker than that of the piezo-electrical one. Its advantage is that it works without any contact and without a coupling medium. The longitudinal and transverse waves are easy to distinguish.

1.5 Measurement procedure assessment of the characteristics measured

In the centre of the surface cut off from the semicircular block, the required ultrasonic probe, which has on oiled contact surface, is fixed by a screw. It is then connected to the output of the ultrasonic detector. The holder with a suitable electrodynamic probe is mounted on the movable handle, which is then connected to a co-ordinate system plotter or to an ultrasonic apparatus as a receiver.

By moving the handle, the electrodynamic probe searches - to left and right - for the maximum sound pressure. This indicates the degrees characteristic of the probe. The handle is then fixed in this position. If the co-ordinate system plotter is available, then the lower plate with a scale of degrees is connected to a linear potentiometer which plots the angle degrees on the abscissa. The electrodynamic probe is, meanwhile, connected to the ordinate, and plots the sound pressure in a polar co-ordinate system as a function of the angle degrees (Figure 8).



Sl. 8. Računalniški izris karakteristike ultrazvočne glave
Fig. 8. Computer plot of the characteristics of an ultrasonic probe

Če primerjamo v diagramih normalnih ultrazvočnih glav karakteristike z mejnimi stopinjami izračunane divergence, vidimo, da se v večini primerov pojavlja na meji še vedno blizu 50% največjega zvočnega tlaka. Na trosenje zvočnega tlaka najbolj vplivata premer vibratorja in frekvenca ultrazvočnega valovanja.

If, in the diagrams of normal ultrasonic probes, the characteristics are compared with the limiting degrees of the divergence calculated, it may be noticed that still as much as 50 % of the maximum sound pressure appears at the boundary. The scatter of the sound pressure is most strongly affected by the vibrator diameter and the frequency of sound wave-motion.

2 EKSPERIMENTALNI REZULTATI
IN ANALIZA

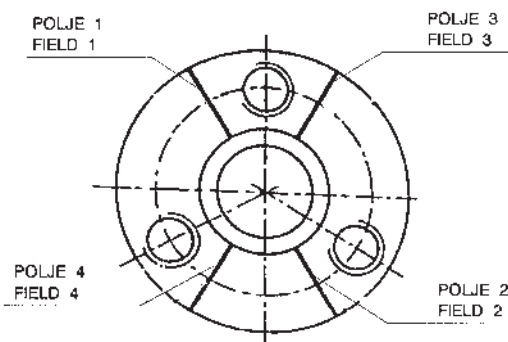
2 EXPERIMENTAL RESULTS
AND ANALYSIS

2.1 Priprava in označbe motornih gredi

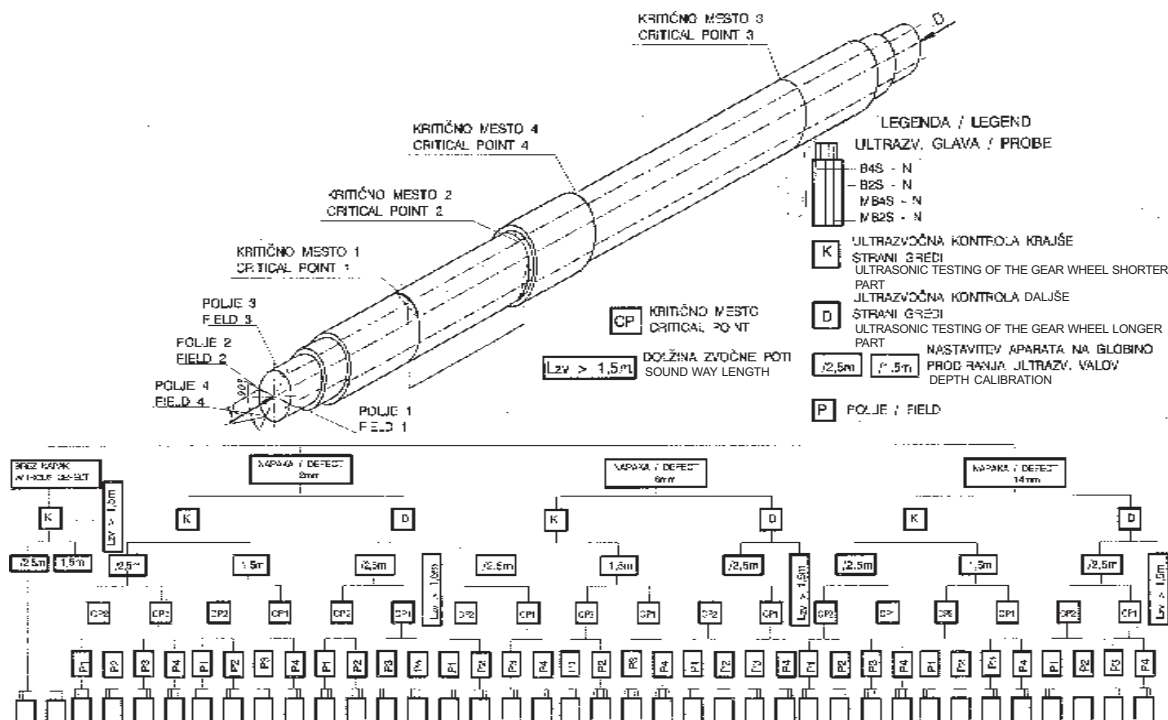
2.1 General on axles of a railcar

Za eksperimentalno delo smo uporabili dve motorni gredi kolesnih dvojic. Ker je ob snemanju koles prišlo do deformacije čelnih ploskev gredi, smo na stružnici izvedli njeno poravnavo. Gredi so bile nato nameščene na posebna jeklena stojala. Proste površine so med izvrtinami na čelni ploskvi označili s številkami, in sicer: gredi 1 in 2 imata štiri polja, ki so označena s številkami od 1 do 4. Pri zelo razgibanih oblikah čelne ploskve smo morali zagotoviti enotne razmere preskušanja. Da bi zadostili pogojem, smo morali izdelati ustrezne pripomočke, med katere sodijo tudi pripomočki za pozicioniranje (sl. 9).

For the experimental work two motor axles of the wheel and axle sets were used. However, when the wheels were being removed, deformation of the front faces occurred. The axles were then straightened on a lathe, and placed on special steel stands. The unoccupied surfaces found between the borings at the front face were designated by numbers, as follows: axles 1 and 2 have four fields (marked: 1 to 4). With very agitated shapes of the front face, uniform testing conditions had to be provided. In order to meet these requirements, suitable accessories, including positioning devices, were designed, (Figure 9).



Sl. 9. Razdelitev prostih površin na polja med izvrtinami na čelni ploskvi gredi
Fig. 9. Division of unoccupied surfaces between borings at the front face of the axle into the fields



Sl. 10. Shematičen prikaz preskušanja na kritičnih mestih 1 in 2
Fig. 10. Schematic representation of tests performed at critical points 1 and 2

Na posameznih kritičnih mestih, označenih z 1 do 4 smo naredili zareze, ki smo jih med preskušanjem postopno povečevali. Kritično mesto 3 smo preverjali do globin 8 mm z ultrazvočno glavo M82S-N, napako globine 12 mm pa z ultrazvočnimi glavami B4S-N, B2S-N, MB4S-N in MB2S-N. Rezultate smo potem uredili v preglednice.

Na sliki 10 je prikazana shema gonilne gredi kolesne dvojice z označbo št. 1. To gred smo namenili za simuliranje napak na kritičnih mestih 1 in 2; gred, označeno s št. 2 pa smo namenili za simuliranje napak na kritičnih mestih 3 in 4. Strani gredi smo označili z naslednjimi označbami:

- K - pomeni ozvočenje s krajše strani zobnika,
- D - pomeni ozvočenje z daljše strani zobnika.

Čela gredi med izvrtinami smo označili s posameznimi polji. Na posameznih kritičnih mestih (1 do 4) smo zarezali umetne razpoke. Med preskušanjem smo jih postopoma povečevali. Napako na kritičnem mestu 3 smo preskušali na polju 3 in 1, medtem ko je bila napaka na kritičnem mestu 4 preizkušana na polju 2 in 1, kakor je prikazano na sliki.

Razlika je tudi v tem, da nismo simulirali napak na obeh kritičnih mestih hkrati, ampak najprej na kritičnem mestu št. 3 in nato na kritičnem mestu št. 4. Potrebno je bilo stopnjevanje napak po določenem zaporedju glede na kritične točke:

- kritično mesto 3 – napako smo stopnjevali v zaporedju 1, 2, 4, 8 in 12 mm,
- kritično mesto 4 – napako smo stopnjevali v zaporedju 2, 5, in 12 mm.

Zgoraj omenjene kritične točke na gredi 2 smo pregledovali z naslednjimi ultrazvočnimi glavami:

- kritično mesto 3 smo pregledovali do napake globine 8 mm samo z ultrazvočno glavo MB2S-N, napako globine 12 mm pa smo pregledovali z ultrazvočnimi glavami B4S-N, B2S-N, MB4S in MB2S-N;
- kritično mesto 4 smo pregledovali za napake vseh globin z ultrazvočnimi glavami B4S-N, B2S-N, MB4S-N in MB2S-N.

At individual critical points - marked by 1 to 4 - notches were made. These were gradually increased during testing. The critical point 3 was inspected to a depth of 8 mm by the ultrasonic probe M82S-N, and a defect at a depth of 12 mm by the ultrasonic probes B4S-N, B2S-N, MB4S-N and MB2S-N. The results obtained were then arranged in Tables.

Figure 10 schematically shows the testing of a driving axle in the wheel and axle set marked No. 1. This axle was intended for simulation of defects at the critical points 1 and 2; the axle marked No. 2 however, was, intended for simulation of defects at the critical points 3 and 4. The front faces of the axles were then marked as follows:

- K - transmission from the shorter side of the gear wheel,
- D - transmission from the longer side of the gear wheel.

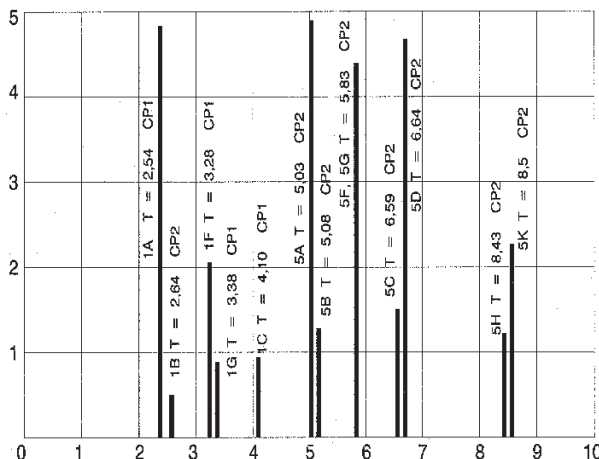
The front axles are marked by the designations of the individual fields. At the individual critical points (1 to 4) notches were made. During testing they were gradually enlarged. The defect at the critical point 3 was tested in fields 3 and 1, while the defect at the critical point 4 was tested in fields 2 and 1 as shown in the figure.

The difference consists in the simulation of the defect which was not performed at both critical points simultaneously, but first at critical point 3 and then at critical point 4. It was also necessary to graduate the defects in a certain succession with regard to the critical points, i.e.:

- critical point 3 - graduation of defect/notch 1, 2, 4, 8 and 12 mm,
- critical point 4 - graduation of the defect/notch 2, 5 and 12 mm.

The above-mentioned critical points of axle 2 were inspected by the following ultrasonic probes:

- critical point 3 was inspected to a depth of 8 mm with the ultrasonic probe MB2S-N, while the defect in a depth of 12 mm was inspected with the ultrasonic probes B4S-N, B2S-N, MB4S and MB2S-N;
- critical point 4 was inspected at all the depths selected with the ultrasonic probes B4S-N, B2S-N, MB4S-N and MB2S-N.

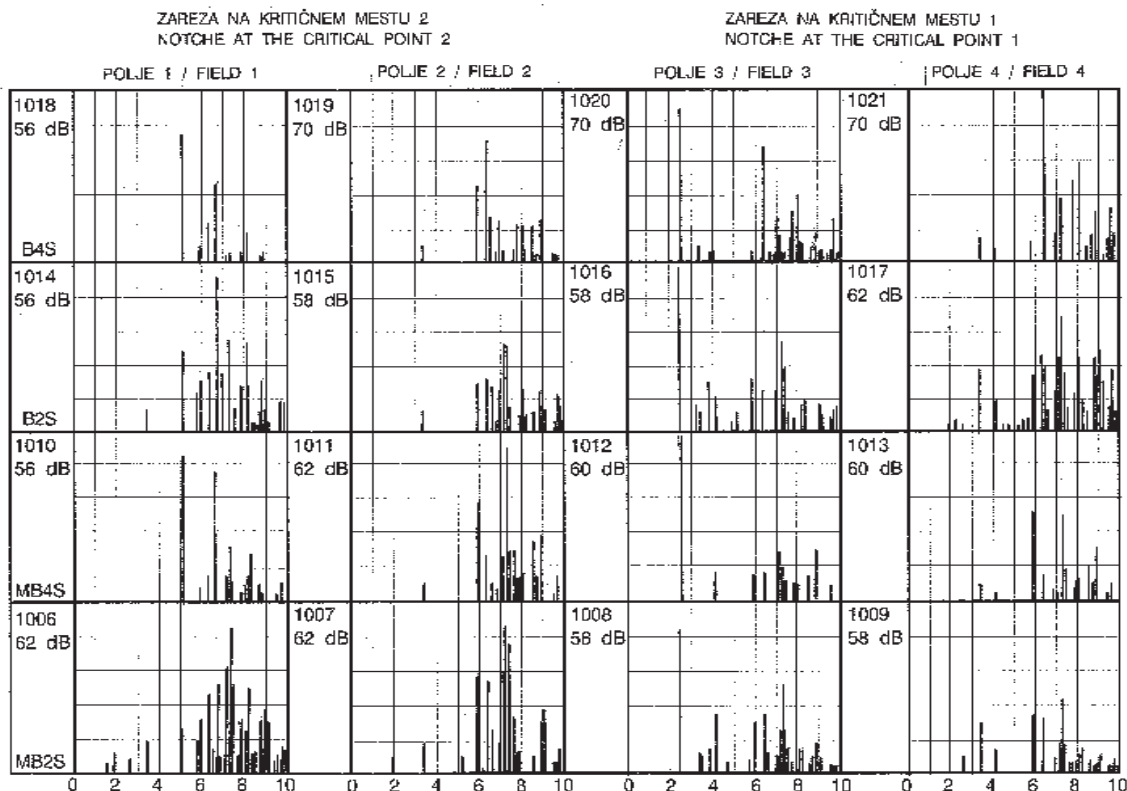


Sl. 11. Ehograf kritičnih točk po preskušanju s krajše strani zobnika

Fig. 11. Echograph of critical points after testing the driving axle from the shorter side of the gear wheel

Slika 11 na prikazuje enega od številnih posnetih ehografov za kritični mesti 1 in 2, ko smo preskušali gred brez napak. Preskušanje smo izvedli s krajše strani zobnika pri umeritvi ultrazvočne naprave na zvočno pot 1,5 m.

Figure 11 shows one of the numerous echographs for the critical points 1 and 2 for the case without any defects. Testing was carried out from the shorter side of the gear wheel after setting the device on the sound path length at 1.5 m.



Sl. 12. Prikaz slik ultrazvočnih signalov v gredi s krajše strani pri napaki globine 2 mm, na polju 1 in 3 in pri nastavitvi naprave na zvočno pot 1,5 m (na kritičnih točkah 1 in 2)

Fig. 12. A case of sound transmission through the axle from the shorter side, at a notch depth of 2 mm, in fields 1 and 3, and with a setting at 1.5 m (selected critical points 1 and 2)

Slika 12 prikazuje zvočne odboje v gredi s krajše strani namestitve zobnika. Pregled je bil izveden pri napaki z globino 2 mm na kritičnem mestu 1 in 2. Kritična mesta smo preskušali s štirimi že zgoraj omenjenimi ultrazvočnimi glavami še na polju 1 in 3 in z umeritvijo naprave na razdaljo 1,5 m.

Figure 12 shows a case of sound transmission through the axle from the shorter side. Testing was carried out with notches at a depth of 2 mm at the critical points 1 and 2. The critical point was tested by the four above-mentioned ultrasonic probes in fields 1 and 3, and with a setting at 1.5 m.

Podoben postopek smo lahko opazovali na ehografu pri preskušanju gredi s krajše strani, vendar pri globini napake 6 mm (sl.13). Na podlagi več preskušanj je mogoče najti najustreznejšo metodo in dovolj zanesljivo, da omogoči oceno velikosti napake.

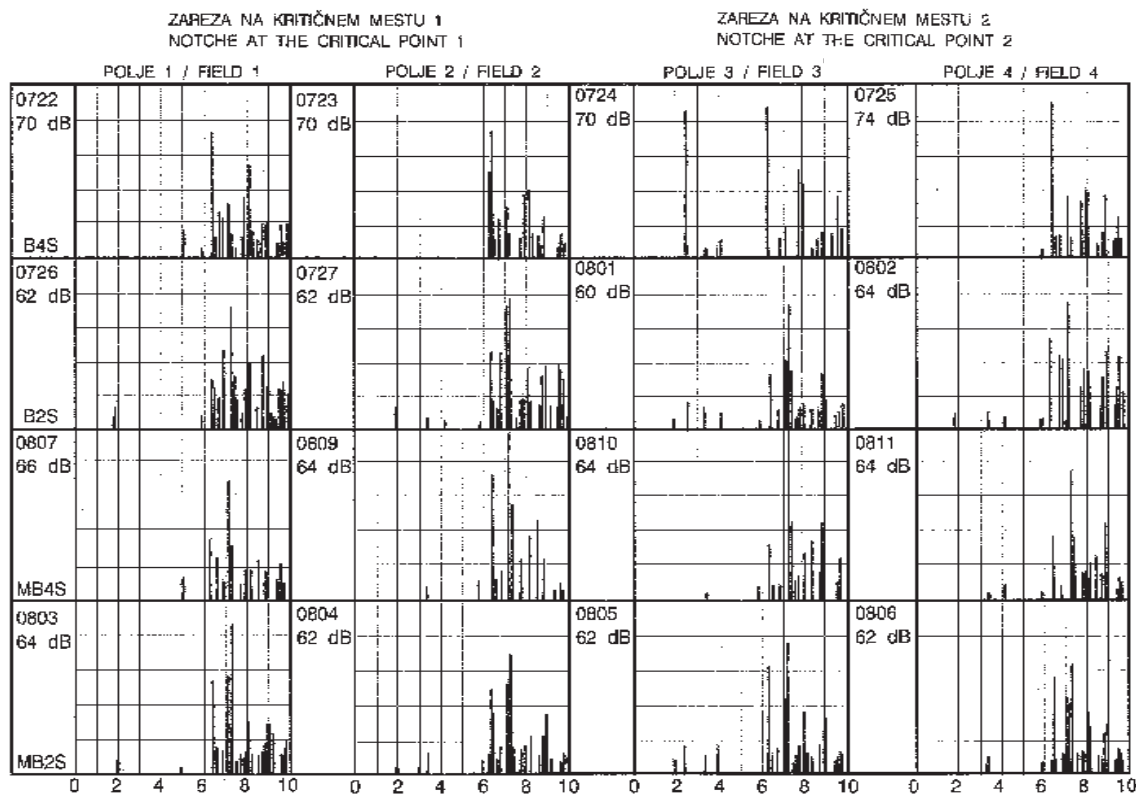
A similar procedure can be observed in the echograph of testing the axle from the shorter side, but with a notch at a depth of 6 mm (Figure 13). On the basis of numerous tests it is possible to find the testing method most suitable for a given point and a given size of defect.

3 SKLEP

3 CONCLUSION

V tem članku smo prikazali preskušanje osi kolesnih dvojic v podstavnih vozičkih dizelskih motornih vlakov, kjer smo se z največjo pozornostjo posvetili teoretičnemu pa tudi praktičnemu delu. Na voljo smo imeli izdelane neuporabne gredi kolesnih dvojic, na katerih smo na kritičnih mestih simulirali

In this paper presented on the testing of axles in the wheel and axle sets of diesel-engined trains, the greatest attention was paid both to the theoretical and to the practical work. Unserviceable axles dismantled were at our disposal for testing. At individual critical points, defects at various depths were simulated. By



Sl. 13. Prikaz slik ultrazvočnih signalov v gredi s krajše strani pri napaki globine 6 mm, na polju 1 in 3 in pri nastavitvi naprave na zvočno pot 1,5 m (na kritičnih točkah 1 in 2)

Fig. 13. A case of sound transmission through the axle from the shorter side, at a notch depth of 6 mm, in fields 1 and 3, and with setting at 1.5 m (selected critical points 1 and 2)

napake različnih globin. Na temelju teh napak smo nato ugotavljali primernost uporabe različnih ultrazvočnih glav. Z vsako od štirih ultrazvočnih glav smo pregledovali napake s krajše in daljše strani zobnika gonilne gredi z različnih polj in pri nastavitvi ultrazvočne naprave na razdaljo 1,5 in 2,5 m. Vsako od teh različic smo posneli za kasnejšo analizo rezultatov. Na koncu preskušanja smo na podlagi izbranih metod izračunali geometrijske oblike znanih tipov ultrazvočnih poti za primerjavo z rezultati, ki smo jih dobili z eksperimentalnim delom.

Iz navedenega lahko povzamemo, da smo dobili pri pregledu gredi s čela dokaj zanesljive rezultate, za to pa je bilo potrebno zelo dolgotrajno in potrpežljivo preskušanje. Za dejansko uporabo predlaganega načina preskušanja gredi bi bilo treba izvesti še dodatne preiskave in morebitne teoretične izračune v primeru, ko imamo nameščene gredi v sklopu.

means of the simulated defects the applicability of individual ultrasonic probes was then established. Thus testing was carried out efficiently with each of the selected four ultrasonic probes at the shorter and the longer sides of the gear wheel of the driving axle from various fields, and with settings of the apparatus at 1.5 and 2.5 m. Each of the selected testing variants was then recorded on film for subsequent analysis of the results. Finally, on the basis of the selected testing methods, the geometries of the known types of sound paths were also calculated for comparison with the results of the experimental work.

It may be stated that reasonably reliable results were obtained in the testing of axles from the front face; to achieve this, however, time-consuming and patient testing was indispensable. For a practical application of the proposed testing method for the axles, additional studies and eventual theoretical calculations should be made when the axles are mounted in the set.

4 LITERATURA
4 REFERENCES

- [1] Interni standard JŽS V3.006
- [2] Službena obvestila Železniškega gospodarstva Ljubljana (1979) št. 19
- [3] Krautkrämer, J., H. Krautkrämer (1983) Ultrasonic Testing of Materials, Third Edition, *Springer Verlag*, Berlin, Heidelberg, New New York
- [4] Šipek, M. (1992) Priručnik za ultrazvočne materiale, *Metalbiro*. Zagreb
- [5] Jemec, V., J. Poljak (1995) Automation of control the vitalization elements of railway locomotive, *International conference KBR'95 NDT "Inservice Inspection"*, Pula, 67-78
- [6] Jemec, V., J. Grum, J. Petrišič, J., idr. (1994) Uporaba neporušnih metod pri preizkušanju podvozij železniških vozil, Raziskovalno-razvojni projekt Ministrstva za znanost in tehnologijo št. B 42-0477-0361, Ljubljana

Naslovi avtorjev: Prof.dr. Janez Grum
Fakulteta za strojništvo
Univerze v Ljubljani
Aškerčeva 6
1000 Ljubljana

Viktor Jemec
Srednja šola Domžale
Cesta talcev 12
1230 Domžale

Anton Beci
Slovenske železnice
Kolodvorska 11
1000 Ljubljana

Authors' Adresses: Prof.Dr. Janez Grum
Faculty of Mechanical Engineering
University of Ljubljana
Aškerčeva 6
1000 Ljubljana, Slovenia

Viktor Jemec
Srednja šola Domžale
Cesta talcev 12
1230 Domžale, Slovenia

Anton Beci
Slovenian Railways
Kolodvorska 11
1000 Ljubljana, Slovenia

Prejeto: 7.1.1999
Received:

Sprejeto: 15.9.1999
Accepted:

Tehnično ekonomska analiza izrabe odpadne toplote pri hlajenju strojev

Engineering Economic Analysis of Waste Heat at Machine Cooling

Sašo Kronovšek - Alojz Poredoš

V industriji in obrti se pogosto srečujemo z obdelovalnimi postopki, pri katerih termični procesi potekajo na temperaturi, drugačni od okolice. V večini teh primerov je treba na eni strani dovajati, na drugi pa odvajati potrebno toploto. Do sedaj je bila večina takšnih primerov rešena s preprostim pretočnim hlajenjem s komunalno vodo. Tak način odvoda je ekološko in tudi ekonomsko sporen. Za uporabo sodobnejših načinov hlajenja predvsem takšnih z možnostjo izrabe odvečne toplote je treba temeljito raziskati mogoče izvedbe, tako s tehnološkega kakor tudi z ekonomskega vidika. V članku so opisani različni hladilni sistemi, poudarjena pa je tehnično ekonomska analiza konkretne izvedbe hlajenja z izrabo odvečne toplote pri stroju za brizganje plastike.

© 1999 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

(Ključne besede: hlajenje strojev, toplota odpadna, brizganje polimerov, analize ekonomske)

In industry and trade we usually encounter forming procedures where thermal processes take place at the temperature different from the surrounding one. In most of these cases there are necessities to supply heat on one hand and to take it away on the other hand. Until now most of such cases were solved with a simple circulating cooling using communal water. This kind of cooling is ecologically and economically questionable. To involve modern types of cooling, especially such with possibility of reusing surplus heat, there is necessary to test possible constructions from the technological as from the economic point of view. Different cooling systems are presented in the paper and there is a special stress on the engineering - economic analysis of the existing cooling of the plastic mold filling machine.

© 1999 Journal of Mechanical Engineering. All rights reserved.

(Keywords: cooling-machines, waste heats, injection moulding, economic analysis)

0 UVOD

Glede na energijske tokove delimo industrijske procese v dve glavni skupini:

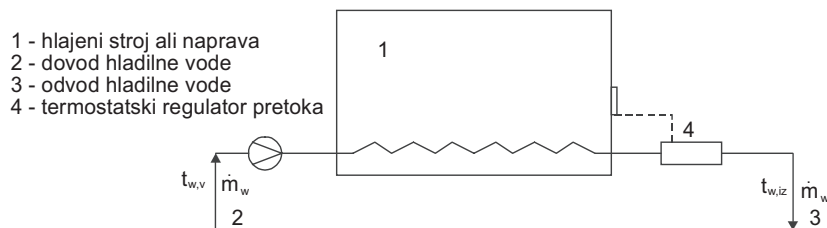
- procesi, pri katerih se odvečna toplota pojavlja zaradi toplotne obdelave,
- procesi, pri katerih se sprošča toplota zaradi mehanskega obdelovalnega procesa.

V prvo skupino spadajo predvsem postopki predelave plastičnih mas, varilni postopki, toplotne obdelave v procesni tehniki, kemično čiščenje itn. Druga skupina je nekoliko manjša, obsega pa postopke mehanske obdelave, predvsem v kovinski industriji. Najznačilnejši so brušenje in odrezovalni postopki.

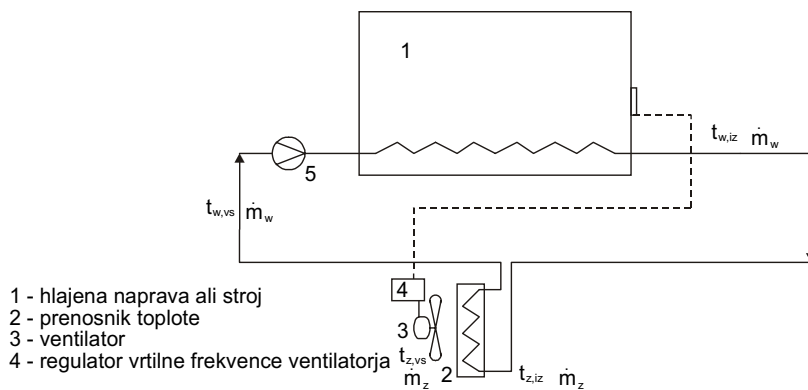
Za nemoten potek omenjenih procesov je potreben ustrezen toplotni ponor, kamor odvajamo odvečno toplotno energijo. Pravilno delovanje stroja je odvisno od odvajanja presežne toplote, pri nekaterih procesih je natančen odvod toplote na strogo definiranih temperaturnih nivojih zelo pomemben, pri drugih pa so te zahteve ohlapnejše. Potreba po odvzemu odvečne toplote se v praksi

pojavlja predvsem pri procesih prve skupine. V tovrstnih sistemih se pojavljajo večji presežki toplote, nekoliko višja pa je praviloma tudi temperaturna raven odvečne toplote. V zadnjem času se v širšem obsegu pojavljajo tudi potrebe po odvodu toplote, nastale pri delovanju informacijskih sistemov (telefonija, računalniki, naprave za nemoteno oskrbo z električno energijo). Temeljno vprašanje, ki se pri gradnji tovrstnih hladilnih sistemov pojavlja, je, ali je tehnično izvedljiva in ekonomsko upravičena izraba odvečne toplote, ali pa jo odvajamo v okolico.

Pri študiju literature je bilo ugotovljeno, da ne obstaja splošen model reševanja tovrstne problematike. Posamezne rešitve (ki se uporabljajo tudi v drugih podobnih primerih) so sicer zelo dobro obdelane, navadno pa ne obstaja splošen postopek, ki bi upošteval tako tehnične zahteve in možnosti kakor tudi ekonomski vidik problematike. V našem primeru smo si zastavili tehnično ustrezno izvedbo odvajanja odvečne toplote s poudarkom na varčevanju vode. Pri tem smo upoštevali načelo sodobnega gospodarjenja: uporaba odvečne toplote v čim večji mogoči meri, vendar ne za vsako ceno.



Sl. 1. Odprti hladilni sistem s pretočnim hlajenjem



Sl. 2. Zaprti hladilni sistem z zračnim lamelnim prenosnikom toplote

1 HLADILNI SISTEMI

1.1 Odprti hladilni sistemi

Osnovni sistem odvoda toplote je t.i. pretočno hlajenje, je preprost način hlajenja, pri katerem se hladna vodovodna voda ali voda iz katerega drugega vira preprosto pretaka skozi stroj in pri tem odvzema odvečno toploto. Sistem je lahko bolj ali manj dopolnjen z različnimi regulacijskimi napravami. V primeru, da zajemamo vodo oziroma hladilno sredstvo iz nekega vira in jo ogreto vračamo nekemu ponoru, govorimo o t.i. odprtem hladilnem sistemu.

1.2 Zaprti hladilni sistemi

Značilnost zaprtih hladilnih sistemov je kroženje hladilnega sredstva (največkrat voda) med virom in ponorom toplote. Zaprti hladilni sistemi so praviloma ekološko zelo primerni, saj ne poteka nobena snovska izmenjava med hladilnim sistemom in okolico.

Kakor je razvidno s slike 3, kjer so prikazane različne izvedbe zaprtih hladilnih sistemov, lahko pri hlajenju koristno izrabljamo odvečno toploto, ali pa ne. V levi veji diagrama sta tipična primera zaprtih hladilnih sistemov brez izrabe odvečne toplote. V desnem delu pa imamo opravka s sistemi, pri katerih skušamo toploto koristno uporabiti. Zračni prenosnik toplote lahko uporabimo v obeh primerih. Pri izrabi odvečne toplote imamo dve možnosti. Če je toplota na

zadostni temperaturni ravni, da jo lahko uporabnik neposredno uporabi, potem jo lahko uporabimo v takšnem stanju, v kakršnem je. V nasprotnem primeru je treba zagotoviti njeno uporabno vrednost z dvigom na višjo temperaturno raven.

2 ODVOD ODVEČNE TOPLOTE PRI HLAJENJU STROJAZA BRIZGANJE PLASTIKE

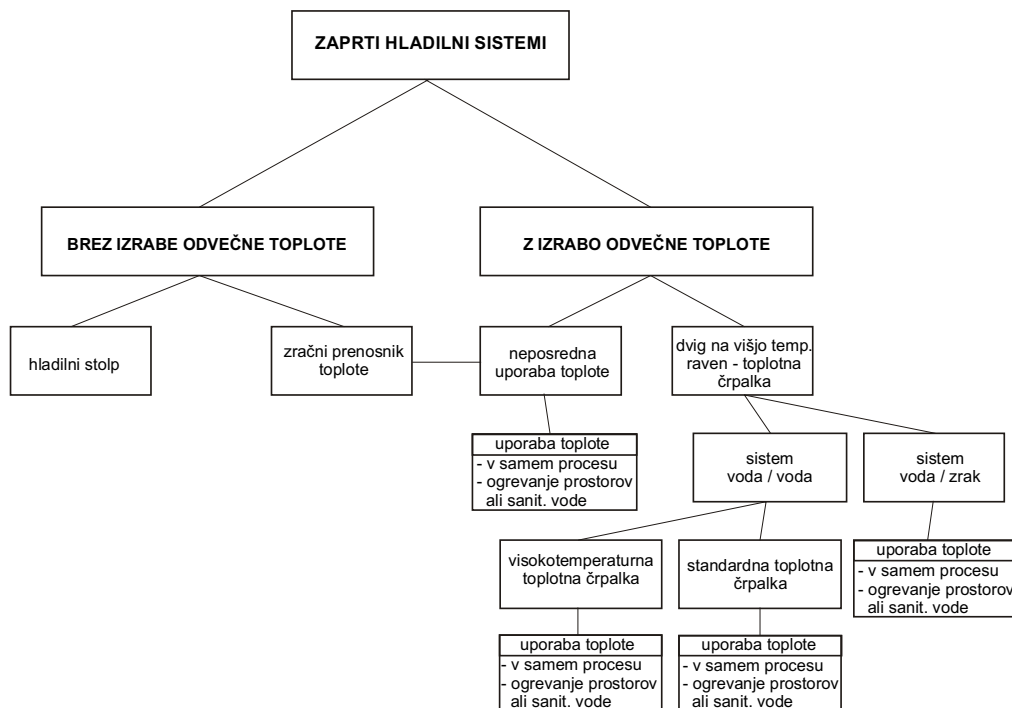
Raziskati želimo gospodarno učinkovitost in izvesti primerjavo tehnično izvedljivih sistemov za odvod in uporabo procesne toplote. Obravnava temelji na konkretnem primeru stroja za brizganje plastike.

Proučevali bomo tri tehnično izvedljive sisteme.

- Kompresorsko toplotno črpalko
- Odprti sistem pretočnega hlajenja s komunalno vodo in plinskim dogrevanjem na temperaturo odvoda
- Odprti sistem pretočnega hlajenja s komunalno vodo in električnim uporabnim dogrevanjem na temperaturo odvoda.

Za primerjavo posameznih sistemov odvoda in koristne izrabe toplote, moramo postaviti določene zahteve, ki naj jih izpolnjuje vsak obravnavan sistem.

- V vseh točkah simuliranja zajemamo toploto sredstvu, ki hladi stroj pri 17°C.
- V različnih točkah simuliranja odvajamo ponoru toploto pri različnih temperaturah od 40 °C do 90 °C, med različnimi točkami simuliranja je 10 K razlike.



Sl. 3. Izvedbe zaprtih hladilnih sistemov

- Kot reprezentativen toplotni tok pri porabniku velja tisti, ki ga doseže sistem s toplotno črpalko. To pomeni, da bosta preostala dva sistema (pretočno hlajenje z ogrevanjem s plinom in pretočno hlajenje z električnim ogrevanjem) zasnovana tako, da bosta na strani odvoda toplote porabniku v vsaki točki dosegala enako toplotno moč.

Pri tem nas zanimata gospodarnost delovanja posameznega sistema in primerjava med njimi. Ekonomsko analizo bomo izvedli po postopku delnih letnih stroškov [1].

2.1 Izhodiščni podatki:

Toplotni tok, ki ga moramo odvesti: 50 kW.
 Temperaturni režim sredstva, ki hladi stroj: 12/17°C
 Letno število ur obratovanja: 4505 h.

2.2 Zaprti hladilni sistem – toplotna črpalka (sistem A)

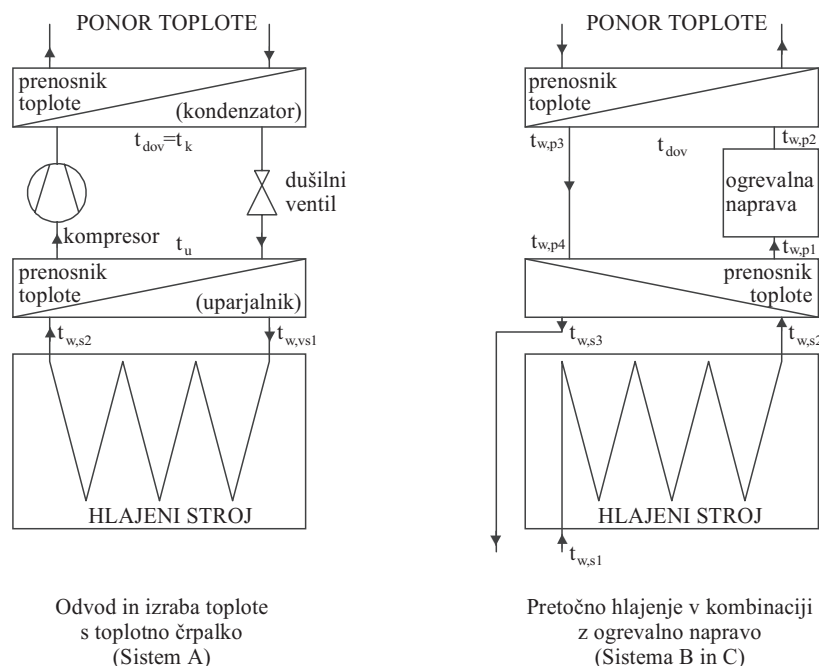
Sistem, ki je prikazan na sliki 4 (A), je sistem kompresorske toplotne črpalke, sestavljene iz dveh

Preglednica 1. Parametri hladilnih sistemov z izrabo odvečne toplote [2]

Sistem	A	B	C
Tip	kompresorska toplotna črpalka, hladivo R134a	pretočno hlajenje v povezavi s plinsko ogrevalno napravo	pretočno hlajenje v povezavi s plinsko ogrevalno napravo
Vir energije	elektrika	zemeljski plin	elektrika
Vir toplote	pretočna voda iz hlajenega stroja 12/17°C	pretočna voda iz hlajenega stroja 12/17°C	pretočna voda iz hlajenega stroja 12/17°C
Ponor toplote	pretočna voda ponora	pretočna voda ponora	pretočna voda ponora
Investicijski stroški	1.108.824,00 SIT	590.000,00 SIT	250.000,00 SIT

Preglednica 2. Cene energij in komunalne vode [3] in [4]

Vrsta	Cena	Opomba
Električna energija	16,35 SIT/kWh	obratovanje 17 ur dnevno, 9 v času prve tarife in 8 v času druge tarifne postavke
Zemeljski plin	53,73 SIT/Sm ³	
Komunalna voda	285 SIT/m ³	vključno s kanalščino in priklopom na čistilno napravo



Sl. 4. Hladilni sistemi z izrabo odvečne toplote

Preglednica 3. Kondenzacijska, električna moč, grelno in hladilno število toplotne črpalke

$t_k (^{\circ}C)$	40	50	60	70	80	90
$\dot{Q}_k (kW)$	62,45	66,72	71,05	75,17	82,61	92,75
$\dot{Q}_{el} (kW)$	12,45	16,72	21,05	25,17	32,61	42,75
$\varepsilon_{gr} (-)$	5,0	4,0	3,4	3,0	2,5	2,2
$\varepsilon_{hl} (-)$	4,0	3,0	2,4	2,0	1,5	1,2

ploščnih prenosnikov toplote (uparjalnik in kondenzator), hermetičnega batnega kompresorja, dušilnega organa, regulacijskih elementov in drugih sestavnih delov. Kot vir rabi omenjena odvečna toplota stroja za brizganje plastike, kondenzacijsko toploto pa prek kondenzatorja odvajamo ponoru, pri različnih temperaturah odvisno od simulirne točke. Delovanje toplotne črpalke smo simulirali z uporabo programskega paketa za preračun hladilnega sistema. Dosežena grelna, hladilna moč, grelna in hladilna števila so prikazana v preglednici 3.

2.3 Pretočno hlajenje s plinskim ali električnim dogrevanjem (sistema B in C)

Na sliki 4 je prikazan odprt sistem pretočnega hlajenja z dodatnim dogrevanjem z zemeljskim plinom (sistem B) ali električno energijo (sistem C). Hladilni medij (komunalna voda), ki se pretaka skozi stroj, se pri tem ogreje na $t_{w,s2}$ (17°C). Pri prehodu skozi ploščni prenosnik toplote odda del toplote sredstvu v primarnem tokokrogu in se ohlajen na $t_{w,s3}$ zavrže. V primarnem obtoku se

sredstvo najprej prenosniku toplote iz $t_{w,p4}$ (10°C) ogreje na $t_{w,p1}$ (14°C), nato pa še v ogrevalni napravi na temperaturo odvoda toplote (odvisno od točke simuliranja). V drugem prenosniku toplote odda toplotni tok, enak toplotnemu toku, ki ga dosega toplotna črpalka. Sistema B in C se razlikujeta le v vrsti ogrevalne naprave. Če hočemo pri sistemih B in C doseči enak izstopen toplotni tok kakor pri toplotni črpalci, moramo ustrezno izbirati masni tok prenosnega medija. Ker smo omejeni s temperaturnimi razlikami, potrebnimi za prenos toplote v prenosniku toplote, lahko torej izrabimo le del toplote iz pretočnega hlajenja. V preglednici 4 so za posamezno točko navedeni obratovalni parametri, s katerimi dosežeta sistema pretočnega hlajenja enak izstopen toplotni tok kakor sistem s toplotno črpalko. \dot{Q}_{hl}^* je toplotni tok, ki ga odvezamemu mediju, ki hladi obdelovalni stroj. \dot{Q}_{gr}^* pomeni toploto, ki jo mora zagotoviti ogrevalna naprava, da lahko uporabniku zagotovimo enak toplotni tok na enakem temperaturnem nivoju kakor toplotna črpalka. m_{ON} je masni tok medija, ki se pretaka skozi ogrevalno napravo (primarni obtok).

Preglednica 4. Parametri pri delovanju ogrevalne naprave v sistemu za izrabo odpadne toplote

t_{odv} (°C)	40	50	60	70	80	90
\dot{m}_{ON} (kg/s)	0,495	0,397	0,338	0,298	0,281	0,275
\dot{Q}_{hl}^* (kW)	8,13	6,67	5,68	5,01	4,72	4,62
\dot{Q}_{gr}^* (kW)	54,08	60,05	65,36	70,16	77,89	88,13

2.3 Postopek delnih letnih stroškov [1]

3 SKLEP

Postopek delnih letnih stroškov je primeren tudi za uporabo v sistemih varčevanja z energijo in jo uporabljajo mnogi avtorji. S faktorjem CR lahko določimo letni znesek R, potreben za odplačilo sedanje vsote P pri $i\%$ obrestih v n -letih.

$$CR = \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (1)$$

Če je sedanja vrednost denarja P in želimo izračunati letni obrok R v nekem časovnem obdobju, da dobimo povrnjeno vrednost P, lahko uporabimo naslednjo enačbo:

$$R = P \cdot CR \quad (2)$$

Delne letne stroške izračunamo po enačbi:

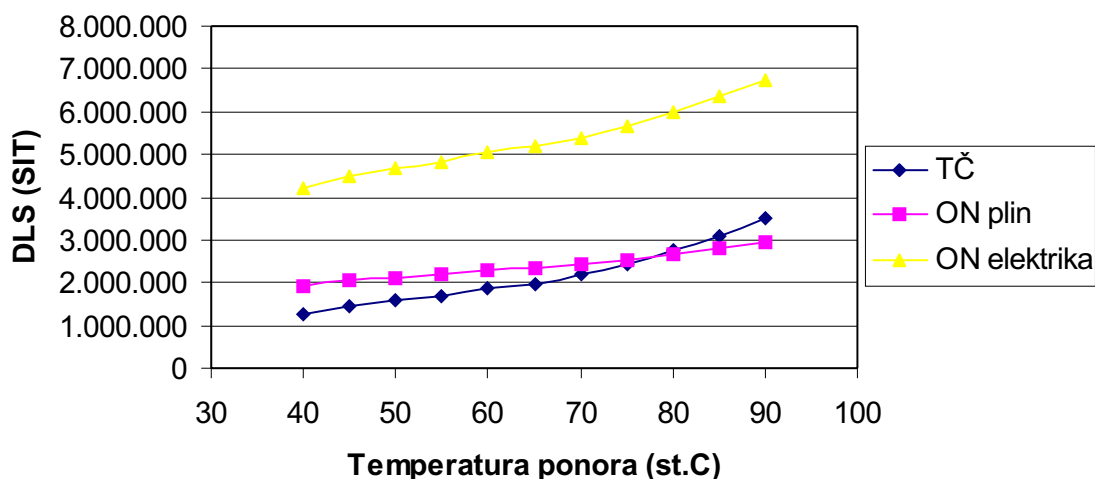
$$DLS = INV \cdot CR + LOS \quad (3)$$

Pri tem določimo investicijske stroške na podlagi vrednosti naprave, letne obratovalne stroške pa na temelju porabe energijskih virov, komunalne vode in drugih obratovalnih stroškov. Pri investicijskih vrednostih smo upoštevali trenutne cene omenjenih naprav na trgu. Prav tako so pri obratovalnih stroških upoštewane trenutne cene energije. Rezultati simuliranja so prikazani na sliki 5.

Kakor je razvidno s slike 5, je pri sistemu pretočnega hlajenja z električnim ogrevanjem letni strošek ne glede na temperaturo odvoda toplote bistveno, torej več ko dvakrat višji od preostalih dveh. To gre seveda na račun drage električne energije. Pri preostalih dveh sistemih pa so razmere med seboj podobne. Sistem s toplotno črpalko je pri nižjih vrednostih odvoda toplote ekonomsko učinkovitejši, njegova prednost pa se nekje do temperature 80 °C zmanjšuje, nad to vrednostjo je ekonomičnejša uporaba pretočnega hlajenja s plinskim dogrevanjem. To razmerje je odvisno predvsem od grelnega števila toplotne črpalke, ki se s temperaturo kondenzacije bistveno zmanjšuje. Poudariti je treba, da omenjena analiza velja le za opisani sistem, omenjene razmere delovanja in uporabljene cene energijskih virov in komunalne vode. Verjetno pa bi bila slika ob manjših spremembah (toplotna črpalka z drugim hladivom) podobna, morda bi se le prevojna točka pojavila pri kakšni drugi temperaturi ponora.

V prispevku smo prikazali primer, ki kaže, da je za pravilno odločitev izbire sistema hlajenja strojev potrebna tehnična in ekonomska presoja rešitev.

Ne glede na ekonomsko upravičenost je v prid toplotni črpalci predvsem ekološka primernost, saj ne porablja dragocene pitne vode in ne onesnažuje okolja z nenadzorovanimi emisijami.



Sl. 5. Delni letni stroški hladilnih sistemov z izrabo odvečne toplote

4. OZNAČBE

<i>CR</i>	-	faktor postopka delnih letnih stroškov
<i>DLS</i>	SIT	delni letni stroški
<i>INV</i>	SIT	investicijski stroški
<i>i</i>	%	obrestna mera
<i>LOS</i>	SIT	letni obratovalni stroški
<i>m</i>	kg/s	masni tok
<i>n</i>	leto	število let
<i>Q</i>	kW	moč, toplotni tok
<i>t</i>	°C	temperatura
<i>T</i>	K	absolutna temperatura
<i>ε</i>	-	grelno, hladilno število

Okrajšave in indeksi

c	Carnotov
dov	dovedeni
el	električni
gr	gretje
hl	hlajenje
k	kondenzacija
ON	ogrevalna naprava
p	primarni
pon	ponor toplote
s	sekundarni
TČ	toplotna črpalka
u	uparjanje
v,w	voda
vir	vir toplote

5 LITERATURA

- [1] Goldstic, R.J. (1983) Waste Heat Recovery Handbook. *The Fairmont Press Inc.*, Atlanta.
 [2] Empor d.o.o. (1999) Cenik komponent hladilne tehnike 1999. Ljubljana.
 [3] Elektro Slovenija d.o.o. (1998) Cenik električne energije. Ljubljana.
 [4] Javno komunalno podjetje Žalec (1999) Cenik komunalnih storitev. Žalec.

Naslov avtorjev: Sašo Kronovšek
 prof.dr. Alojz Poredoš
 Fakulteta za strojništvo
 Univerze v Ljubljani
 Aškerčeva 6
 1000 Ljubljana

Prejeto: 19.7.1999

Sprejeto: 15.9.1999

Poročila

Reports

Günther Schuster, Plama-pur in slovenska industrija poliuretanov

Günther Schuster, Plama-pur and the Slovenian Polyurethane Industry

Pred meseci se je poslovil od aktivnega dela, pred dnevi pa še čil in zdrav praznoval svojo 80-letnico gospod Günther Schuster.

Poliuretanska kemija in poliuretanske tehnologije so relativno mlade. Poliuretanska kemija začne svojo pot leta 1937. Takrat je nemški znanstvenik prof. dr. Otto Bayer s sodelavci odkril osnovno adicijsko polimerizacijsko reakcijo med diizocianati in alkoholi. Tako nastali polimeri so poliuretani. Od izuma do uporabe je običajno dolga pot, ki terjaja interdisciplinaren pristop. Tipičen primer za to so penasti poliuretani. Ko so Bayerjevi strokovnjaki začeli z razvojem praktične uporabe poliuretanskih izdelkov, to je bilo predvsem po letu 1945, so večkrat naleteli na problem predelave izdelka do končnega izdelka.

Tako je g. Schuster še kot študent strojništva na fakulteti v Aachnu dobil v roke kos mehke poliuretanske pene od dr. Heinza Eisenmanna iz podjetja Bayer, enega izmed takratnih vodilnih strokovnjakov s tega področja. Vprašanje je bilo, kako predelovati ta nov material. G. Schuster je takoj ocenil, da bi se to dalo razrezovati na analognih strojih, s katerimi se razrezuje tekstil.

Te stroje je izdelovalo podjetje g. Bäumerja, sicer tasta g. Schusterja, ki je bilo takrat v Wuppertalu. Pozneje so proizvodnjo preselili v Freudenberg v pokrajini Siegeland. Tako je bila ustanovljena tovarna Albrecht Bäumer s programom izdelave strojev za razrez poliuretanskih pen in sorodnih penastih in tudi nepenastih materialov. To, kar je v zadnjih petdesetih letih pomenilo podjetje Bayer v razvoju poliuretanske kemije in vseh vrst uporabnostnih tehnologij na čelu z g. dr. Günterjem Oertlom, je bilo podjetje A. Bäumer v razrezu in oblikovanju poliuretanskih pen na čelu z g. Schusterjem. Tako so bili prvi, ki so razvili specifičen vodoravni razrez pene, ta je



A few months ago, Günther Schuster said goodbye to active employment, and a few days ago, very much alive and kicking, he celebrated his 80th anniversary.

Polyurethane chemistry and polyurethane technologies are relatively young. Polyurethane chemistry began in 1937. The German scientist Prof. Dr. Otto Bayer and his associates discovered the basic addition polymerisation reaction between diisocyanates and alcohols. Polymers synthesised in this manner are called polyurethanes. The road from an invention to its application is usually long and requires an interdisciplinary procedure.

Foam polyurethanes are a typical example. When Bayer's experts began the development of practical uses for polyurethane products, i.e. especially after 1945, they encountered the problem of product remodelling to obtain a final product several times.

Mr. Schuster, in those times still a student of mechanical engineering at the Faculty in Aachen, obtained a piece of soft polyurethane foam from Dr. Heinz Eisenmann of Bayer, at the time one of the leading experts in the field. The question was how this new material could be processed. Mr. Schuster immediately determined that it could be cut on the analogue machines used to cut textiles.

These machines were manufactured by a company owned by Mr. Bäumer, Mr. Schuster's father-in-law, the headquarters of which were then located in Wuppertal. Later, production was moved to Freudenberg in the Siegeland region. The Albrecht Bäumer firm was thus founded with a programme for the production of machines for cutting polyurethane foam and the related foam and non-foam materials. What Bayer has been in the last fifty years in the development of polyurethane chemistry and all types of application technologies under the leadership of Dr. Günter Oertl, the A. Bäumer company represented in the field of cutting and shaping of polyurethane foams under the leadership of Mr.

bil temelj za poznejšo konstrukcijo horizontalnih krožnih žag. Žage so razvijali s sodelovanjem podjetja Otto-Bock, Duderstadt, ki je za to vrsto razreza začelo izdelovati penaste bloke dolžine 120 m ter jih rezati v tanke folije v obliki zvitkov. Ta oblika razreza je bila podlaga za poznejši razvoj kaširanja, to je poznejšega spajanja penaste folije s tekstilom. Tako spojeni materiali pa so zunanja prevleka avtomobilskih sedežev. Danes skoraj celotna proizvodnja avtomobilskih sedežev sloni na tej vrsti laminiranih materialov.

Za razrez zelo zapletenih delov iz penastih materialov so razvili tudi računalniško numerično krmiljene kopirne avtomate, ki lahko režejo v vodoravni ali navpični smeri. Poleg tega so razvili še vrsto drugih strojev za razrez in predelavo ter so s svojimi 350 zaposlenimi danes vodilno podjetje na svetu v tej industrijski veji. Svoje obrate imajo še v ZDA in na Japonskem.

G. Schuster je povezan s Plamo oziroma Plamo-pur že več ko tri desetletja. Tudi drugi izdelovalci poliuretanskih pen v nekdanji Jugoslaviji so imeli pretežno stroje tovarne A. Bäumer. Poleg poliuretanske proizvodnje so z analognimi stroji opremljeni tudi izdelovalci mineralne volne in gume.

G. Schuster je v svoji podjetju uvedel redko intervencijsko pravilo, ki glasi: v primeru nesreče pri svojem kupcu, kar je največkrat požar (poliuretanske pene pomenijo zelo veliko požarno nevarnost), odstopijo prizadeti tovarni strojno napravo, ki je trenutno v izdelavi za sicer drugega kupca. To smo doživeli tudi v Plami leta 1970. Ob katastrofalnem požaru v Plami je podjetje Bäumer takoj dobavilo horizontalno žago iz tekoče proizvodnje, sicer namenjeno drugemu kupcu. To je bila poteza, ki se tudi po 30 letih ne more pozabiti in ki poleg poslovnih stikov prispeva tudi k medčloveškim stikom med podjetjema.

Pred meseci se je g. Schuster poslovil od svojih sodelavcev in prijateljev z vsega sveta na prav poseben način. Za celotno podjetje in vse povabljene (okoli 400 ljudi) je organiziral poslovilno vožnjo z ladjo po Renu – to zadnje uradno druženje je samo potrdilo širokogruden značaj pionirja predelave penastih poliuretanov, ki je bil tudi zaradi takega značaja tako uspešen v življenju.

S tem prispevkom v Strojniškem vestniku, vodilnem strokovnem časopisu slovenskih strojnikov, se v svojem imenu in imenu sodelavcev iz družbe Plama-pur zahvaljujem g. Schusterju za dolgoletno sodelovanje. Ob njegovi 80-letnici, ki jo je praznoval 12. 10., pa mu želim še na mnoga zdrava leta.

Dr. Ciril Kastelic

Schuster. They were the first ones to develop a specific horizontal method of foam cutting which served as the basis for the construction of horizontal circular saws, which were developed in co-operation with Otto-Bock, Duderstadt; this company began to produce foam blocks with a length of 120 m to be used for this cutting method, and they were cut into thin foils in the form of rolls. This cutting method was the basis for the later development of a backing procedure, in which a textile backing was applied to the foam foil. Such coupled materials are nowadays used for the production of automobile seat covers. Nowadays almost the entire industry of seat cover production is based on this type of laminated materials.

This company also developed CNC-controlled automatic copying machines for the cutting of very complicated parts made of foam materials; these machines can cut in the horizontal or vertical direction. In addition, a series of other machines has been developed for the cutting and processing of foam materials. With 350 employees, this company is now one of the leaders in this branch of industry, with plants in the US and Japan.

Mr. Schuster has co-operated with Plama or Plama-pur for over three decades. Other manufacturers of polyurethane foams in the former Yugoslavia also purchased their machines mainly from A. Bäumer. In addition to polyurethane production, analogue machines are also used by mineral wool and rubber manufacturers.

In his company, Mr. Schuster introduced an infrequently seen rule of intervention that says that in the case of an accident in a client's company (usually a fire, because polyurethane foams are a great fire hazard), they will give the affected company a machine which has just been produced for another customer. This was done for Plama in 1970, when after a catastrophic fire Bäumer promptly supplied Plama with a horizontal saw from their production line which had been intended for another customer. This was a gesture that cannot be forgotten even after 30 years and which in addition to the business connection also contributes to the interpersonal connections between the companies.

A few months ago Mr. Schuster bade farewell to his co-workers and friends around the world in a very special manner. He organised a farewell boat trip on the Rhine for the entire company and invited guests (approx. 400 people). This final official gathering only serves to confirm the generosity of this pioneer in polyurethane foam processing, who as a result of this generosity also led such a successful life.

With this article in the Journal of Mechanical Engineering, the leading professional journal for Slovene mechanical engineers, in my own name and in the name of my colleagues at Plama-pur I hereby thank Mr. Schuster for his many years of co-operation. And on the occasion of his 80th birthday, which he celebrated on 12 October, I wish him many happy returns.

Dr. Ciril Kastelic

Novice ZSITS

News from AMETS

Novice iz sporočil

Novice iz Sporočil, uradnega glasila Urada Republike Slovenije za standardizacijo in meroslovje pri Ministrstvu za znanost in tehnologijo v prvem polletju 1999

Št. 1 Prvega januarja 1999 je začelo veljati novo Navodilo o načinu izvajanja akreditiranja in o splošnih pogojih, ki jih morajo izpolnjevati akreditirani organi (Uradni list RS, št. 90/98). Vložniki in akreditirani organi morajo sedaj za pridobitev in vzdrževanje akreditacije po predpisih o obveznem certificiranju smiselno izpolnjevati zahteve standarda SIST EN 45001 in zahteve posameznega predpisa, ki določa obvezno certificiranje.

ISO je v sodelovanju s švedsko standardizacijsko organizacijo pripravil priročnik standardov za proizvajalce in uporabnike žerjavov. Priročnik vsebuje 93 standardov, od katerih jih je 50 pripravil tehnični odbor ISO/TC96-Žerjavi.

Izšla je druga, dopolnjena izdaja kataloga evropskih standardov za leto 1998, v kateri so podani naslovi standardov v vseh treh uradnih jezikih CEN (angleščini, nemščini in francoščini). Obsega več ko 4500 veljavnih evropskih dokumentov: standardov, predstandardov, harmoniziranih dokumentov in poročil CEN.

Št. 2 Številka je v celoti posvečena prikazu povezav med evropskimi standardi, napotki novega postopka in slovenskimi standardi s stanjem ob koncu leta 1998. Posamezni napotki so podani v obliki preglednic z oznakami EN, naslovom standarda v angleščini, številko Uradnega lista EU z datumom objave harmoniziranega evropskega standarda ter referenčno oznako slovenskega standarda, ki je privzet evropski standard.

Št. 3 Izšla je druga izdaja priročnika o tolerancah, ujemih in površinskih lastnostih, ki obsega 41 mednarodnih standardov. Priročnik lahko dobite tudi v elektronski obliki na zgoščenki.

Informacijo o standardih lahko dobite na naslovu <http://www.wssn.net>.

Št. 4 V februarju 1998 sta CEN in CENELEC izdala dopolnjena standarda EN 45012

in EN 45011. S tem sta bili umaknjeni izdaji iz leta 1989. Oba standarda sta z metodo razglasitve dobila v maju 1998 status slovenskega standarda, ta določa splošne pogoje, ki jih morajo izpolnjevati vložniki, če želijo biti akreditirani kot certifikacijski organi za sisteme kakovosti in kot certifikacijski organi za proizvode. USM-SA bo ugotavljala izpolnjevanje novih zahtev standarda po 31. maju 1999.

V št. 2 sporočil so bili objavljeni vsi harmonizirani evropski standardi, ki so bili objavljeni do 31. decembra 1998 v uradnem listu EU z oznako C. Odslej pa bodo v sporočilih sproti sledili objavam v Uradnih listih EU, v seznamih pa bodo tiste harmonizirane standarde, ki so bili že prevzeti kot slovenski standardi, označili z zvezdico.

Št. 5 Ob koncu leta 1998 je EU izdala nove, ostrejšje zahteve, ki se nanašajo na emisije motornih vozil in na kakovost goriv. Prve zahteve (prepoved prodaje osvinčenih goriv) bodo stopile v veljavo že 1. januarja 2000, zadnje pa 1. januarja leta 2005.

V mesecu maju je bil izdan standard SIST EN 45020 - Standardizacija in z njo povezane dejavnosti - Splošni slovar. Slovenski standard SIST EN 45020 je trijezičen, poleg slovenskih so izrazi in definicije podani še v angleščini in francoščini. Dodani so tudi izrazi v nemškem, španskem, italijanskem, nizozemskem in švedskem jeziku.

V katalogu ISO 1999 zasledimo podatek, da ima ISO trenutno 133 članic in da se je število standardov ISO konec leta 1998 povzpelo že na 11950.

Štev. 6 Prevod druge izdaje mednarodnega slovarja osnovnih in splošnih izrazov na področju meroslovja je pripravljen v štirih jezikih - slovenskem, angleškem, francoskem in nemškem. Izrazi so razvrščeni po poglavjih: veličine in enote, meritve, merjenja, merilni rezultati, merilni instrumenti, značilnosti merilnih instrumentov in etaloni.

Katalog SIST 99 bo obsegal sezname vseh slovenskih standardizacijskih dokumentov, izdanih do 30. aprila 1999.

Janez Stražišar

Strokovna literatura

Professional Literature

Iz revij

IZ DOMAČIH REVIJ

EGES, Energetika, gospodarstvo in ekologija skupaj, Ljubljana
1999, 3

Završnik, M., Donlagić, D., Donlagić D.: Uporaba optičnih principov za merjenje električnih in neelektričnih veličin (II. del)

Peklaj, M., Recelj, T.: Farmaceutvske vode - specifikacija in primeri priprave (I. del)

Brecl, K., Furlan, J.: Sončne celice - fotovoltaična pretvorba energije

Elektrotehniški vestnik, Ljubljana

1999, 3

Svečko, R., Čučej, Ž., Petrič, A.: Računalniški sistem nadzora dostopa v prostore

Mušič, G.: Vodenje sistemov diskretnih dogodkov

Vrečko, D., Vrančič, D., Strmčnik, S.: Nastavljanje spremenljivega Smithovega prediktorja

Les, Ljubljana

1999, 7-8

Bizjak, F.: Podjetje v procesih globalizacije

Livarski vestnik, Ljubljana

1999/1

Zupanič, F., Spaić, S., Križman, A.: Strjevanje zlitin v aluminijevem kotu sistema Al-Ti-B

Obzornik za matematiko in fiziko, Ljubljana

1999, 3

Strnad, J.: Poučevanje fizike in matematika

Organizacija, Maribor, Kranj

1999, 6

Mirčeva, J.: Evropska gospodarstva v iskanju učinkovitih izobraževalnih struktur

Uhan, S.: Slovenci in ustvarjalnost

Sporočila Urada za standardizacijo in meroslovje, Ljubljana

1999, 7/8

Tasić, T.: Programska oprema v meroslovju

Varilna tehnika, Ljubljana

1999, 2

Köveš, A., Rak, I., Vuherer, T., Krepek, R., Pučko, B.: Analiza kvalitete poteka varjenja z

merjenjem časovnih signalov jakosti varilnega toka in varilne napetosti

Praunseis, Z., Rak, I.: Trdnostna neenakost visokotrdnostnih zvarnih spojev z manjšo trdnostjo zvara

Aichele, G. - Brezovnik, A.: Zmanjšanje stroškov konkurenčnih izvedb v primerjavi z varilno tehniko

IZ TUJIH REVIJ

CDA

Condizionamento dell'aria Riscaldamento Refrigerazione, Milano

1999, 6

Cucumo, M., Kaliakatsos, D., Marinelli, V.: Modelli di calcolo della radiazione solare oraria in giornate serene

Neri, B., Spinelli, V.: La torre di raffreddamento raffredda?

HLH

Heizung Lüftung/Klima Haustechnik, Düsseldorf
1999, 6

Kunst, B., Weißenberg, G., Hedderich, G.: Jahresnutzungsgrad von Brennwertkesseln, Teil 1

Guntermann, K., Systemlösungen für die Sanierung von Raumluftechnischen Anlagen

1999, 7

Maas, A., Oppermann, J., Kaiser, J., Hopfer, M.: Jahres-Heizwärmeverbrauch von Synergie-Häusern

Kunst, B., Weißenberg, G., Hedderich, G.: Jahresnutzungsgrad von Brennwertkesseln, Teil 2

1999, 8

Lingnau, S.: Polardiagramme radialer Schaufelgitter

Magdeburger Wissenschaftsjournal, Magdeburg
1999, 1

Nitsch, J.: Werden Signale durch Tunnelstrecken wirklich mit Überlichtgeschwindigkeit übertragen?

Henning, H., Leneke, B., Schuster, E.: Experimenteller Mathematikunterricht als "konstruktives" Mathematiklernen

Navodila avtorjem

Instructions for Authors

Celoten rokopis članka obsega: besedilo članka v slovenskem in angleškem jeziku, preglednice, slike (risbe ali fotografije), podpise k slikam, pregled literature, povzetek (v slovenščini in angleščini), ključne besede, podatke o avtorju.

Članek naj bi bil čim krajši in naj bi obsegal v povprečju 8 tiskanih strani.

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.

Izjemoma so strokovni članki, na željo avtorja, lahko tudi samo v slovenščini.

Besedilo članka

Besedilo naj smiselno povezuje uvod v razpravo, opis pripravljanih del, glavno vsebino in sklepe. Izražanje naj bo kratko in jedrnat, preglednost pa čim boljša.

Za poimenovanje tehničnih pojmov naj rabijo izrazi iz Splošnega tehniškega slovarja (ki ga je pripravila Tehniška sekcija Terminološke komisije SAZU 1978/81).

Obvezna je raba merskih enot in označevanja, ki jih določa zakon o merskih enotah in merilih (Ur.l. RS 1/1995), tj. enot mednarodnega sistema SI in nekaterih dodatno še dovoljenih enot (ISO 31:1992). Praviloma je treba uporabljati samo veličinske enačbe. Če se, v posebnih primerih, ne bi bilo mogoče izogniti številski enačbi, je pri navedbi veličin obvezno treba označiti tudi zanje uporabljene merske enote in območje veljavnosti.

Enačbe se označujejo ob desni strani besedila s tekočo številko v okroglih oklepajih. Enačbe so del besedila, zato za številko v oklepaju pišemo vejice ali pike.

Simbole fizikalnih veličin v tisku, odvisno od vrste črk in okolnega besedila, pišemo ležeče (kurzivno), (npr. v , T , n , ...).

Simboli mer, ki sestojijo iz črk, so v tisku pokončni (npr. m/s , K , min^{-1} , μm , ...). Če so uporabljeni simboli z indeksi, slednje pišemo poševno, če pomenijo simbole fizikalnih veličin, drugače pa pokončno (ISO 31 1992).

Fizikalne veličine, ki imajo merski zmnožek z merskimi eksponenti nič, so veličine z merskim zmnožkom 1 (ali mero 1, npr. $dim \varepsilon = 1$, $dim \alpha = 1$, $dim Re = 1$; po standardu ISO 31:1992). Včasih se je za to uporabljalo neustrezno poimenovanje "brez-dimenzijska veličina".

Enote, ki so izpeljane iz osnovnih enot in tvorijo zmnožek, je treba pisati s presledkom ali s poldvignjeno piko, ki pomeni zmnožek, npr.: $N m = N \cdot m$.

Besedilo naj bo pisano na listih formata A4, z dvojnimi presledki med vrstami, ob levi strani pa s 3 cm širokim praznim robom (da je mogoče vnašati popravke lektorjev), in sicer v enem izmed bolj razširjenih urejevalnikov besedil, npr. Word for Windows in Word Perfect. Če uporabljate kakšen drug urejevalnik besedil, posnemite ali konvertirajte končni izdelek v navaden ASCII (tekstni) format.

Ne uporabljajte urejevalnika LaTeX, saj program, s katerim pripravljamo Strojniški vestnik, ne uporablja njegovega formata. V urejevalniku LaTeX oblikujte grafe, preglednice in enačbe in jih stiskajte na kakovostnem laserskem tiskalniku, da jih bomo lahko presneli.

Opombo pod črto pišemo tako, da v besedilu s številko označimo besedo (pojem), ki jo pod črto ponovimo in napišemo opombo.

Preglednice

V preglednicah naj se praviloma ne uporabljajo izpisana imena veličin, ampak samo ustrezni simboli.

V glavih preglednic je treba poleg fizikalne veličine, npr. t (pisano poševno), pripisati še mero, npr. v min (pisano pokonci). Nikakor pa je ne smemo podajati v oglatem oklepaju.

Vsi napisi morajo biti dvojezični.

Slike

Slike naj bodo narisane in posnete v kakšnem od bolj podprtih formatov, npr. BMP, GIF, JPG. Če imate na voljo, uporabite

Manuscripts of papers submitted for publication should comprise: texts in Slovene and English, tables, figures (drawings or photographs), captions, review of references, abstracts in Slovene and English, key words, information on the author.

Papers should be as short as possible and should on average comprise 8 printed pages.

Since 1992, the Journal of Mechanical Engineering has been published in two languages, Slovene and English. The two texts must be compatible both professionally and linguistically.

In exceptional cases, speciality papers may be written only in Slovene at the request of the author.

Text

Texts must sensibly link the introduction to discussion, description of preparatory work, the main content of the paper and conclusions. Expression should be short and to the point, with maximum clarity.

Units of measurement and marking used should comply with the Law on Units of Measurement and Measures (Official Gazette of the Republic of Slovenia 1/1995), i.e. international IS units and certain other permissible units (ISO 31:1992). As a rule, only nonnumerical equations should be used. In special cases, where the use of numerical equations cannot be avoided, corresponding units of measurement and domains of validity must be indicated.

Equations should be marked on the right-hand side of the text with numbers in round brackets. Equations form part of the text, so numbers of equations in round brackets should be followed by a comma or a full stop.

Symbols of physical quantities in the text should be written in italics (e.g. v , T , n , etc.), depending on the font used and the surrounding text.

Symbols of units which consist of letters should be normal (not in italics) (e.g. m/s , K , min^{-1} , μm , etc.). If symbols with indices are used, indices should be written in italics if they represent symbols of physical quantities, otherwise they should be normal (ISO 31 1992).

Physical quantities where the product of the measure and the measure exponent is zero are quantities with a measure product of 1 (or a measure of 1, e.g. $dim \varepsilon = 1$, $dim \alpha = 1$, $dim Re = 1$; in accordance with ISO 31:1992 standard). In the past, an inappropriate term, "dimensionless quantity" was used for this.

Units derived from basic units which form a product should be written with a space or semi-raised full stop to indicate a product: e.g. $N m = N \cdot m$.

Texts should be written in A4 format, with double spacing and an empty edge of 3 cm on the left-hand side (to enable editors to write in their corrections) in one of the widely used word processors, such as Word for Windows or Word Perfect. If you use any other word processor, please convert the final product into normal ASCII (text) format.

Please do not use the LaTeX text editor, since the program used to prepare the Journal of Mechanical Engineering does not use its format. However, you may design graphs, tables and equations in LaTeX and then print them on a high-quality laser printer, so that they can be copied.

Footnotes should be indicated by marking the word (term) with a number; this number is then repeated in the footnotes together with the note.

Tables

Written names of quantities should not be used in tables, only corresponding symbols.

In addition to the physical quantity, e.g. t (in italics), units e.g. in min (normal text), should be added at the square brackets.

All captions should be bilingual.

Figures

Figures should be drawn and saved in any supported format, e.g. BMP, GIF, JPG. Use CorelDraw if available, since figures in this program are vector images and may be reduced or enlarged during final processing of the paper.

za risanje program CorelDraw, saj so slike v njem vektorske in jih lahko pri končni obdelavi povečujemo ali pomanjšujemo.

Razdelitev abscise in ordinate je treba oštevilčiti s številskimi vrednostmi, ki morajo biti berljive, ne da bi vrteli sliko. Ničlišči abscise in ordinate označimo z ničlamo, tudi če obe ničlišči sovpadata. Številke pišemo podobno. Navpično napisani meri, ki pripadajo številskim vrednostim, stojita na desnem koncu abscise in na zgornjem koncu ordinate med zadnjima številka razdelbe. Pri pomanjkanju prostora lahko predzadnje, mogoče tudi predpredzadnje, število opustimo, če ta ne označuje ničlišča. Mere nikakor ne smemo vstaviti v oglati oklepaj.

Če je število manjše kakor 1, mora biti napisana ničla (0) in nato decimalna vejica. V dokumentih ISO je vejica edini decimalni znak.

Pri označevanju osi naj bi se uporabljale označbe veličin (pisane morajo biti poševno). To ima prednost, da lahko diagrame pri vključevanju angleškega besedila uporabljamo brez prevajanja in nam ni treba vrteti lista tudi pri razbiranju ordinate.

Če diagram nima samo ene krivulje, temveč več krivulj, je treba na vsako krivuljo niza napisati njen parameter, oziroma je treba vsako krivuljo opremiti s poševnimi napotilnimi številkami ali pokončnimi napotilnimi črkami, katerih pomen je treba pojasniti, najbolje v podnapisu slike.

V diagramih označite merilne točke (ki so dobljene z meritvami) z naslednjimi znamenji:

●, ○, ■, □, ▲, △, ▼, ▽, ×, +.

Za vse slike po fotografskih posnetkih je treba priložiti izvime fotografije, ki so ostre, kontrastne in primerno velike.

Pregled literature

V pregledu literature naj bo vsak vir oštevilčen s tekočo številko v oglatih oklepajih, ki jih uporabljamo tudi med besedilom, kadar se želimo sklicevati na določen literaturni vir.

Vsak vir mora biti opremljen s podatki, ki omogočajo bralcu, da ga lahko poišče. Pri knjigah navajamo: avtorja (priimek, ime), naslov knjige, izdajo, ime založbe in kraj ter leto izdaje. Če je avtorjev več, jih ločimo z vejico; pri večjem številu avtorjev pa navedemo prvega z dodatkom [et al.]. Pri člankih in revijah navajamo: avtorja (priimek in ime), naslov članka, ime revije in kraj izhajanja, letnik (volumen), številko (revije), leto ter strani.

Povzetek (sinopsis)

Avtorji naj na začetku članka prilože povzetek v omejenem obsegu 10 do 15 vrstic ter ključne besede, in sicer v slovenščini in angleščini.

Podatki o avtorju

Rokopisu morajo biti dodani tudi podatki o avtorju: ime in priimek, akademski naslov in poklic, ime delovne organizacije, v kateri dela, telefonska številka in naslov stanovanja.

Avtorske pravice

Avtor mora priložiti pisno izjavo, da je besedilo njegovo izvirno delo in ni bilo v dani obliki še nikjer objavljeno. Deli članka so lahko že bili podani kot referati. Prav tako mora avtor pisno izjaviti, da besedilo ne vsebuje žaljivih in nezakonitih sporočil, kakor tudi da ne posega v pravice drugih oseb.

Uredništvo SV si pridržuje pravico do: odločanja o sprejemu članka za objavo, strokovne ocene in morebitnega predloga za krajšanje ali izpopolnitev, terminološke in jezikovne korekture.

Z objavo preidejo avtorske pravice na Strojniški vestnik. Pri morebitnih kasnejših objavah mora biti SV naveden kot vir.

Rokopisi člankov ostanejo v arhivu SV. Vsa nadaljnja pojasnila daje:

Uredništvo STROJNIŠKEGA VESTNIKA
Aškerčeva 6
L J U B L J A N A
Pisma: 1001 Ljubljana, p.p. 197/IV
Telefon: (061) 1771-428
Telefaks: (061) 218-567
E-mail: strojniksi.vestnik@fs.uni-lj.si

Scales on the abscissa and ordinate must be marked with numbers which can be read without turning the figure around. The zero points of the abscissa and ordinate should be marked with two zero points even if the zeros coincide. Numbers should be written in the same way. Vertical units which apply to numerical values should be on the right side of the abscissa and at the upper end of the ordinate between the last two numbers on the scale. In the event of a lack of space, the last or even the penultimate number may be left out if they do not indicate a zero. Units may not be given in square brackets.

If numbers are less than 1, they should be written with a zero (0) and a decimal point.

In labeling axes, quantity markings should be used (they must be written in italics). The advantage of this is that when adding the English translation, diagrams may be used without translation and there is no need to turn the journal around to read what is written on the ordinate.

If the diagram contains more than one curve, each curve should be marked with its parameter; alternatively, reference numbers in italics or normal text should be written by each curve, and their meaning should be explained, which is best done in the caption.

Indicate measurement points in diagrams with the following signs:

●, ○, ■, □, ▲, △, ▼, ▽, ×, +.

Original photographs which should be in sharp focus, of good contrast and of appropriate size should be enclosed for all pictures in the paper based on photographs.

Review of references

Each source should be numbered with a number in square brackets which should also be used thereafter in the text to refer to that source of reference.

Each source must come with data to enable the reader to find it. Please state the following. For books: the author (full name), title, issue, name of the publisher and place and year of publication. If there are several authors, they should be separated by commas; if there are many authors, state the first one and add [et al.]. For papers in journals: the author (full name), title, name of the journal and place of publication, year (volume), number (of the journal), year and pages.

Abstract (Summary)

At the beginning, all papers should have abstracts limited to 10 to 15 lines, with key words in Slovene and English.

Author information

The following information on authors should be enclosed with manuscripts: full name, academic title and profession, name of organisation in which he/she is employed, telephone number and home address.

Copyright

Along with their papers, authors must also enclose a written statement that the paper is his/her original work and has not been published in that form anywhere else. However, parts of the paper may have been given in the form of reports. Authors must also state in writing that the text of the paper does not contain any insulting or illegal messages and that it does not infringe upon the rights of third parties.

The Editorial Committee of the Journal of Mechanical Engineering reserves the right to: decide whether to accept a paper for publication, obtain professional reviews for papers and possibly propose that the authors shorten or complete them, correct terminology and edit language.

On publication, copyright for the paper shall pass to the Journal of Mechanical Engineering. The Journal of Mechanical Engineering must be stated as a source in all later publications.

Manuscripts of papers will be kept in the archives of the Journal of Mechanical Engineering. You can receive all further information from:

Editorial Board of the
JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING
Aškerčeva 6
L J U B L J A N A
Letters: 1001 Ljubljana, P.O.Box 197/IV, Slovenia
Telephone: + 386 61 1771-428
Fax: + 386 61 218-567
E-mail: strojniksi.vestnik@fs.uni-lj.si