

STROJNIŠKI

VESTNIK 5

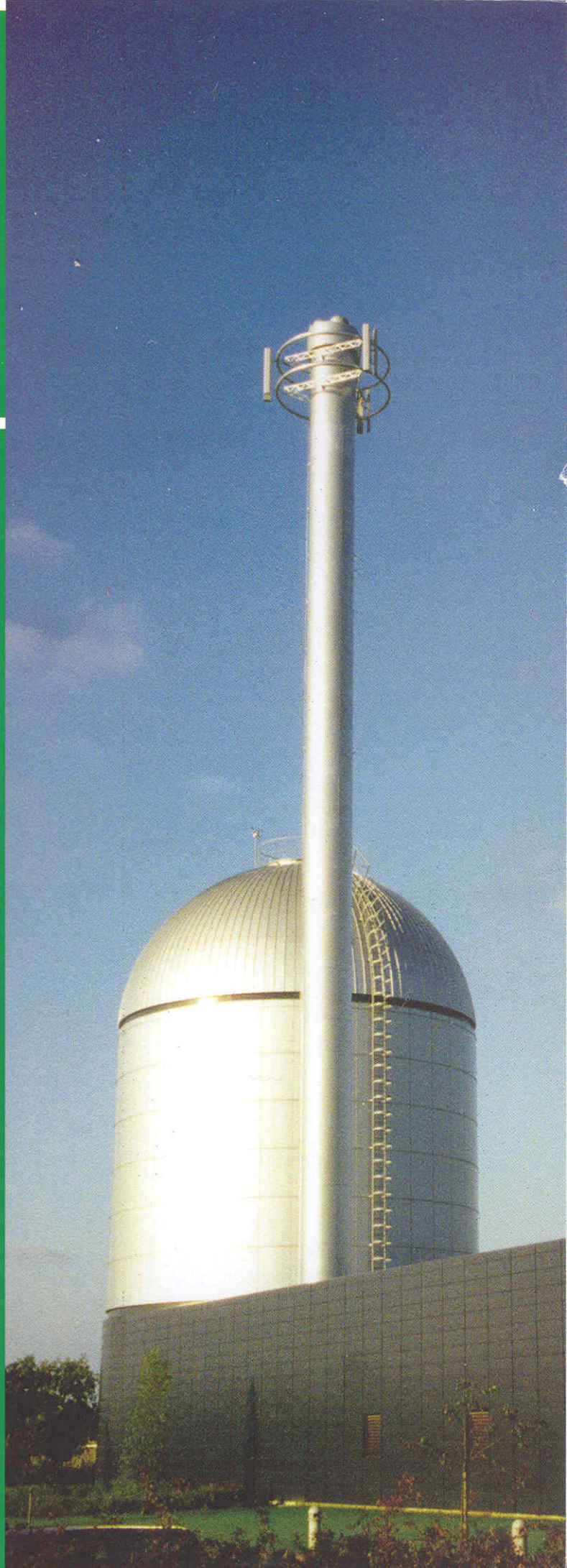
JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING

strani - pages 191 - 232

ISSN 0039-2480 . Stroj V . STJVAX

cena 800 SIT

1. Drugačna metoda določevanja koncentracij plinov zaprtih prostorov v odvisnosti od časa
Alternative Method for Determine Concentration of Gases in Enclosed Structures as a Function of Time
2. Identifikacija sezonskih modelov za temperaturo zraka v coni glavnega mesta Sirije "Damask"
An Identification of Seasonal Models for Air Temperature in the Capital Zone "Damascus" in Syria
3. Tok tekočine skozi reže v hidravličnih sestavinah
Fluid Flow Through Gaps in Hydraulic Components
4. Primerjava triboloških lastnosti mineralnih in repičnih mazalnih olj - Rezultati fizikalno-kemijskih analiz (3. del)
Tribological Properties of Rapeseed Oils Compared to Mineral Oils - Results of Physical and Chemical Analysis (part 3)



Vsebina

Contents

Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering
letnik - volume 47, (2001), številka - number 5

Razprave

- Likar, J., Čadež, J.: Drugačna metoda določevanja koncentracij plinov zaprtih prostorov v odvisnosti od časa 192
- Skeiker, K.: Identifikacija sezonskih modelov za temperaturo zraka v coni glavnega mesta Sirije "Damask" 199
- Pezdirnik, J.: Tok tekočine skozi reže v hidravličnih sestavinah 210
- Arnšek, A., Udovč, A., Vižintin, J.: Primerjava triboloških lastnosti mineralnih in repičnih mazalnih olj - Rezultati fizikalno-kemijskih analiz (3. del) 217

Strokovna literatura

Osebnosti

Navodila avtorjem

Papers

- Likar, J., Čadež, J.: Alternative Method for Determine Concentration of Gases in Enclosed Structures as a Function of Time
- Skeiker, K.: An Identification of Seasonal Models for Air Temperature in the Capital Zone "Damascus" in Syria
- Pezdirnik, J.: Fluid Flow Through Gaps in Hydraulic Components
- Arnšek, A., Udovč, A., Vižintin, J.: Tribological Properties of Rapeseed Oils Compared to Mineral Oils – Results of Physical and Chemical Analysis (part 3)

Professional Literature

Personal Events

Instructions for Authors

Drugačna metoda določevanja koncentracij plinov zaprtih prostorov v odvisnosti od časa

Alternative Method for Determine Concentration of Gases in Enclosed Structures as a Function of Time

Jakob Likar - Jure Čadež

V prispevku je predlagan drugačen postopek projektiranja prezračevalnih sistemov v zaprtih in deloma zaprtih podzemnih prostorih, kjer se pokaže potreba po bolj podrobnih analizah. Podane so teoretične osnove in področja uporabe. Za prikaz prednosti takšnega postopka je opravljen izračun gibanja onesnaženega zraka v zaprtem prostoru v odvisnosti od časa.

© 2001 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

(Ključne besede: prostori zaprti, zrak onesnažen, prezračevanje, koncentracije plinov)

This paper proposes an alternative approach to the ventilation design of enclosed and half enclosed underground structures, where more detailed analysis is required. Theoretical basics are represented and the area of application is determined. To show the advantage of such approach a calculation of movement of exhausted air through enclosed structure as function of time has been executed.

© 2001 Journal of Mechanical Engineering. All rights reserved.

(Keywords: enclosed structures, polluted air, ventilation, gas concentration)

0 UVOD

Pri gradnji in obratovanju podzemnih prostorov, npr. predorov, podzemnih garaž, rudnikov itn., pomeni projektiranje prezračevanja podzemnih prostorov velik izziv. Prezračevalni sistemi dovajajo svež zrak in odvajajo onesnaženega. Pri izkopu predorov in pridobivanju rude v rudnikih je zrak onesnažen iz dveh virov. Prvi vir sta ogljikov dioksid in monoksid, ki nastajata pri delovanju motorjev z notranjim zgorevanjem. Hribina ali zemljina, v kateri se izvaja izkop, vsebuje pline, kakršna sta metan ali ogljikov dioksid. Mešanica metana in zraka je pri koncentracijah med 4 in 15 % metana eksplozivna, zato mora biti ta pravočasno odveden s področja odkopavanja.

V podzemnih garažah je zrak onesnažen samo iz prvega vira.

Prezračevalni sistem ustvarja tok zraka, ki odvaja onesnažen zrak s področja izkopavanja, ali v drugem primeru, s področja prometa v podzemnih garažah. V kotih prostorov oziroma mestih, kjer

0 INTRODUCTION

In the construction of enclosed and half-enclosed structures, such as tunnels, underground car-parks, mines etc., the design of the ventilation system presents a considerable challenge. In this kind of structure mechanical ventilation systems are installed to supply fresh air and to remove the polluted air. During the excavation of tunnels and the extraction of ore from mines the air is polluted for two reasons. The first is the carbon monoxide and dioxide that comes from the exhausts of machines or vehicles with internal combustion engines. The second is that the rock or soil often contain gases such as methane and carbon dioxide. When mixed with air in the concentration range of 4 to 15 % methane is explosive and must be removed from the area of excavation.

In underground car parks, of course, the air is polluted only for the first reason.

The ventilation system produces an airflow, which removes the polluted air from the domain of excavation or, in the other case, from the domain of the traffic. In the corners of underground structures

prezračevanje ni učinkovito, lahko nastane območje velike koncentracije onesnaženega zraka; še posebej je nevaren metan, ki je, pomešan z zrakom, eksploziven.

Predpisi na področju prezračevanja upoštevajo največjo in povprečne vrednosti koncentracije plinov v zaprtih in polzaprtih prostorih, na podlagi katerih so projektirani prezračevalni sistemi. Prav tako je navadno predpisana najmanjša potrebna količina zraka.

V prej navedenih primerih projektiranje ventilacije po teh kriterijih ne obvaruje delavcev in uporabnikov podzemnih garaž pred škodljivimi vplivi. V teh primerih je treba izvesti dodatne analize. V tem prispevku predlagamo alternativno metodo projektiranja prezračevanja, ki omogoča bolj podrobno analizo dogajanja in omogoča spremljanje koncentracij onesnaževalnikov v odvisnosti od časa.

1 TEORETIČNE OSNOVE

Koncentracija plinov v nekem prostoru je odvisna od naslednjih parametrov:

- lege vira plina,
- izdatnosti vira plina,
- lege vira svežega zraka,
- količine svežega zraka,
- velikosti prostora.

Če razdelimo prostor na posamezne dele ali cone (nadzorne prostornine, sl. 1), lahko za vsako cono zapišemo masno bilanco, kakor je navedeno v enačbi 1 ([1] in [5]):

$$\rho V_{ij} \cdot \frac{dC_{ij}(t)}{dt} = C_{ij}^v(t) - C_{ij}^i(t) + S(t)_{ij} \quad (1),$$

V_{ij} - prostornina cone, C_{ij} - koncentracija plina v posamezni coni, C_{ij}^v - dotok zraka z določeno koncentracijo plina iz sosednjih con, C_{ij}^i - odtok zraka z določeno koncentracijo plina v sosednje cone, $S(t)_{ij}$

or places where ventilation is ineffective, a high concentration of polluted air can occur. This is especially dangerous in the case of methane, which is explosive when mixed with air.

In general, a ventilation system is designed with the criteria of maximum and average concentrations of gases in enclosed and half enclosed underground structures taken into consideration. The minimum volume of fresh air is determined as well.

In the special cases mentioned above, basing the size of the ventilation system on those criteria does not prevent workers or passengers from being exposed to danger: the problem must be explored in greater detail. In this article we propose an alternative method for determining the dimensions of a ventilation system, which allows a detailed analysis of the problem and shows the change in the concentration of pollutants as a function of time.

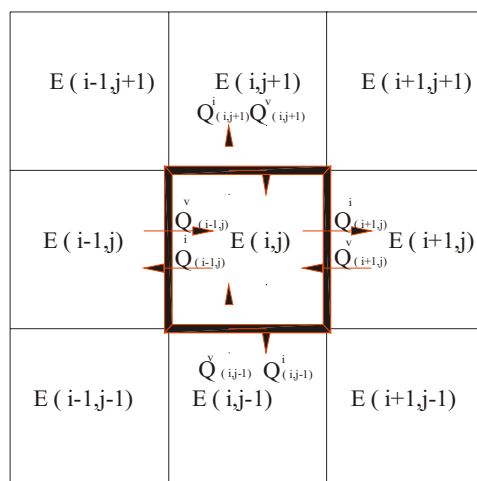
1 THEORETICAL CONSIDERATION

Generally, the concentration of gases depends on the following parameters:

- position of the gas source
- emission rate of gas source
- position of the fresh-air intake
- volume of fresh air
- volume of the structure

If we divide the underground space into a number of zones (control volumes, see Figure 1), the mass balance for each zone can be represented as follows ([1] and [5]):

V_{ij} - volume of zone, C_{ij} - concentration of gas in current zone, C_{ij}^v - incoming air with concentration of gas from connected zones, C_{ij}^i - outgoing air to the connected zones, $S(t)_{ij}$ - emission rate of gas, Q_{ij}^v - incoming



Sl. 1. Masna bilanca za cono i, j
Fig. 1. Mass balance for zone i, j

- emisija plina, Q_{ij}^v - dotok zraka iz sosednjih con, Q_{ij}^i - odtok zraka v sosednje cone, i, j - indeksi.

Enačbe koncentracij plinov, ki vstopajo ali izstopajo iz posamezne cone, so:

$$C_{ij}^v(t) = Q_{i-1,j}^v \cdot C_{i-1,j}^v(t) + Q_{i+1,j}^v \cdot C_{i+1,j}^v(t) + Q_{i,j-1}^v \cdot C_{i,j-1}^v(t) + Q_{i,j+1}^v \cdot C_{i,j+1}^v(t) \quad (2)$$

$$C_{ij}^i(t) = Q_{i,j}^i \cdot C_{i-1,j}^i(t) + Q_{i,j}^i \cdot C_{i+1,j}^i(t) + Q_{i,j}^i \cdot C_{i,j-1}^i(t) + Q_{i,j}^i \cdot C_{i,j+1}^i(t) \quad (3).$$

Sistem navadnih diferencialnih enačb prvega reda je tako določen. Enačbe je mogoče rešiti ob definiciji ustreznih robnih pogojev in poznavanju pretoka zraka prek robov posamezne cone.

Robni pogoji za posamezen element so koncentracije plina v času nič (začetna koncentracija).

Gibanje zraka skozi zaprt prostor je mogoče določiti s programi, ki se uporabljajo za analize s področja dinamike tekočin in slonijo na numeričnih metodah. V tem primeru je bil uporabljen program ANSYS (FLOTTRAN), izračun pa je bil napisan na Fakulteti za strojništvo v Ljubljani. Rezultat analize je polje hitrosti zraka, ki jih program izračuna za oglišča vsakega elementa posebej. Vektorji hitrosti so preneseni v program MATHEMATICA, v. 2.2, kjer je bila izračunana povprečna hitrost zraka prek robov vsakega elementa. Pretok zraka prek robov elementov za vsak element posebej je mogoče določiti s poznavanjem dolžine stranice vsakega elementa in povprečne hitrosti zraka prek nje.

Lego vira svežega zraka je treba določiti v numerični analizi, pri izračunu koncentracij pa je treba določiti še lego vira plina in emisijo plina v posamezni coni.

Sistem diferencialnih enačb ni analitično rešljiv, ampak samo numerično. Rezultat izračuna je koncentracija plina v vsaki coni v odvisnosti od časa. Za reševanje velikih sistemov diferencialnih enačb potrebujemo posebne programe in zmogljive računalnike. Za zdaj je za razumljivo manjše število con mogoče izračunati koncentracijo plina za nekaj minut. Vsi izračuni so bili opravljeni s programom MATHEMATICA, v. 2.2.

2 PRIMER IZRAČUNA

Da bi lahko predstavili prednosti takšnega postopka, je bil izveden hipotetični izračun,

Prostor smo razdelili na sto con (elementov) z enako površino, kakor je prikazano na sliki 2. Svež zrak prihaja v prostor v spodnjem delu prostora, onesnažen zrak pa zapušča prostor v desnem zgornjem delu prostora. Hitrost zraka na vstopu in izstopu iz prostora je enaka in znaša 1 m/s. Slika 3 prikazuje polje hitrosti kot rezultat izračuna z računalniško dinamiko tekočin. Predpostavili smo, da je začetna koncentracija plina v vseh conah enaka nič (robni pogoji). Vir

volume of air from connected zones, Q_{ij}^i - outgoing volume of air to the connected zones, i, j - index.

The expression for the gas concentrations that enters or leaves a zone:

So, a set of ordinary differential equations is defined. These equations can be solved after defining the boundary conditions and the airflow rate for each zone.

The boundary condition for each element is simply the concentration of gas in each zone at time zero (initial concentration).

A numerical analysis of airflow movement through enclosed underground structure was made calculated with the technique of computational fluid dynamics or CDF (ANSYS, FLOTTRAN). The simulation was made at the Faculty of Mechanical Engineering in Ljubljana. The result of the analysis is a field of air velocity, which can be calculated for the corners of each element. The velocity vectors for each corner were entered into the MATHEMATICA v. 2.2 program, where an average velocity of airflow through the boundary lines of each zone was calculated. A volume of airflow for each zone can now be determined by knowing the average velocity and the length of the boundary line.

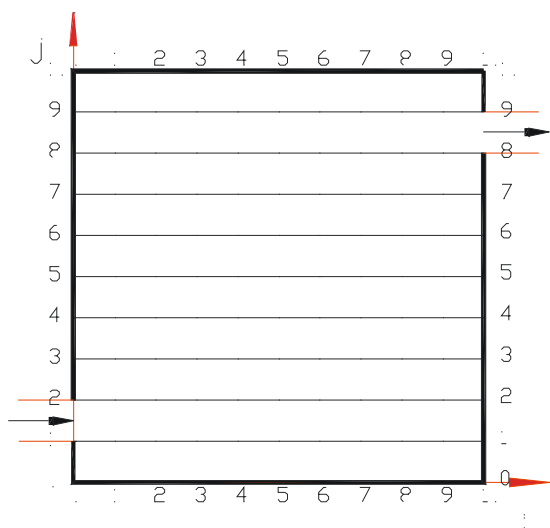
The position and the volume of the fresh-air source is determined by a numerical analysis of the air flow, while the position of the gas source and the emission rate can be defined for each zone.

The set of differential equations can only be solved numerically and the result is the concentration of gas in each zone as a function of time. However, solving a large set of equations requires special program equipment and for a long-term analysis a lot of time is needed. At present for a reasonable number of zones, the concentration of gas in each element can be calculated in a few minutes. All the calculations were executed with the MATHEMATICA, v. 2.2 program.

2 A CASE STUDY

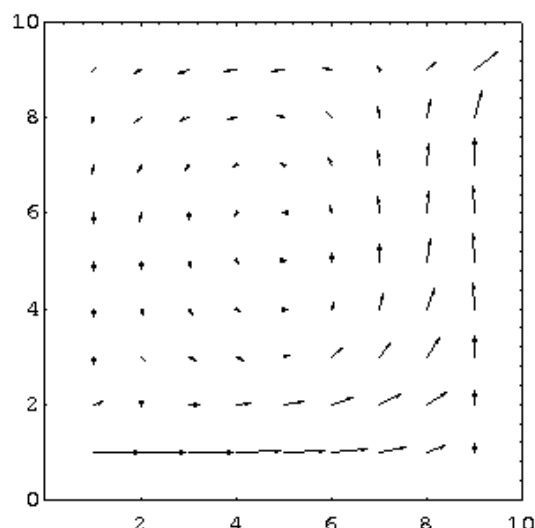
As an example a hypothetical calculation has been made to show the advantage of such an approach to the problem.

The space of the structure is divided into a hundred zones with equal shape (1 m²), which is shown in Figure 2. Fresh air enters at the bottom left corner, and the exhausted air leaves the structure at the top right corner. The velocity of the incoming fresh air and outgoing exhausted air is 1 m/s. Figure 3 shows the air velocity field for such a model, calculated with CDF. The initial concentration of gas is assumed to be zero. The source of the gas is placed

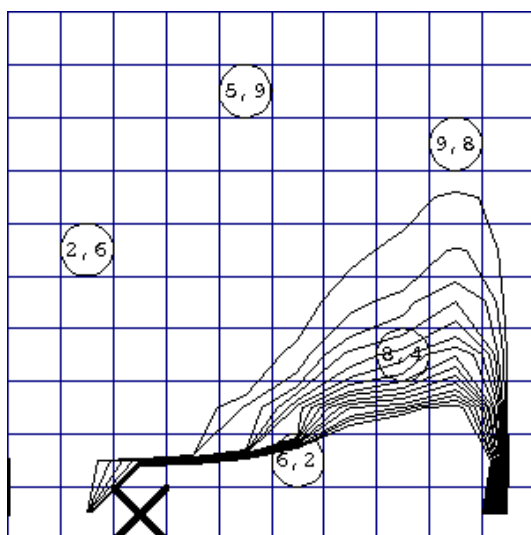


Sl. 2. Prostor, razdeljen v 100 con z označenimi legami dotoka svežega zraka in iztoka onesnaženega zraka

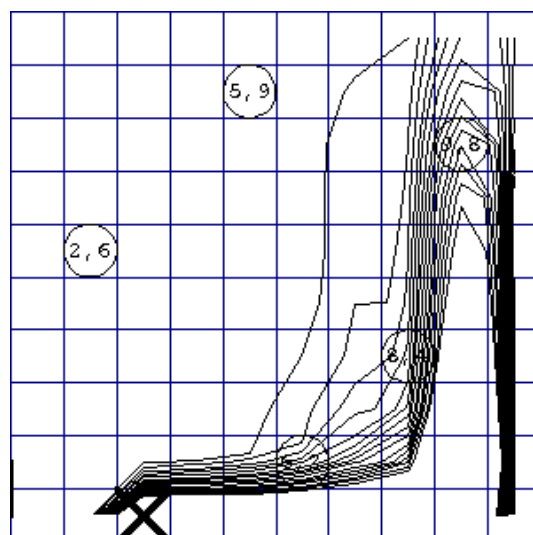
Fig. 2. Shape of the space, divided into a hundred of zones, with position of incoming fresh air and outgoing exhaust



Sl. 3. Polje hitrosti
Fig. 3. Velocity field



Sl. 4. Koncentracija plina po desetih sekundah
Fig. 4. Concentration of gas after 10 seconds



Sl. 5. Koncentracija plina po tridesetih sekundah
Fig. 5. Concentration of gas after 30 seconds

plina oz. onesnaženja se nahaja v spodnjem levem prostoru in je označen s križem, emisija pa znaša 0,4 l/s. Koncentracija plina v odvisnosti od časa je izračunana v conah, ki so označene s krogi na slikah 4, 5 in 6.

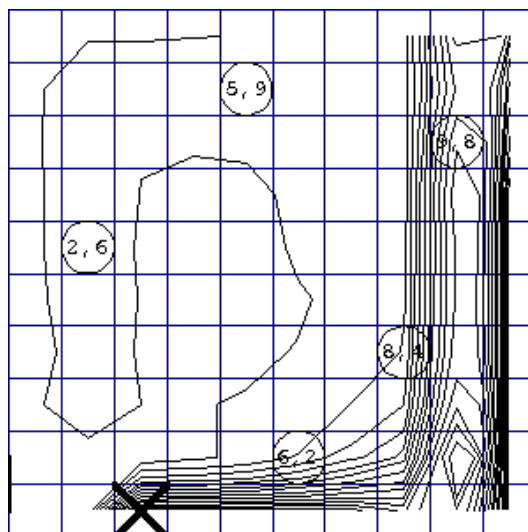
Slike 4, 5 in 6 prikazujejo gibanje onesnaženega zraka v času 10, 30 in 180 sekund po začetku emisije plina.

Koncentracije plina v conah v odvisnosti od časa so prikazane na slikah od 7 do 11 in predstavljajo povečanje koncentracije plina za različne dele prostora v odvisnosti od časa. Koncentracije so prikazane v milijoninkah ($\text{ppm} = 10^{-6}$).

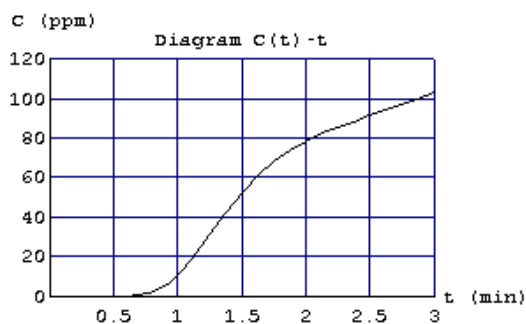
on the bottom left of the space, the emission rate is 0.4 l/s. A cross indicates the source of the pollution. The concentration is measured in zones marked with circles in Figures 4, 5 and 6. At this point the calculation can be executed.

Figures 4, 5 and 6 show the movement of the exhausted air through the space for 10, 30, and 180 seconds after the gas source becomes active.

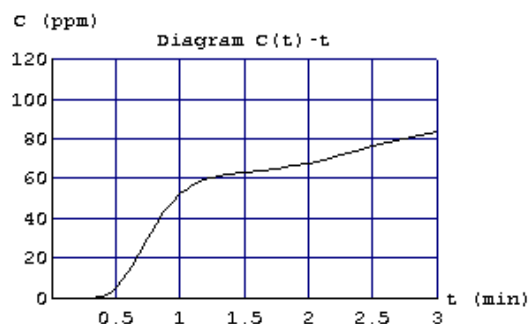
The concentration in zones as a function of time is presented in Figures 7 to 11, which show an increasing gas concentration for different parts of the space as a function of time. The concentration is expressed in parts per million ($\text{ppm} = 10^{-6}$).



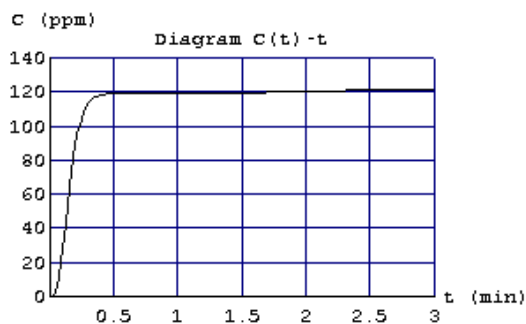
Sl. 6. Koncentracija plina po sto osemdesetih sekundah
Fig. 6. Concentration of gas after 180 seconds



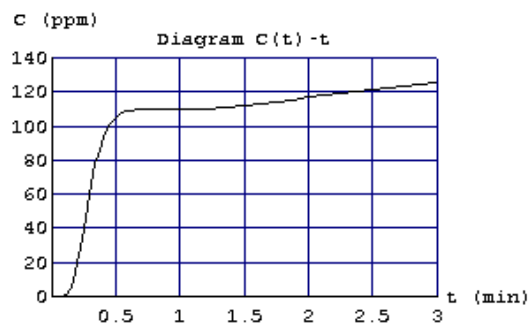
Sl. 7. Koncentracija plina v coni (2,6) v odvisnosti od časa
Fig. 7. Concentration of gas in zone (2,6) as a function of time



Sl. 8. Koncentracija plina v coni (5,9) v odvisnosti od časa
Fig. 8. Concentration of gas in zone (5,9) as a function of time



Sl. 9. Koncentracija plina v coni (6,2) v odvisnosti od časa
Fig. 9. Concentration of gas in zone (6,2) as a function of time



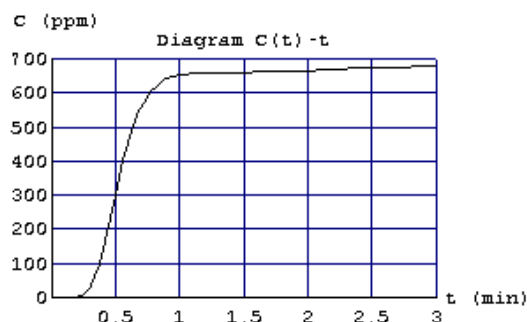
Sl. 10. Koncentracija plina v coni (8,4) v odvisnosti od časa
Fig. 10. Concentration of gas in zone (8,4) as a function of time

Koncentracije v conah desno od vira plina in vira svežega zraka dosežejo velike vrednosti kmalu po začetku izračuna. V drugih conah, razen cone (9,8), se koncentracija zvečuje počasneje.

Cona (9,8) leži na "križišču", kjer je dotok onesnaženega zraka v to cono večji od iztoka.

The concentration in the zones close to the source of the gas and the intake of fresh air indicates the high values of the concentration very soon after the calculation is started. In other zones, except zone (9,8) concentrations increased slowly.

Zone (9,8) lies at a "crossing" where the rate of the incoming polluted air is higher than the outgoing



Sl. 11. Koncentracija plina v coni (9,8) v odvisnosti od časa
Fig. 11. Concentration of gas in zone (9,8) as a function of time

Koncentracija v tem elementu je šest- ali sedemkrat večja kakor v drugih conah.

Raven koncentracije plina oziroma onesnaženja v posameznih delih prostora je zelo odvisna od lege dovoda svežega zraka in lege vira onesnaženja. Drugačna ureditev, kakor je prikazana v obravnavanem primeru, bi bistveno spremenila gibanje zraka skozi prostor, kar lahko vpliva na učinkovitost prezračevanja. Lega vira onesnaženja in predel, kjer prezračevanje ni učinkovito, bi povzročila zelo velike lokalne koncentracije onesnaženja.

3 SKLEP

Tak postopek je mogoče uporabiti v posebnih primerih, pri katerih je potrebno boljše poznavanje gibanja koncentracij v nekem prostoru. Mogoče ga je uporabiti pri gradnji prezračevanja predorov v fazi gradnje, ko je treba določiti mesta, kjer bi lahko nastajale velike koncentracije metana ali drugih plinov, še posebej pa za overitev učinkovitosti sedanjega prezračevalnega sistema. Poleg tega je tak postopek mogoče uporabiti tudi pri dimenzioniranju in preverjanju učinkovitosti prezračevalnega sistema v zaprtih prostorih, kjer obstajajo viri onesnaženja.

Koncentracije v posameznih conah je mogoče izračunati v odvisnosti od časa in tako določiti čas, v katerem bi v posameznih delih prostora prišlo do kritičnih koncentracij oziroma dele prostora, kjer bi bilo treba vgraditi zaznavala.

from the present element. The concentration level in this zone is 6 or 7 times higher than in other zones.

It is clear that the increase in the concentration depends strongly on the position of the fresh-air intake and on the position of the gas source. A different location of the incoming fresh air and outgoing polluted air would change the movement of air through space, which can decrease or increase the efficiency of the ventilation system. The position of the source of the pollution in part of the space where the ventilation is not effective would lead to very high local concentrations of polluted air or gas.

3 CONCLUSIONS

This approach can be used in special cases where more accurate results for the concentration of gases are required. It could be used in tunnels during the building phase to determine zones with high concentrations of methane and other gases, and especially for verifying the effectiveness of the existing ventilation system. In addition, this approach can also be used during dimensioning and verification of a ventilation system for enclosed structures where the source of the pollution exists.

The concentrations can be calculated as a function of real time, so the time during which the concentration in the examined zone becomes critical can be determined, or alternatively, critical zones in which sensors should be installed can be specified.

4 LITERATURA 4 REFERENCES

- [1] Chow, W.K. (1995) On ventilation design for underground car parks, *Tunnelling and underground space technology* 10,225-245.
- [2] Ross Clay, C. (1995) *Differential equations, An introduction with Mathematica*, Springer-Verlag, New York, USA.
- [3] Wolfram, S. (1995) *Mathematica handbook*, Second edition, Addison-Wesley publishing company, New York, USA.

- [4] Bahder, T. B. (1995) *Mathematica for scientists and engineers, Addison-Wesley publishing company*, Reading, USA.
- [5] Crommelin, R.D. and F. Burings (1988) Validation of a multi-cell theoretical model for the prediction of air temperatures and pollution concentrations by measurements in an industrial hall. *Ventilation 1988; Proceedings of the Second International Symposium on Ventilation for Contaminant Control*, London, 381-390.

Naslov avtorjev: dr. Jakob Likar
Jure Čadež
Inštitut za rudarstvo,
geotehnologijo in okolje
Slovenčeva 93
1000 Ljubljana

Authors' Address: Dr. Jakob Likar
Jure Čadež
Institute for mining, environment
and geotechnology
Slovenčeva 93
1000 Ljubljana, Slovenia

Prejeto: 30.11.2000
Received:

Sprejeto: 27.6.2001
Accepted:

Identifikacija sezonskih modelov temperatur zraka v področju glavnega mesta Sirije Damask

An Identification of Seasonal Models for Air Temperature in the Capital Zone Damascus in Syria

Kamal Skeiker

Ta prispevek predstavlja matematično predstavitev vremenskih parametrov v glavnem mestu Sirije Damask. Sezonski modeli, kot alternativa za uporabo urnih vremenskih vrednosti, so bili predlagani in uporabljeni za generiranje vremenskih podatkov za naslednje parametre:

- temperaturo suhega zraka,
- temperaturo vlažnega zraka,
- temperaturo rosišča.

Matematični modeli so bili izdelani za ogrevalno sezono (od novembra do aprila) in za sezono klimatizacije (od junija do septembra).

© 2001 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

(Ključne besede: projektiranje stavb, analize toplotne, modeli matematični, temperature zraka)

This paper presents a mathematical representation of weather parameters in the city of Damascus in Syria. As an alternative to using hourly historical weather data, seasonal models were suggested and used to generate synthetic weather data for the following parameters:

- air dry-bulb temperature,
- air wet-bulb temperature,
- air dew-point temperature.

These mathematical models were derived for the heating season (November to April) and for the air-conditioning season (June to September).

© 2001 Journal of Mechanical Engineering. All rights reserved.

(Keywords: building design, thermal analysis, mathematical models, air temperatures)

0 UVOD

Raba energije različnih panog v Siriji se deli na 42% za zgradbe in kmetijstvo, 41% za transport in 17% za industrijo [1]. Ker je največji del energije uporabljen v zgradbah, je smotrno nadaljevati raziskave na tem področju. Zato so raziskave usmerjene v: razvoj matematičnih modelov za preračune in simuliranje toplotnih sistemov, organizacijo in avtomatizacijo notranjih klimatizacijskih sistemov, oblikovanje pasivnih in aktivnih sončnih toplotnih sistemov, uporabo zunanjih površin za toplotno izolacijo in dvoslojnih oken.

V okviru razvoja matematičnih modelov za izračun in simuliranje toplotnih sistemov za stavbe je bil izdelan in preoblikovan računalniški program

0 INTRODUCTION

The energy consumption for the various sectors in Syria is as follows: 42% for buildings and agriculture, 41% for transportation and 17% for industry [1]. Since the greatest share of the energy consumption is accounted for by buildings, research in this field could prove to be useful, and so research has focused on the following areas: the development of mathematical models for thermal system calculations and simulations; the organization and automation of internal air-conditioning systems; the design of passive and active solar thermal systems; and the use of outer surfaces thermal insulation and double glazed windows.

As part of the development of mathematical models for the calculation and simulation of building thermal systems, the computer program LOS-A0 [2]

LOS-A0 [2]. Spremenjena verzija CLIMA lahko računa poljubna obdobja v letu. V računalniškem programu CLIMA je izračun neustaljenega prevoda toplote v zgradbi izdelan glede na matematični model z enournim časovnim korakom. Potrebuje urne meteorološke vrednosti za lokalno področje kot del vhodnih podatkov. Tako je računalniški program CLIMA izdelan z urnim testnim referenčnim letom (TRL - RMY Reference Meteorological Year) za glavno mesto Sirije. Podatki TRL bazirajo na dostopnih urnih meteoroloških vrednostih, ki so bili dobljeni na Oddelku za meteorologijo. Posneti so bili na posebno datoteko z vrednostjo 347000 bytov. Ti podatki so bili zbrani tudi v prejšnjih fazah dela [3].

Da bi zmanjšali celotni obseg računalniškega programa CLIMA in potrebne programske opreme, smo se odločili predstaviti TRL podatke v obliki matematične predstavitve vremenskih parametrov. V tem okviru so bili izdelani sezonski modeli za naslednje parametre:

- temperaturo suhega zraka;
- temperaturo vlažnega zraka;
- temperaturo rosišča.

Takšni matematični modeli so bili izdelani za ogrevalno sezono (od novembra do aprila) in za sezono klimatizacije (od junija do septembra) v Damasku. Potrebno je omeniti, da so številni avtorji uporabljali ta pristop za njihova specifična področja ([4] in [5]).

1 POSTOPEK IDENTIFIKACIJE MODELA

Ker je oblika grafičnega prikaza podatkovnih točk $M(x_i, y_i)$ v tej študiji večpolinomska, se bomo osredotočili na modele nelinearne regresije. Splošna oblika polinoma, ki ustreza podatkom je podana v naslednji obliki ([6] do [10]):

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \dots + \beta_m x_i^m + \varepsilon_i \quad (1)$$

Y_i je vrednost spremenljivke v i -tem poskusu in x_i je vrednost neodvisne spremenljivke v i -tem poskusu. Parametri modela so β_k ($k=0,1,2,\dots,m$), in napaka je ε_i . Y_i predstavlja različne vremenske parametre opisane v tem prispevku kot so temperatura suhega zraka ϑ , temperatura vlažnega zraka ϑ_w in temperatura rosišča ϑ_d .

Tehnika, ki jo uporabljamo za določevanje krivulj z najboljšim prilagajanjem, se imenuje metoda najmanjših kvadratov. Naj bo a_k cenilec parametra β_k . V metodi najmanjših kvadratov so a -ji izbrani tako, da je vsota kvadratov ostankov najmanjša. Z drugimi besedami parameter a_k minimizira vrednost ([6] in [7]):

was modified and re-organized at an earlier stage of this work. The modified version of CLIMA can calculate optional period during the year. In the CLIMA computer program the calculation of non-stationary heat transfer in a building is conducted according to the adopted mathematical model by using a one-hour time increment, and it requires hourly meteorological data for the locality as a part of its input. Therefore, the CLIMA computer program was provided with an hourly Reference Meteorological Year RMY database for the capital zone in Syria. The RMY database was based on the available hourly meteorological data, which was measured by the Department of Meteorology. It was recorded in a separate file with a size of 347000 byte. This database was also organized in the previous stage of this work [3].

To reduce the size of the CLIMA computer program and its relevant peripheral software we decided to represent the RMY database with a mathematical model of the weather. Therefore, a decision was made to identify seasonal models as an alternative to the use of hourly historical weather data and to generate synthetic weather data instead. Consequently, for this paper seasonal models were suggested for the following weather parameters:

- air dry-bulb temperature;
- air wet-bulb temperature;
- air dew-point temperature.

Such mathematical models were derived for the heating season (November to April) and for the air-conditioning season (June to September) in the Damascus zone. Several other authors have followed this approach for their specific localities ([4] and [5]).

1 METHOD OF MODEL IDENTIFICATION

Since the shape of the graphical outlay of the data points $M(x_i, y_i)$ for a particular parameter under consideration in the present study suggested a multi-polynomial representation as a strong candidate, it was considered to be worth focusing on the nonlinear regression models. The general form of the polynomial used to fit the data is given by the following relation ([6] to [10]):

Y_i denotes the value of the response variable in the i th trial, and x_i is the value of the explanatory variable in the i th trial. The parameters of the model are β_k ($k=0,1,2,\dots,m$), and the error term is ε_i . Y_i represents the various weather parameters predicted in this study, such as the air dry-bulb temperature (ϑ), air wet-bulb temperature (ϑ_w) and air dew-point temperature (ϑ_d).

The technique used to determine the best-fitting curve was the least-squares method. If a_k denotes the estimators of the parameters β_k , in the least-squares method the values of the a 's that make the sum of the squares of the residuals as small as possible are chosen. In other words, the parameter estimates a_k to minimize the quantity ([6] and [7]):

$$\sum_{i=1}^n (y_i - Y_i)^2 \quad (2).$$

Obrazec za najmanjše kvadrate je precej zapleten. Zato se bomo osredotočili na razumevanje načela in pustili programski opremi, da opravi izračune.

Da bi raziskali zmožnost regresijskega modela moramo vpeljati naslednje parametre:

- **Standardna deviacija:** Na splošno je standardna deviacija definirana kot ([6] do [8]):

$$\sigma(Y) = \sqrt{\frac{1}{n-p} \sum_{i=1}^n (y_i - Y_i)^2} \quad (3).$$

Vrednost $n-p$ je prostostna stopnja povezana z $\sigma^2(Y)$. Stopnje prostosti so enake podatkom " n " minus " $p=m+1$ ", število β pa moramo oceniti, da ustreza modelu. Standardna deviacija je vedno pozitivna in ima enako enoto kot vrednosti, ki jih obravnavamo. Srednja standardna deviacija $\sigma_m(Y)$ je definirana kot ([6] do [8]):

$$\sigma_m(Y) = \frac{1}{\sqrt{n}} \sigma(Y) \quad (4).$$

Ker so cenilke a_k znane funkcije Y , in ker so napake v Y znane, so lahko napake a_k določene z množenjem napak. Matrična algebra uporablja pravila varianc in ocenjuje, da je standardna deviacija cenilk a_k podana z naslednjo relacijo [8]:

$$[\sigma(a)] = \sigma_m(Y) \sqrt{[X]^T [X]}^{-1} \quad (5).$$

$[\sigma(a)]$ predstavlja vektor standardnih deviacij cenilk z " $m+1$ " elementi. $[X]$ pa je matrika spremenljivk z " n " vrsticami in " $m+1$ " kolonami. $[X]^T$ in $[X]^{-1}$ sta transponirana in inverzna matrika matrike $[X]$.

- **t preizkus:** Da bi pokazali ali je nihta hipoteza pravilna ali napačna in če potrebujemo polinom višjega reda, uporabimo test za β_k . Da testiramo ali drži trditev $\beta_k=0$ lahko uporabimo statistični test ([6] in [8]):

$$t^* = \frac{a_k}{\sigma(a_k)} \quad (6)$$

in pravilo odločitve:

$$\begin{aligned} |t^*| &\leq t(1 - \alpha/2; n-p) && \Rightarrow \beta_k = 0 \\ |t^*| &> t(1 - \alpha/2; n-p) && \Rightarrow \beta_k \neq 0 \end{aligned} \quad (7),$$

kjer člen $(1 - \alpha/2)$ predstavlja koeficient zaupanja

- **Koeficient večkratne določenosti in koeficient večkratne korelacije:** Koeficient večkratne določenosti, ki ga označimo z R^2 , je definiran na sledeč način ([6] do [10]):

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (8).$$

The formula for the least-squares estimates is complicated. Therefore, we will be content to understand the principle on which they are based and to let the software do the computations.

To examine the aptness of the regression model for the data at hand, the following statistical parameters need to be determined:

- **Standard Deviation:** In general, the standard deviation is defined as ([6] to [8]):

The quantity $n-p$ is the degrees of freedom associated with $\sigma^2(Y)$. The degrees of freedom equal the size of the data set " n " minus " $p=m+1$ ", the number of β 's we must estimate to fit the model. The standard deviation is always positive and has the same units as the values under consideration. The standard deviation of the mean $\sigma_m(Y)$ is defined as ([6] to [8]):

Since the estimators a_k are known functions of Y , and the errors in Y are known, the errors in a_k may be determined by error propagation. Some matrix algebra using the rules of variances establishes that the standard deviations of the estimators a_k are given by the following relation [8]:

$[\sigma(a)]$ denotes the column vector of the standard deviations of the estimators with " $m+1$ " elements, and $[X]$ is the matrix of the explanatory variable with " n " rows and " $m+1$ " columns. $[X]^T$ and $[X]^{-1}$ are the transpose and inverse of the matrix $[X]$, respectively.

- **t Test:** In order to show whether the null hypothesis is true or false, and whether higher power is important, tests for β_k are set up in the usual fashion. To test whether or not $\beta_k = 0$ we may use the test statistic ([6] and [8]):

and the decision rule:

where the term $(1 - \alpha/2)$ represents the confidence coefficient.

- **Coefficient of multiple determination and coefficient of multiple correlation:** The coefficient of multiple determination, denoted by R^2 , is defined as follows ([6] to [10]):

Izraz $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$ predstavlja aritmetično povprečje podatkov. R^2 meri proporcionalno zmanjševanje variacije spremenljivke Y v odvisnosti od spremenljivk x. Zavzema vrednosti:

$$0 \leq R^2 \leq 1$$

Večji je R^2 bolj je zmanjšano variiranje spremenljivke Y v odvisnosti od spremenljivke x. R^2 zavzema vrednost 1 ko točke padejo direktno na odvisnostno črto, to je, ko je $Y_i = y_i$ za vse i-je. R^2 zavzema vrednost 0, ko so vsi $a_k = 0$ ($k=1, 2, \dots, m$), to je, ko je $Y_i = \bar{y}$ za vse i-je. V praksi R^2 ni 0 in ne 1 ampak nekje med tema mejama.

Koeficient večkratne korelacije, označen z R, je pozitiven kvadratni koren iz R^2 :

$$R = \sqrt{R^2} \quad (9).$$

Vredno je omeniti, da je za vsak R^2 , ki ni 0 ali 1, velja $R^2 < |R|$, tako da R daje vtis "večje" odvisnosti med x in Y kot kaže vrednost R^2 .

- **Relativni odklon:** i-ti odklon je razlika med opazovano vrednostjo in napovedano vrednostjo Y_i . Relativni odkloni od napovedanimi vrednostmi so podani z naslednjo relacijo ([6] do [10]):

$$e_i = \frac{y_i - Y_i}{y_i} \quad (10).$$

Srednja relativna napaka je tudi merilo natančnosti in se lahko izračuna kot:

$$e_m = \frac{\sum |e_i|}{n} \quad (11).$$

2 PREDLAGANI SEZONSKI MODELI

Za postavitev sezonskih modelov je bilo potrebno identificirati vremenske parametre, ki so bili omenjeni v uvodu. Opaziti je, da so značilnosti vremenskih parametrov spreminjajo od sezone do sezone in jih ne moremo predstaviti z enotni modelom skozi celo leto. Zato smo analizirali samo zimski (ogrevanje) in letni (klimatizacija) letni čas. Čas od 1 novembra do 30 aprila obravnavamo kot ogrevalno sezono, čas od 1 junija do 30 septembra pa kot sezono klimatizacije.

Podatki v tej analizi so vzeti iz urne TRL podatkovne baze za Damask. Podatki za merilno obdobje so podani v [3]. Čeprav so podatki v TRL podatkovni bazi dobljeni iz omejene okolice (mednarodno letališče v Damasku, zemljepisna širina 26°33' N in zemljepisna dolžina 32°36' E, nadmorska višina 608 m), predstavlja to velik del Damaska.

V začetku je bilo preizkušanih veliko modelov. Na koncu je prišel v poštev krivuljno-

The term $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$ denotes the arithmetic mean of the data values y_i . R^2 measures the proportionate reduction of total variation in Y associated with the use of the set of x variables. It takes the values as:

The larger R^2 is, the more the total reduction of variation in Y caused by introducing the explanatory variable x. R^2 takes on the value 1 when all data points fall directly on the fitted response curve, that is, when $Y_i = y_i$ for all i. R^2 assumes the value 0 when all $a_k = 0$ ($k=1, 2, \dots, m$), that is, when $Y_i = \bar{y}$ for all i. In practice, R^2 is not likely to be 0 or 1, but rather somewhere in between these limits.

The coefficient of multiple correlation, denoted by R, is the positive square root of R^2 :

Since for any R^2 other than 0 or 1, $R^2 < |R|$, R may give the impression of a "closer" relationship between x and Y than does the corresponding R^2 .

- **Relative Error:** The *i*th error is the difference between the observed value of the response variable y_i and the corresponding predicted value Y_i . The relative errors of the predicted values are given by the following relation ([6] to [10]):

The mean relative error is also a fundamental measure of accuracy, and can be calculated as follows:

2 SUGGESTED SEASONAL MODELS

The aim to set up seasonal models lead to the identification of the weather parameters mentioned in the introduction. It was noticed that the characteristics of the considered weather parameters differed from one season to the next, and can not be represented by single model throughout a particular year. Thus, only winter (heating) and summer (air-conditioning) seasons are analyzed in this paper. The period time from November 1 to April 30 is considered as the heating season, and the period from June 1 to September 30 is considered as the air-conditioning season for this analysis.

The data used in this analysis is extracted from the hourly RMY database for the Damascus zone. The recorded time of this data is given in [3]. Although the data considered in the RMY database had been derived from data collected over a limited area (Damascus International Airport, a latitude of 26° 33' N and a longitude of 32° 36' E, with an elevation of 608m above sea level), they represent a large area of Damascus.

Initially, several models were attempted. Finally, one important type of curvilinear response model, the multi-

linearni model z imenom več polinomski reprezentančni model. Uporabljeni so bili polinomi z dvema spremenljivkama, parametri rezultata pa so definirali stopnjo polinoma, ki je najbolj ustrezal danim pogojem. Najvišji izbrani red polinoma je bil 7, ker nad tem redom nismo opazili pomembnih izboljšav.

Statistični način obdelave je bil predstavljen v prejšnjem poglavju. Z uporabo te metodologije je bil vsak set podatkov nekajkrat analiziran. To pomeni polinome od prvega do sedmega reda. V vsaki analizi smo izdelali naslednje izračune:

- cenilk a_k ;
- standardne deviacije $\sigma(Y)$;
- srednje standardne deviacije $\sigma_m(Y)$;
- standardne deviacije cenilk $\sigma(a_k)$;
- t-test t^* ;
- koeficient večkratne določenosti R^2 ;
- srednje relativne napake e_m .

Ker delamo z velikim številom podatkov, je vrednost R^2 0,75 ali več primerna [11]. Še več, velika vrednost R^2 ni dovolj dobra razen, če je e_m dovolj majhen. Moderna programska oprema je bila uporabljena za te zahtevne izračune [12]. Ta oprema nam omogoča izračune ne da bi poznali vse podrobnosti. S korelacijo podatkov smo ugotovili tisti model, ki najboljše predstavlja podatke. Ta model je tudi izbran za objavo v tem prispevku.

Matematični modeli, ki predstavljajo v uvodu opisane vremenske parametre, so podani v naslednjih poglavjih. Dve spremenljivki sta t_1 in t_2 . t_1 je čas v urah in zavzema vrednosti 1 (prva ura prvega dne v novembru) do 4344 (24 ura 30 dne aprila) za ogrevalno sezono. t_1 zavzema vrednost 1 (prva ura prvega dne v juniju) do 2928 (24 ura 30 dne v septembru) za sezono klimatizacije. Nadalje t_2 predstavlja uro v dnevu in zavzema vrednosti od 1 do 24.

2.1 Temperatura suhega zraka

Dobljeni so modeli za napoved temperature suhega zraka za poljubni čas med ogrevalno sezono in sezono klimatizacije. Ti modeli so izraženi z naslednjo glavno zvezo:

$$\vartheta = a_0 + a_1 t_1 + a_2 t_1^2 + a_3 \sin \left[\frac{\pi}{12} (t_2 - 10) \right] \quad (12).$$

Cenilke a_k , koeficienti določenosti R^2 , standardna deviacija $\sigma(\vartheta)$ in srednje vrednosti relativne napake e_m so predstavljene v preglednici 1.

Vzemimo čas ob 12 uri 21 decembra ($t_1=1213$, $t_2=12$) kot primer za primerjavo merjene in izračunane vrednosti. Izmerjena vrednost je $11,1^\circ\text{C}$, ki jo

polynomial representation model, was considered. Thus, polynomials with two explanatory variables were attempted and the statistical parameters of the results dictated the degree of the multi-polynomial that was best for the particular parameter under consideration. The highest degree of the multi-polynomial is taken as 7 since no appreciable improvements were noticed in the values computed by the resulting models when it was increased beyond this value.

The statistical approach used is outlined in the previous section. In applying the outlined methodology, each set of data was analyzed several times. This covers multi-polynomials in the order of one to seven. In each analysis the following computations were performed:

- the estimators a_k ;
- the standard deviation $\sigma(Y)$;
- the mean standard deviation $\sigma_m(Y)$;
- the standard deviation of the estimators $\sigma(a_k)$;
- the t-test t^* ;
- the coefficient of multiple determination R^2 ;
- the mean relative error e_m .

Since we deal with large sets of data, a value of 0.75 or more for R^2 is desirable [11]. Moreover, a high R^2 value is not good enough unless e_m is also small enough. Modern software was used for these rather complex calculations [12]. Such software allows us to perform these calculations without an intimate knowledge of all of the computational details. In correlating the data by following the procedure outlined above, one of the models stands out as the best representative of the data. Such a model was selected for inclusion in this paper.

The mathematical models representing the data of the weather parameters mentioned in the introduction are given in the following subsections, where the two explanatory variables are t_1 and t_2 . t_1 denotes the time series in hours and takes the values 1 (the first hour of the first day in November) through 4344 (the 24th hour of the 30th day in April) for the heating season. It takes the values 1 (the first hour of the first day in June) through 2928 (the 24th hour of the 30th day in September) for the air-conditioning season. t_2 denotes the time in hours on the day under consideration, and takes the values 1 through 24.

2.1 Air Dry-bulb Temperature

The adequate models for predicting air dry-bulb temperature for an optional time during the heating and air-conditioning seasons were obtained. These models are expressed by the following general relation:

$$\vartheta = a_0 + a_1 t_1 + a_2 t_1^2 + a_3 \sin \left[\frac{\pi}{12} (t_2 - 10) \right] \quad (12).$$

The estimators a_k , the coefficient of determination R^2 , the standard deviation $\sigma(\vartheta)$ and the mean of the relative error e_m of these models are listed in Table 1.

As an example, we took 12:00 on 21 December ($t_1=1213$, $t_2=12$) to compare the recorded value and the computed value. The recorded value was

primerjamo z 10,8 °C izračunane z gornjo zvezo. Ugotovimo malenkostno napako 0,3°C. Vzemimo še čas ob 12 uri 21. julija ($t_1=1213$, $t_2=12$) kot naslednji primer. Izmerjena vrednost je 33,6°C v primerjavi z 32,6°C izračunana z zgornjo zvezo. Ocenjena napaka v tem primeru znaša 1°C.

11.1 °C compared to 10.8 °C computed from the above relation. Thus a negligible error of 0.3 °C is observed for the predicted value. For 12:00 on 21 July ($t_1=1213$, $t_2=12$) the recorded value was 33.6 °C compared to 32.6 °C computed from the above relation, an error of about 1 °C is observed in the prediction of this value.

Preglednica 1. *Sezonski modeli cenilk in statističnih parametrov za temperaturo suhega zraka*
Table 1. *Estimators and statistical parameters for air dry-bulb temperature seasonal models*

Sezona Season	a_0	a_1	a_2	a_3	R^2	$\sigma(\theta)$ [°C]	e_m
Ogrevanje Heating	13,6280	-8,1386 10^{-3}	2,1844 10^{-6}	5,3841	0,91	1,65	0,120
Klimatizacija Air-conditioning	22,2633	6,1894 10^{-3}	-2,2553 10^{-6}	8,7402	0,96	1,30	0,048

2.2 Temperatura vlažnega zraka

Podobno kot sezonske modele za temperaturo suhega zraka imamo tudi modele za napoved temperature vlažnega zraka za poljubni čas. Ti modeli so podani z naslednjo glavno zvezo:

$$\theta_w = a_0 + a_1 t_1 + a_2 t_1^2 + a_3 \sin\left[\frac{\pi}{12}(t_2 - 10)\right] \quad (13).$$

Cenilke a_k in statistični parametri R^2 , $\sigma(\theta)$ in e_m so podani v preglednici 2. Ker se oblika grafičnega izhoda podatkov razlikuje v posameznih korakih, samo en model vseh podatkov ne more popisati. Zato imamo dve skupini cenilk za ogrevalno sezono in tri skupine za sezono klimatizacije.

Izmerjena vrednost za čas ob 12 uri 21. decembra je 7,6°C v primerjavi z 6,9°C izračunano iz zgornje relacije. Odstopanje v tem primeru je 0,7°C. Nadalje je izmerjena vrednost za čas ob 12 uri 21. julija 18,9°C v primerjavi z 18,7°C izračunane z gornjo relacijo. Ocenjena napaka v tem primeru znaša 0,2°C.

2.3 Temperatura rosišča

Statistični pristop, ki je bil uporabljen v prejšnjih podpoglavjih je bil uporabljen za napoved temperature rosišča zraka za poljubni čas med ogrevalno sezono in sezono klimatizacije. Ti modeli so podani v naslednji splošni odvisnosti:

$$\theta_d = A(\theta_{d1} + \theta_{d2}) \quad (14),$$

θ_{d1} in θ_{d2} so podani v naslednji odvisnosti:

$$\theta_{d1} = a_0 + a_1 t_1 + a_2 t_1^2 \quad (15),$$

$$\theta_{d2} = a_3 t_2 + a_4 t_2^2 + a_5 t_2^3 + a_6 t_2^4 + a_7 t_2^5 + a_8 t_2^6 + a_9 t_2^7 \quad (16).$$

Cenilke a_k teh modelov so podane v preglednici 3. Faktor množenja in statistični parametri

2.2 Air Wet-bulb Temperature

As with the seasonal models of the air dry-bulb temperature, the models for predicting air wet-bulb temperature for an optional time during the heating and air-conditioning seasons were obtained. These models are expressed by the following general relation:

The estimators a_k and the statistical parameters R^2 , $\sigma(\theta)$ and e_m of these models are listed in Table 2. Since the shape of the graphical outlay of the data differed from one time interval to another, a single model throughout the season could not be used to represent them. Thus, two groups of estimators for the heating season and three groups for the air-conditioning season are listed.

The recorded value for 12:00 on 21 December is 7.6 °C compared to 6.9 °C computed from the above relation. Thus a negligible error of 0.7 °C is observed in the predicted value. The recorded value for 12:00 on 21 July is 18.9 °C compared to 18.7 °C computed from the above relation. Thus, the error in the prediction of this value is about 0.2 °C.

2.3 Air Dew-point Temperature

The general statistical approach used in the previous two subsections was applied to obtain models for predicting air dew-point temperature for an optional time during the heating and air-conditioning seasons. These models are expressed by the following general relation:

θ_{d1} and θ_{d2} are given by the following relations:

The estimators a_k of these models are listed in Table 3. The multiplication factor A and the sta-

R^2 , $\sigma(\vartheta)$ in e_m so podani v preglednici 4. Pomembno je upoštevati, da je imamo za ogrevalno sezono tri skupine cenilk.

Izmerjena vrednost za čas ob 12 uri 21 decembra je 4,9°C v primerjavi z izračunano vrednostjo 4,6°C. Standardni odstop je v tem primeru 0,3°C. Izmerjena vrednost za čas ob 12 uri 21 julija je 13,5°C v primerjavi z izračunano vrednostjo 13,3°C. Pričakovano odstopanje pri napovedi teh vrednosti znaša 0,2°C.

tistical parameters R^2 , $\sigma(\vartheta)$ and e_m of these models are listed in Table 4. Three groups of estimators are listed for the heating season.

The recorded value for 12:00 on 21 December is 4.9 °C compared to 4.6 °C computed from the above relation. Thus a negligible error of 0.3 °C is observed in the predicted value. The recorded value for 12:00 on 21 July is 13.5 °C compared to 13.3 °C computed from the above relation. Thus, the error in the prediction of this value is about 0.2 °C.

Preglednica 2. Cenilke in statistični parametri za sezonske modele temperature vlažnega zraka
Table 2. Estimators and statistical parameters for air wet-bulb temperature seasonal models

Sezona Season	a_0	a_1	a_2	a_3	R^2	$\sigma(\vartheta_w)$ [°C]	e_m
Ogrevanje Heating							
$t_1 = 1-3912$	9,7880	$-6,1693 \cdot 10^{-3}$	$1,6346 \cdot 10^{-6}$	3,1158	0,93	0,83	0,109
$t_1 = 3913-4344$	469,373	$-225,941 \cdot 10^{-3}$	$27,7682 \cdot 10^{-6}$	2,9816			
Klimatizacija Air-conditioning							
$t_1 = 1-1008$	13,5879	$5,7522 \cdot 10^{-3}$	$-2,5753 \cdot 10^{-6}$	2,1476	0,89	0,66	0,033
$t_1 = 1009-2136$	15,3478	$3,2647 \cdot 10^{-3}$	$-1,0701 \cdot 10^{-6}$	1,3868			
$t_1 = 2137-2928$	17,1440	$2,6868 \cdot 10^{-3}$	$-1,2859 \cdot 10^{-6}$	2,4088			

Preglednica 3. Cenilke za sezonske modele temperature rosišča zraka
Table 3. Estimators for air dew-point temperature seasonal models

Časovno obdobje t_1 Period of time t_1	Ogrevalna sezona Heating season									
	a_0	$a_1 \cdot 10^3$	$a_2 \cdot 10^6$	a_3	a_4	a_5	$a_6 \cdot 10^2$	$a_7 \cdot 10^3$	$a_8 \cdot 10^5$	$a_9 \cdot 10^6$
$t_1 = 1-768$	7,3399	-6,8723	2,0226	2,7926	-1,8822	0,3698	-3,0136	1,0925	-1,4633	-
$t_1 = 769-3912$	5,0994	-3,6960	1,0883	1,9023	-1,2328	0,2315	-1,8167	0,6369	0,8263	-
$t_1 = 3913-4346$	651,433	-311,23	37,4567	0,0909	-0,5833	0,1614	-1,5657	0,6387	-0,9369	-
	Klimatizacijska sezona Air-conditioning season									
$t_1 = 1-2928$	9,7798	14,9859	-3,7733	6,2585	-5,1452	1,3678	-16,697	10,2364	-30,726	3,6015

Preglednica 4. Faktor množenja in statistični parametri za sezonske modele temperature rosišča zraka
Table 4. Multiplication factor and statistical parameters for air dew-point temperature seasonal models

Sezona Season	A	R^2	$\sigma(\vartheta_d)$ [°C]	e_m
Ogrevanje Heating	1	0,87	0,89	0,144
Klimatizacija Air-conditioning	$e^{-0,000178t_1}$	0,94	0,98	0,080

3 VIZUALNA PRIMERJAVA REZULTATOV IN NAPOVEDANIH VREDNOSTI

V nadaljevanju obravnave rezultatov so bili izračunani in izmerjeni rezultati izrisani na istem diagramu, da smo lahko obravnavali vizualno primerjavo.

Napovedane in izmerjene vrednosti so bile izrisane za 21 december in 21 julij. Slika 1 prikazuje

3 VISUAL COMPARISON OF THE DATA AND THE PREDICTED VALUES

In a further study of the results, the predicted values along with the recorded data were plotted on the same scale for a visual comparison between them.

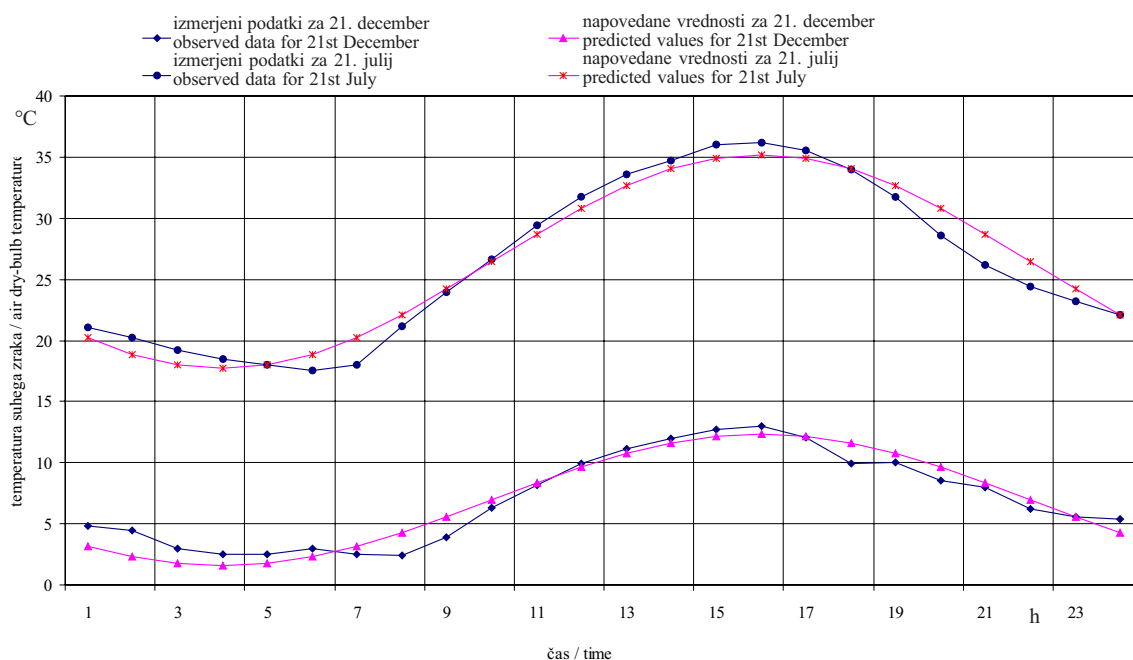
The predicted values along with the recorded data for 21st December and 21st July were plot-

izris napovedanih in izmerjenih vrednosti za temperaturo suhega zraka. Podobni izrisi so dobljeni za temperaturo vlažnega zraka in temperaturo rosišča.

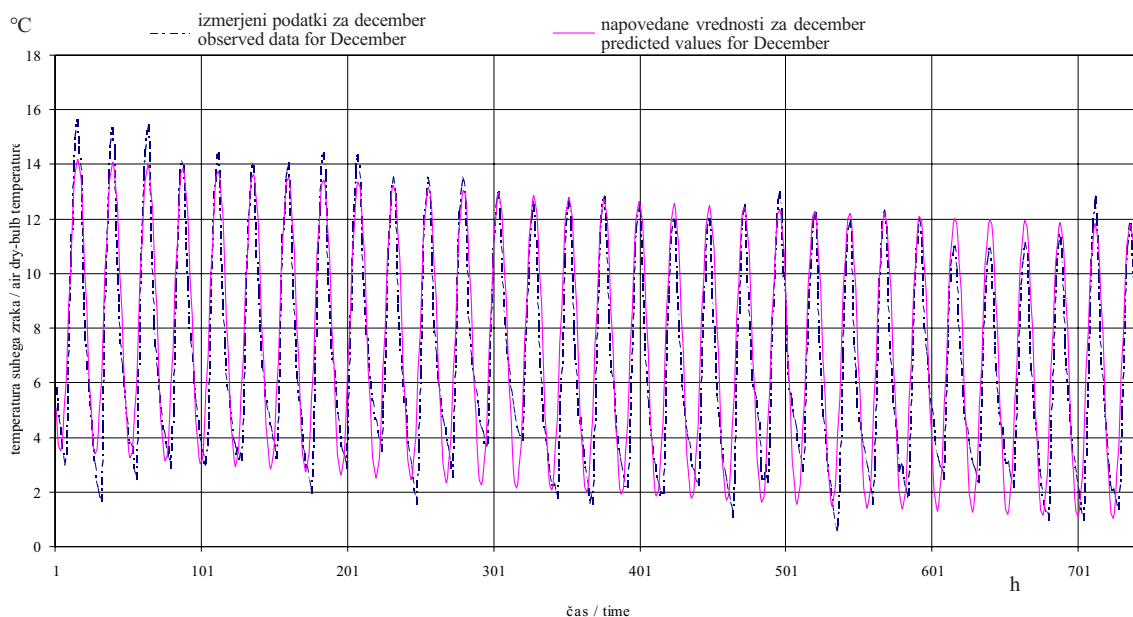
Na slikah 2 in 3 so predstavljene vrednosti za temperaturo suhega zraka za december in julij. Podobni izrisi so dobljeni za ostala dva parametra na slikah 2 in 3.

ted for a visual comparison of the data and their predicted values. Figure 1 shows a plot of the predicted and recorded data values for the air dry-bulb temperature. Similar plots for air wet-bulb temperature and air dew-point temperature were also obtained.

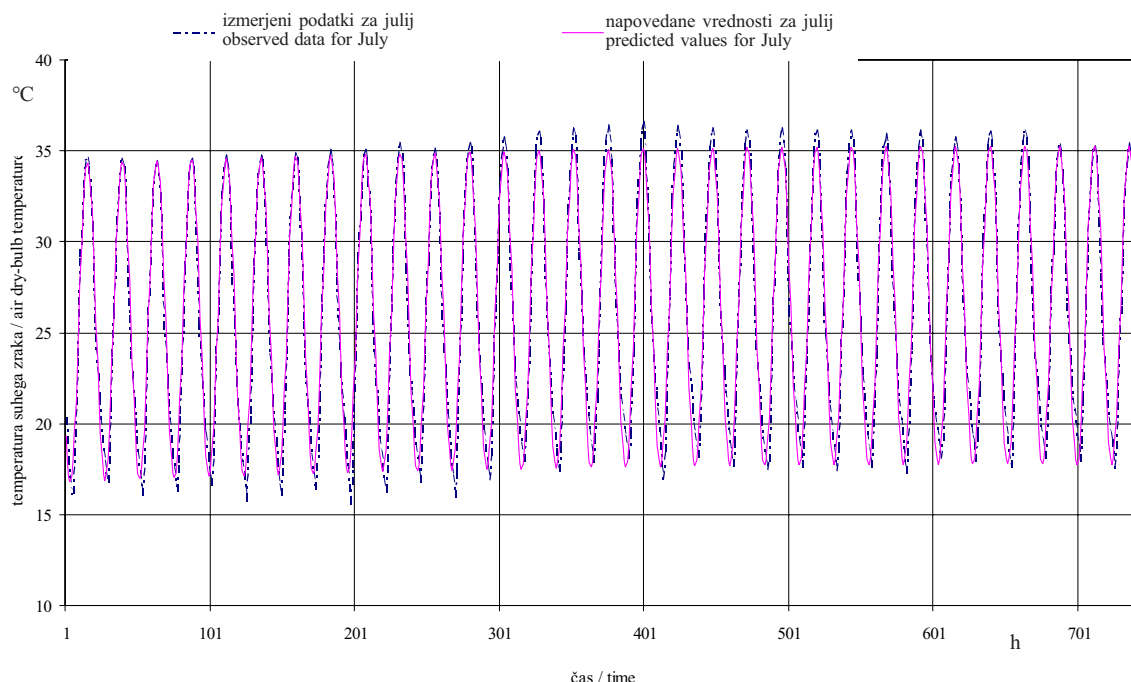
In figures 2 and 3, the predicted values along with recorded data are presented for the air dry-bulb temperature of December and July, respectively. Plots for the remaining two weather parameters are similar to those in figures 2 and 3.



Sl. 1. Potek temperature suhega zraka za 21. december in 21. julij
Fig. 1. Behaviour of air dry-bulb temperature for 21st December and 21st July



Sl. 2. Potek temperature suhega zraka za december
Fig. 2. Behaviour of air dry-bulb temperature for December



Sl. 3. Potek temperature suhega zraka za julij
Fig. 3. Behaviour of air dry-bulb temperature for July

4 SKLEP

Razvoj zelo zmogljivih osebnih računalnikov je eden izmed razlogov za razvoj simulacije sistemov. Numerične simulacije toplotnih sistemov zgradb potrebujejo kot vhodni podatek vremenske parametre.

Tehnika, ki je bila uporabljena za določitev najbolj odgovarjajoče krivulje, je metoda najmanjših kvadratov. Uporabljen pristop je natančno opisan.

Grafična oblika podatkov je narekovala uporabo večpolinomskega modela. Z uporabo polinomov so bili izdelani sezonski modli za naslednje vremenske parametre:

- temperaturo suhega zraka;
- temperaturo vlažnega zraka;
- temperaturo rosišča.

Ti matematični modeli so bili izdelani za ogrevalno sezono in za sezono klimatizacije v Damasku. Razviti so bili na podatkih dolgega časovnega obdobja.

Izbira najboljšega modela je temeljila na treh statističnih parametrih: koeficientu določenosti R^2 , srednji relativni napaki e_m in t testu. Ker delamo z velikim številom podatkov (4344/ali 2928 točk za ogrevalno/ali klimatizacijsko sezono), lahko predlagani modeli ustrezajo zgornjim parametrom z zadovoljivim R^2 in e_m . Vizualno je bilo ugotovljeno, da obstaja dobra skladnost med napovedanimi in izmerjenimi vrednostmi.

Predlagane matematične modele lahko uporabimo v CLIMA programu kot alternativo urnim vremenskim podatkom.

4 CONCLUSION

The proliferation of high-power personal computers has helped in the advancement of the science of system simulation. The numerical simulation of building thermal systems calls for the input of local weather parameters.

The technique used in determining the best-fitting curve is the least-squares method. The approach used in the analysis is outlined.

The shape of the graphical outlay of the data for the particular parameter under consideration suggested that a multi-polynomial representation was a strong candidate. By making use of a polynomial representation, mathematical seasonal models were suggested for the following weather parameters:

- air dry-bulb temperature;
- air wet-bulb temperature;
- air dew-point temperature.

Mathematical models were derived for the heating season and for the air-conditioning season in the Damascus zone. They were developed based on long-term data records.

The choice of the best model was based on three statistical parameters: the coefficient of determination R^2 , the mean relative error e_m and the t-test. Since we deal with large sets of data (4344 or 2928 data points for the heating or air-conditioning season), the suggested models can estimate the above-mentioned parameters with acceptable R^2 and e_m . It is clear that good agreements between the predicted and the observed data values were obtained.

The suggested mathematical models can be used in the CLIMA computer program as an alternative to using hourly historical weather data.

Ta pristop moremo uporabiti za druge kraje in z uporabo dolgočasnih nizov podatkov tudi za ostale vremenske parametre.

Zahvala

Avtor bi rad izrazil zahvalo direktorju prof. Dr. Ibrahim Othmanu za zanimanje in razumevanje pri delu. Hvaležen je tudi prof. dr. Tawfik Kassamu in dr. Mohamed Tlassu za dragocene diskusije in predloge. Nenazadnje pa še Oddelku za meteorologijo za posredovane urne vremenske podatke za Damask v preteklih letih.

Such an approach needs to be followed for the other sites, and to be applied using long-term data sets of the remaining relevant weather parameters.

Acknowledgments

The author would like to express gratitude to Prof. Dr. Ibrahim Othman, the Director General, for his continued interest and encouragement, and also to Prof. Dr. Tawfik Kassam and Dr. Mohamed Tlass, for valuable discussions and suggestions. Finally, thanks are due to the Department of Meteorology, for providing the hourly weather data of Damascus zone for the available previous years.

5 OZNAČBE 5 NOMENCLATURE

faktor množenja	A	multiplication factor
cenilka parametra β	a	estimator of parameter β
relativna napaka	e	relative error
niz podatkov	M	set of data points
stopnja modela	m	model degree
obseg podatkov	n	size of the data set
število parametrov v modelu	p	number of model parameters
koeficient večkratne korelacije	R	coefficient of multiple correlation
koeficient večkratne določenosti	R^2	coefficient of multiple determination
t test	t	t-test
matrika spremenljivk	[X]	matrix of explanatory variable
transponirana matrika [X]	$[X]^T$	transpose of matrix [X]
inverzna matrika [X]	$[X]^{-1}$	inverse of matrix [X]
neodvisna spremenljivka	x	explanatory variable
spremenljivka za napoved odgovora	Y	predicted response variable
matematični model krivulje podatkov	$Y=F(x)$	mathematical model of the curve fitted to the data
opazovana spremenljivka	y	observed response variable
aritmetično povprečje podatkov spremenljivke y_i	$\bar{y}$	arithmetic mean of data value y_i
funkcijska predstavitev točk s podatki	$y=f(x)$	functional representation of data points
testno referenčno leto	TRL/RMY	reference meteorological year
stopnja zaupanja	α	level of significance
modelski parameter	β	model parameter
izraz za napako	ε	error term
temperatura	ϑ	temperature
Ludolfovo število 3,141593	π	Ludolphos number 3.141593
standardna deviacija	σ	standard deviation
vektor standardnih deviacij cenilk	$[\sigma(a)]$	vector of the standard deviations of estimators

Indeksi

točka rosišča
i-ti poskus
k-ti
srednji
vlažni

Subscripts

d dew-point
i *ith* trial
k *kth*
m mean
w wet-bulb

6 LITERATURA

6 REFERENCES

- [1] Saman, H. (1995) Energy balance in the Syria Arab Republic, *Internal statistical Report, Ministry of Petroleum*, Syria.
- [2] Skeiker, K. (1990) LOS-A0, The computer program for dynamic analysis of heat transfer in building, *Faculty of Mechanical Engineering in Ljubljana*, Slovenia.
- [3] Skeiker, K. (2000) Systematization organization development and utilization of an hourly reference meteorological year database for Damascus zone, *Journal of Mechanical Engineering*, 6/2000, Slovenia.
- [4] Mahmoud, A. (1993) Empirical correlation of solar and other weather parameters, *J. King Saud University*, Vol.5.
- [5] Shuichi, H. (1991) statistical time series models of solar radiation and outdoor temperature - identification of seasonal models by Kalman filter, *J. Energy and Building*, Vol. 15-16.
- [6] David, S. (1999) Introduction to the practice of statistics, 3rd Edition, *W.H. Freeman and Company*, New York.
- [7] Preston, D.W. (1991) The art of experimental physics, *John Wiley and Sons*, New York.
- [8] Neter, J. (1974) Applied linear statistical models, *Richard D. Irwin INC*, USA.
- [9] Goon, A.M. (1981) Basic statistics, *The World Press Private Limited*, Calcutta.
- [10] Green, J.R. (1979) Statistical treatment of experimental data, *Elsevier Scientific Publishing Company*, New York.
- [11] Herbert, A. (1972) Statistical methods, *Barnes & Noble Books*, New York.
- [12] Wolfram, S. (1998) Mathematica, a system for doing mathematics by computer, 2nd Edition, *Addison-Wesley Publishing Company*, New York.

Avtorjev naslov: Kamal Skeiker
Department of Scientific Services
Atomic Energy Commission
P.O. Box 6091
Damascus, Syria

Author's Address: Kamal Skeiker
Department of Scientific Services
Atomic Energy Commission
P.O. Box 6091
Damascus, Syria

Prejeto: 23.8.2000
Received:

Sprejeto: 27.6.2001
Accepted:

Tok tekočine skozi reže v hidravličnih sestavinah

(Tok kapljevine skozi reže med soležnimi vzporednimi ploskvami brez medsebojne relativne hitrosti)

Fluid Flow Through Gaps in Hydraulic Components

(Liquid Flow Through Gaps Between Parallel Surfaces without Relative Velocity)

Jože Pezdirnik

Prispevek podaja najprej izvajanje enačbe za izračun velikosti puščanja skozi reže v sestavinah pogonsko-krmilne hidravlike. Pri izvajanju enačbe so privzete nekatere poenostavitve, ki so navedene tudi v drugih literaturnih virih, ki pa večinoma podajajo samo končne enačbe za izračun toka puščanja kapljevine skozi reže. Te enačbe so v nekaterih primerih, ko je upoštevana tudi izsrednost lege bata proti izvrtini, zapisane v napačni obliki za tisti člen, ki v enačbi upošteva izsrednost.

Pričujoči prispevek podaja, poleg nekoliko drugačnega izvajanja kakor v [1], dodatno še oceno točnosti matematičnega zapisa za spreminjanje višine reže po obodu pri izsredni legi bata s krožnim prečnim presekom v izvrtini s prav tako krožnim prerezom in določenim, sicer majhnim, ohlapom med obema elementoma.

Na koncu prispevka je podana in razložena tudi primerjava med izračunanimi in merjenimi vrednostmi za tok notranjega puščanja skozi režo v serijsko izdelanem ventilu. Za izračun so uporabljene tu izvedene enačbe. Tok skozi reže znotraj hidravličnih sestavin, torej notranje puščanje kapljevine, seveda ni vidno, ima pa velik vpliv na gospodarnost hidravličnih naprav in je neposredno odvisno tudi od vzdrževanja čistoče tekočin.

© 2001 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

(Ključne besede: reže, ohlapi, puščanje, bati, izvrtine)

The paper gives a derivation of an equation for calculating the amount of leakage flow through gaps in the components of a power-control hydraulics system. In deriving the equation some simplifications were adopted, these are also stated in other reports that mostly give final equations only for the calculation of the fluid leakage flow through gaps. In some cases, where the eccentricity of the piston position against the borehole is considered, these equations are wrongly written for the part that considers the eccentricity.

Besides a somewhat different derivation than presented in [1], this paper also gives an evaluation of the exactness of the mathematical formulation for changing the gap size by the circumference of the circular cross-section-shaped spool at the eccentric position in the borehole with a circular cross-section shape, too. There is a very small laxity between both elements.

At the end of the paper a comparison between the calculated and measured values for the internal leakage flow through the gap in a serially produced valve is given and explained. For the calculation, the equations derived in this paper are used. The liquid flow through gaps inside the hydraulic components being not visible, nevertheless largely influences the economy of hydraulic systems. Its amount depends directly on the maintenance of the cleanliness of hydraulic fluid.

© 2001 Journal of Mechanical Engineering. All rights reserved.

(Keywords: gapes, clearances, leakage, pistons, holes)

0 UVOD

Reže najdemo v večini sestavin pogonsko-krmilne hidravlike. Le v skupini, ki jo opredelimo kot pasivne in pomožne sestavine (rezervoarji, cevovodi, filtri itn.), je večje število takšnih, pri katerih rež ne zasledimo.

Pod nazivom reža razumemo v pogonsko-krmilni hidravliki običajno prostor med dvema

elementoma, omejen največkrat s kovinskimi površinami. Višina reže je praviloma mnogokrat manjša od njegove širine in dolžine. Površine elementov, ki tvorijo režo, so praviloma ravne ali ločne oblike. Elementa, ki tvorita režo, imata lahko neko medsebojno relativno hitrost, ali pa ne. V pričujočem prispevku bomo obravnavali tok kapljevine skozi reže, katerih mejne površine nimajo medsebojne relativne hitrosti.

Tok skozi reže obravnava številna literatura s področja pogonsko-krmilne hidravlike. Ker je problematika že zelo dolgo znana, jo obravnavajo že starejše literature. Je pa tudi še vedno, oziroma celo vse bolj aktualna; zato je podana tudi v novejših knjigah. Nekateri viri, npr. [2], podajajo na kratko fizikalna izhodišča in samo končno enačbo za tok skozi kolobarjasto režo pri centrični legi bata v izvrtini, [3] podaja tudi za izsredno lego, vendar, kakor je razvidno iz pričujočega izvajanja in druge literature, nekoliko nepravilno enačbo. Za obe navedeni legi bata v izvrtini sta podani, brez izvajanja, le končni enačbi tudi v [4], vendar je tudi tu del enačbe, ki upošteva izsrednost, napačen. Starejša literatura [5] podaja fizikalna in matematična izhodišča za izvajanje, vendar ne obravnava toka skozi kolobarjasto režo pri izsredni legi bata v izvrtini, pač pa le v besedilu navaja, da je v tem primeru tok lahko do dvakrat večji kot pri centrični legi. Literaturi [6] in novejša [7] podajata, brez izvajanja, samo končno enačbo, ki je tudi pravilna, za izračun toka kapljevine skozi kolobarjasto režo pri izsredni legi bata v izvrtini. V primerjavi z doslej tu navedeno literaturo je tok kapljevine skozi reže še najbolj podrobno obravnavan v [8], vendar je tudi tu del enačbe, ki upošteva izsrednost, podan brez izvajanja in napačno.

Velikosti rež v hidravličnih sestavinah imajo bistven vpliv na njihov prostorninski izkoristek in s tem na tovrstni izkoristek celotne hidravlične naprave. V sestavinah so torej zaželeni čim manjši ohlapi med mirujočimi elementi in elementi, ki so namenjeni tudi gibanju. Vendar določen ohlap zahteva različna toplotna razteznost elementov pri spremembah temperature in tudi nepravilnost obrisov elementov oziroma odstopanje dejanskih oblik elementov od idealnih.

V tem prispevku je izvedena enačba za izračun toka kapljevine skozi, po višini se spreminjajočo, kolobarjasto režo, ki nastane v ohlapu med izvrtino in v njej izsredno, a soosno ležečim batom. Iz te enačbe dobimo tudi enačbo za izračun toka kapljevine skozi centrično kolobarjasto režo. Le-to se lahko izvede tudi na zelo preprost način na

podlagi analogije tečenja skozi režo med dvema vzporednima ravnima ploščama. Ta enačba je v vseh virih napisana enako, ni sporna in je zato tu ne bomo izvajali.

Za praktično uporabo največkrat zadošča preprostejša in zato ne popolnoma točna rešitev, ki jo dobimo z izvajanjem ob upoštevanju nekaterih poenostavitev. Za obravnavanje toka kapljevine skozi reže v nadaljevanju vzamemo naslednje poenostavitve: predpostavimo, da je kapljevina nestisljiva, gostota in kinematična viskoznost kapljevine sta pri toku skozi režo nespremenljivi, tok naj bo laminaren, tokovnice so vzporedne.

1 RAVNINSKI LAMINARNI TOK MED VZPOREDNI MA PLOŠČAMA

Za označbe po sliki 1 lahko enačbo iz [9] za tok kapljevine skozi režo zapišemo v obliki:

$$\frac{dp}{dx} = - \frac{12 \cdot \rho \cdot v}{\delta^3} \cdot \frac{dQ_L}{dz} \quad (1),$$

kjer pomenijo:

ρ ...gostoto kapljevine v kg/m³

v ...kinematično viskoznost v m²/s

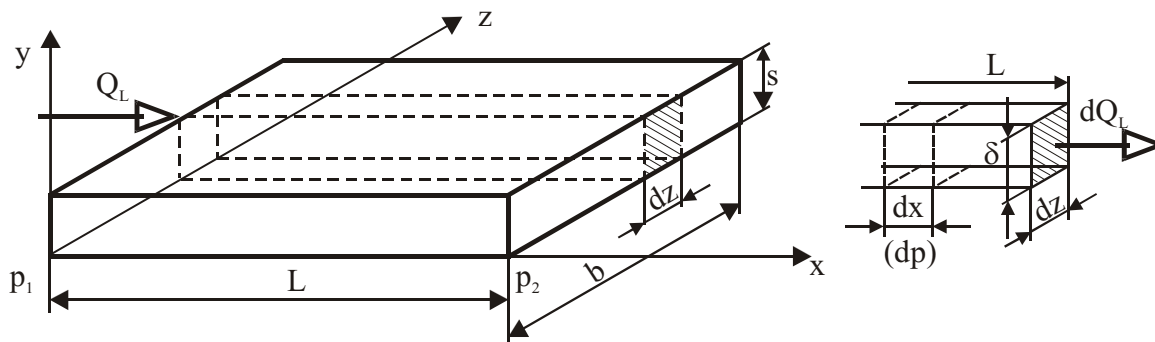
δ ...višino reže v m

Ker skozi režo običajno ne teče glavni hidravlični tok, pač pa le tok notranjega puščanja, ga označimo s Q_L . Tok Q_L teče med ploščama širine b na dolžini L . Pri predpostavljenem laminarnem toku pride do padca tlaka od vrednosti p_1 na vrednost p_2 , kjer velja, da je $p_1 > p_2$. Razliko tlakov v nadaljevanju izražamo tudi v obliki $\Delta p = p_1 - p_2$.

Skozi diferencialni del širine reže dz teče diferencialni del hidravličnega toka dQ_L . Ob predpostavki, da so tokovnice vzporedne, je padec tlaka za vsak diferencialni del širine reže enak. Padec tlaka na dolžini reže L je določen z enačbo

$$\int_{p_1}^{p_2} dp = - \frac{12 \cdot \rho \cdot v}{\delta^3} \cdot \frac{dQ_L}{dz} \cdot \int_0^L dx \quad (2).$$

Z rešitvijo enačbe (2) dobimo izraz za razliko tlakov oziroma padec tlaka pri toku



Sl. 1. Tok kapljevine skozi ravno režo med dvema ploščama

kapljevine skozi režo. Pri praktični rabi je največkrat razlika tlakov Δp znana, iščemo pa tok notranjega puščanja Q_L . Zato dobimo enačbo za Δp zapišemo v obliki, ki podaja diferencial toka notranjega puščanja:

$$dQ_L = \frac{\Delta p \cdot \delta^3}{12 \cdot \rho \cdot \nu \cdot L} \cdot dz \quad (3).$$

Če je višina reže konstantna, torej $\delta = \text{konst.} = s$, dobimo celotni tok Q_L skozi režo širine b in dolžine L (sl. 1) z integriranjem desne strani enačbe (3) v območju od 0 do b , iz česar izhaja znana enačba:

$$Q_L = \frac{\Delta p \cdot b \cdot s^3}{12 \cdot \rho \cdot \nu \cdot L} \quad (4).$$

2 TOK SKOZI KOLOBARJASTE REŽE

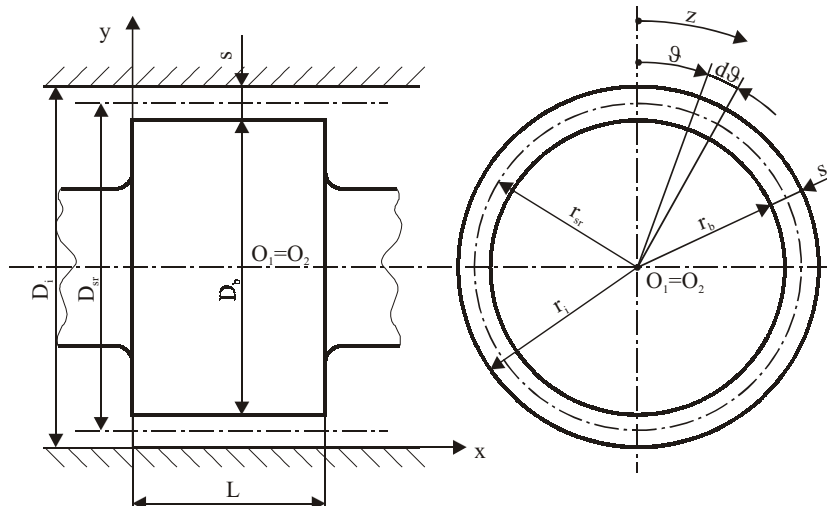
V hidravličnih sestavinah gre največkrat za notranje puščanje kapljevine skozi kolobarjaste reže. Te se pojavljajo kot ohlap med batom in pripadajočo

izvrtino, v kateri je bat. Le redkokdaj so izpolnjeni pogoji za centrično lego bata v izvrtini (sl. 2). Lega bata v izvrtini je torej v večini primerov izsredna (sl. 3). Obravnavali bomo takšen primer, pri tem pa predpostavili, da sta vzdolžni osi bata in izvrtine vzporedni. Dejansko stanje v hidravličnih sestavinah večinoma zanemarljivo malo odstopa od te predpostavke. Nadalje bomo še predpostavili, da imata bat in pripadajoča izvrtina idealno valjasto obliko. Tu realno stanje lahko že znatneje odstopa od predpostavke, ki pa je nujna za naše preprostejše izvajanje.

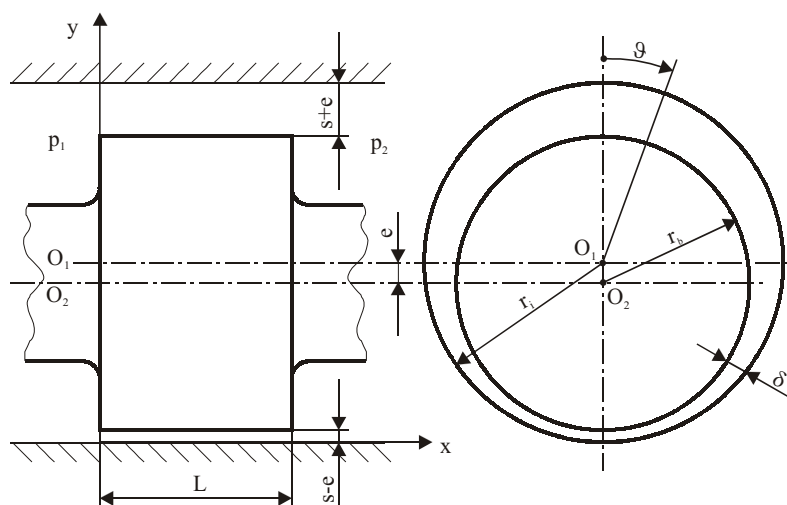
Pri izsredni legi bata v izvrtini je povprečna višina reže s (to je tudi dejanska višina reže pri centrični legi bata v izvrtini) določena z izrazom:

$$s = r_i - r_b = \frac{D_i - D_b}{2} \quad (5).$$

Diferencial širine dz je v tem primeru diferencial dolžine loka in ga za sredino višine reže lahko zapišemo z izrazom:



Sl. 2. Centrična lega bata v izvrtini



Sl. 3. Izsredna lega bata v izvrtini

$$dz = r_{sr} \cdot d\vartheta = \frac{D_{sr} \cdot d\vartheta}{2} \quad (6),$$

kjer je:

$$D_{sr} = \frac{D_i + D_b}{2} \quad (7).$$

Upošteva se izraz (6) lahko enačbo (3) zapišemo v naslednji obliki:

$$dQ_L = \frac{\Delta p \cdot D_{sr}}{24 \cdot \rho \cdot v \cdot L} \cdot \delta^3 \cdot d\vartheta \quad (8).$$

Enačba (8) pomeni torej izraz za diferencial toka notranjega puščanja dQ_L skozi diferencialni del širine, po višini se spreminjajoče, kolobarjaste reže. Višina reže δ se spreminja po zakonitosti, ki jo, ob upoštevanju označb na sliki 3, zapišemo v obliki:

$$\delta = s + e \cdot \cos\vartheta \quad (9).$$

Mejni vrednosti spreminjajoče se višine reže δ sta:

$$\delta_{\max} = s + e \quad \dots \text{ pri } \vartheta = 0$$

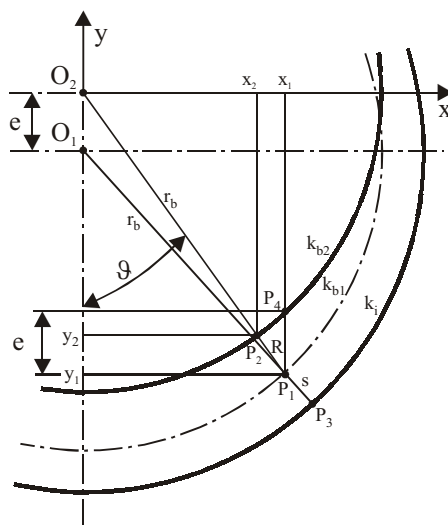
$$\delta_{\min} = s - e \quad \dots \text{ pri } \vartheta = \pi$$

Postavlja se seveda vprašanje, koliko natančno enačba (9) popisuje po obodu spreminjajočo se višino reže, upošteva se uvodoma vzete predpostavke.

Slika 4 prikazuje geometrijske razmere (za ponazoritev risane nesorazmerno) za izsredno lego bata v izvrtini. Razmere so prikazane v prečnem prerezu za IV. kvadrant koordinatnega sistema $x-y$. Pri tem je upoštevano, da sta vzdolžni osi bata in izvrtine vzporedni, za e oddaljeni druga od druge.

Geometrijska razmerja glede na sliko 4 so naslednja:

$$\overline{O_2P_2} = \overline{O_1P_1} = r_b \quad \text{in} \quad \overline{P_1P_2} = R \quad (10).$$



Sl. 4. Geometrijske razmere ob premiku bata iz centrične v izsredno lego v izvrtini

O_1 - os izvrtine; hkrati os bata, kadar ima ta centrično lego v izvrtini,

O_2 - os bata, ko ima ta za razdaljo e izsredno lego proti izvrtini,

k_1 - krožnica prečnega prereza izvrtine oz. notranjega obrisa puše, v kateri je bat,

k_{b1} - krožnica obrisa bata, ko ima ta centrično lego v izvrtini,

k_{b2} - krožnica obrisa bata, ko ima ta izsredno lego glede na izvrtino.

S premikom bata iz centrične lege v izsredno se radialna reža med batom in izvrtino na enem delu oboda poveča, na drugem pa zmanjša. V kvadrantu, ki ga obravnavamo in ga prikazuje slika 4, se radialna reža, s pomikom bata v smeri osi y , poveča. Povečanje reže v radialni smeri pod kotom ϑ proti navpičnici je od vrednosti s za centrično lego bata na vrednost $s + R$ za izsredno lego. Pri premiku bata iz centričnega v izsredno lego se točka P_1 premakne v točko P_4 .

Glede na geometrijski prikaz na sliki 4 in odvisnost od kota ϑ je radialna reža δ določena z naslednjim izrazom in razdaljo:

$$\delta = s + R = \overline{P_2P_3} \quad (11).$$

V enačbi (11) je za dani bat in izvrtino veličina s nespremenljiva, R pa se spreminja po obodu in se vrednosti s lahko prišteva ali odšteva, pač glede na to, za katero polovico oboda gre. V nadaljevanju bomo skušali določiti izraz za veličino R v odvisnosti od kota ϑ . S slike 4 sta razvidni naslednji odvisnosti:

$$x_1^2 + y_1^2 = (r_b + R)^2 \quad (12),$$

$$x_1^2 + (y_1 - e)^2 = r_b^2 \quad (13).$$

Z uvrstitvijo izraza (13) v enačbo (12) po ureditvi dobimo naslednjo enačbo:

$$R^2 + 2 \cdot r_b \cdot R + e^2 = 2 \cdot y_1 \cdot e \quad (14).$$

Neznanko y_1 lahko izrazimo z geometrijskimi razmerji po sliki 4:

$$y_1 = (r_b + R) \cdot \cos \vartheta \quad (15).$$

Enačbo (15) uvrstimo v (14). Po ureditvi dobimo kvadratno enačbo za veličino R , katere odvisnost od kota ϑ tudi iščemo:

$$R^2 + R \cdot (2 \cdot r_b - 2 \cdot e \cdot \cos \vartheta) + e^2 - 2 \cdot e \cdot r_b \cdot \cos \vartheta = 0 \quad (16).$$

Od obeh rešitev kvadratne enačbe je upravičena samo rešitev s pozitivnim predznakom pred kvadratnim korenem diskriminante. Za naše obravnavane primere ima namreč diskriminanta kvadratne enačbe vedno pozitivno vrednost. Rešitev je torej:

$$R = e \cdot \cos \vartheta - r_b + \sqrt{r_b^2 - e^2 \cdot \sin^2 \vartheta} \quad (17).$$

Pri dejanskih hidravličnih batnih drsnih ventilih je polmer bata r_b mnogokrat večji od praktično največje možne izsrednosti e . Največja možna izsrednost e je enaka višini reže centrično ležečega bata, to je s . Te vrednosti pa so v sestavinah pogonsko-krmilne hidravlike, predvsem gre tu za batne drsniške ventile, reda velikosti do nekaj mikrometrov, redkokdaj prek deset mikrometrov. Kvadrati teh dveh veličin razmerje še povečajo, tako da je to razmerje v območju reda velikosti:

$$r_b^2 : e^2 \approx 1 : (1 \cdot 10^{-5} \text{ do } 1 \cdot 10^{-8}) \quad (18).$$

Iz razmerja, ki ga za dejanske hidravlične ventile podaja izraz (18), je razvidno, da napravimo izredno majhno napako, če za izraz pod kvadratnim korenem v enačbi (17) upoštevamo kar vrednost r_b . S tem dobi enačba (17) torej obliko:

$$R = e \cdot \cos \vartheta \quad (19).$$

Upoštevaje izraz (11) torej ugotovimo, da izraz (9) za praktično rabo zelo natančno popisuje višino reže med izvrtino in izsredno ležečim batom v njej.

Celotni tok notranjega puščanja skozi, po višini se spreminjajočo, kolobarjasto režo dobimo z rešitvijo enačbe (8), potem ko smo za spremenljivko δ upoštevali enačbo (9), in sicer z integriranjem po celotnem obodu:

$$Q_L = \frac{\Delta p \cdot D_{sr}}{24 \cdot \rho \cdot v \cdot L} \cdot \int_0^{2\pi} (s + e \cdot \cos \vartheta)^3 \cdot d\vartheta \quad (20).$$

Vmesne rešitve, znane iz matematike, so naslednje:

$$\begin{aligned} s^3 \cdot \int_0^{2\pi} d\vartheta &= 2 \cdot \pi \cdot s^3 \\ 3 \cdot s^2 \cdot e \cdot \int_0^{2\pi} \cos \vartheta \cdot d\vartheta &= 0 \\ 3 \cdot s \cdot e^2 \cdot \int_0^{2\pi} \cos^2 \vartheta \cdot d\vartheta &= 3 \cdot \pi \cdot s \cdot e^2 \\ e^3 \cdot \int_0^{2\pi} \cos^3 \vartheta \cdot d\vartheta &= 0 \end{aligned}$$

Rešitev enačbe (20) je torej:

$$Q_L = \frac{\Delta p \cdot D_{sr}}{24 \cdot \rho \cdot v \cdot L} \cdot (2 \cdot \pi \cdot s^3 + 3 \cdot \pi \cdot s \cdot e^2) \quad (21).$$

Po nadaljnji ureditvi dobi enačba obliko, ki je pogosto zapisana v literaturi:

$$Q_L = \frac{\pi \cdot \Delta p \cdot D_{sr} \cdot s^3}{12 \cdot \rho \cdot v \cdot L} \cdot \left[1 + 1,5 \cdot \left(\frac{e}{s} \right)^2 \right] \quad (22).$$

V nekaterih virih, npr. [4] in [8], je člen e/s pisan s tretjo potenco, kar je, kakor se vidi tudi iz pričujočega izvajanja, napačno. Verjetno je to vzeto zato, ker je višina reže s v števcu enačbe (22) na tretjo potenco.

Za popolnoma centrično lego bata v izvrtini velja $e = 0$ in enačba (22) dobi, po deljenju obeh konstant, naslednjo obliko:

$$Q_L = \frac{0,2618 \cdot \Delta p \cdot D_{sr} \cdot s^3}{\rho \cdot v \cdot L} \quad (23).$$

Za največjo možno izsrednost velja $e = s$ in enačba (22) dobi, po deljenju obeh konstant, naslednjo obliko:

$$Q_L = \frac{0,2618 \cdot \Delta p \cdot D_{sr} \cdot s^3}{\rho \cdot v \cdot L} 2,5 \quad (24).$$

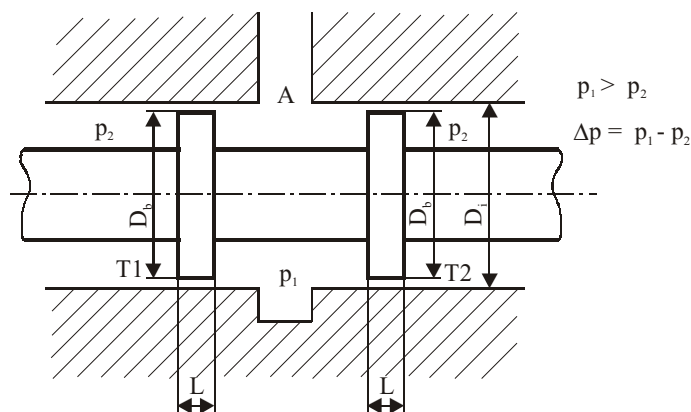
3 EKSPERIMENT

Eksperimentalni del je bil izveden na industrijskem preskuševališču za funkcionalno preskušanje nekaterih hidravličnih sestavin. Uporabljeno je bilo hidravlično olje z viskoznostjo po ISO VG 46, izmerjena čistota razreda 11 po standardu NAS 1638 za velikostni razred delcev od 5 μm do 15 μm ter prav tako za velikostni razred 15 μm do 25 μm . Čistočo v teh dveh velikostnih razredih je meril razpoložljivi analizator čistoče izdelovalca Hydac. Temperatura olja v hidravličnem rezervoarju je bila 50 $^{\circ}\text{C}$. Temperatura okolice je bila okoli 20 $^{\circ}\text{C}$.

Meritev toka notranjega puščanja smo izvedli pri štirih različnih padcih tlaka Δp (pregl. 1) na serijsko izdelanem potnem krmilnem ventilu, katerega za to meritev pomembni funkcionalni del prikazuje slika 5. V kanalu A je bil tlak p_1 , v kanalih T1 in T2 pa vsakokrat atmosferski tlak, torej 0 bar nadtlaka. Tlak p_1 smo določali z nastavitvijo varnostnega ventila na hidravličnem preskuševališču in ga nadzirali na

Preglednica 1. Računsko dobljene in merjene vrednosti za tok notranjega puščanja Q_L v hidravličnem potnem ventilu; podane so vrednosti za izračunano in izmerjeno iztečeno količino v cm^3 v času ene minute ter v času petih minut

	Rezultati izračuna po enačbi (22)				Rezultati meritev	
	za $e = 0$ v času:		za $e = s$ v času:		za $0 \leq e \leq s$ v času:	
Δp bar ↓	1 min	5 min	1 min	5 min	1 min	5 min
100	35	175	88	440	56	210
130	45	225	113	565	81	275
150	52	260	131	655	86	310
200	70	350	175	875	115	450



Sl. 5. Del batnega drsniškega ventila, kjer puščalno olje izteka iz kanala A v kanala T1 in T2

vgrajenem manometru. Ves tok, izstopajoč iz črpalke, je v času merjenja iztekal prek varnostnega ventila v rezervoar; zmanjšan seveda za tok puščalnih izgub.

Merili smo skupni tok notranjega puščanja iz kanala A v kanala T1 in T2 skupaj. Meritve so bile izvedene preprosto z menzurno posodo in uro stoparico. Podane oziroma izmerjene so bile naslednje geometrijske izmere in parametri hidravličnega olja v času izvajanja meritev: $D_i = 20,150 \text{ mm}$, $D_b = 20,138 \text{ mm}$, $L = 1,5 \text{ mm}$, kinematična viskoznost olja $\nu = 30 \text{ mm}^2/\text{s}$, gostota $\rho = 870 \text{ kg}/\text{m}^3$. Iz merjenih vrednosti za D_i in D_b sledi po enačbi (5): $s = 0,006 \text{ mm}$. Merjenje toka notranjega puščanja smo začeli eno minuto po postavitvi krmilnega bata v lego, ki je prikazana na sliki 5, ter merili prostornino, ki izteče iz A v T1 in T2 skupaj v času ene minute in v času petih minut. Rezultati izračuna in meritev so prikazani v preglednici 1.

4 OBRAVNAVA EKSPERIMENTA

Primerno je opozoriti na to, da je, kakor kaže teoretično izvajanje, puščalni tok dvainpolkrat večji, kadar je bat v največji mogoči izsredni legi v izvrtini v primerjavi s puščalnim tokom, ko ima bat popolno centrično lego, in to kljub temu, da je površina pretočnega prereza v obeh primerih enaka.

Pri izvajanju meritev z razpoložljivo skromno opremo nismo imeli možnosti ugotavljati, kolikšna je dejanska izsrednost bata v izvrtini, saj gre za izredno majhne ohlape, kakor je razvidno reda velikosti nekaj mikrometrov, zato je v preglednici 1 za izsrednost samo podatek, da je nekje med najmanjšo in največjo. Pri dejanskem ventilu izsrednosti bata ne določajo samo bočne sile, ki so posledica odstopanj dejanske oblike valja od idealne, pač pa tudi konstrukcija in natančnost izdelave z vidika soosnosti elementov. Razvidno pa je (pregl. 1) iz primerjave vrednosti za puščalni tok, dobljenih z enačbo (22), ter izmerjenih vrednosti, da so v vseh primerih merjene vrednosti nekje vmes med teoretičnimi za ničto in največjo mogočo izsrednost bata v izvrtini.

Analiza meritev tudi pokaže, da količina puščalnega iztoka v petih minutah ni petkratnik iztoka v eni minuti, pač pa je znatno manjša. To si razlagamo s tem, da se delci nečistoč, ki so v velikem številu običajno v hidravličnem olju, zagostijo v reži in s tem zmanjšajo pretočni prerez za puščalni tok. Odtod seveda tudi iz literature poznani pojem statične meje zmogljivosti prekrmljenja ventilov. Zaradi številnih vplivnih parametrov, poleg števila delcev na enoto prostornine (število delcev po velikostnih območjih, oblika in trdota delcev, mikrotrdota soležnih površin, nevzporednost mejnih

ploskev po dolžini reže, različnost privlačnih sil itn.) pa izdelovalci hidravličnih ventilov te meje zmogljivosti ne morejo izrecno podati v katalogih. Ob tem omenimo, kar je v stroki pogonsko-krmilne hidravlike sicer splošno znano, da za ventile klasične hidravlike večina izdelovalcev dopušča po standardu NAS 1638 razred čistoče hidravličnega olja do 9 oziroma po ISO 4406 do 19/17/14, za proporcionalne (premosorazmerne) ventile pa okoli štirikrat manj delcev v olju. Vsekakor pa to pomeni, da je za delce nečistoč velikostnega razreda od 2 μm do 5 μm dopustno celo do nekaj sto tisoč delcev nečistoč na 100 ml olja in nekaj deset tisoč delcev velikostnega razreda od 5 μm do 15 μm na 100 ml olja. Milijoni delcev nečistoč, ki tečejo skupaj s tekočino skozi reže hidravličnih sestavin, imajo torej pomemben vpliv na erozivno in abrazivno obrabo elementov znotraj teh sestavin. Zaradi takšne obrabe se povečuje ohlap med funkcionalnima elementoma, in sicer, kakor je razvidno iz navedenih enačb, s tretjo potenco, na kar tudi izrecno opozarja večina literature. S tem pa se nadalje hitro poslabšuje predvsem prostorninski izkoristek tovrstnih sestavin ter posledično tudi zvišuje temperatura tekočine zaradi povečanega puščalnega toka, ki pomeni dušenje in s tem segrevanje tekočine.

5 SKLEPI

- Poznavanje vnaprejšnje določitve puščalnega toka za posamezne sestavine je pogosto pomembno v fazi projektiranja hidravličnih naprav, in sicer za odločitve glede izbire predvsem krmilja, pa tudi izračuna posedanja bremen ali popuščanja obremenitev v projektni fazi ter s tem iskanja primernih izvedb.
- Reže, ki se pojavljajo v hidravličnih sestavinah, naj imajo čim manjšo višino, kar pomeni čim manjši ohlap med elementoma, ki sestavljata režo. Površine elementov, ki sestavljajo reže, naj bodo zato čim bolj pravilnih oblik, kar seveda pomeni zahtevo po kakovostnih strojih za njihovo izdelavo.
- Elementa, ki sestavljata ohlap, naj imata ob spremembah temperature čim bolj enako toplotno razteznost.
- Stopnja čistoče tekočine pomembno vpliva na dolgoročno ohranjanje dobrega prostorninskega izkoristka hidravličnih sestavin.
- Močno izražene protiobrabne lastnosti elementov, ki sestavljajo reže, so bistvenega pomena za čim počasnejše slabšanje prostorninskega izkoristka hidravličnih sestavin, predvsem drsniskega tipa.

6 LITERATURA

- [1] Ciner, P. (1980) Hidraulički uredjaji, *TVA KoV, Tehnički školski centar, Zagreb*.
- [2] Warring, R.H. (1983) Hydraulic handbook, 8th edition, *Gulf Publishing Company, Houston, London*, ISBN 0-87201-349-9.
- [3] Yeaple, F. (1984) Fluid power design handbook, *Marcel Dekker, New York, Basel*, ISBN 0-8247-7196-6.
- [4] Ebertshäuser, H. (Gesamtbearbeitung) (1973) Grundlagen der Ölhydraulik, *Krausskopf-Verlag GmbH, Mainz*, ISBN 3-7830-0068-8.
- [5] Thoma, J. (1970) Ölhydraulik, *Carl Hanser Verlag, München*.
- [6] Will, D., H. Ströhl (1981) Einführung in die Hydraulik und Pneumatik, *VEB Verlag Technik, Berlin*.
- [7] Murrenhoff, H. (1998) Grundlagen der Fluidtechnik, Teil 1: Hydraulik, *Verlag Mainz, Wissenschaftsverlag, Aachen*, ISBN 3-89653-259-6.
- [8] Findeisen, D., F. Findeisen (1994) Ölhydraulik, *Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York*, ISBN 3-540-54465-8.
- [9] Shames, I. H. (1962) Mechanics of fluids, *McGraw - Hill Book Company, USA*.

Avtorjev naslov: doc.dr. Jože Pezdirmnik
Fakulteta za strojništvo
Univerze v Ljubljani
Aškerčeva 6
1000 Ljubljana

Prejeto: 30.1.2001
Received:

Sprejeto: 27.6.2001
Accepted:

Primerjava triboloških lastnosti mineralnih in repičnih mazalnih olj - Rezultati fizikalno-kemijskih analiz (3. del)

Tribological Properties of Rapeseed Oils Compared to Mineral Oils - Results of Physical and Chemical Analysis (part 3)

Aleš Arnšek - Alma Udovč - Jože Vižintin

V prispevku smo predstavili fizikalno-kemijske lastnosti olj na osnovi oljne repice (oljne ogrščice) pred in med mehanskimi preskusi in po njih. Fizikalno-kemijske lastnosti smo spremljali z merjenjem viskoznosti, kislih ostankov oksidacije (nevtralizacijsko število) in snemanjem infra rdečih spektrov preskušanih olj.

Rezultati preskušanja triboloških lastnosti treh biološko razgradljivih repičnih hidravlično/reduktorskih olj so pokazali, da ima repično olje boljše ali vsaj enakovredne mehanske lastnosti vendar slabšo oksidacijsko stabilnost v primerjavi s kakovostno primerljivim mineralnim oljem. Repična hidravlično/reduktorska olja s svojimi naravnimi lastnostmi in z dodatki so po lastnostih podobna ustreznim mineralnim oljem, s tem da so biološko zelo razgradljiva in nestrupena.

© 2001 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

(Ključne besede: olja repična, viskoznost kinematična, število nevtralizacijsko (TAN), infrardeči (IR) spektri, lastnosti maziv)

In the present work, physical and chemical properties of rapeseed-based oils before and after mechanical tests are presented. Physical and chemical properties are determined with the measurement of viscosity, acids formed during oil oxidation (neutralization number) and infrared spectrum analysis of tested oils.

The results of testing the tribological characteristics of biodegradable rapeseed-based hydraulic/transmission oils showed, that they exhibit better or even similar mechanical properties, but worse oxidative stability compared with a corresponding mineral-based oil. The hydraulic/transmission rapeseed-based oils with their native properties and additives have similar lubrication properties as lubricants based on mineral oils, but they are in addition biodegradable and non-toxic.

© 2001 Journal of Mechanical Engineering. All rights reserved.

(Keywords: rapeseed oil, kinematics viscosity, acid number (TAN), infrared (IR) spectrum, lubricant properties)

0UVOD

Prispevek obravnava spremembe viskoznosti, kislih produktov oksidacije-prostih kislin (nevtralizacijsko število) in nastanek vseh oksidacijskih produktov opaznih v infra rdečih (IR) spektrih preskusnih olj pred in med preskusi in po preskusih določanja mehanskih lastnosti, opisanih v prvem in drugem prispevku ([1] in [2]). Namen spremljanja fizikalno-kemijskih lastnosti preskusnih olj je bil določitev oksidacije olj na podlagi oljne repice v primerjavi z mineralnim oljem. Znano je namreč, da mazalna olja med uporabo neizogibno oksidirajo. Oksidirano olje je treba menjati, ker povzroča izgube. Povečanje viskoznosti

povzroča večje trenje, izgubo energije ter težave pri črpanju olja do mazalnih mest, povečana kislost pa povzroča korozijo. Oksidacijska stabilnost olja je zato pomembna pri določitvi dobe trajanja in s tem rokov menjave olja. Boljša ko je oksidacijska stabilnost olja, daljša so obdobja menjave olja.

Rastlinska olja so zaradi navzočnosti dvojnih vezi v molekulah oksidacijsko in polimerizacijsko nestabilna. Te dvojne vezi v rastlinskih oljih so zelo reaktivne in relativno lahko reagirajo z drugimi spojinami, npr. s kisikom. Oksidacija in samo-oksidacija povzročata razgradnjo olj in nastanek oksidacijskih ostankov, to so ketoni, aldehidi, organske kisline in alkoholi. Lahko pride tudi do polimerizacije. Esterska

skupina proti kemijskim vplivom ni najbolj stabilna in hidrolizira z vodo. Vsi ti ostanki oksidacije povzročajo, da olje postane bolj korozivno, poveča se mu viskoznost, trdni delci se usedejo na delovne površine, kar preprečuje nemoten pretok olja v delovnih enotah, s čimer se poslabšajo mazalne razmere [3]. Te procese smo skušali količinsko vrednotiti z meritvami kinematične viskoznosti in kislih ostankov oksidacije ter kakovostno iz posnetih IR spektrov. Zato smo ob vsaki ustavitvi in na koncu vsakega preskusa na preskuševališču FZG ([1] in [2]), za potrebe meritev, odvzeli približno 50 ml vzorca olja.

Olja bio 1, bio 2 in bio 3 smo po končanem preskusu odpornosti na jamičenje starali do 225 ur (pri temperaturi 90 °C), da bi spremljali spremembe viskoznosti, kislih ostankov oksidacije (nevtralizacijsko število) in nastanka oksidacijskih ostankov s snemanjem IR spektrov v odvisnosti od časa. Prav tako smo te spremembe spremljali pri preskusih drsne obrabe (pri temperaturah 80 °C in 120 °C), vendar samo do 50 delovnih ur.

1 ANALIZE SPREMEMB VISKOZNOSTI, PROSTIH KISLIN IN IR SPEKTROV

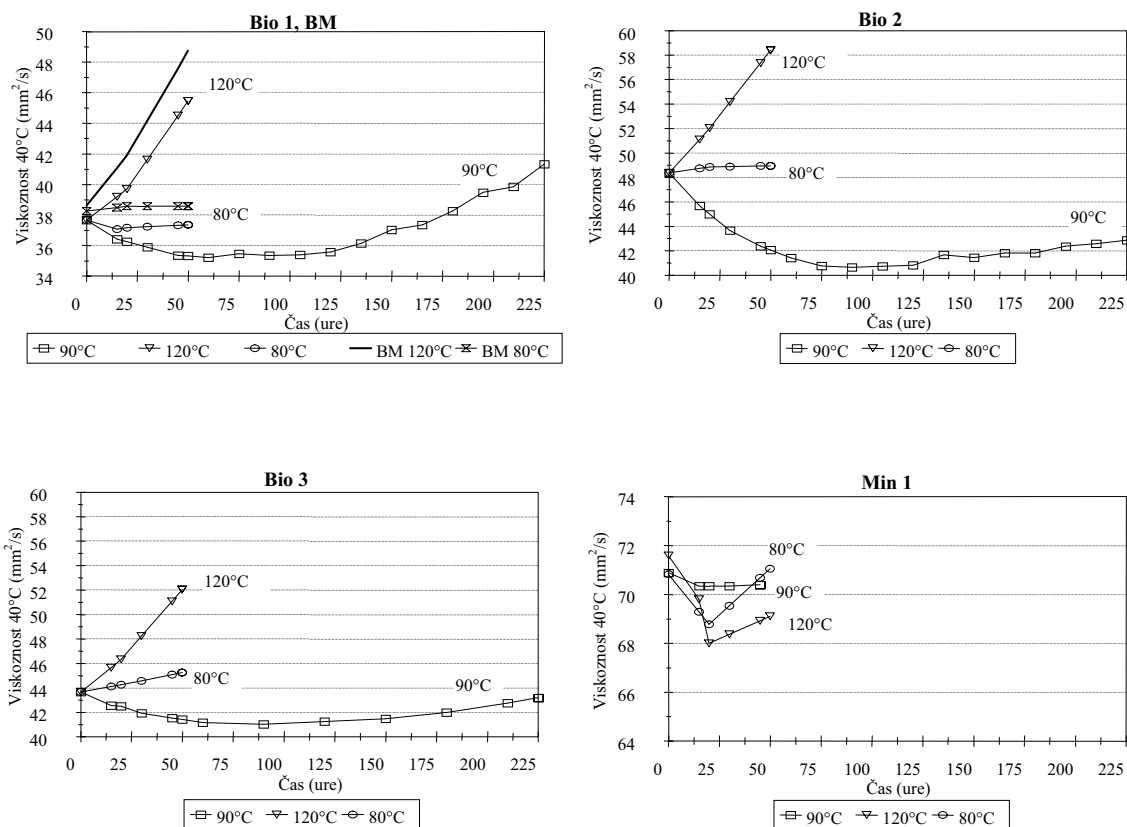
1.1 Spremljanje viskoznosti in prostih kislin

Rezultati meritev viskoznosti za posamezna olja v odvisnosti od časa in temperature (80 °C -

preskus normalne obrabe pri navzočnosti vode, 90 °C - preskus jamičenja, 120 °C - preskus obrabe) so razvidni na sliki 1. Na sliki 2 so prikazane spremembe vrednosti deleža kislih ostankov oksidacije prostih kislin v odvisnosti od časa in temperature preskušanja, ki jih podajamo z nevtralizacijskim številom.

S slike 1 vidimo, da so spremembe viskoznosti vseh preskusnih olj po 50 urah pri 80 °C malenkostne. Pri 90 °C je pri vseh treh bio oljih v začetku opazen padec viskoznosti, ki nato počasi narašča, najpočasneje pri olju bio 2. Temperatura 120 °C že po 50 urah povzroči razmeroma velike spremembe viskoznosti vseh treh bio olj in mešanice BM. Pri mineralnem olju so spremembe viskoznosti pri vseh preskusnih temperaturah majhne. Pri olju min 1, pri vseh treh temperaturah pride najprej do zmanjšanja viskoznosti, nato se viskoznost zveča do začetne vrednosti.

S slike 2, na kateri smo spremljali spremembe vrednosti nevtralizacijskega števila v istih razmerah, zasledimo podoben potek pri vseh treh bio oljih in mešanici BM. Pri 80 °C skoraj ni sprememb, pri 90 °C se nevtralizacijsko število zmerno zveča, pri 120 °C že po 50 urah se nevtralizacijsko število močno zveča. Pri 90 °C se nevtralizacijsko število zveča, najhitreje pri olju bio 1, sledi olje bio 2, najmanjšo spremembo pa smo zaznali pri olju bio 3. Pri mineralnem olju ni opaznih sprememb vrednosti nevtralizacijskega števila.

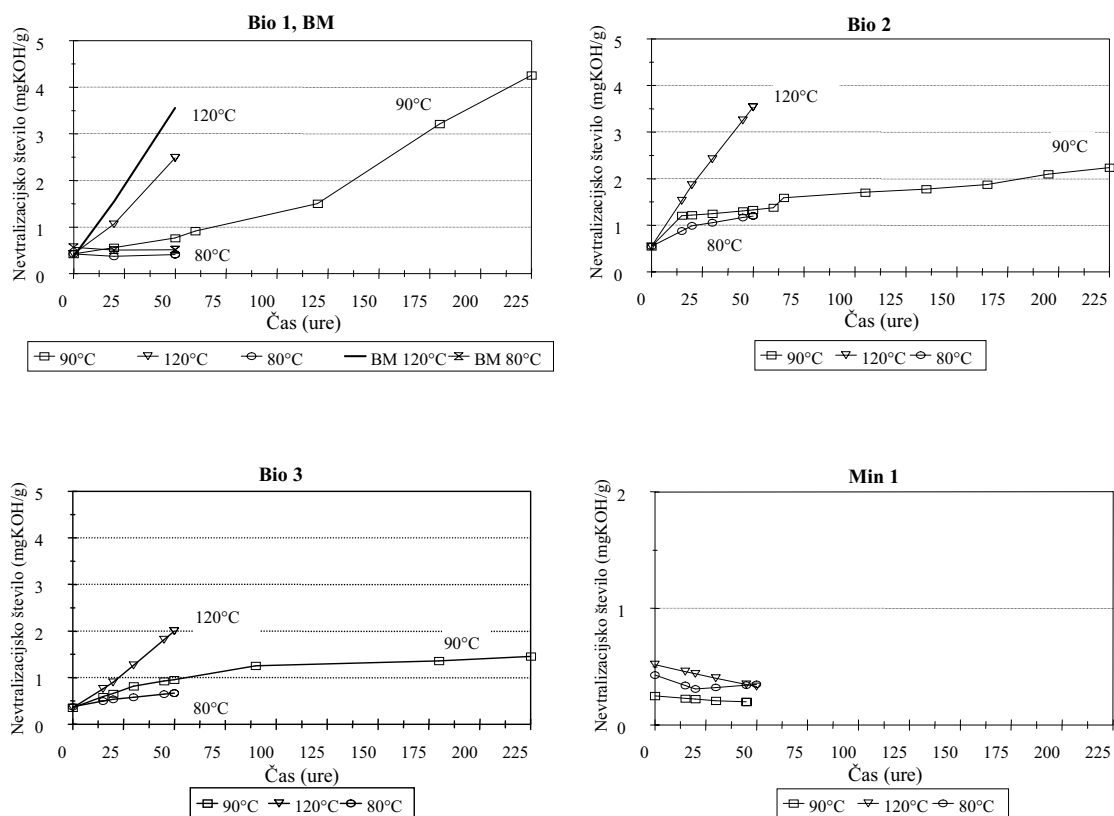


Sl. 1. Spreminjanje kinematične viskoznosti v odvisnosti od časa in temperature

Preglednica 1. Relativne spremembe kinematične viskoznosti in absolutno zvečanje nevtralizacijskega števila

Vzorec olja	Temp. °C	Število ur ure	Relativna sprememba kinematične viskoznosti %	Absolutna sprememba nevtralizacijskega števila mgKOH/g
bio 1	80*	50	-0,8	-0,01
	90	225	9,6	3,78
	120	50	20,6	2,07
bio 2	80*	50	1,2	0,65
	90	225	-11,3	1,64
	120	50	20,7	2,98
bio 3	80*	50	3,6	0,29
	90	225	-2,6	1,10
	120	50	19,2	1,64
BM	80*	50	0,8	-0,05
	120	50	26,2	3,19
min 1	80*	50	-0,7	-0,08
	90	45	-0,7	-0,05
	120	50	-3,5	-0,19

*dodan 1 v/v % vode



Sl. 2. Spreminjanje deleža prostih kislin (nevtralizacijsko število) v odvisnosti od časa in temperature

V preglednici 1 so prikazane relativne spremembe viskoznosti ter absolutno zvečanje nevtralizacijskega števila glede na sveža olja.

Splošno sprejeta meja še dopustne relativne spremembe kinematične viskoznosti (merjene pri 40 °C) med obratovanjem je $\pm 15\%$, glede na sveže olje. To pomeni, da je temperatura 120 °C absolutno previsoka za vsa tri bio olja in mešanico. Relativni dvig viskoznosti zaradi polimerizacije, kot

posledice oksidacije olja, je pri tej temperaturi izredno velik (med 19,2 in 26,2 %) za časovno tako kratko obremenitev. Nasprotno so relativne spremembe viskoznosti pri 90 °C po 225 delovnih urah pri olju bio 1 (9,6 %), bio 2 (-11,3 %) in bio 3 (-2,6 %) sprejemljive, kar pomeni, da je 90 °C še relativno varna delovna temperatura. Pri 80 °C po 50 urah pri nobenem olju nismo opazili omembe vrednih sprememb.

Absolutno zvečanje vrednosti nevtralizacijskega števila zaradi procesov oksidacije za več ko 2 mgKOH/g je že kritično ([4] do [7]). V nasprotju od relativnega dviga kinematične viskoznosti, ki pri 90 °C za olje bio 1 po 225 urah še ni kritično, nevtralizacijsko število pri tem olju doseže kritično vrednost že po 150 do 160 urah (sl. 2, pregl. 1). Pri oljih bio 2 in bio 3 absolutna sprememba nevtralizacijskega števila pri 90 °C, ob koncu preskusa, ne preseže kritične vrednosti. Pri temperaturi 120 °C je bilo zvečanje nevtralizacijskega števila, razen pri olju bio 3, preveliko pri vseh preostalih bio oljih, vključno z mešanico. Zaradi prekratkega časa obremenitve pri 80 °C, kljub navzočnosti vode ni opaznih sprememb. Spremembe nevtralizacijskega števila pri olju min 1 so nepomembne.

1.2 Analiza IR spektrov

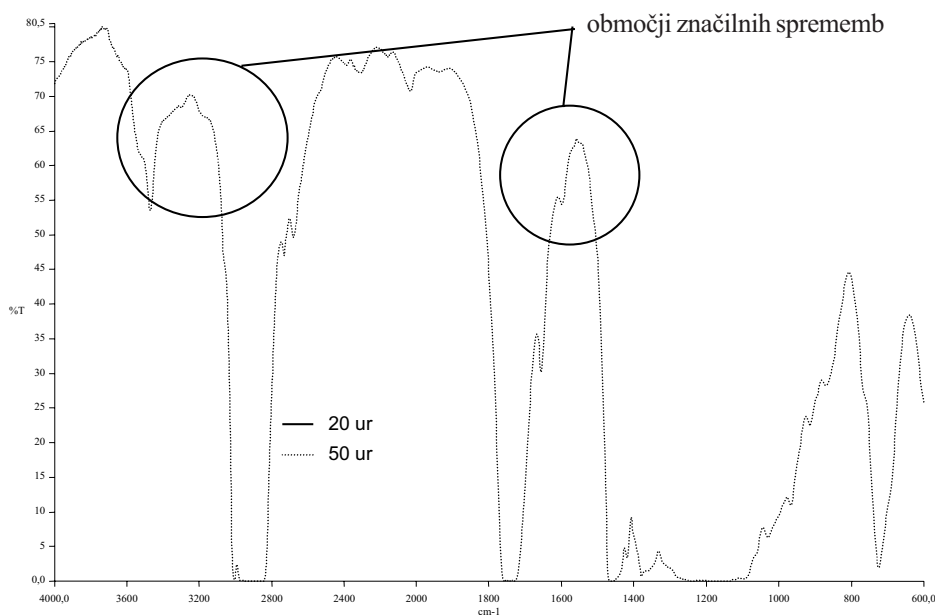
Oksidacijo, samo-oksidacijo in polimerizacijo smo vrednotili tudi iz posnetih IR spektrov tako, da smo primerjali IR spektre vzorcev olj po temperaturni in časovni obremenitvi z IR spektri svežih olj [8]. Z IR spektroskopijo smo spremljali samo olje bio 1 in mešanico olj BM.

Preglednica 2 prikazuje najbolj značilne absorpcijske trakove v IR spektrih rastlinskih olj.

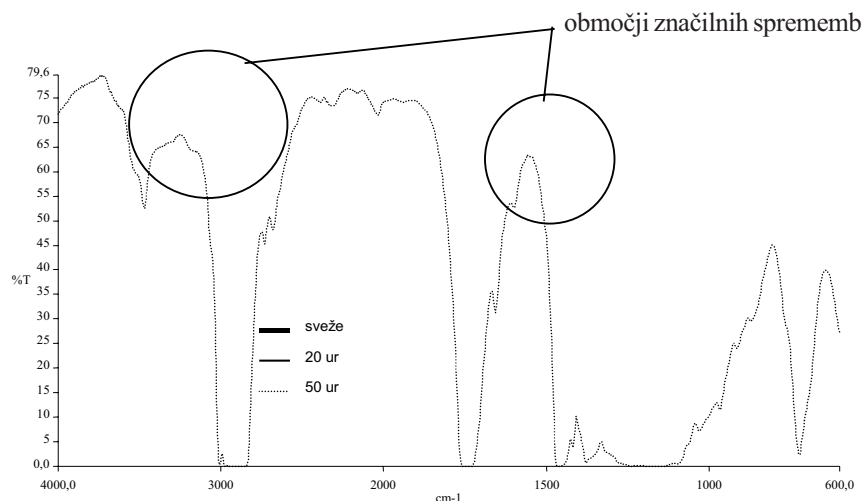
V IR spektrih vzorca olja bio 1 po preskusu obrabe (120 °C) so bile opazne razlike v območjih med 3700 in 3300 cm^{-1} in med 1800 in 1550 cm^{-1} , ki sta značilni za nastale oksidacijske ostanke, kot so kisline, ketoni, aldehidi in alkoholi (sl. 3). Prav tako lahko enake spremembe opazimo pri mešanici BM v enakih

Preglednica 2. Značilni absorpcijski trakovi v IR spektru rastlinskih olj

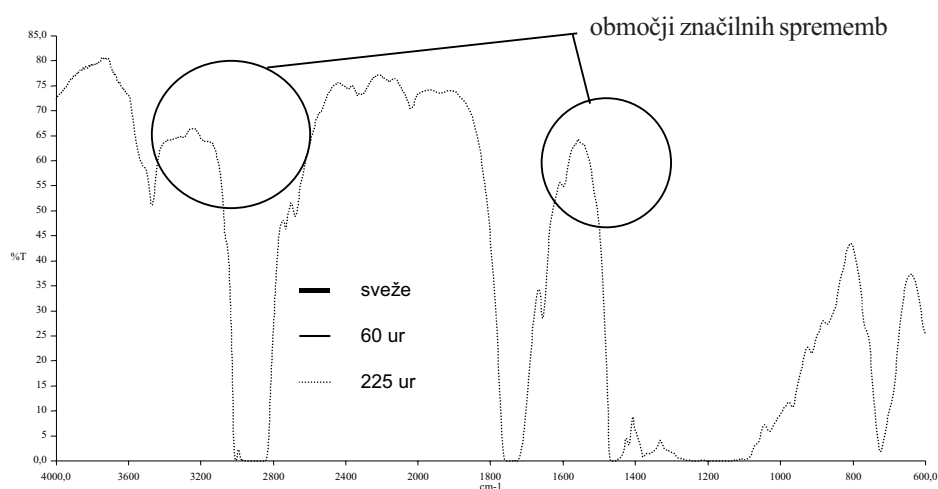
Nihanje	Absorpcijski trak (cm^{-1})
alkoholi	3600 - 3500
kisline	3600 - 2500
$2 \times \nu(\text{C}=\text{O})$	3472
$\nu(\text{OH})$	3450
$\nu(\text{C}=\text{H})$	3021
$\nu(\text{C}=\text{O})$ ester	1745
$\nu(\text{C}=\text{O})$ keton	1718
$\nu(\text{C}=\text{C})$ 2x konjug.	1639
$\nu(\text{C}=\text{C})$ 3x konjug.	1626
$\nu(\text{C}-\text{O})$ ester	1163
$\gamma(\text{CH})$	1000 - 965



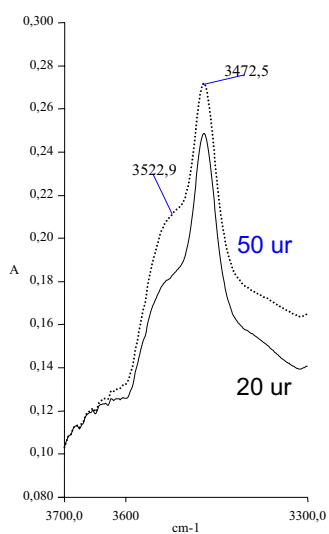
Sl. 3. IR spektra olja bio 1 po preskusu obrabe (120 °C)



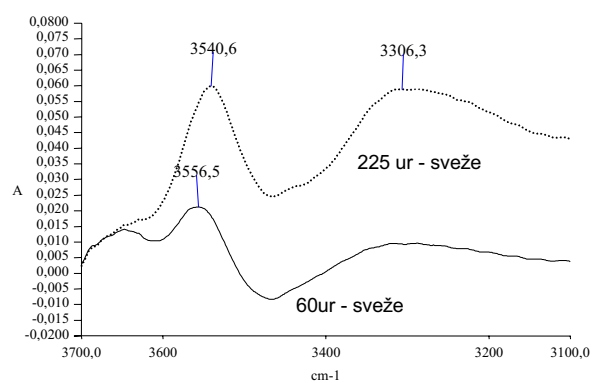
Sl. 4. IR spektri mešanice BM po preskusu obrabe (120 °C)



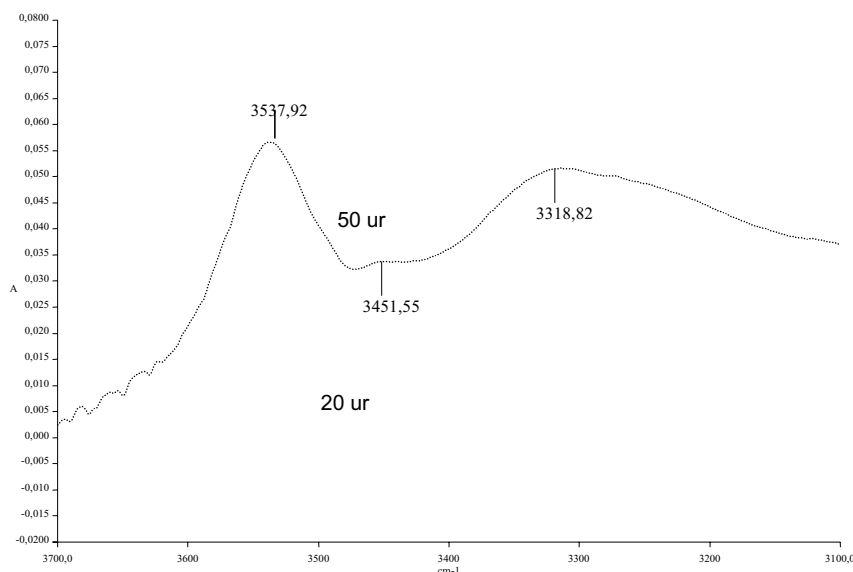
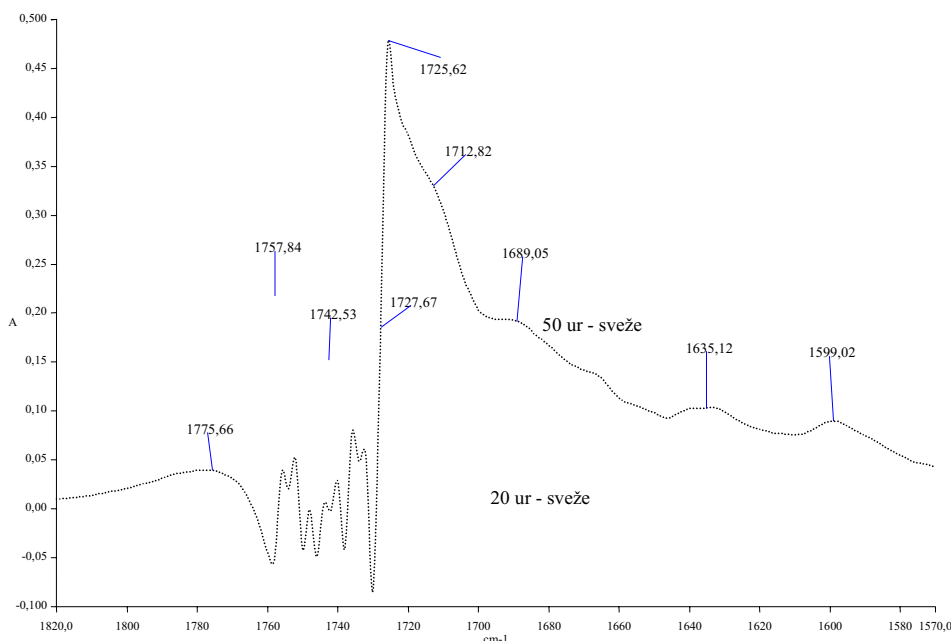
Sl. 5. IR spektri olja bio 1 po preskusu jamičenja (90 °C)



Sl. 6. Zvečevanje intenzivnosti absorpcijskega traku okoli 3530 cm⁻¹ za olje bio 1 (120 °C)



Sl. 8. Naraščanje intenzivnosti absorpcijskega traku okoli 3530 cm⁻¹ za olje bio 1 (90 °C)

Sl. 7. Naraščanje intenzivnosti absorpcijskega traku okoli 3530 cm^{-1} za mešanico BM ($120\text{ }^{\circ}\text{C}$)Sl. 9. Diferencialni spekter mešanice BM ($120\text{ }^{\circ}\text{C}$)

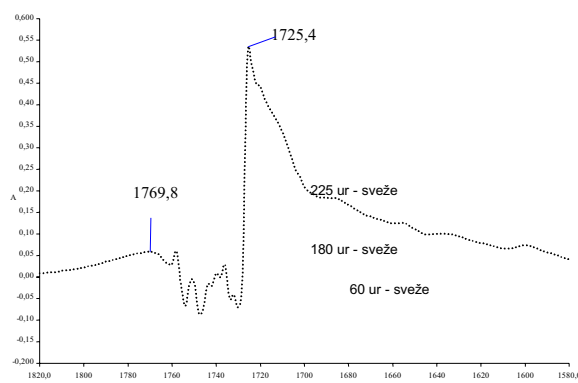
razmerah preskušanja (sl. 4) in pri olju bio 1 po preskusu jamičenja (sl. 5).

V diferencialnih spektrih so spremembe v posameznih področjih, ki so značilna za nastanek oksidacijskih ostankov in dvojnih vezi, še bolj izrazite. Diferencialne spektre smo dobili tako, da smo od IR spektra olja po obremenitvi odšteli IR spekter svežega olja.

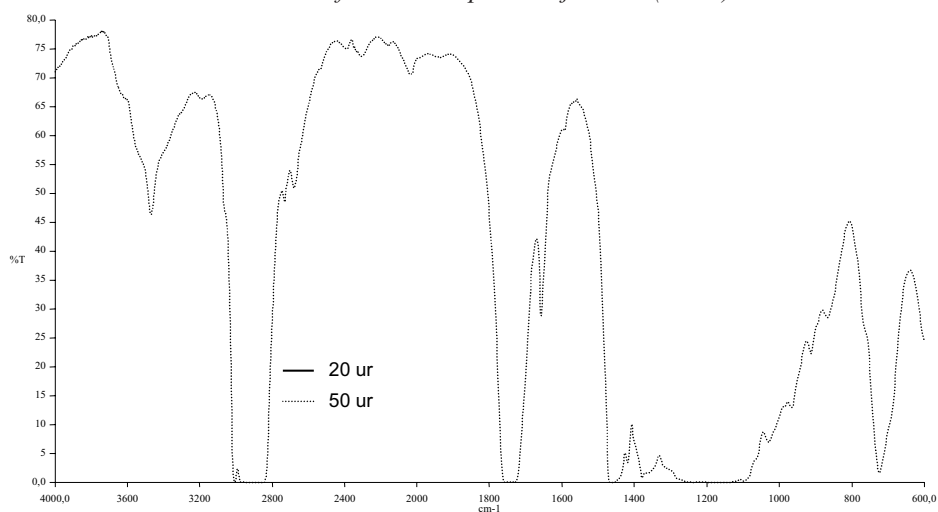
Intenzivnost teta absorpcijskega traku okoli 3530 cm^{-1} (nihanje OH skupine) se s temperaturno in časovno obremenitvijo povečuje, kar kaže na zvečanje deleža alkoholov oz. kislin (sl. 6, 7 in 8).

Novo nastale absorpcijske trakove karbonilne skupine ($\text{C}=\text{O}$) smo opazili v območju med 1750 in 1700 cm^{-1} . Pri vzorcu BM po 50 urah obremenitve na $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ in pri vzorcu bio 1 po 180 urah obremenitve na $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ se močno poveča absorpcijski trak pri 1726 cm^{-1} , ki ga lahko pripišemo nastanku aldehidnih skupin. Narašča tudi koncentracija OH skupin (absorpcijski trak pri 1776 cm^{-1}) (sl. 9 in 10).

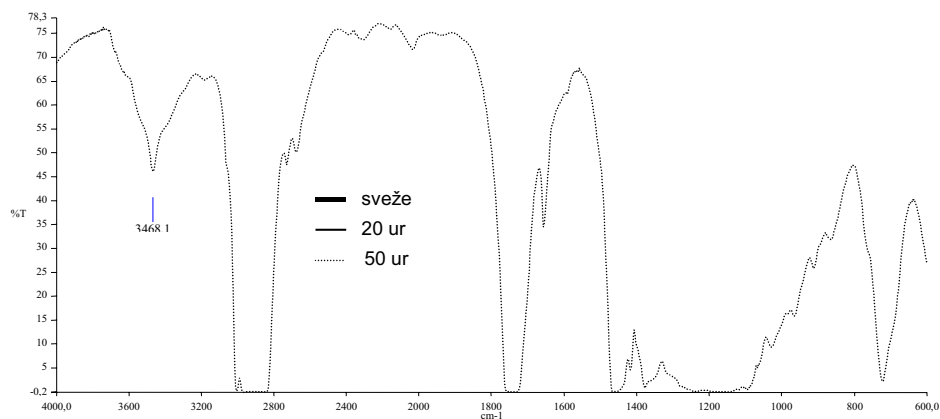
Izrazitih sprememb, ki so nastale pri olju bio 1 pri temperaturah 90 ° in $120\text{ }^{\circ}\text{C}$, po preskusu obrabe ob navzočnosti vode na $80\text{ }^{\circ}\text{C}$, v IR spektrih nismo opazili (sl. 11). Pri vzorcu mešanice BM so bile spremembe opaznejše (sl. 12).



Sl. 10. Diferencialni spekter olja bio 1 (90 °C)



Sl. 11. IR spektri olja bio 1 po preskusu obrabe ob navzočnosti vode (80 °C)



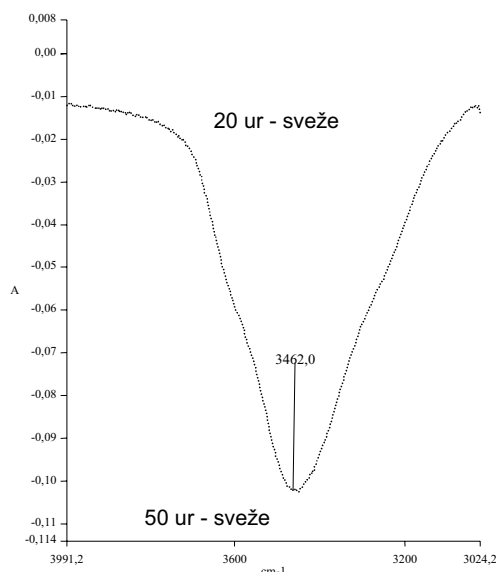
Sl. 12. IR spektri mešanice BM po preskusu obrabe ob navzočnosti vode (80 °C)

Pri mešanici BM, po preizkusu obrabe ob navzočnosti vode pri 80 °C, smo opazili razlike v IR spektrih v območju med 3700 in 3500 cm^{-1} (nihanje OH vezi). Spremembe smo pripisali zmanjšanju deleža vode v olju po obremenitvi zaradi izparevanja. V drugih delih spektra bistvenih sprememb nismo opazili, (sl. 12 in 13).

2 OBRAVNAVA

S slik 1, 2 in preglednice 1 lahko povzamemo, da je delovna temperatura 80 °C, pri kateri lahko

repična olja obratujejo daljši čas, ni nevarna za povečano oksidacijo. Pri tej delovni temperaturi bi najverjetneje dosegli obdobja menjave, ki so običajna za mineralna olja. Tudi temperatura 90 °C za olja bio 2 in bio 3 po 225 urah ni bila kritična, tako zaradi dviga viskoznosti, kakor tudi zaradi spremembe nevtralizacijskega števila. So pa te spremembe kritične za olje bio 1. Po 225 urah je relativni dvig kinematične viskoznosti še v dopustnih mejah, absolutno zvečanje nevtralizacijskega števila pa preseže kritično vrednost že po 150 do 160 urah. Olje bio 2 je zato bolj odporno proti oksidaciji od olja bio 1. Temperatura



Sl. 13. Diferencialna spektra mešanice BM ob navzočnosti vode (80 °C)

120 °C je v vseh primerih popolnoma neprimerna. Pri tej temperaturi pride že po zelo kratkem času do velikih zvečanj viskoznosti in deleža prostih kislin. Zanimivo je tudi, da so spremembe viskoznosti in deleža prostih kislin pri mešanici BM, pri temperaturi 120 °C, bolj izrazite, kakor pri samem olju bio 1 (pregl. 1). V tem primeru in v tej kombinaciji ostanki oz. delež mineralnega olja v repičnem olju škodljivo vpliva na njegovo oksidacijsko stabilnost.

Olje bio 3, ki se je izkazalo kot najbolj odporno proti oksidaciji od vseh treh bio olj in bi verjetno daljši čas, brez velikih sprememb, preneslo tudi nekoliko višje temperature, se še vedno ne more primerjati z mineralnim oljem. Po pričakovanju so bile relativne spremembe viskoznosti in absolutne spremembe nevtralizacijskega števila pri mineralnem olju zanemarljive. Mineralno olje pri teh temperaturah in časovnih obremenitvah vsekakor še ni izpostavljeno oksidaciji.

Iz IR spektrov lahko ugotovimo navzočnost aldehydov, ketonov, kislin in alkoholov. Izkazalo se je, da obstaja zveza med nastajanjem oksidacijskih ostankov, opaznih v IR spektrih in naraščanjem deleža prostih kislin (sl. 2). Oksidacijo prav tako lahko spremljamo z merjenjem viskoznosti (sl. 1). Polimerizacija, kot posledica oksidacije, se v mejnih vrednostih relativne spremembe kinematične viskoznosti ni vedno pokrivala s spremembami deleža prostih kislin, zato je za zanesljivo spremljanje staranja repičnih olj, poleg spremljanja sprememb vrednosti nevtralizacijskega števila in IR spektrov, potrebno tudi spremljanje relativnih sprememb kinematične viskoznosti. Z deležem kislin ostankov oksidacije lahko torej spremljamo celotno stopnjo oksidacije, z IR spektri novo nastale oksidacijske ostanke, z merjenjem viskoznosti pa polimerizacijo kot posledico oksidacije.

3 SKLEPI

Rezultati preskusov mehansko-dinamičnih, kakor tudi fizikalno-kemijskih preskusov in analiz dajejo naslednje sklepe.

Rezultati preskušanja triboloških lastnosti treh biološko razgradljivih repičnih hidravlično/reduktorskih olj kažejo boljše ali vsaj enakovredne mehanske lastnosti ter slabšo oksidacijsko stabilnost v primerjavi s kakovostno primerljivim mineralnim oljem.

Zaradi visoke polarnosti osnovnega repičnega olja in z njo povezane fizikalne oziroma kemijske adsorpcije maščobnih kislin na kovinsko površino imajo repična olja, z eno izjemo, manjše koeficiente trenja v mejnem mazalnem področju. Zaradi manjšega koeficienta trenja in velikega IV so delovne temperature pri uporabi teh olj tudi do 10 K nižje. To pa omogoča uporabo repičnih olj stopnje viskoznosti 46 po ISO3448 v napravah, v katerih se običajno uporablja mineralno olje stopnje viskoznosti 32 do 68 po ISO3448. Zaradi manjših koeficientov trenja in zato manjših strižnih sil v dotiku je boljša tudi odpornost repičnih olj na pojav jamičenja v primerjavi z mineralnim oljem. Največji pomanjkljivosti repičnih olj sta nezadostno delovanje aditivov AW/EP pri velikih tlakih in visokih temperaturah ter omejena uporaba pri višjih temperaturah zaradi povečane oksidacije, pri čemer nižje delovne temperature lahko tudi deloma ublažijo slabo oksidacijsko stabilnost teh olj.

Repična hidravlično-reduktorska olja s svojimi naravnimi lastnostmi in z aditivi AW/EP po lastnostih zlahka dosežajo kategorijo HLP/CLP (HLP, HVLP - oznaka za hidravlična olja po DIN 51524, CLP - oznaka za reduktorska olja po DIN 51517) mineralnih olj. Z indeksom viskoznosti nad 200 dosežajo celo kategorijo HVLP. Največja prednost

repičnih olj je seveda njihova dobra biološka razgradljivost in nestrupenost. Tudi z vidika, da gre za obnovljivo surovino ima uporaba teh olj lahko pozitivne dolgoročne okolju prijazne in gospodarne prednosti.

Z izbiro ustreznih materialov, tesnil, prepovedjo mešanja z drugimi sredstvi in z uporabo pri nižjih temperaturah, lahko torej z repičnimi mazalnimi olji dosežemo enake in celo boljše rezultate kakor z mineralnimi olji.

4 LITERATURA

- [1] Vižintin, J., A. Arnšek (2001) Primerjava triboloških lastnosti mineralnih in repičnih mazalnih olj; Osnove, načini preskušanja ter izbira preizkusnih olj, *Strojniški vestnik*, Vol. 47, št. 3.
- [2] Arnšek, A., J. Vižintin (2001) Primerjava triboloških lastnosti mineralnih in repičnih mazalnih olj; Rezultati mehansko-dinamičnih analiz, *Strojniški vestnik*, Vol. 47, št. 4.
- [3] Hubmann, A. (1994) Chemie pflanzlicher Öle, *Ökologische und ökonomische Aspekte der Tribologie*, TAE 94.
- [4] Pelzer, E. (1994) Normung und Vergaberichtlinien des Umweltzeichens von umweltschonenden Hydraulikflüssigkeiten, *Ökologische und ökonomische Aspekte der Tribologie*, TAE 1994.
- [5] Bartz, W.J., Handbuch der Tribologie, TAE
- [6] Feldmann, D.G., J. Hinrichs (1994) Umweltverträgliche Hydraulikflüssigkeiten in hochbelasteten hydrostatischen Getrieben, *Ökologische und ökonomische Aspekte der Tribologie*, TAE 94.
- [7] Stachowiak, G.W., A.W. Batchelor (1993) Engineering Tribology, *Elsevier*.
- [8] Hummel, Scholl (1998) Atlas der Polymer- und Kunststoffanalyse, Band 2, Teil b/I, *Carl Hanser Verlag*.

Naslov avtorjev: Aleš Arnšek
 Alma Udovč
 prof.dr. Jože Vižintin
 Fakulteta za strojništvo
 Univerza v Ljubljani
 Aškerčeva 6
 1000 Ljubljana

Prejeto:
 Received: 30.1.2001

Sprejeto:
 Accepted: 27.6.2001

Strokovna literatura

Professional Literature

Iz revij

IZ DOMAČIH REVIJ

EGES, Energetika, gospodarstvo in ekologija skupaj, Ljubljana

2001, 2

Mali slovar tehnike ogrevanja (IKZ Haustechnik/BL/ZJ)

Kocijan, S.: Eksplozije plinov

Merjenje toplote ni bilo še nikoli tako zanesljivo

Popović, B.: Pretoki v posameznih regulacijskih krogih morajo biti med seboj usklajeni

Samec, N.: Možnosti nastanka škodljivih snovi pri sežigu odpadkov

Hanžič, A.: Gorivne celice – pogonsko sredstvo prihodnosti

Elektrotehniški vestnik, Ljubljana

2001, 1

Polutnik, A., Tovornik, B., Urbanija, M.: Razvoj mikroprocesorskega senzorja nivoja z uporabo programske opreme LabView

Les, Ljubljana

2001, 3

Bizjak, F., Potočnik, A.: Simulacija stroškov za izbor sistemov za proizvodnjo oken (2. del)

2001, 4

Bitzinger, R., Vidmar, Ž.: Naravi prijazni materiali in tehnologije v površinski zaščiti oken in vrat

2001, 5

Tišler, V., Lipušček, I.: Toksične snovi v lesovih

Naglić, V.: Pritrjevanje orodja za obdelavo lesa in umetnih materialov na stroje

Obzornik za matematiko in fiziko, Ljubljana

2001, 2

Cedilnik, A.: O prostorskih kotih

2001, 3

Prosen, M.: Glede koledarja le toliko

Organizacija, Maribor, Kranj

2001, 4

Pajk, E.: Elektronsko posredovanje storitev

2001, 5

Slovník, M.: Možnosti povezovanja v lesni dejavnosti na osnovi okoljskih zahtev

Vakuumist, Ljubljana

2001, 3

Kovač, J.: Fazna meja kovina/polprevodnik

Šurca Vuk, A., Živković, J., Opara Krašovec, U., Orel, B., Köhl, M.: Spektralno selektivne površine za sončne zbiralnike in sončne fasade zgradb: Strukturne in optične lastnosti spinelnih prevlek Ti:CoCuMnO_x in CoCuMnO_x , pripravljenih po postopkih sol-gel

Varilna tehnika, Ljubljana

2001, 1

Suban, M.: Kaotično obnašanje prehoda materiala pri MAG/MIG načinu varjenja

2001, 4

Toyoda, M., Praunseis, Z., Ohata, M.: Lomno obnašanje zvarov pri statičnih in dinamičnih obremenitvah

IZ TUJIH REVIJ

Elektrotehnika, Zagreb

2000, 1-2

Tomičić, B.: Prilog proračunu struje kratkog spoja kaveznog asinhronog stroja

Vujović, I.: Digitalna analiza slike i računalna pomoć u dijagnostici azbestoze

2000, 3-4

Štefanko, S., Bogut, M., Paljan, D., Krušelj, D., Kurtović, I., Momić, M.:

Detekcija prekida kaveza rotora asinhronog motora

Zelić, R., Filipović, V.: Optički strujni pretvornici

Strojarstvo, Zagreb

2000, 5-6

Dejhalla, R., Prpić-Oršić, J.: Numeričko modeliranje optjecanja broda na slobodnoj površini potencijalnim strujanjem

Cukor, G.: Metoda za stohastičko modeliranje postojanosti alata

Trp, A.: Termodinamička analiza toplinskih pojava kod rotirajućeg regeneratorske topline u sustavu termoelektrane srednje snage

Pavković, B.: Matematički model sustava za posredno hlađenje s toplinskim spremnikom

CDA

Condizionamento dell'aria Riscaldamento Refrigerazione, Milano

2001, 3

Corcione, M., Fontana, L., Moncada Lo Giudice, G.: Riscaldamento a pavimento radiante. Uno studio teorico sul comportamento termico

Colombari, M., Cesaratto, G.A., Zecchin, R.: Ponti termici nelle strutture edilizie. Alcune osservazioni sui coefficienti lineici e valutazione delle temperature superficiali minime. Quarta parte

2001, 4

Di Matteo, U., Asdrubali, F., Ludovisi, A.: La certificazione energetica degli edifici. Prima parte

2001, 5

Olesen, B.W.: Linee guida per il comfort, Alcuni argomenti affrontati in fase di revisione dello standard ASHRAE 55-1992

2001, 6

Cellai, G., Carletti, C., Raffellini, G.: IAQ in ambiente ospedaliero. Prima parte

HLH

Heizung Lüftung/Klima Haustechnik, Düsseldorf

2001, 4

Draxler, D., Siepert, H.: Entwurfsverfahren zur optimalen Gestaltung von Radialventilatoren
Mai, H.-J., Hanel, B.: Wirtschaftliche und brandschutztechnisch sichere Installationen

2001, 5

Schlott, S.: Hydraulisch optimierte Leitungen für grobe thermische Solaranlagen
Sokollik, F., Birnbaum, V., Heibel, M.: Optimale Steuerung und Regelung von Klimaanlage – Teil 1
Patočka, J.: Neue Betrachtung der Vergleichsmessung
Glück, B.: Ortsabhängige Kühlleistung von Massivbauteilen mit integrierten Rohrregistern
Draxler, D., Siepert, H.: Entwurfsverfahren zur optimalen Gestaltung von Radialventilatoren

IDR, Industrie Diamanten Rundschau, Willich

2001, 2

Kramer, D.: ECD-Schleifen – Ein Quantensprung in der Bearbeitung moderner Schneidwerkstoffe

Ardelt, T., Barth, C., Daus, N., Eichgrün, K., Hessel, D., Kreis, R., Pähler, D., Schäfer, L., Schmidt, C., Spengler, C., Sroka, F.: Charakterisierung keramischer Oberflächen – Teil 1

IDR, Industrial Diamond Review, Ascot

2001, 1

Uhlmann, E., Rabe, H., Bublat, B., Brücher, M.: Turning of ceramics with diamond tools
Collins, J.L., Cook, M.W., Ninnis, T.: New developments in ultrahard machining of wood and non-metals

MEMOIRS, Kobe

Tamura, K., Fukusumi, T.: Dynamic response of soft settled type of offshore structure
Sakagami, K., Yairi, M., Morimoto, M., Minemura, A., Andow, K.: A simplified analysis of the sound radiation from a double-leaf structure with a one-dimensional piston vibration model
Zheng, J., Kishimoto, S., Ochi, T., Yoshimura, T., Ohmura, N., Kataoka, K.: Flow structure of a submerged impinging jet near a free interface

Renewable Energy World, London

2001, 3-4

Schock, H.-W., Pfisterer, F.: Thin-film solar cells. Past, present and future
Salaff, S.: A matter of waste – Anaerobic digestion in Toronto, Canada

2001, 5-6

Mangold, D.: Solar in the city: Active solar heating systems for urban areas
Roithmayer, H.: Biomass on track: A high-tech ski manufacturer turns to wood fuel

Nove knjige

John Wiley & Sons Limited, Chichester

Grewal, M., Weill, L., Andrews, A.P.: Global Positioning Systems, Inertial Navigation and Integration, ca. 416 str., 60,95 GBP;
Grewal, M., Pandrews, A.: Kalman Filtering; Theory and Practice using MATLAB, 2nd edition, ca. 420 str., 57,50 GBP;
Kirby, M.: Pattern Analysis and Dimensionality Reduction, ca. 326 str., 46,50 GBP;
Jones, D.: Handbook of Viscoelastic Vibration Damping, ca. 360 str., 75,00 GBP;
Kraus, A.D., Azziz, A., Welty, J.R.: Extended Surface Heat, ca. 1168 str., 125,00 GBP;

Roy, R.K.: Design of Experiments Using the Taguchi Approach, ca. 624 str., 70,95 GBP;
Parnes, R.: Solid Mechanics in Engineering, ca. 528 str., 24,95 GBP;
Weber, W.: Environmental Systems and Processes: Principles, Modeling, and Design, ca. 568 str., 64,50 GBP;
Baher, H.: Analog and Digital Signal Processing, 2nd edition, ca. 504 str., 34,95 GBP;
Acha, E., Madrigal, M.: Power Systems Harmonics, Computer Modelling and Analysis, ca. 328 str., 75,00 GBP;
Van Yee, P., Haykin, S.: Regularized Radial Basis Function Networks, ca. 192 str., 57,50 GBP;

Santamarina, J.C., Fam, M.A.: Particulate Materials and Waves, ca. 450 str., 95,00 GBP;
 O'Connor, P.: Test Engineering, A Concise Guide to Cost-effective Design, Development and Manufacture, ca. 225 str., 39,95 GBP;
 Manwell, J., McGowan, J., Rogers, A.: Wind Energy Explained, ca. 512 str., 39,95 GBP;
 Maldague, X.: Theory and Practice of Infrared Technology for Nondestructive Testing, ca. 680 str., 100,00 GBP;
 Pitas, I. Kontropoulos, C.: Nonlinear Model-Based Image/Video Processing, ca. 350 str., 60,95 GBP;
 Severance, F.: Systems Modelling & Simulation, ca. 544 str., 27,50 GBP;
 Burton, T., Sharpe, D., Jenkins, N., Bossanyi, E.: Wind Energy Handbook, ca. 480 str., 75,00 GBP;
 Nicholas, J., White, D.: Traceable Temperatures, An Introduction to Temperature Measurement and Calibration, 2nd edition, ca. 392 str., 75,00 GBP;
 Tanaka, K.: A Model-Based Approach to Fuzzy Control; ca. 350 str., 64,50 GBP;
 Bar-Shalom, Y., Xiao-Rong Li, Kirubarajan, T.: Estimation, Tracking and Navigation, Theory, Algorithms and Software, ca. 60 str., 67,95 GBP;
 Passino, K.M., Gazi, V., Moore, M.L., Shacklefor, W.P., Proctor, F.M., Albus, J.S.: The RCS Handbook, Tools for Real Time Control Systems Software Development, ca. 300 str., 53,50 GBP;
 Banerjee, P., Zetu, D.: Virtual Manufacturing, ca. 384 str., 57,50 GBP;
 Khansari, M.M., Booser, E.R.: Applied Tribology, ca. 512 str., 70,95 GBP;
 Shabana, A.A.: Computational Dynamics, 2nd edition, ca. 520 str., 67,95 GBP;
 Wong, J.Y.: Theory of Ground Vehicles, 3rd edition, ca. 560 str., 67,95 GBP;
 Kaviani, M.: Principles of Heat Transfer, ca. 1000 str., 89,50 GBP;
 Marshall, J.S.: Inviscid Incompressible Flow, ca. 550 str., 70,95 GBP.

James & James (Science Publishers) Ltd, London
 Hansen, M.O.L.: Aerodynamics of Wind Turbines, 152 str. 40,00 USD.

Springer for Science, Ijmuiden

Padmanabhan, K.A., Casin. R.A.: Superplastic Flow, 363 str., 198,00 DEM;
 Bunge, H.J., Pöhlant, K., Tekkaya, A.E., Banabic, D.: Formability of Metallic Materials, 334str., 249,00 DEM;
 Blackburn, J.A.: Modern Instrumentation for Scientists and Engineers, 319 str., 139,00 DEM.

Edward Elgar Publishing Ltd, Cheltenham Glos

International Yearbook of Industrial Statistics 2001, ca. 720 str., 140 GBP;
 Radosevic, S.: International Technology Transfer and Catch-up in Economic Development, 296 str., 59,95 GBP;
 Krueger, A.B.: Education Matters, 512 str., 65,00 GBP;
 Belfield, C.R.: Economic Principles for Education, 272 str., 55,00 GBP;
 Harmon, C., Walker, I., Westergaard Nielsen, N.: Education and Earnings in Europe, 256 str., 55,00 GBP;
 Mazzarol, T., Soutar, G.N.: The Global Market for Higher Education, 144 str., 39,95 GBP;
 Barnes, P.M., Barnes, I.G.: Environmental Policy in the European Union, 360str., 59,95 GBP;
 Markandya, A., Dale, N.: Measuring Environmental Degradation, ca. 384 str., 75,00 GBP.

American Institute of Aeronautics and Astronautics, London

Wie, B.: Space Vehicle Dynamics and Control, 564 str., 71,50 GBP;
 Zipfel, P.H.: Modeling and Simulation of Aerospace Vehicle Dynamics, 576 str., 66,95 GBP;
 Chobotov, V.A.: Orbital Mechanics, Second Edition, 447 str., 89,95 USD;
 AIAA Aerospace Design Engineers Guide, Fourth Edition, 396 str., 49,95 USD;
 Smetana, F.O.: Introductory Aerodynamics and Hydrodynamics of Wings and Bodies: A Software-Based Approach, 241 str., 84,95 USD;
 Ojha, S.K.: Flight Performance of Aircraft, 516 str., 84,95 USD;
 Mahapatra, P., Doviak, R.J., Mazur, V. and Zrnic, D.S.: Aviation Weather Surveillance Systems, 453 str., 94,95 USD;
 Stinton, D.: The Anatomy of the Airplane, Second Edition, 445 str., 79,95 USD;
 Seddon, J.: Basic Helicopter Aerodynamics, 133 str., 59,95 USD;
 Emanuel, G.: Advanced Classical Thermodynamics, 234 str. 49,95 USD;
 Jenn, D.: Radar and Laser Cross Section Engineering, 476 str., 89,95 USD;
 Parkinson, B.W., Spilker, J.J., Axelrad, P., Enge, P.: Global Positioning System: Theory and Applications, 781 str., 89,95 USD;
 Shuh-Jing Ying: Advanced Dynamics, 366 str., 84,95 USD;
 Malyshev, V.V., Krasilshikov, M.N., Karlov, V.I.: Optimization of Observation and Control Processes, 349 str., 69,95 USD;
 Palazotto, A.N., Dennis, S.T.: Nonlinear Analysis of Shell Structures, 251 str., 61,95 USD.

Ocene knjig**D. Christianus : Management von Kundenzufriedenheit und Kundenbindung**

Zal.: Expert Verlag GmbH, Reiningen-Malmsheim
1999.

Obseg: 194 strani, 15 slik, 24 tabel, 16 citatov
literature.

Cena je 38 DEM.

Prodajo in distribucijo tehničnih izdelkov in/ali storitev ponavadi opravljajo ljudje z izobrazbo tehnične ali naravoslovne smeri. Tipičen primer take aktivnosti je trženje merilnih inštrumentov. Izobraževalni programi naravoslovno-tehničnih fakultet praviloma ne vključujejo kurzov izobraževanja menedžmenta prodaje tehničnih izdelkov in storitev ter servisiranja strank. Pričujoča knjiga naslavlja prav to problematiko. Poseben poudarek je dan metodologiji pridobivanja povratne informacije od strank in vrednotenju kakovosti uslužnostnih aktivnosti.

Knjiga je razdeljena na pet poglavij. V uvodu je predstavljena problematika menedžmenta tehničnih-marketingških aktivnosti in kazalci za

ocenjevanje kakovosti storitev. Ločeno sta predstavljeni analiza zadovoljstva strank in zadovoljstva osebja pri prodaji znotraj podjetja (eksterna in interna presoja organiziranosti aktivnosti).

Drugo poglavje obravnava metodologijo izvedbe analize kakovosti storitev. Sistematično je predstavljena organizacija zbiranja povratne informacije in metodologija vrednotenja rezultatov. Tretje poglavje, ki je razmeroma kratko, je posvečeno presoji servisne dejavnosti znotraj podjetja. Četrto poglavje analizira pomembnost človeškega dejavnika v odnosu do strank. Na nekaj primerih je predstavljen postopek japonskega eksperta Ishikawe. Še več primerov je nato predstavljeno v petem poglavju. V zadnjem, šestem, poglavju so nato navedeni še primeri vprašalnikov za ocenjevanje kakovosti storitev.

Knjiga je zanimivo branje za vsakega tehnika, ki se, ali se bo, ukvarjal z menedžmentom tehničnih produktov in/ali storitev. Priporočam jo tudi raziskovalcem, ki ponujajo svoje usluge na industrijskem trgu.

I. Emri

Osebnosti

Personal Events

Doktorati, magisteriji, diplome

DOKTORATI

Na Fakulteti za strojništvo Univerze v Mariboru je *dne 11. maja 2001* mag. **Tomaž Rojs** z uspehom zagovarjal svojo doktorsko disertacijo z naslovom: "Oblikovanje simulacijskega modela za optimiranje in nadzorovanje proizvodnih procesov".

S tem je navedeni kandidat dosegel akademsko stopnjo doktorja tehničnih znanosti.

MAGISTERIJI

Na Fakulteti za strojništvo Univerze v Mariboru je *dne 25. maja 2001* **Ignacij Biluš** z uspehom zagovarjal svoje magistrsko delo z naslovom: "Kavitacijski vrtnec v sesalnem vodu radialne turbočrpalke".

S tem je navedeni kandidat dosegel akademsko stopnjo magistra tehničnih znanosti.

DIPLOMIRANCI

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

dne 25. maja 2001: Andrej KOKALJ, Mitja LAHARNAR, Rajmund MLAKAR, Lovrenc NOVAK;

dne 28. maja 2001: Silvo BOGATAJ, Tomaž BUČAR, Boštjan ČERNE, Samo GAZVODA, Mitja MAHNIČ, Miha PAVLIČ.

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

dne 31. maja 2001: Vinko BRATINA, Stanislav BUH, Branko DEBELAK, Melita FLAC, Evgen JESENKO, Mitja KOVAČIČ, Srečko PERTINAČ, Franc STERLE, Boris TOMAŽIN, Nenad TRKULJA, Bogdan ŽAGAR.

*

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

dne 10. maja 2001: Robert PERIČ, Franc ŠKRABEC, Matjaž TURK;

dne 11. maja 2001: Miloš BELTRAM, Marin GIZDAVČIČ, Mauro GULJA, Peter MATKOVIČ, Jože PLUT;

dne 14. maja 2001: Andrej BRAČUN, Sašo OREL, Bojan PAKIŽ.

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

dne 31. maja 2001: Albin BIZJAK, Franc GALJOT, Rada GLIGORIN, Stanko KUNEJ, Darko PAVLOVIČ, Branko PEČOLAR; Dragotin POGOREVC, Boris RAZPOTNIK, Evgen VRŠNAR, Robert ZAMUDA, Marko ŽIŽEK.

*

Na Fakulteti za strojništvo Univerze v Mariboru sta pridobila naziv inženir strojništva:

dne 31. maja 2001: Aleš ROKAVEC, Maks VIVOD.

Navodila avtorjem

Instructions for Authors

Članki morajo vsebovati:

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

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

Vsebina članka

Članek naj bo napisan v naslednji obliki:

- Naslov, ki primerno opisuje vsebino članka.
- Povzetek, ki naj bo skrajšana oblika članka in naj ne presega 250 besed. Povzetek mora vsebovati osnove, jedro in cilje raziskave, uporabljeno metodologijo dela, povzetek rezultatov in osnovne sklepe.
- Uvod, v katerem naj bo pregled novejšega stanja in zadostne informacije za razumevanje ter pregled rezultatov dela, predstavljenih v članku.
- Teorija.
- Eksperimentalni del, ki naj vsebuje podatke o postavitvi preskusa in metode, uporabljene pri pridobitvi rezultatov.
- Rezultati, ki naj bodo jasno prikazani, po potrebi v obliki slik in preglednic.
- Razprava, v kateri naj bodo prikazane povezave in posplošitve, uporabljene za pridobitev rezultatov. Prikazana naj bo tudi pomembnost rezultatov in primerjava s poprej objavljenimi deli. (Zaradi narave posameznih raziskav so lahko rezultati in razprava, za jasnost in preprostejše bralčevo razumevanje, združeni v eno poglavje.)
- Sklepi, v katerih naj bo prikazan en ali več sklepov, ki izhajajo iz rezultatov in razprave.
- Literatura, ki mora biti v besedilu oštevilčena zaporedno in označena z oglatimi oklepaji [1] ter na koncu članka zbrana v seznamu literature. Vse opombe naj bodo označene z uporabo dvignjene številke¹.

Oblika članka

Besedilo naj bo pisano na listih formata A4, z dvojnimi presledkom med vrstami in s 3 cm širokim robom, da je dovolj prostora za popravke lektorjev. Najbolje je, da pripravite besedilo v urejevalniku Microsoft Word. Če uporabljate kakšen drug urejevalnik besedil, prosimo, da besedilo konvertirate v navadno ASCII (tekstovno) obliko. Hkrati dostavite odtis članka na papirju, vključno z vsemi slikami in preglednicami ter identično kopijo v elektronski obliki.

Prosim, da ne uporabljate 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.

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

Enote in okrajšave

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

Papers submitted for publication should comprise:

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

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

The format of the paper

The paper should be written in the following format:

- A Title, which adequately describes the content of the paper.
- An Abstract, which should be viewed as a miniversion of the paper and should not exceed 250 words. The Abstract should state the principal objectives and the scope of the investigation, the methodology employed, summarize the results and state the principal conclusions.
- An Introduction, which should provide a review of recent literature and sufficient background information to allow the results of the paper to be understood and evaluated.
- A Theory
- An Experimental section, which should provide details of the experimental set-up and the methods used for obtaining the results.
- A Results section, which should clearly and concisely present the data using figures and tables where appropriate.
- A Discussion section, which should describe the relationships and generalisations shown by the results and discuss the significance of the results making comparisons with previously published work. (Because of the nature of some studies it may be appropriate to combine the Results and Discussion sections into a single section to improve the clarity and make it easier for the reader.)
- Conclusions, which should present one or more conclusions that have been drawn from the results and subsequent discussion.
- References, which must be numbered consecutively in the text using square brackets [1] and collected together in a reference list at the end of the paper. Any footnotes should be indicated by the use of a superscript¹.

The layout of the text

Texts should be written in A4 format, with double spacing and margins of 3 cm to provide editors with space to write in their corrections. Microsoft Word for Windows is the preferred format for submission. If you use another word processor, please convert to normal ASCII (text) format. One hard copy, including all figures, tables and illustrations and an identical electronic version of the manuscript must be submitted simultaneously.

Please do not use a LaTeX text editor, since this is not compatible with the publishing procedure of the Journal of Mechanical Engineering. Graphs, tables and equations in LaTeX may be supplied in good quality hard-copy format, so that they can be copied for inclusion in the Journal.

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

Units and abbreviations

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

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

Slike

Slike morajo biti zaporedno oštevilčene in označene, v besedilu in podnaslovu, kot sl. 1, sl. 2 itn. Posnete naj bodo v kateremkoli od razširjenih formatov, npr. BMP, JPG, GIF. Za pripravo diagramov in risb priporočamo CDR format (CorelDraw), saj so slike v njem vektorske in jih lahko pri končni obdelavi preprosto povečujemo ali pomanjšujemo.

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

Vse označbe na slikah morajo biti dvojezične.

Za vse slike po fotografskih posnetkih je treba priložiti izvirne fotografije ali kakovostno narejene posnetke. V izjemnih primerih so lahko slike tudi barvne.

Preglednice

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

Vsi podnaslovi preglednic morajo biti dvojezični.

Seznam literature

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

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

Podatki o avtorjih

Članku priložite tudi podatke o avtorjih: imena, nazive, popolne poštne naslove, številke telefona in faksa ter naslove elektronske pošte.

Sprejem člankov in avtorske pravice

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

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

Rokopisi člankov ostanejo v arhivu SV.

Vsa nadaljnja pojasnila daje:

Uredništvo
STROJNIŠKEGA VESTNIKA
p.p. 197/IV
1001 Ljubljana
Telefon: (01) 4771-757
Telefaks: (01) 2518-567
E-mail: strojnicki.vestnik@fs.uni-lj.si

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

Figures

Figures must be cited in consecutive numerical order in the text and referred to in both the text and the caption as Fig. 1, Fig. 2, etc. Figures may be saved in any common format, e.g. BMP, GIF, JPG. However, the use of CDR format (CorelDraw) is recommended for graphs and line drawings, since vector images can be easily reduced or enlarged during final processing of the paper.

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

All figure captions must be bilingual.

Good quality black-and-white photographs or scanned images should be supplied for illustrations. In certain circumstances, colour figures may be considered.

Tables

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

All table captions must be bilingual.

The list of references

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

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

Author information

The following information about the authors should be enclosed with the paper: names, complete postal addresses, telephone and fax numbers and E-mail addresses.

Acceptance of papers and copyright

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

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

Papers will be kept in the archives of the JME.

You can obtain further information from:

Editorial Board of the
JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING
P.O.Box 197/IV
1001 Ljubljana, Slovenia
Telephone: +386 (0)1 4771-757
Fax: +386 (0)1 2518-567
E-mail: strojnicki.vestnik@fs.uni-lj.si