

STROJNIŠKI VESTNIK 5

JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING

strani - pages 253 - 296

ISSN 0039-2480 . Stroj V . STJVAX

cena 800 SIT

1. Analiza požara pri prometni nezgodi
An Analysis of a Fire Resulting from a Traffic Accident
2. Sledenje pretokov po energetskih omrežjih
Network Flow Tracing
3. Predlog funkcijskih značilnosti faze zasnove v konstrukcijskem postopku
A Feature-Based Approach to Conceptual Design Process
4. Primerjava masnega ter magnetnega neuravnoteženja rotorja glede na vibracije enosmernih elektromotorjev
A Comparison of the Mass Unbalance and the Magnetic Unbalance with Respect to the Vibration of DC Electric Motors



Vsebina

Contents

Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering
letnik - volume 49, (2003), številka - number 5

Razprave

- Vidmar, P., Petelin, S.: Analiza požara pri prometni
nezgodi 254
Pantoš, M., Gubina, F.: Sledenje pretokov po
energetskih omrežjih 267
Golob, B., Jezernik, A.: Predlog funkcijskih značilnosti
faze zasnove v konstrukcijskem postopku 275
Petrič, M., Furlan, M., Boltežar, M.: Primerjava
masnega ter magnetnega neuravnoteženja
rotorja glede na vibracije enosmernih
elektromotorjev 287

Osebne vesti

Navodila avtorjem

Papers

- Vidmar, P., Petelin, S.: An Analysis of a Fire
Resulting from a Traffic Accident 254
Pantoš, M., Gubina, F.: Network Flow Tracing 267
Golob, B., Jezernik, A.: A Feature-Based Approach
to Conceptual Design Process 275
Petrič, M., Furlan, M., Boltežar, M.: A Comparison
of the Mass Unbalance and the Magnetic
Unbalance with Respect to the Vibration of
DC Electric Motors 287

Personal Events

Instructions for Authors

Analiza požara pri prometni nezgodi

An Analysis of a Fire Resulting from a Traffic Accident

Peter Vidmar - Stojan Petelin

*Prispevek temelji na zamisli, kako opisati obnašanje požara. Delo je zasnovano na analitičnem proučevanju nastanka, razvijanja in širjenja požara in obsega področja termodinamike, prenosa toplote, hidrodinamike ter zgorevanja, ki pomenijo osnovo modeliranja dinamike požarov. Delo prikazuje primer iztekanja nevarne gorljive kemikalije iz cisterne, kar lahko privede do požara. Skušali smo izdelati model širjenja požara v okolici skladišča z gorljivim plinom in prikazati, kolikšen del okolice bi bil pri tem prizadet. Model upošteva vremenske vplive, predvsem hitrost in smer vetra. Uporabili smo računalniški področni ali predelni model **Safer Trace**. V predelnem modelu so pojavi opisani s fizikalnimi in empiričnimi enačbami. Pomanjkljivost modela je, da ni mogoče upoštevati topologije področja.*

Predstavljeni so matematični modeli, ki prikazujejo disperzijo nevarne tekočine v okolico z upoštevanjem vremenskih vplivov.

© 2003 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

(Ključne besede: nezgode prometne, analize požarov, modeli matematični, oblaki plinski)

*This paper is an attempt to define fire behaviour. The work is based on an analytical study of a fire's origin, its development and spread. The study is based on thermodynamics, heat transfer and a study of hydrodynamics and combustion, which represent the basis of fire dynamics. The article describes a practical example of a leak of hazardous chemicals from a tank truck. Because of the flammability of the fluid, a fire may start. We have tried to model the fire propagation around a flammable-gas warehouse and show how the surrounding area could be affected. The model also considers weather conditions, in particular the wind speed and direction. The computer code **Safer Trace**, which is based on zone models, was used to do this. This means that the phenomena are described with simplified physical and empirical equations, and one of the disadvantages of this computer code is its inability to consider the ground topology.*

Mathematical models are presented, and they show the propagation of a hazardous fluid in the environment, while considering the meteorological data.

© 2003 Journal of Mechanical Engineering. All rights reserved.

(Keywords: traffic accident, fire modelling, mathematical models, vapour clouds)

0 UVOD

Govoriti o nevarnosti požarov, pomeni govoriti o požarni varnosti. Od začetka industrializacije je požarna varnost pridobivala na pomenu zaradi potrebe po varstvu človeških življenj in materialnega premoženja. Področje varnosti zajema predpise in zakone, ki obravnavajo preventivo in postopke pri protipožarni obrambi. Običajno vemo, kje so kritična mesta za nastanek požara, tako v zaprtih prostorih kakor na odprtih površinah. Mesto nastanka požara je naš prvi vstopni parameter v modelu.

Delo obravnava model požara na odprtem ter način, kako sproščeni plini vplivajo na okolico in sam požar. Modelirali smo plinsko skladišče v Srminu pri Kopru v Sloveniji.

Simulacijo smo izvedli s predelnim modelom **Trace 8.4**, ki ga razvija **Safer-EMS**, in omogoča simuliranje kemijskih reakcij, ki potekajo pri

0 INTRODUCTION

Talking about a fire hazard means talking about fire safety. From the early days of industrialisation, fire safety has developed a great deal because of the need to protect human life and property. The field of safety includes regulations and acts that deal with fire prevention and the procedures involved in fire fighting. In most cases we know the most probable starting point of fire in the case of both open and closed spaces. The starting point of the fire is then considered as the first input parameter in the model.

This paper describes fire modelling in open spaces and how the released cloud of gas affects the surroundings and the fire itself. The place we have modelled is a gas warehouse in Srmin, near the city of Koper in Slovenia.

The simulation was run using the zone model called **Trace 8.4**, developed by **Safer-EMS**, which is able to calculate the chemical reactions that lead to

zgorevanju. Empirični modeli, zasnovani na fizikalnih zakonitostih, obsegajo različne vrste izpustov, meteoroloških pogojev, gostoto ovir v prostoru itn. Pri predelnem ali področnem modeliranju razdelimo prostor v dele, znotraj katerih se s fizikalnimi in empiričnimi enačbami izračunava vrednost posameznih veličin.

Rezultati modela so lahko: smer in hitrost požara, temperaturni vpliv na okolico, nevarnost eksplozije in izpusti nevarnih plinov. Uporabljena modelska tehnika je poznana tudi kot metoda zgoščenih parametrov.

Po svetu je znanih več računalniških programov za modeliranje požarov. Med njimi smo se srečali predvsem z naslednjimi: FDS (Fire Dynamics Simulator) [5], CFX 4,5 [15], Jasmine 3.12a [14], Smart Fire [16]. Predelni modeli: Safer **Trace** [1], CFAST (Consolidated Fire and Smoke Transport Model) [17].

1 OZADJE MODELA

Program **Trace** je konzervativni program zasnovan na fizikalnih in empiričnih modelih, s katerimi modeliramo vir in širjenje požara. Glavni modeli in pod-modeli v programu **Trace** so: model izpusta skozi razpoko; model dinamike vira (dinamika izbruha plamena, nastanek aerosolov, mešanje z zrakom); model izhlapevanja luže; model disperzije dimnega oblaka v atmosfero in model disperzije curka; model toplotnega sevanja za različne vrste požarov ter model za računanje tlačnega vala pri eksploziji oblaka z gorljivim plinom.

Predpostavka modela se začne s poškodbo hrama in iztekanjem tekočine. Začetne razmere narekuje hitrost in način iztekanja tekočine iz hrama. Zaporedje dogodkov in uporabljeni modeli so prikazani v nadaljevanju.

1.1 Model iztekanja skozi razpoko

Model iztekanja skozi razpoko je navidez ustaljen in izračunava iztekanje plina in/ali kapljevine skozi razpoko ali priključeno cev. Iztekanje lahko povzroči nastala razpoka na hramu ali zlom pritrjene cevi. Model upošteva lastnosti kemikalije, vremenske vplive (zunanji tlak in temperaturo), geometrijsko obliko razpoke (okrogla, pravokotna z gladkimi ali ostrimi robovi) in stanje v hramu (tlak, temperatura). V nasprotju z modelom puščanja na cevi, ki je ustaljen, se pri navidez ustaljenih parametrih, kakor so tlak in temperatura deloma spreminjajo, kar je odvisno od prehodnega pojava med iztekanjem.

Trace zajema tri modele izpustov: prvi opisuje izpust kapljevine skozi luknjo (z upoštevanjem dvofaznega toka), drugi popisuje iztekanje nasičene pare skozi razpoko. Tretji opisuje izpust stisnjenega

combustion. Empirical equations derived from physical equations consider different release scenarios, meteorological conditions, obstacle densities, etc. A zone-modelling technique divides the physical space into zones. Within each zone the uniform physical phenomena are computed using physical and empirical equations. This computational technique is also called the lumped-parameter modelling technique.

The direction in which the fire spreads, the speed of fire propagation, the influence of temperature on the environment, the risk of explosion and the release of hazardous gases are the results of this analysis.

Many fire-propagation models exist. Some of the models we found are CFD (Computational Fluid Dynamics) models: FDS (Fire Dynamics Simulator) [5], CFX 4,5 [15], Jasmine 3.12a [14], Smart Fire [16]; and zone models: Safer **Trace** [1] and CFAST (Consolidated Fire and Smoke Transport Model) [17].

1 MODEL BACKGROUND

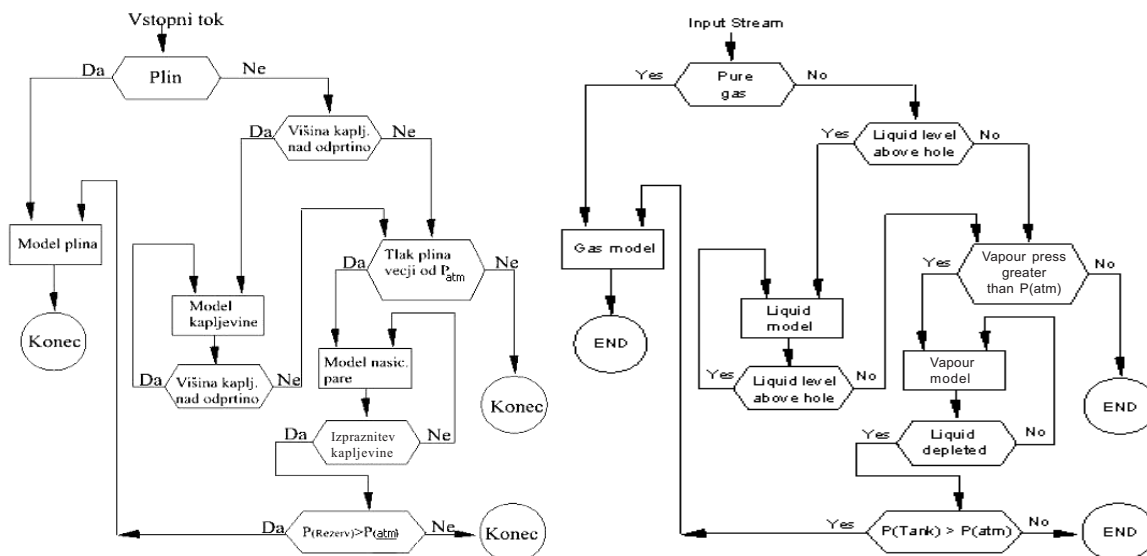
The zone conservative model Trace is based on physical and empirical equations essential for computing the fire's source and its spread. The main sub-models in Trace are as follows: a model of release rates from the rupture; a source dynamics model (dynamics of flashing, aerosol formation and initial air entrainment); a pool evaporation model; models of the atmospheric dispersion of a vapour cloud and jet dispersion; a thermal radiation model for different fire sources; and a blast overpressure model for vapour cloud explosion.

The assumption of the model begins with a tank break and a leak of fluid. The fluid leak rate and the release type from the tank dictate the initial conditions. The following sequence of events is explained in more detail in the text and the corresponding models that are used are described.

1.1 Tank-rupture model

The **Trace** tank model is a quasi-steady-state model that calculates the discharge rate of gases and/or liquids from a tank or pipe system caused by a rupture in the tank or shearing of the attached pipe. It takes into account chemical properties, environmental variables (atmospheric pressure and ambient temperature), rupture geometry (circular, rectangular, smooth or jagged edges) and the containment variables (pressure, temperature). In contrast to a pipe-leak model, which is steady state, the quasi-steady-state model means that variables like pressure and temperature change slightly with time depending on the leak release rate.

Three discharge models exist: one to describe the release of liquid from a hole (including two-phase flow), one to describe the release of vapour from a rupture above a boiling liquid, and one to describe the release of a com-

Sl. 1. Logična povezava med modeli za model iztekanja skozi razpoko pri programu *Trace*Fig. 1. Logic for algorithms within the tank-rupture model in *Trace* code

plina. Logična povezava med modeli je prikazana na sliki 1 [1].

pressed gas. The logic for passing parameters between these models is illustrated in Figure 1 [1].

1.2 Dinamika vira izpusta

Algoritmi, omenjeni v poglavju iztekanja skozi razpoko, definirajo stanje sproščanja iz hrama. Iztekajoča kemikalija ima lahko v osnovi tri oblike toka (izpusta): (1) iztekajoči plin, (2) hlapljiva kapljevina (kapljevina, ki bo izhlapela in tvorila vnetljivo mešanico plina in aerosola) ali (3) kapljevina, ki se izlije na zunanjo površino ter ustvari lužo (mlako) in za tem izhlapi. Različni tokovi (izpusti) in začetna dinamika izvora so osnova za nastanek plinskega oblaka.

Vžigalno razmerje hlapljivosti lahko ocenimo z razmerjem ([10] in [1]):

$$x = c_L(T_o - T_B) / \Delta h_v \quad (1)$$

Ovrednotenje nastanka aerosola je bistveno bolj zapleteno. Obseg nastanka aerosola je odvisen od lastnosti v hramu (tlak, temperatura itn.) ter lastnosti razpoke (smer izpusta, geometrijska oblika razpoke).

Zato mora omenjeni postopek omogočiti pravilno ovrednotenje aerosolnega deleža. Delež aerosola v toku izpusta je funkcija vžigalnega razmerja iz enačbe (1).

Dinamika aerosola je zasnovana po modelu s slike 2.

Entalpijsko ravnotežje sistema je podano z naslednjo enačbo:

$$(m_{v1} - m_{v0})L_a + m_{v1} \int_{T_0}^{T_1} c_v dT + m_{L1} \int_{T_0}^{T_1} c_L dT + m_A \int_{T_A}^{T_1} c_A dT + m_{A0} \int_{T_0}^{T_1} c_A dT = 0 \quad (2)$$

1.2 Source Dynamics

The algorithms mentioned in the tank-rupture section determine the state of the released stream from containment due to a failure/rupture. This released chemical should, in general, consist of three release "streams": (1) escaping gas, (2) liquid that remains airborne (which will itself break up into a flashing fraction of gas and an aerosol fraction) and (3) liquid that falls to the ground to form a pool, which then evaporates. The various "streams" and the initial source dynamics are involved in the formation of a vapour cloud.

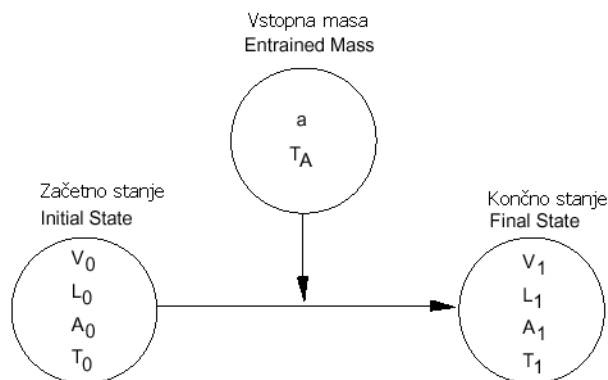
The estimation of the flash and aerosol fraction is defined as ([10] and [1]):

The estimation of the airborne liquid (or aerosol) stream is much more difficult to formulate. The magnitude of the aerosol stream depends upon the containment variables (pressure, temperature, etc.) and is also affected by the rupture characteristics (orientation, geometry of the hole).

Hence, the present approach consists of achieving the capability to define the aerosol fraction. The aerosol content of the stream is assumed to be a function of the flashing fraction, defined above, Eq. 1.

The aerosol dynamics considers the model presented in Figure 2.

An enthalpy balance for the system produces:



Sl. 2. Vstopanje zraka v začetni plinski oblak
Fig. 2. Air entrainment into the initial vapour cloud

Enačbo za idealni plin uporabljamo za plinasto stanje: The ideal-gas law is assumed in the vapour phase:

$$p_{V_1} = \frac{p \cdot \frac{m_{V_1}}{MW}}{\frac{m_{V_1}}{MW} + \frac{(m_{A_0} + m_A)}{MW_A}} \quad (3).$$

Za delni tlak uporabljamo Antoinovo enačbo [10]: And an Antoine vapour-pressure equation is used [10]:

$$\ln p_{V_1} = C_8 + \frac{C_9}{C_{10} + T} \quad (4).$$

V končnem stanju obsega plinski oblak začetno maso kemikalije in vstopno maso zraka. Končno energijsko stanje sistema je izračunano iz entalpijske bilance (2), plinske enačbe (3) in Antoinove enačbe za delni tlak pare (4) [8].

In the final state, the vapour cloud contains the initial mass of chemical vapour and the entrained mass of air. The final state of the system is derived from the enthalpy-balance equation (2), the ideal-gas equation (3) and the Antoine vapour-pressure equation (4) [8].

$$\frac{C_1 + C_2 T}{C_6 + C_7 T} - \text{Exp} \left\{ C_7 + \frac{C_8}{C_9 + T} \right\} = 0 \quad (5).$$

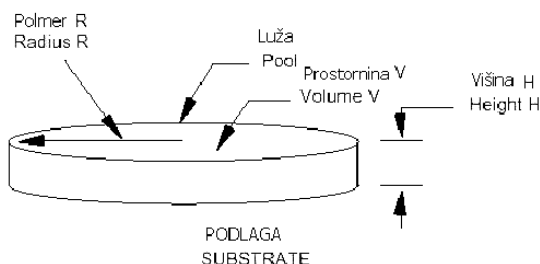
$$\begin{aligned} C_1 &= (m_{V_0} + m_L) c_L T_0 + m_A c_A T_A + m_{A_0} c_A T_0 \\ C_2 &= -(m_{L_0} + m_{V_0}) c_L - m_A c_A - m_{A_0} c_A \\ C_3 &= \Delta h_V - (c_V - c_L) T_0 \\ C_4 &= c_V - c_L \\ C_5 &= (MW / MW_A) * m_{A_1} \\ C_6 &= C_1 + C_3 C_5 \\ C_7 &= C_2 + C_4 C_5 \end{aligned}$$

1.3 Hlapanje luže

Luža je modelirana kot pokončni valj prostornine V, polmera R in višine H.

1.3 Pool evaporation

The pool is modelled as an upright cylinder of volume V, radius R and height H, as shown in Figure 3.



Sl. 3. Luža, modelirana kot pokončni valj
Fig. 3. Liquid pool modelled as an upright cylinder

V vsakem časovnem koraku t lahko prostornino luže opišemo kot:

$$V_P(t) = V_0 + \int_{t=0}^t (\dot{V}_{IN}) dt - \frac{m}{\rho_L} \quad (6),$$

m - masa uparjene tekočine iz luže od časa $t=0$ do časa t

$\dot{V}_{IN}$ - prostorninski tok kapljevine v lužo

Enačba (6) predstavlja prostorninsko bilanco luže.

Model izhlapevanja luže zajema tudi model prenosa toplote. Glavni namen je izračunavanje uparjanja, ki se pojavi zaradi toplotnega sevanja, prevoda toplote in naravne ali prisilne konvekcije.

1.4 Disperzija plinskega oblaka v atmosfero

V prvem koraku izračunamo iztekanje kapljevine iz hrama ter delež nastale pare in aerosola. Aerosol je oblak majhnih kapljic tekočine ali delcev trde snovi, ki lebdi v zraku. Po izračunu uparjenih kapljic aerosola vzdolž poti oblaka, lahko določimo skupno količino uparjene tekočine. V tem poglavju opisujemo model disperzije plinskega oblaka. Program **Trace** omogoča izbiro med različnimi tipi izpustov; trenutni izpust, ustaljen stalni izpust za pline z večjo ali manjšo gostoto.

V obravnavanem primeru upoštevamo trenutni izpust iz hrama na ravni tal. Tak primer privede do hitrega nastanka plinastega oblaka nad ravnjo tal z visoko koncentracijo vsebnosti plina.

Zaradi zelo hitrega prehodnega pojava je težko spremljati spreminjanje parametrov, predvsem v bližini vira izpusta.

Plinski oblak modeliramo kot pokončni valj. Ko je ta oblikovan, začnejo nanj delovati sile težnosti, ki vplivajo na obliko oblaka. Hitrost na robu opišemo z enačbo [1]:

$$\frac{dR}{dt} = k_1 \left[\left(\frac{\rho_{CLOUD} - \rho_A}{\rho_{CLOUD}} \right) \cdot g \cdot h \right]^{1/2} \quad (7),$$

k_1 je stalnica usedanja oblaka, ki je odvisna od vrste izpusta plina in vremenskih vplivov, med katerimi je najpomembnejša hitrost vetra. Pomembno je opozoriti, da model disperzije ne upošteva turbulentnega toka.

1.4.1 Potovanje oblaka

Premik oblaka zaradi vetra je modeliran kot [1]:

$$\frac{dx}{dt} = U_{CLOUD} \quad \text{pri } z = 0,4 h_{CLOUD} \quad (8),$$

x - spremenljivka razdalje v smeri vetra,
 U_{CLOUD} - hitrost oblaka (upoštevana kot hitrost vetra na višini 0,4 krat višina oblaka).

At any time t the volume of the pool can be written as:

m - mass of liquid vapourized from pool starting at $t = 0$ to time t

$\dot{V}_{IN}$ - volumetric flow of liquid into the pool

The above equation (6) represents a volumetric balance of the liquid pool.

A heat-transfer model is also included in the pool-evaporation model. The main purpose is to compute the evaporation rate due to radiation, conduction and natural or forced convection heat transfer.

1.4 Atmospheric dispersion of a vapour cloud

Leak rates from a tank rupture were calculated; initial gas, "flashing" and an aerosol are formed. An aerosol is a cloud of tiny liquid droplets or fine solid droplets suspended in the air. Calculating the droplet evaporation along the cloud trajectory, the overall vapour generation rate is obtained. In this section the dispersion model of the vapour cloud is described. The **Trace** computer code can consider different types of release: instantaneous, steady continuous and transient for dense (active) and lean (passive) gases.

Our application case considers a ground-level instantaneous release from the tank rupture. This is the most catastrophic scenario, which can lead to the rapid formation of a vapour cloud near ground level resulting in a high concentration of gas.

Because of a very fast transient and changes of the variables, it is difficult to predict the course of events, especially close to the source of dispersion.

Once the cloud, which is modelled as a cylinder, is formed, it begins to slump under the effect of gravity. The velocity of the edge of the cloud can be described as [1]:

where k_1 is a slumping constant that depends on the characteristic of the released gases and the weather conditions. The most important of these is the wind speed. It is important to note that the dispersion model does not assume turbulent flow.

1.4.1 Cloud transport

The cloud transport due to wind is modelled as [1]:

x - downwind distance variable,
 U_{CLOUD} - cloud speed (is assumed to be equal to the wind speed at 0.4 times the cloud height).

0,4 krat višina oblaka je vzeta kot primerjalna višina oziroma prijemališče sile vetra v smeri gibanja oblaka.

1.4.2 Porazdelitev koncentracije plina znotraj oblaka

V primeru izpusta gostejšega plina je pričakovati, da se bo oblikoval homogen sredinski predel, vzdolž katerega pa se proti robovom oblaka koncentracija zmanjšuje. Razlika koncentracij na robu oblaka je pri izvoru največja, medtem ko se pri disperziji oblaka v smeri vetra zmanjšuje. Porazdelitev koncentracije je ponazorjena z Gaussovo porazdelitvijo, kar pomeni, da imajo črte enakih koncentracij obliko tipične Gaussove porazdelitve. Gaussove odvisnosti za disperzijo oblaka niso povsem pravilne za vse vrste začetnih pogojev in tipov izpustov, vendar jih zaradi konzervativnosti modela vseeno uporabljamo [7].

1.5 Toplotno sevanje

Osnovna enačba prenosa toplote s sevanjem je [11]:

$$q = e \cdot k \cdot \tau \quad (9).$$

Program **Trace** zajema različne modele virov, to so ognjena krogla, ki obravnava ekspanzijo ob eksploziji pare, požar mlake, požar curka, požar iznad tal, gorenje plinskega oblaka in navaden požar.

V našem modelu smo uporabili naslednje: model požara mlake, model ognjene krogle ter v skrajnem primeru model gorenja plinskega oblaka.

1.5.1 Model gorenja mlake

Glavni parameter, ki ga model empirično izračuna, je masni delež izgorele kemikalije ([1] in [10]):

$$\frac{dm}{dt} = \dot{m}_v = \frac{0,001 \cdot \Delta h_c}{\Delta h_v}, \quad \dot{m}_v \doteq \dot{m}_c \quad \text{pri / when } T_{BP} \leq T_{AMB} \quad [\text{kg}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)] \quad (10)$$

$$\frac{dm}{dt} = \frac{0,001 \cdot \Delta h_c}{\Delta h_v + c_p(T_{BP} - T_{AMB})} \quad \text{pri / when } T_{BP} > T_{AMB} \quad [\text{kg}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)] \quad (11).$$

Sevalno energijo pri požaru luže določimo z naslednjo empirično enačbo ([1] in [5]):

$$e = E_M \cdot \exp(-0,12D_p) + E_S [1,0 - \exp(-0,12D_p)] \quad [\text{W}/\text{m}^2] \quad (12),$$

E_S - sevani toplotni tok dima = 20.000 W/m²

E_M - največji sevani toplotni tok blišča = 140.000 W/m²

1.5.2 Gorenje plinskega oblaka

Metodologijo modela gorenja plinskega oblaka predstavljajo naslednji koraki:

0.4 times the cloud height is assumed to be a reference height or the centre of gravity of wind force in the direction of cloud movement.

1.4.2 Concentration distribution within the cloud

In most dense gas releases, it is expected that there will be a central core region of uniform concentration along with edges at which the concentration decreases. It is expected that close to the source the edges will be sharp and as the cloud disperses downwind the edges will become less steep. The concentration field is calculated considering a Gaussian distribution. This means that the isopleth limits, or the edge of observed concentration limits, takes a typical Gaussian distribution. Gaussian correlations for the atmospheric cloud dispersion are not proper for any initial conditions and release type, but are used as a conservative model [7].

1.5 Thermal radiation

The basic equation for heat transfer by thermal radiation is [11]:

The **Trace** code includes different fire-source models, such as Fireball, taken from boiling-liquid expanding-vapour explosions, liquid-pool fires, jet fires, flares and stacks, flash fires and generic fire sources.

The following models could be used: the liquid-pool fire model, the Fireball model and extreme conditions such as the flash fire model.

1.5.1 Liquid-pool fires

The basic parameters computed empirically by the model are the mass-burning rates from the pool ([1] and [10]):

$$\text{pri / when } T_{BP} \leq T_{AMB} \quad [\text{kg}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)] \quad (10)$$

$$\text{pri / when } T_{BP} > T_{AMB} \quad [\text{kg}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)] \quad (11).$$

The radiation emissive power from liquid-pool fires is calculated using an empirical relation ([1] and [5]):

$$e = E_M \cdot \exp(-0,12D_p) + E_S [1,0 - \exp(-0,12D_p)] \quad [\text{W}/\text{m}^2] \quad (12),$$

E_S - emissive power of smoke = 20,000 W/m²

E_M - maximum emissive power of luminous spots = 140,000 W/m²

1.5.2 Flash fires

The overall methodology can be described in the following steps:

- Razberemo porazdelitev parametrov v prerezu plinskega oblaka iz modela disperzije.
- Na izbranih mestih znotraj oblaka izračunamo povprečne koncentracije v prečnih prerezi in višine oblaka.
- Z izračunanimi povprečnimi koncentracijami v prečnih prerezi in višinami oblaka izračunamo čela plamena.
- Iz čel plamena izračunamo toplotno sevanje na izbranih mestih.
- Z iteracijo po vseh čelih plamenov izračunamo izpostavljenost toplotnemu sevanju po času.

Hitrost plamena računamo kot funkcijo hitrosti vetra z uporabo naslednje empirične enačbe [1]:

$$S_{flame} = 2,3 \cdot U_w \quad (13),$$

S_{flame} - hitrost plamena
 U_w - hitrost vetra

- Obtain snapshot of the cloud from the atmospheric dispersion model.
- At discrete locations within this snapshot, create crosswind-averaged concentrations and cloud heights
- Using the crosswind-averaged concentrations and cloud heights, create flame fronts.
- Calculate the thermal radiation at a receptor location from the flame front.
- Iterate over all flame fronts to obtain the profile of thermal radiation versus exposure time.

The flame speed is calculated as a function of the ambient wind speed using an empirical equation [1]:

S_{flame} - flame speed
 U_w - wind speed

1.5.3 Ognjena krogla

Model ognjene krogle se uporablja za modeliranje hitrih izpustov z ekspanzijo, posebej iz hramov. Algoritem izračunava velikost, mesto in trajanje ognjene krogle po empiričnih enačbah ([1] in [11]):

$$D_c = 5,8 m_f^{1/3} \quad (14)$$

$$t_c = \begin{cases} 0,45 m_f^{1/3} & \text{pri/when } m_f < 30.000 \text{ kg} \\ 2,6 m_f^{1/6} & \text{pri/when } m_f \geq 30.000 \text{ kg} \end{cases} \quad (15),$$

$$h_c = D_c / 2$$

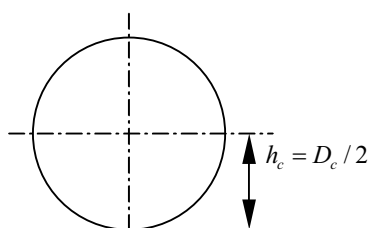
m_f - masa goriva znotraj ognjene krogle
 D_c - največji premer ognjene krogle po koncu izgorovalne faze
 t_c - trajanje izgorovalne faze
 h_c - višina središča ognjene krogle nad tlemi

Sevani toplotni tok iz površine ognjene krogle lahko določimo na dva načina. V prvem primeru vrednost lahko absolutno definiramo v enoti W/m^2 , v drugem primeru pa definiramo delež zgorevalne toplote, spremenjene v sevalno energijo. Običajna vrednost koeficienta je 0,35 [1].

m_f - mass of fuel within the fireball
 D_c - maximum diameter of the fireball at the end of the combustion phase
 t_c - duration of the combustion phase
 h_c - height of the fireball centre above ground level

The surface emissive power of the fireball can be specified using two options. The first is when the value is specified directly [W/m^2], the second case is when the fraction of the total combustion heat converted to thermal radiation is specified. The commonly used value is 0.35 [1].

$$e = \frac{f \cdot m_f \cdot \Delta H_c}{4\pi \cdot (D_c / 2)^2 \cdot t_c} \quad (16),$$



Sl. 4. Navpični prečni prerez ognjene krogle
 Fig. 4. Vertical cross-section of the fireball

f - delež zgorevalne toplote, spremenjene v sevalno energijo

f - fraction of the total combustion heat converted to thermal radiation

2 MODEL POŽARA IN REZULTATI SIMULACIJE

Prvi model obravnava najmanj verjetni in katastrofalni scenarij. Predpostavimo, da se zaradi prometne nezgode med dvema cisternama sprosti v atmosfero v zelo kratkem času (v trenutku) skupno 40.000 kg mešanice propan/butana, se vžge in izgori v zelo kratkem času (manj kot ena minuta). To je model ognjene krogle.

Drugi model predpostavi hiter izpust iz cisterne z vsebnostjo 40.000 kg mešanice propan/butana. Predpostavljena hitrost puščanja je zelo velika, tako da je izpust skoraj trenuten. Površina pravokotne razpoke je 900 cm². Model predpostavlja, da plin izhlapi na viru in naredi plinski oblak. Plinski oblak se vžge 30 sekund po izpustu. Program **Trace** simulira disperzijo plinskega oblaka in izriše črte enakih koncentracij plina in črte enakega toplotnega sevanja.

Dovoljene koncentracije so približno ocenjene z upoštevanjem strupenosti posamezne komponente v mešanici. Vrednosti so: nizka (500 ppm), srednja (5000), visoka (100.000 ppm).

Mesto nastanka požara je izbrano naključno na področju plinskega skladišča v Srminu pri mestu Koper. Vsi modeli nam dajo zanimive in uporabne rezultate.

2.1 Model ognjene krogle

Scenarij ognjene krogle je zelo podoben eksploziji, vendar brez upoštevanja tlačnega čela. Primerjava z eksplozijo je mogoča zaradi zelo kratkega izgorevalnega časa.

Izračunani čas trajanja ognjene krogle je 20 sekund. Model izračuna zelo veliko toplotno obremenitev, ki prizadene obsežno zunanje področje. Slika 5 prikazuje območje obremenjeno s toplotnim

2 FIRE MODEL AND SIMULATION RESULTS

The first fire-model scenario assumes the most improbable and catastrophic event. In a traffic accident between two road tankers, it is assumed that the complete inventory – 40,000 kg of propane/butane mixture – is instantaneously released into the atmosphere, catches fire and combusts in a very short time, less than one minute. Such a model is called a fireball model.

The second model scenario assumes a fast leak from a road tanker containing 40,000 kg of propane/butane mixture. The tank leak rate is assumed to be very high so that the release is quasi-instantaneous. The rectangular area of the orifice is 900 cm². The model assumes that gas evaporates at the source and forms a vapour cloud. The gas cloud is ignited 30 seconds after release. The **Trace** computer code simulates the cloud dispersion and evaluates the dispersion isopleths and the thermal radiation isopleths.

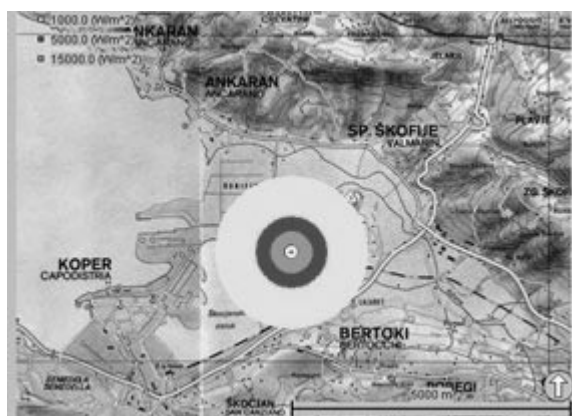
The concentration limit was approximately defined, considering the toxicity and concentration of each mixture compound. The values are as follows: low (500 ppm), medium (5000 ppm), high (100,000 ppm).

The dispersion and fire source were coincidentally chosen inside the area of a gas warehouse in Srmin, in the vicinity of the city of Koper. All models give us interesting and useful results.

2.1 Fireball model

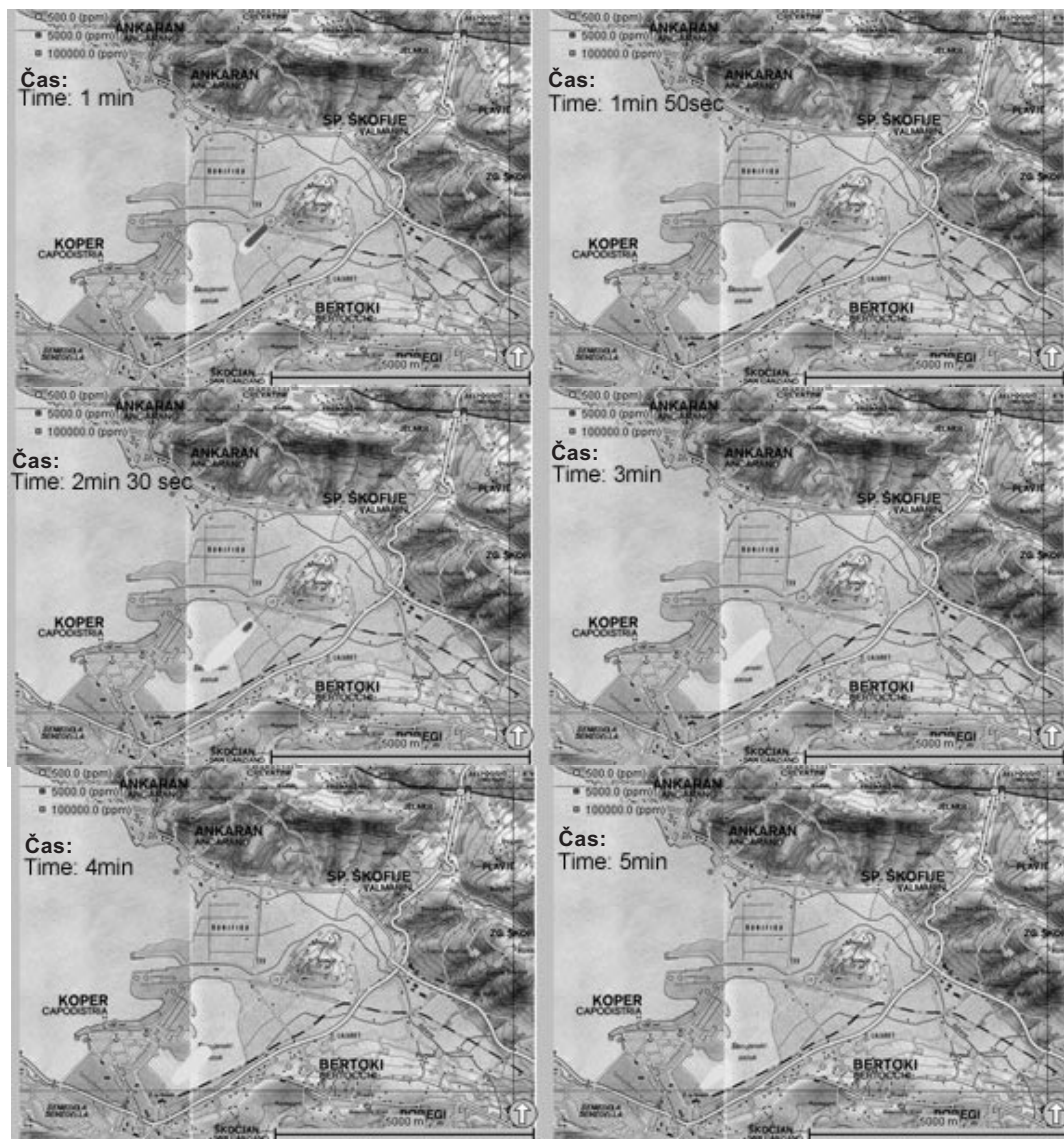
The fireball scenario is assumed to be very similar to an explosion without an overpressure impact. Such a comparison should be reasonable because of the very short time of the combustion process.

The duration of the fireball is 20 seconds. The model computes an enormous thermal impact that affects a wide surrounding area. Figure 5 shows that the most affected area, with a thermal radiation of 15



Sl. 5. Toplotno sevanje kot posledica vžiga ognjene krogle

Fig. 5. Thermal radiation isopleths as a consequence of the 'Fireball' ignition



Sl. 6. Disperzija plinskega oblaka po iztoku iz hrama pri hitrosti vetra 15 m/s
Fig. 6. Dispersion of vapour cloud after tank dispersion at a wind speed of 15 m/s

tokom 15 kW/m² premera 740 m. Emitirano toplotno sevanje ognjene krogle je 342,768 kW/m² na površini ognjene krogle.

2.2 Model iztekanja iz hrama

Dovoljene koncentracije nevarnih snovi ter meje strupenosti smo povzeli po Podatkovni banki nevarnih snovi Narodne medicinske knjižnice ZDA (US National Library of medicine – Hazardous Substances Data Bank) [9]. Koncentracija propan/butana 5000 ppm nima nobenega posebnega vpliva na človeka po enourni izpostavljenosti. Pri koncentraciji nad 10 % (100.000 ppm) propan/butan ne povzroča vidnega draženja oči, nosu ali dihalnih poti.

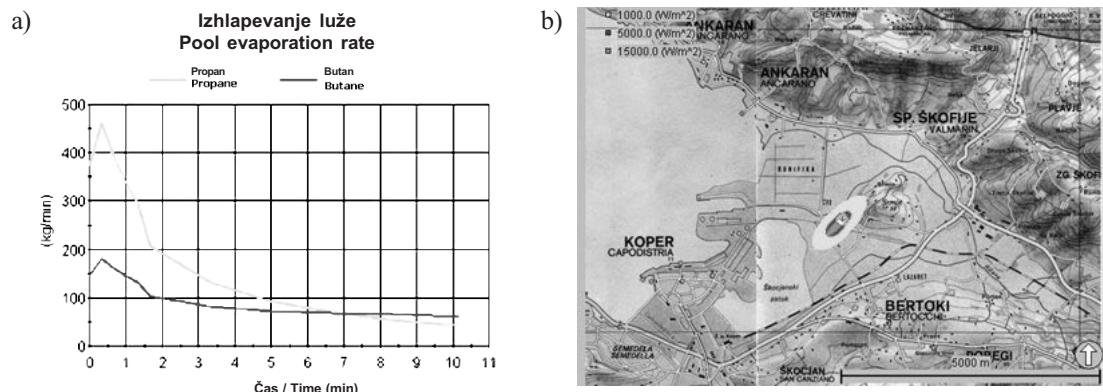
Zaradi zelo velike odprtine na rezervoarju je trajanje izpusta samo 100 sekund. Smer vetra je 45° (jugovzhod) ter hitrost vetra 15 m/s. Velika hitrost vetra pomeni večje vstopanje (mešanje) zraka v plinski

kW/m², has a diameter of 740 m, and the emissive power of the fireball is 342.768 kW/m² on the fireball surface.

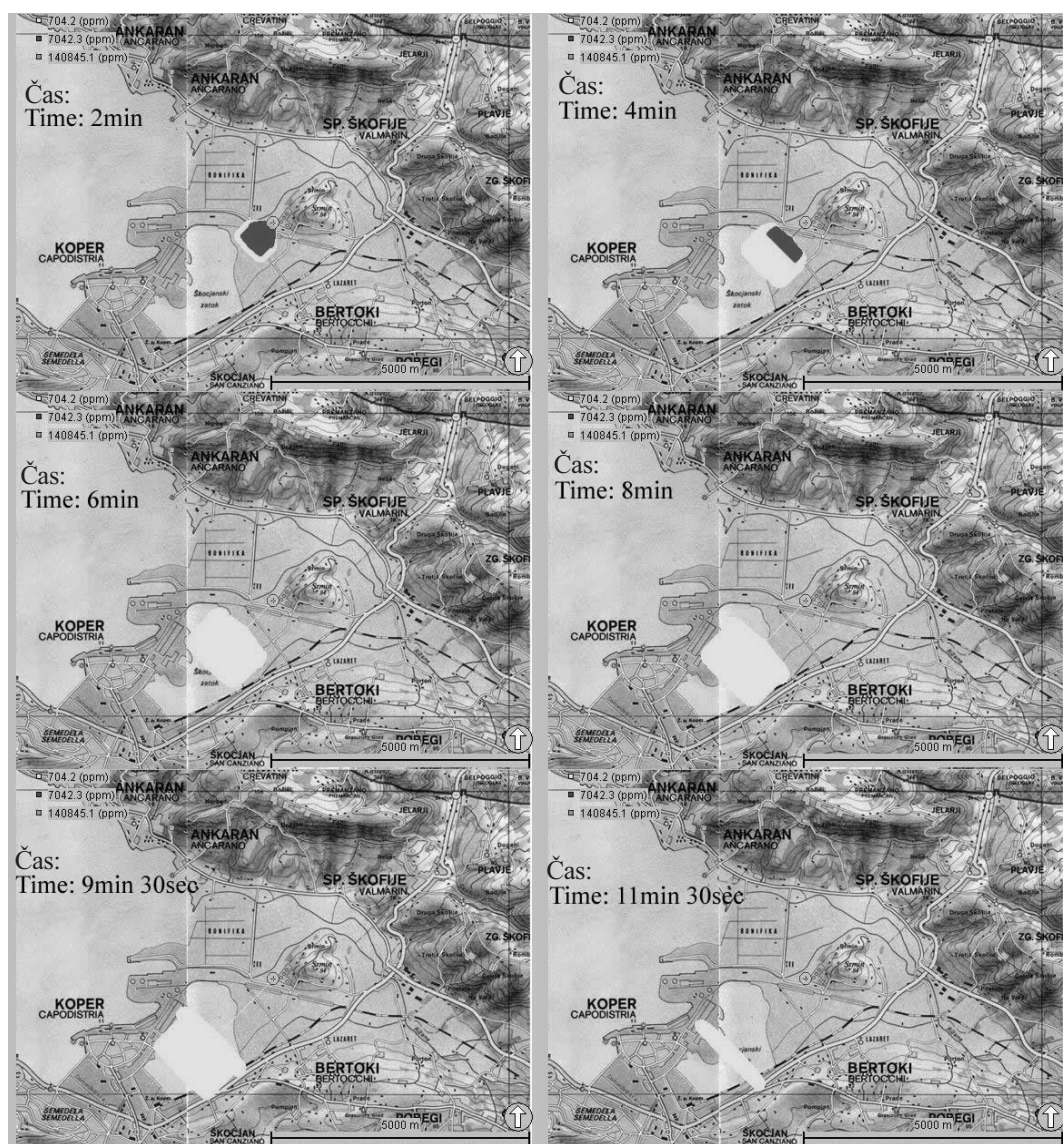
2.2 The tank-leak model

Concentration isopleths were obtained from the US National Library of medicine – Hazardous Substances Data Bank [9]. The concentration of propane/butane 5000 ppm has no particular effect on the human body after an exposure of one hour. At concentrations up to 10% (100,000 ppm) propane/butane caused no noticeable irritation to the eyes, nose or respiration tract.

Because of a very large hole in a tank, the duration of the release was calculated to be only 100 seconds. The wind direction was assumed to be 45° (south-west) and the wind speed 15m/s. Such a wind speed means a very fast air entrainment in the cloud



Sl. 7. Izhlapenjanje luže in toplotno sevanje po vžigu plinskega oblaka
Fig. 7. Pool evaporation rate and the thermal radiation after the cloud ignition



Sl. 8. Disperzija plinskega oblaka po iztoku iz hrma pri hitrosti vetra 2 m/s
Fig. 8. Dispersion of vapour cloud after the tank dispersion at a wind speed of 2 m/s

oblak, kar pomeni hitrejšo disperzijo. Pomembno je izpostaviti, da mešanica propan/butan sama po sebi ni strupena.

Čas vžiga plinskega oblaka je v modelu definiran 30 s po izpustu. Vrh funkcije pri 30 s na diagramu izhlapevanja luže na sliki 7 pomeni vžig oblaka. Slika 7 prikazuje toplotno obremenitev, ki pa je po pričakovanju prizadela manjše območje kot v primeru modela z ognjeno kroglo. Po vžigu plinskega oblaka se izhlapevanje zmanjša zaradi začetka izgorevalnega pojava. Dejansko diagram na sliki 7 prikazuje neto delež izhlapevanja oziroma razliko med izhlapelim in izgorelim deležem plina. Celoten čas izhlapevanja je izračunan na 23 minut.

Pri manjši hitrosti vetra so dinamika disperzije bistveno spremenjeni. Glavni razlog je manjše vstopanje zraka v plinski oblak. Rezultat tega je bolj gost oblak, ki potuje v smeri vetra in ohranja visoko koncentracijo plina dlje časa.

Smer vetra je ponovno 45° (jugozahod) ter hitrost vetra 2m/s, slika 8. Lepo je vidno, da je plinski oblak obstojen dlje časa ter obsega večjo površino.

Čas vžiga oblaka je določen na modelu, vžge se 30 s po izpustu. Vrh pri 30 s v diagramu izhlapevanja luže na sliki 9a pomeni vžig oblaka. Slika 9b prikazuje toplotno obremenitev, ki pa je po pričakovanju prizadela manjše območje kakor v primeru modela z ognjeno kroglo, vendar večje kakor pri hitrosti vetra 15 m/s. To pomeni, da se toplotna obremenitev povečuje z manjšanjem hitrosti vetra. Sliki 9c in 9d

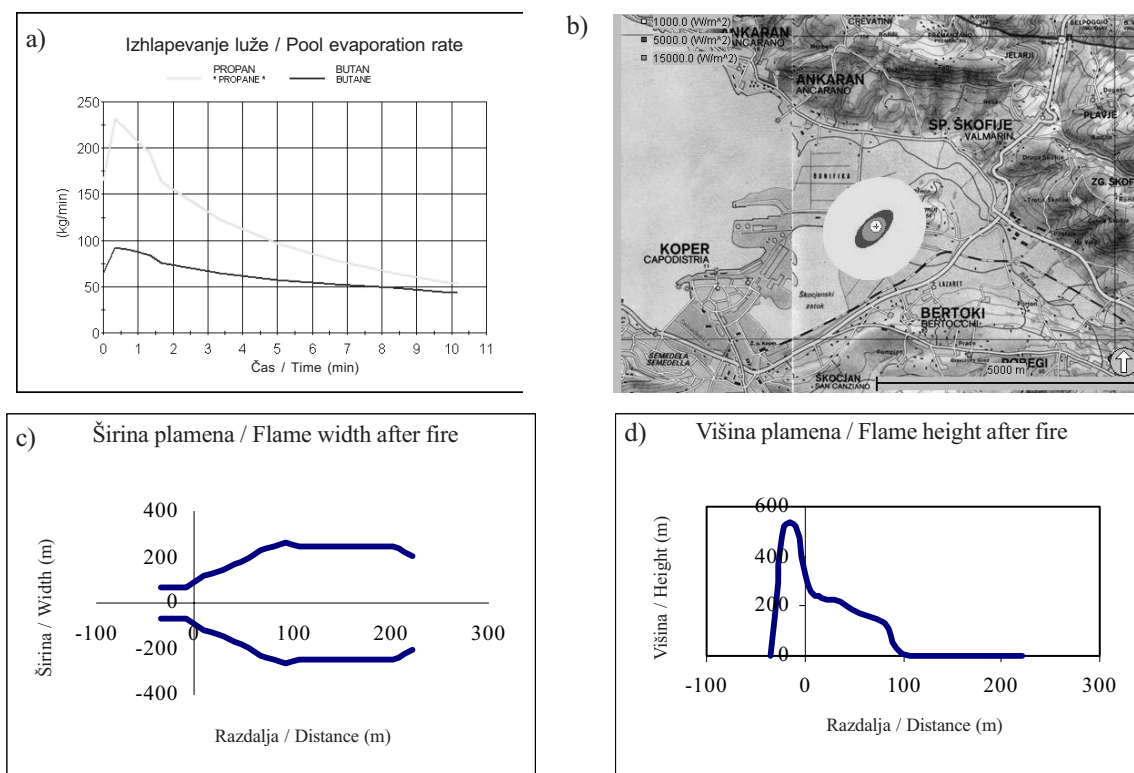
and its faster dispersion. It is important to note, as mentioned above, that the propane/butane mixture is itself not toxic.

The ignition of the cloud was prescribed 30 seconds after the beginning of dispersion. Such an ignition occurs in a very short time. The peak at about 30 seconds in the diagram of Figure 7 shows the flash fire ignition. As expected, the thermal-impact affected area is smaller than in the case of a Fireball. After the cloud ignition the evaporation rate decreases because of combustion initiation. In fact Figure 7a represents the net rate of evaporation, or better, the difference between the evaporation and combustion rates. The total time of evaporation is calculated to be 23 minutes.

The dispersion dynamics becomes very different at low wind speeds. The main reason is the lower air entrainment in a vapour cloud. The expected result is a more homogeneous cloud that moves in the wind's direction, conserving the high gas concentration for a longer time.

The wind direction was assumed to be 45° (south-west) and the wind speed was 2m/s, Figure 8. It is clear that the cloud is present for a longer time and its surface is larger than for higher wind speeds.

The ignition of the cloud was prescribed 30 seconds after the beginning of dispersion. The peak at time 30 seconds on Figure 9a shows the flash fire ignition. As expected, the thermal impact affected area is lower than in the case of the fireball, but larger than in the case of the wind speed of 15 m/s. This means that the thermal dispersion increases with a



Sl. 9. Izhlapenja luže in toplotno sevanje po vžigu plinskega oblaka pri hitrosti vetra 2 m/s
Fig. 9. Pool evaporation rate and the thermal radiation after a cloud ignition at a wind speed of 2 m/s

prikazujeta širino in višino plamena, ki sta izračunani z modelom gorenja plinskega oblaka 30 sekund po začetku iztekanja.

3 SKLEP

Ob upoštevanju zunanjih razmer, ki smo jih našli, so dobljeni rezultati dokaj obetavni. V primeru majhne hitrosti vetra in smeri 45° (jugozahod) iz določenega vira, plinski oblak z veliko koncentracijo plina ne doseže mesta Koper. Slika 7 prikazuje premik oblaka in njegove koncentracije.

Drugi pomemben rezultat je čas, v katerem oblak doseže poseljeno območje. Pri hitrosti vetra 15 m/s se to zgodi v 3 minutah. Nikoli pa ne doseže maksimalne koncentracije (5000 do 10.000 ppm). Pri hitrosti vetra 2 m/s, pa plinski oblak doseže poseljeno območje v 8 minutah in se razredči (koncentracija pod 500 ppm) po 12 minutah. Slika 9 prikazuje karakteristiko plamena (toplotno sevanje), ki se razvije po modelu gorenja plinskega oblaka. Toplotna obremenitev je zelo velika in prizadene območje v premeru 400 metrov od vira.

Pomembno je omeniti, da opisane Gaussove odvisnosti za disperzijo oblaka niso povsem pravilne za vse vrste začetnih pogojev in tipov izpustov [7]. Ker pa so modeli programa **Trace** konservativni, lahko verjamemo, da so dobljeni rezultati dovolj dobri in na varni strani.

Globalni rezultat naše analize je pokazal, da zunanji požar 3 km severovzhodno od Kopra, s predpisanimi karakteristikami (40.000 kg propan-butana) in vremenskimi razmerami, ne bi ogrožal varnosti mesta.

lower wind speed. Figures 9c and 9d show the flame width and the flame height, calculated with a flash fire model 30 seconds after the release initiation.

3 CONCLUSIONS

For a traffic-induced external fire, the results are positive. In the case of a low wind velocity of 2m/s in a direction of 45° (south-west) from the prescribed source, the cloud at high concentration should not reach the city of Koper. This can be seen in Figure 8, which represents the transport and the concentration of the gas cloud.

Another important result is the time when the vapour cloud reaches the populated area. At a high wind speed of 15 m/s it occurs after 3 minutes, where the maximum concentration (5000 to 10,000 ppm) is never attained. At a low wind speed of 2 m/s the gas cloud reaches the populated area after 8 minutes and vanishes (concentration lower than 500 ppm) after the 12 minutes. Figure 9 shows the characteristic of the flame (thermal radiation) produced after flash fire model. The thermal impact is very wide, and affects the surrounding area over a radius of more than 400 meters from the source.

It is also necessary to note that the described Gaussian correlations for the atmospheric cloud dispersion are not correct for any initial conditions and release type [7]. Because the computer program **Trace** model is a conservative one, we should know that the obtained affected area limits are good enough to confirm the credibility of the results.

The global result of our analysis shows that the external fire, 3 kilometres north-east of Koper, with the described characteristics (40,000 kg of propane-butane mixture) and environmental conditions, would not threaten the safety of the city.

4 SIMBOLI 4 SYMBOLS

gostota	ρ	kg/m ³	density
prenosnost	τ	-	atmospheric transmissivity
specifična toplota	c	J/kgK	specific heat
Antoinove konstante	C_8, C_9, C_{10}	-	antoin constants
premer	D	m]	diameter
sevalna energija	e	W/m ²	emissive power
težnostni pospešek	g	m/s ²	acceleration due to gravity
višina	h	m	height
zgorevalna toplota	Δh_c	J/kg	heat of combustion
toplota uparjanja	Δh_v	J/kg	heat of vaporization
konstanta širjenja oblaka	k_l	m	slumping constant
masni pretok	$\dot{m}$	kg/s	mass flux
masa	m	kg	mass
molekularna masa	MW	kg/mol	molecular weight
tlak	p	Pa	pressure
toplotni tok sevanja	q	W/m ²	thermal radiation at a receptor
polmer	R	m	radius
temperatura	T	K	temperature
faktor pogleda	k	-	view factor of the flame
vžigalno razmerje	x	-	flashing fraction

Indeksi

zunanji, začetno stanje	0
uparjalni	B
tekočina, zrak, plin, para	L, A, G, V
končno stanje	1
luža, produkti	P
vstopni tok	IN
oblak	C
uparjalna točka	BP
zunanji	AMB

Indices

ambient, initial state
boiling
liquid, air, gas, vapour
final state
pool, product
inflow
cloud
boiling point
ambient

5 LITERATURA

5 REFERENCES

- [1] Safer System LLC, User's guide trace 8-description of modelling algorithms, *Westlake Village*, California, USA-1996
- [2] Vidmar, P., S. Petelin (2001) Model of fire spread around Krško power plant, Nuclear Energy in Central Europe 2001-International Conference, Portorož.
- [3] Vidmar, P., S. Petelin, D. Lovinčič (2000) Basis of fire spread modelling, International Conference on Traffic Science 2000, Portorož.
- [4] Chedaille J., Y. Braud (1972) Measurements in flames, *Edward Arnold*.
- [5] Dougal, D. (1998) An introduction to fire dynamics, *John Wiley & Sons Ltd*.
- [6] Vidmar, P., S. Petelin (2001) Fire models for enclosed and open spaces in transport systems, International Conference on Traffic Science 2001, Portorož.
- [7] Mc Grattan, K. B., H. R. Baum (1997) Smoke plume trajectory from in suit burning of crude oil in Alaska, NIST-USA-1997.
- [8] <http://antoine.fsu.umd.edu/chem/senese/101/liquids/faq/antoine-vapor-pressure.shtml>
- [9] <http://toxnet.nlm.nih.gov>
- [10] SFPE Handbook (1995) Fire protection engineering, 2nd edition, *National Fire Protection Association*.
- [11] Baulak, C.E. (2000) Heat transfer in industrial combustion, *CRC Press LCC*, USA.
- [12] Cote, A.E. (2000) Fire protection handbook, Eighteenth edition, *NFPA-USA*.
- [13] Baulak, C.E. (2001) Combustion handbook, *CRC Press*, USA.
- [14] Kumar, S., S. Miles, M. Chitty (1994) Jasmine user's guide, *Building Research Establishment*, USA.
- [15] AEA Technology, CFX 4 User's manual, *AEA Technology*, Harwell, UK 2000.
- [16] Galea, E., M. Petel (1998) Smartfire technical manual, FSEG, *University of Greenwich*, UK.
- [17] Jones, W., G. Forney, R. Peacock, P. Reneke (2000) A technical reference for CFAST, *National Institute of Standards and Technology*, USA.

Naslov avtorjev: Peter Vidmar

prof.dr. Stojan Petelin
Fakulteta za pomorstvo in promet
Univerza v Ljubljani
Pot pomorščakov 4
6320 Portorož
peter.vidmar@fpp.uni-lj.si

Authors' address: Peter Vidmar

Prof.Dr. Stojan Petelin
Faculty of maritime studies and
transport
University of Ljubljana
Pot pomorščakov 4
6320 Portorož, Slovenia
peter.vidmar@fpp.uni-lj.si

Prejeto: 10.4.2002
Received:

Sprejeto: 12.9.2003
Accepted:

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

Sledenje pretokov po energetskih omrežjih

Network Flow Tracing

Miloš Pantoš - Ferdinand Gubina

V razviti civilizaciji zadovoljujemo raznovrstne potrebe, vendar v ta namen potrebujemo čim bolj preprost, gospodaren in cenen dostop do dobrin. Primerna rešitev so prenosna omrežja, to so plinovod, naftovod, toplovod, električno omrežje, s katerimi prenašamo snov ali energijo od proizvodnih virov do centrov porabe. Z razvojem, ki je posledica vse večjih zahtev, postajajo omrežja vse bolj prepletena. Če se vprašamo, katero pot skozi omrežje ubere neko »blago« iz določenega vira k določenemu porabniku, ugotovimo, da je težko neposredno odgovoriti na navidez popolnoma preprosto vprašanje. Prispevek tako predstavlja novo metodo za sledenje pretokov po omrežjih od proizvodnih virov do porabnikov. Dejanske prenosne poti ugotovimo na podlagi matričnega izračuna, ki je v primerjavi z znanimi rešitvami računsko preprostejši in z vidika potrebnega računskega časa manj zahteven. Ker je elektroenergetski sistem zapleteno omrežje, pri čemer je na voljo opazovanje pretokov električne energije, smo preizkusili novo zamisel na elektroenergetskem testnem omrežju Nove Anglije, ZDA. Predvidevamo, da je novo metodo sledenja pretokov električne energije mogoče uporabiti tudi pri drugih omrežjih, ne glede na njihovo fizikalno različnost, saj so osnovna načela delovanja omrežij skupna. Rezultati bi pripomogli k boljši preglednosti dogajanja v omrežjih, boljšemu nadzoru, oblikovanju morebitnih trgov, pri čemer je treba ločiti ne samo proizvajalce od porabnikov, temveč tudi proizvajalce in porabnike med seboj. Z razvojem trga pričakujemo tudi plačevanje prenosnih storitev omrežja, torej potrebujemo učinkovito orodje za porazdelitev stroškov prenosa in prenosnih izgub med uporabnike omrežja.

© 2003 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

(Ključne besede: omrežja prenosna, sledenje pretokov, faktorji generacijsko distribucijski, faktorji linijski, faktorji vozliščni)

In the developed world, people's demands are increasing rapidly. The main problem is to find appropriate ways of supplying the consumption centres with the goods that are produced in distant production units. The main criteria are the preservation of the quality of the transacted goods and the minimization of the transmission losses, and both of these are affected by economic aspects, such as minimising costs. In an attempt to solve these problems, mankind has built transmission networks, such as pipelines, gas networks, heat networks and electrical power networks. At first sight the question of which producer supplies a particular consumer seems to be very trivial, but nowadays, with rapid developments, transmission networks are becoming more sophisticated, i.e. more complex, meshed and widespread. In this paper a new network-flow-tracing method is presented. The major goal of this new method is to define flow paths from producers to consumers across a network. In the past a few methods were already proposed; however, this method is based on a matrix calculation. Although it considers the transmission losses, it is still very simple to understand and also very fast. The new approach was tested on the New England test power system. Since all transmission systems have some common characteristics, knowledge from one engineering field could probably be used in other fields. The idea is to spread the knowledge and to find some of the basic principles of observed phenomena that will enable us to solve problems in a proper manner. In this way, a better insight into the system operation and control can be obtained, especially nowadays when deregulation and liberalization of transmission systems are being introduced.

© 2003 Journal of Mechanical Engineering. All rights reserved.

(Keywords: transmission networks, flow tracing, distributed generation, line factors, nodal factors)

0 UVOD

Dandanes si težko predstavljamo življenje brez določenih dobrin, kakor so topla voda, plin, gorivo, prenos informacij, električna energija. Zaradi geografske lege, podnebja, naravnih danosti in še mnogo drugih vplivov

0 INTRODUCTION

People demand some essential goods, such as gas, oil, hot water, and electricity, which usually have to be supplied from distant production centres. Transmission networks are

največkratni morebitnih dobrin v neposredni bližini porabniških središč, torej jih je treba nekako dobaviti ter omogočiti porabnikom čim lažji dostop. Praktična rešitev so prenosna omrežja, ki zaradi vse večjih življenjskih potreb in napredovanja tehnološkega razvoja, postajajo vse bolj zahtevna in terjajo nove načine izvajanja nadzora, vodenja obratovanja in drugih funkcij. V svetu se čutijo ekonomski pritiski na marsikaterem tehničnem področju. V elektroenergetiki se uvaja trg z električno energijo, pri čemer je tržno blago prav električna energija. Tudi na preostalih področjih se pričakuje uvedba tržnih zakonitosti ter bo tako treba ločiti proizvodnjo, porabo in prenos tržnega blaga. V nadzorovanem sistemu je država nadzorovala delovanje omrežij in tudi ni bilo potrebe po notranji ločitvi proizvajalcev in porabnikov. V novih tržnih razmerah se pričakuje razvoj novih orodij, ki bodo na podlagi dosedanjih podatkov o delovanju omrežij skušala določiti vlogo posameznih udeležencev ter omogočala bolj zanesljivo in bolj kakovostno delovanje sistemov.

Za določitev dejanskih pretokov električne energije od proizvajalcev do porabnikov so v svetu že razvili nekaj metod ([1] do [3]), ki so žal nekoliko pomanjkljive z vidika oblikovanja modela elektroenergetskega omrežja in s tem povezanimi poenostavitvami, ki vplivajo na natančnost rezultatov, ter z vidika potrebnega daljšega časa obravnave.

Omenjene pomanjkljivosti metod so vodile v razvoj nove metode PGPF (LGDF) za sledenje pretokov električne energije po omrežju. S tem namenom se izračunavajo progovni generacijski porazdelitveni faktorji PGPF, ki predstavljajo deleže proizvajalcev na prenosnih poteh, in vozliščni generacijski distribucijski faktorji VGDF (NGDF), ki opisujejo deleže proizvajalcev na porabniških mestih v sistemu. Nova metoda PGPF povzema prednosti in hkrati odpravlja pomanjkljivosti dosedanjih metod, saj temelji na matričnih izračunih, ki so časovno varčnejši in zahtevajo manjšo zasedbo računalnikovega pomnilnika, zaradi upoštevanja prenosnih izgub pa je natančnejša v primerjavi z drugimi metodami.

Zamisel o posplošitvi uporabe nove metode še na drugih tehničnih področjih izhaja iz primerjave splošnih lastnosti vseh prenosnih omrežij ali omrežja vodov, to so vodovodno, toplovodno, plinovodno, naftovodno in električno omrežje. Vsako omrežje povezuje proizvajalce na eni in porabnike na drugi strani z nalogo kakovostnega prenosa. Vsa prenosna omrežja so dinamični sistemi, ki se bolj ali manj pogosto spreminjajo v smislu obratovalnega režima, razporeda, obremenjenosti, izpadov določenih povezav, vplivu zunanjih dejavnikov. Povzamemo lahko, da so si prenosna omrežja medsebojno različna zaradi različnih fizikalnih ozadij, a vseeno ostajajo skupne splošne lastnosti, ki omogočajo preslikavo svojih znanstvenih dognanj nekega strokovnega področja na druga področja.

Ker menimo, da lahko s posplošenim gledanjem na problematiko, izbiro primernega skupnega orodja in njegovim nadaljnjim dopolnjevanjem rešimo nemalo število posebnih, ozko usmerjenih težav, predstavljamo v nadaljevanju novo metodo za sledenje pretokov električne energije po omrežju in naše videnje glede njene uporabe na drugih raziskovalnih področjih.

the current solution for managing the long distances between production and consumption centres that are the result of geographical and weather conditions, natural resources, etc. In the first place, a supply quality that includes continuous delivery must be obtained. In addition, transmission-loss management based on economic factors is becoming a significant part of network operation and control, which are influenced by deregulation and the liberalization of network use. Another important feature of the market environment is transmission-service pricing, which demands a fair allocation of the costs among the network users. This is connected to a fair attribution of the network costs and transmission losses to the consumers according to their network usage.

A few methods for electrical-power flow tracing have already been proposed ([1] to [3]). Each method has a specific approach and operates with a simplified model of a power system. These methods, however, tend to neglect transmission losses, and require long processing times, and large memory storage requirements, which finally lead to inaccurate results.

To overcome those problems, a new approach based on a matrix calculation has been proposed. It calculates the Line Generation Distribution Factors, i.e. the production units' shares in the line flows, and the Nodal Generation Distribution Factors, i.e. the producers' shares in the consumptions at the nodes of the system. Although it considers transmission losses, it is still very simple to understand as well as being very fast. The new LGDF method certainly overcomes the weaknesses and unites the benefits of the other methods.

Electrical networks consist of a number of producers and consumers that are connected by transmission lines. Hence, they present very complex networks that are appropriate for testing. The new method was tested on the New England test power system. The results are presented later in the paper.

Since all transmission systems have some common characteristics, knowledge from one technical field can be used in another. The idea is to spread the knowledge and to find some of the basic principles of the observed phenomena that will enable us to solve problems in a proper manner. The new LGDF method can be used as a new system tool in a wide range of different technical fields. In this way, a better insight into the system operation and control can be obtained, especially in the phase of deregulation, liberalization and open access to a transmission network.

1 ZAMISEL SLEDENJA PRETOKOV

1 THE FLOW-TRACING CONCEPT

1.1 Izhodiščna načela

1.1 Basic principles

Prenosna omrežja povezujejo središče proizvodnje z zemljepisno oddaljenimi porabniškimi središči. V elektroenergetiki srečujemo omrežja, ki povezujejo proizvajalce s porabniki električne energije. Z medsebojno primerjavo omrežij ugotovimo, da zaradi značilnosti električne energije, števila uporabnikov omrežja in zemljepisne razsežnosti, uvrščamo elektroenergetska omrežja v skupino najbolj zahtevnih omrežij.

Prenosne poti, kakor so omrežja pri toplovodih, plinovodih in naftovodih ter vodi pri elektroenergetskih omrežjih, se združujejo v stičnih točkah, tj. vozliščih. Na teh mestih tako prihaja do združitve in mešanja dotokov, ki se nadalje enakomerno porazdelijo po odvodnih poteh iz vozlišča. Razmere prikazuje slika 1, kjer dotoka pritekata v vozlišče i po prenosnih poteh $j-i$ in $k-i$ ter ga nadalje pomešana zapuščata po poteh $i-l$ in $i-m$.

Za vsako vozlišče sistema velja, da je vstopajoča količina enaka izstopajoči, kar na področju elektrotehnike opisuje tokovni Kirchhoffov zakon. Če s I_i označimo celotni pretok skozi vozlišče i na sliki 1, lahko zapišemo:

$$I_i = 0,25 \text{ p.u.} + 0,75 \text{ p.u.} = 0,30 \text{ p.u.} + 0,70 \text{ p.u.} = 1,00 \text{ p.u.} \quad (1),$$

kjer je p.u. (na enoto) enota sistema relativnih vrednosti in omogoča lažjo primerjavo veličin. Po sorazmernostnem porazdelitvenem zakonu [2] določimo deleže vstopnih količin v izstopnih pretokih. Deleža pretokov na poteh $j-i$ in $k-i$ na prenosni poti $i-l$, $d_{ji,il}$ in $d_{ki,il}$, izračunamo kot:

$$d_{ji,il} = 0,30 \frac{0,25}{1,00} \text{ p.u.} = 0,075 \text{ p.u.} \quad (2),$$

$$d_{ki,il} = 0,30 \frac{0,75}{1,00} \text{ p.u.} = 0,225 \text{ p.u.} \quad (3),$$

pri čemer velja, da je vsota obeh deležev enaka celotnemu pretoku na poti $i-l$. Podobne izračune bi lahko zapisali še za prenosno pot $i-m$.

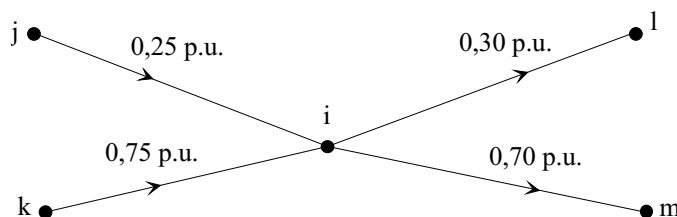
Transmission networks are links between production centres and consumption areas. In the electrical power industry there are power plants that produce electricity and then transmit this electricity via a network to the consumers. Since electrical power systems have many users and connecting lines they are some of the most sophisticated types of systems. In addition, it should be stressed that electricity cannot be stored in the same way as other goods; all that is produced has to be consumed at the same time. This characteristic adds to the complexity of electrical networks and makes them a good reference for further study and testing.

Transmission networks for other products include gas pipelines and heating water, which are connected at nodes in the same way as electrical power systems. We assume that the flows entering a node are distributed proportionally among the outflows from a node or, in other words, that a network node is a perfect "mixer" of incoming flows. The conditions are described in Fig. 1, where the inflows of lines $j-i$ and $k-i$ are further distributed by the lines $i-l$ and $i-m$.

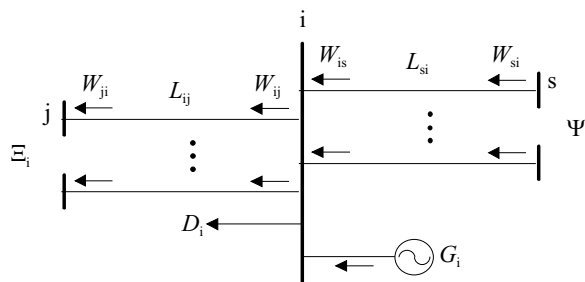
The flow balance for the i -th network node is reflected in the following equation:

where I_i is the total nodal flow. For a better comparison of the values in (1), (2) and (3), the system of relative values, i.e. the per unit (p.u.) system, was used. According to the proportional sharing principle [2], shares of the inflows on the lines $j-i$ $d_{ji,il}$ and $k-i$ $d_{ki,il}$ in the outflow $i-l$ can be calculated as:

where the sum of both shares is equal to the inflow on line $i-l$. A similar result can be established for the transmission path $i-m$.



Sl. 1. Pretok skozi vozlišče i
Fig. 1. Flow through node i



Sl. 2. Razmere v vozlišču i
Fig. 2. Conditions at node i

1.2 Elementi prenosnega omrežja

V nadaljevanju predstavljamo elemente prenosnega omrežja. Slika 2 prikazuje razmere v vozlišču i, kjer simbol G_i pomeni proizvodnjo v vozlišču i, D_i porabo, Ψ_i pa je množica vseh sosednjih vozlišč, ki napajajo vozlišče i. Množica Ξ_i zajema vozlišča, ki se neposredno napajajo iz i-tega vozlišča. Simbola W_{is} in W_{si} pomenita pretok po prenosni poti i-s v smeri od vozlišča s proti vozlišču i. W_{is} pomeni vrednost pretoka ob vozlišču i, W_{si} pa velja za pretok ob vozlišču s.

1.3 Sledenje pretokom

Za vsako vozlišče prenosnega sistema lahko določimo pretok skozi vozlišče. Pretok skozi vozlišče i Π_i je enak vsoti vseh pretokov v vozlišče, enačba (4), ali pa vsoti vseh pretokov, ki vozlišče i zapuščajo, enačba (5):

$$\Pi_i = \sum_{s \in \Psi_i} W_{is} + G_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4),$$

$$\Pi_i = \sum_{j \in \Xi_i} W_{ij} + D_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (5).$$

Za sledenje pretokov po omrežju od virov do porabnikov v nadaljevanju upoštevamo enačbo (4). Pri prenosu nastajajo tudi izgube, ki so posledica upornosti in morebitnih okvar prenosnih poti. Pri prenosu tekočin, kakor so plin, nafta in voda, prihaja do spuščanja snovi v okolico zaradi okvar ventilov, počenih cevi in napak na stičnih mestih prenosnih poti. Pri elektroenergetskih omrežjih pa največ izgub povzročajo električne upornosti vodov in drugih elektroenergetskih elementov. Izgube tako določimo kot zmanjšanje pretoka z vrednosti na začetku prenosne poti na vrednost na koncu, pri toplovodih pa kot izgubo upoštevamo tudi zmanjšanje temperature vode. Za prenosno pot i-s lahko zapišemo izgube kot $L_{si} = W_{si} - W_{is}$ (sl. 2). Z upoštevanjem teh izgub preoblikujemo enačbo 4 v naslednjo obliko:

$$\Pi_i - \sum_{s \in \Psi_i} \frac{W_{si} - L_{si}}{\Pi_s} \Pi_s = G_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6),$$

iz česar izhaja matrični zapis:

1.2 Transmission network elements

Transmission lines connect the network nodes. Fig. 2 presents the conditions at node i, where G_i is the production and D_i is the consumption. Ψ_i presents the set of nodes that directly supply node i, and Ξ_i is the set of nodes that are directly supplied by node i, Fig. 2. Symbols W_{is} and W_{si} are the flows on line i-s directed from node s to node i. Since the line flow changes due to transactions, the values W_{is} and W_{si} differ. Hence, W_{is} is the value nearby node i and W_{si} is the value nearby node s.

1.3 Flow Tracing

For each node the total nodal flow Π_i can be defined. It is equal to the sum of all the inflows (4) or outflows (5) from node i:

In the remainder of the text (4) is used to find the flow paths from the producers to the consumers. As already mentioned, the line flows change due to transaction. The difference $L_{si} = W_{si} - W_{is}$ is the line transmission loss that cannot be avoided, but can be successfully minimized. When we are talking about networks in general, we can find a set of reasons that cause transmission losses. In the electrical power system the main reason for losses is line heating caused by line resistances. Other type of networks, for example, for gas, oil or heating water, are also exposed to problems such as the leakage of pipes, problems with valves, errors at connecting points, etc. Considering the loss equation $L_{si} = W_{si} - W_{is}$, (4) can be rewritten as:

which leads to the matrix notation:

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{\Pi} = \mathbf{G} \quad (7),$$

pri čemer so Π vektor pretokov skozi vozlišča, $\mathbf{G}$ vektor proizvajalcev in $\mathbf{A}$ distribucijska matrika z (i,s) -tim elementom:

$$a_{is} = \begin{cases} 1 & i = s \\ -(W_{si} - L_{si})/\Pi_s & s \in \Psi_i; i \neq s \\ 0 & s \notin \Psi_i; i \neq s \end{cases} \quad (8).$$

Nadaljnji razvoj enačb, z upoštevanjem sorazmernega porazdelitvenega zakona [2], pripelje do definicije progovnega generacijskega porazdelitvenega faktorja $PGPF_{ij,k}$ - $LGDF_{ij,k}$, deleža k-tega proizvajalca na prenosni poti i-j:

$$LGDF_{ij,k} = h_{ik} \frac{G_k}{\Pi_i} \quad \text{za } j \in \Xi_i \quad (9),$$

pri čemer je h_{ik} element obratne porazdelitvene matrike $\mathbf{A}^{-1}$. Podrobnejši razvoj enačbe za izračun $PGPF$ -jev zasledite v [4].

Z novo metodo PGPF lahko vsakemu porabniku določimo množico proizvajalcev, ki ga napajajo, in njihove deleže. Z upoštevanjem enačbe (9) zapišemo vozliščni porazdelitveni faktor, delež k-tega proizvajalca v w-tem vozlišču $VGDF_{w,k}$ - $NGDF_{w,k}$, kot:

$$NGDF_{w,k} = \frac{\sum_{c \in \Psi_w} LGDF_{cw,k} \cdot W_{wc}}{\Pi_w} \quad (10),$$

pri čemer je $PGPF_{cw,k}$ - $LGDF_{cw,k}$ delež k-tega proizvajalca na prenosni poti c-w, W_{wc} pretok ob vozlišču w na prenosni poti c-w, Π_w je pretok skozi opazovano vozlišče w, Ψ_w pa je množica vseh sosednjih vozlišč, ki napajajo vozlišče w.

where Π is the vector of nodal flows, $\mathbf{G}$ is the vector of productions and $\mathbf{A}$ is the distribution matrix with the (i,s) -th element equal to:

Furthermore, the proportional share principle [2] is considered to define the Line Generation Distribution Factor $LGDF_{ij,k}$, which represents the share of the k-th producer on the transmission line i-j:

where h_{ik} is the (i,k) -th element of the inverse distribution matrix $\mathbf{A}^{-1}$. A detailed description and explanation of the LGDFs' calculation can be found in [4].

The new method also obtains the producers' shares in supplying the network loads. The Nodal Generation Distribution Factor $NGDF_{w,k}$ that presents the share of k-th producer at the node w can be calculated as:

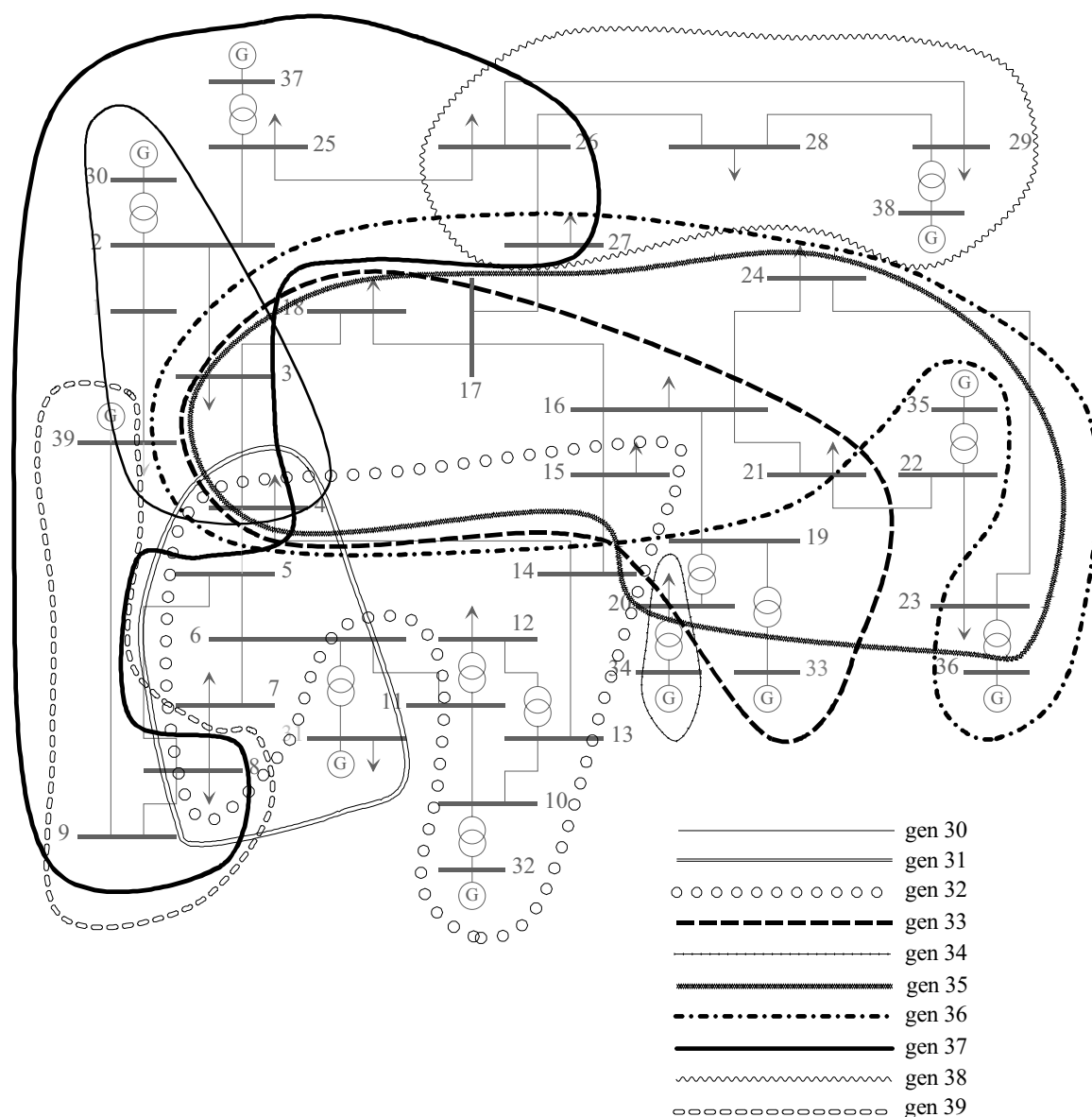
where $LGDF_{cw,k}$ is the share of the k-th producer on the transmission line c-w, W_{wc} is a flow on line c-w beside node w, Π_w represents the flow through the observed node w and Ψ_w is the set of nodes that are directly supplied by node w.

2 REZULTATI

Novo metodo PGPF smo preizkusili na testnem elektroenergetskem sistemu Nove Anglije (NA), ki vsebuje 39 vozlišč in 46 prenosnih vodov, 10 proizvajalcev in 19 porabnikov električne energije. Rezultati nove metode PGPF kažejo, da vsak proizvajalec oskrbuje del sistema, ki obsega množico prenosnih vodov in v vozlišča priključenih porabnikov (sl. 3). Izkaže se, da nekateri deli sistema spadajo v dvoje ali več območij, torej se ne napajajo samo iz enega vira. V teh primerih priskočijo na pomoč faktorji PGPF, ki povedo deleže vseh proizvodnih virov na posameznih prenosnih vodih ter tako omogočajo pravično porazdelitev stroškov obratovanja in vzdrževanja sistema med proizvajalce. Preglednica 1 in slika 4 prikazujeta faktorje VGDF, tj. deleže proizvajalcev na mestih odjema, ki rabijo kot podlaga za določitev dejanskih proizvodnih stroškov, ki jih morajo poravnati porabniki. Rezultati kažejo, da se porabniki v večini primerov napajajo iz najbližjih proizvodnih virov, saj pretoki izberejo energijsko gledano najbližjo pot od proizvajalcev do porabnikov. V primeru sistema NA je porabnik električne energije v vozlišču 4 tako velik v

2 RESULTS

The new LGDF method was tested on the New England (NE) electrical power system that consists of 39 nodes, 46 transmission lines, 10 producers and 19 consumers. The results show that each consumer supplies a specific area of the system, Fig. 3. It is clear that some areas are covered, i.e. some consumers are supplied by more than one producer. If so, the LGDFs, i.e. the shares of producers on the transmission lines, can be used to fairly allocate the operation and maintenance costs among the producers. Tab. 1 and Fig. 4 show the shares of the generation units in the consumption at a certain node. This information is useful for allocating the production costs among all the consumers in the system. The results show that, in general, it is the production units in the vicinity that supply the consumers. It can be concluded that a certain flow takes the nearest path through the network in the sense of the minimum transaction energy consumed. In the case of the NE system the load at node 4 is relatively big compared to the others. Hence, the distant



Sl. 3. Testni sistem NA z območji proizvajalcev

Fig. 3. NE test system with producers' areas

primerjavi s preostalimi porabniki, da se napaja tudi iz bolj oddaljenih virov kakršna sta 35 in 36.

Glede na to, da omrežja uporabljajo tudi porabniki, bi z enačbo (5) določili deleže porabnikov v pretokih po omrežju [4] ter bi tako lahko porazdelili stroške obratovanja in vzdrževanja tudi med porabnike.

Poleg proizvodnih in obratovalnih stroškov srečamo tudi stroške prenosnih izgub, ki jih je treba prav tako pravično porazdeliti med uporabnike omrežja. Predvidevamo, da deleži proizvajalcev PGPF na prenosnih poteh predstavljajo tudi deleže proizvajalcev prenosnih izgub na vodih sistema, torej omogočajo preprost in pregleden obračun prenosnih izgub. Z namenom, da bi porazdelili stroške prenosnih izgub med porabnike v omrežju, bi izhajali iz deležev porabnikov na prenosnih poteh, ki jih dobimo z razvojem enačbe (5).

producers, such as the ones at nodes 35 and 36, also supply it.

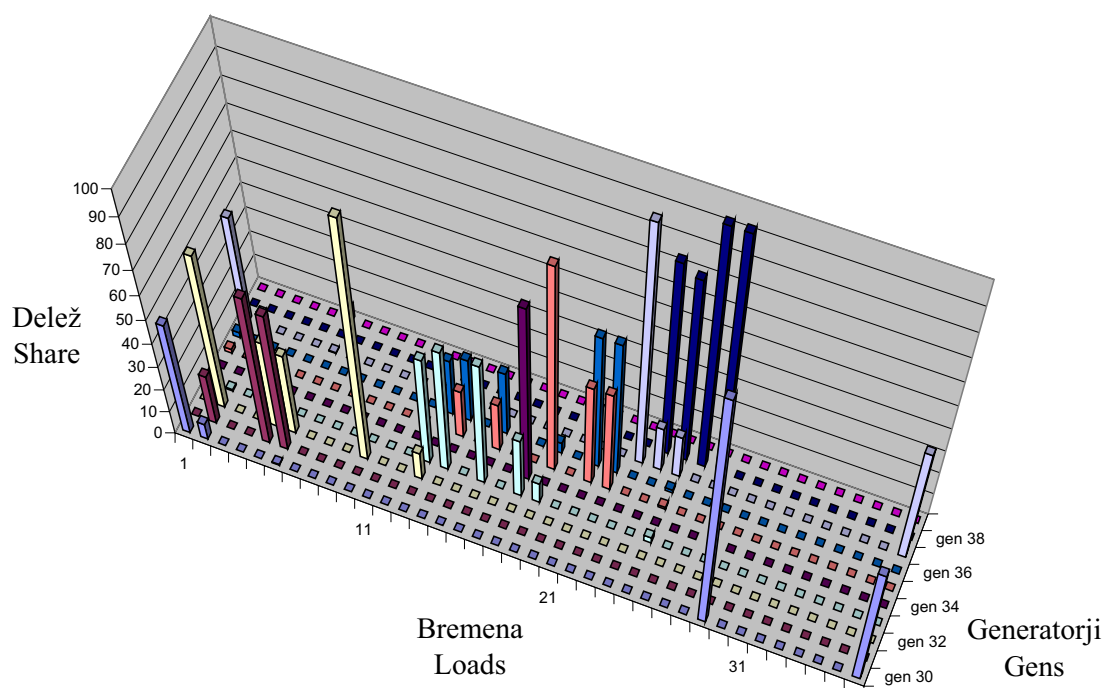
It is possible to calculate the load shares in the line flows [4]. In this case (5) should be further considered and information about the membership of consumers to a certain area can be obtained. In this way the transmission costs can be fairly allocated among all the market players, including the consumers.

The proposed method also tries to correctly distribute the transmission losses. If it is assumed that the LGDFs also represent the producers' shares of the transmission losses, the allocation of costs among all the market players can be obtained in a transparent and simple manner.

Preglednica 1. Deleži proizvajalcev na odjemnih mestih testnega sistema NA

Table 1. Shares of producers in the consumers of the NE test system

Breme Load	VGDF / NGDF %									
	gen 30	gen 31	gen 32	gen 33	gen 34	gen 35	gen 36	gen 37	gen 38	gen 39
3	47,53	0,00	0,00	4,28	0,00	1,68	2,23	44,29	0,00	0,00
4	6,78	21,11	64,64	0,61	0,00	0,24	0,32	6,31	0,00	0,00
7	0,00	62,83	37,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,15	61,11	36,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	2,45
12	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15	0,00	0,00	11,98	46,03	0,00	18,05	23,94	0,00	0,00	0,00
16	0,00	0,00	0,00	52,30	0,00	20,50	27,20	0,00	0,00	0,00
18	0,00	0,00	0,00	52,30	0,00	20,50	27,20	0,00	0,00	0,00
20	0,00	0,00	0,00	25,65	74,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21	0,00	0,00	0,00	8,87	0,00	86,52	4,61	0,00	0,00	0,00
23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	42,98	57,02	0,00	0,00	0,00
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	42,98	57,02	0,00	0,00	0,00
25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00
26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,91	81,09	0,00
27	0,00	0,00	0,00	2,43	0,00	0,95	1,26	18,03	77,32	0,00
28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00
29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00
31	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
39	5,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,13	0,00	89,37



Sl. 4. Testni sistem NA, deleži proizvajalcev v odjemih

Fig. 4. NE test system, shares of the producers in the consumption

3 SKLEP

3 CONCLUSION

Prepletanje znanja več strok je značilno za raziskovalna področja. Ob uvedbi trga z električno energijo se na področju elektroenergetike čuti močna potreba po ekonomskem znanju, ki ga zahtevajo novi načini vodenja in obratovanja sistemov. Prispevek predstavlja novo metodo PGPF za sledenje pretokov

In this paper a new LGDF method for flow tracing through a network is presented. It was developed to cope with new problems that arose as a result of the deregulation and liberalization of electrical networks. The new method, which is based on a matrix calculation, analytically obtains the flow paths

v omrežjih, ki temelji na matričnem izračunu ter tako analitično poišče poti pretokov od virov do porabnikov. Področja uporabe nove metode na področju elektroenergetike so razbremenjevanje kritičnih prenosnih poti, obračunavanje omrežnine, obračunavanje prenosnih izgub, napetostne varnostne analize in oblikovanje ukrepov za preprečevanje napetostnega zloma.

Zaradi skupnih, splošnih lastnosti sistemov je mogoča uporaba nove metode tudi na drugih omrežjih, ki dobivajo ob sprostitvi trga podobne naloge organizacije prostega dostopa do omrežij za uporabnike. Njena izhodišča so tudi lahko namenjena za razvoj novih metod za obvladovanje problemov obratovanja, vodenja in ekonomskega vrednotenja storitev v teh omrežjih.

from the sources to the sinks, i.e. the consumers. In the field of electrical power engineering it can be used for congestion management, transmission-service pricing, security analyses and protection against voltage collapse. For other transmission and distribution networks it can offer a fair distribution of the transmission costs, including transmission losses, among the consumers.

We assume that the common characteristics of networks will give the new approach an opportunity to become, with slight modifications, a new tool in network operation, planning and control in other types of networks that are also undergoing deregulation. It may also present the researcher with new ways to solve problems posed by the market environment.

4 LITERATURA

4 REFERENCES

- [1] Bialek, J. (1996) Tracing the flow of electricity. *IEEE Proceedings on Generation, Transmission and Distribution*, Vol. 143, No. 4, 313-320.
- [2] Kirschen, D., R. Allan, G. Štrbac, (1997) Contributions of individual generators to loads flows. *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 12, No. 1, 52-60.
- [3] Grgič, D., F. Gubina (1999) Določanje deleža moči generatorjev v porabnikovem odjemu. *Elektrotehiški vestnik*, let. 66, št. 2, Ljubljana, 120-124.
- [4] Pantoš, M., F. Gubina (2002) Allocation of line power flows to loads. *Proceedings of Balkan Power Conference 2002*, Beograd, 19.-21. junij 2002.

Naslov avtorjev: Miloš Pantoš

prof.dr. Ferdinand Gubina
Fakulteta za elektrotehniko
Univerza v Ljubljani
Tržaška 25
1000 Ljubljana
milos.pantos@fe.uni-lj.si
ferdinand.gubina@fe.uni-lj.si

Authors' Address: Miloš Pantoš

Prof.Dr. Ferdinand Gubina
Faculty of Electrical Engineering
University of Ljubljana
Tržaška 25
SI-1000 Ljubljana, Slovenia
milos.pantos@fe.uni-lj.si
ferdinand.gubina@fe.uni-lj.si

Prejeto: 13.11.2002
Received:

Sprejeto: 12.9.2003
Accepted:

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

Predlog funkcijskih značilnosti faze zasnove v konstrukcijskem postopku

A Feature-Based Approach to Conceptual Design Process

Borut Golob - Anton Jezernik

Konstruiranje je zahteven miselni postopek, poln inženirskih odločitev in ponavljanja. Običajno začne z ugotavljanjem in določanjem potreb – zahtev, sledi mu iskanje najboljše rešitve zadanih nalog, ter po izbiri ustrezne rešitve še dodelava s podrobnim opisom izdelka. Izvajajo ga ljudje – konstrukterji, ob čedalje močnejši računalniški podpori. Žal v tem postopku pomembna faza iskanja rešitev – t.i. faza zasnove, ni deležna ustrezne računalniške podpore, predvsem zaradi zapletene in neformalne oblike podatkov, ki jih je težko računalniško modelirati in obdelovati. Sodobni računalniški sistemi za podporo konstruiranju modelirajo predvsem geometrijske podatke, potrebne v postopku določanje izdelkov ter pri izdelavi. V fazi zasnove pa so podatki bolj abstraktni in se nanašajo predvsem na funkcije izdelkov ter njihove izvedbe. Zato avtorja predlagata uporabo značilnosti za modeliranje podatkov o funkciji v fazi zasnove izdelka. Funkcijske značilnosti bodo omogočile opisovanje, zbiranje, shranjevanje in obdelavo podatkov o funkciji izdelka že v fazi zasnove, hkrati pa povezavo z nadaljnjimi fazami konstrukcijskega postopka.

© 2003 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

(Ključne besede: RPK (CAD), značilnosti funkcijske, zasnova konstrukcijska, konstruiranje metodično)

Product design is an iterative, complex and decision-making process, performed by designers. It usually starts with recognising and specifying requirements and demands, followed by searching for an optimum solution for the required tasks. After an evaluation of the concept solutions and the selection of promising solutions comes detailing, with the layout definition, and a description of the product. Conceptual design has been recognised as an important part of the design process, but receives weak computer support due to complex and informal data that is hard to retrieve, store and maintain with computers. Besides geometrical data, it is important to capture, represent and process the function and the behaviour of a product. The presented approach is feature-based modelling of product semantics and function that takes place already in the conceptual design phase. The features are then the information carriers that allow modelling of the relationships between the requirements of a product, its functional descriptions and physical solutions. These features will also bring this information to the downstream applications.

© 2003 Journal of Mechanical Engineering. All rights reserved.

(Keywords: CAD, features, conceptual design, systematic design)

0 UVOD

Konstruiranje pomeni majhen strošek znotraj proizvodnega postopka, vendar bistveno vpliva na končno ceno, lastnosti in zmogljivosti izdelka. Računalniška podpora pri konstruiranju je uveljavljena predvsem v končnih fazah, obdelavi, analizi in detajliranju, medtem ko pri snovanju še ni učinkovite računalniške podpore, predvsem zaradi zapletene in neformalne oblike podatkov. Težišče razvoja računalniške podpore konstruiranju se v zadnjih letih prenaša na zgodnje faze konstrukcijskega postopka – snovanje – ter na uporabo navidezne resničnosti in digitalnih prototipov. Pri slednjih je namen sprotno in učinkovito vrednotenje ter preizkušanje izdelkov brez izdelave dragih fizičnih prototipov z uporabo tehnik navidezne stvarnosti v kombinaciji s RPK [1], pa tudi možnost prikaza izdelka

0 INTRODUCTION

Design represents a small part of the cost in a product's life cycle, but it influences heavily on the overall costs of the product. Computer-aided design is well established in the later phases of the design process, namely detailing and embodiment with analysis and modelling, while the early phases of the design process are looking in computer support. Research and development in the computer support for design is aimed at the early phases of the design process – conceptual design, on the one hand, and virtual reality (VR) and digital prototyping on the other. The latter allow a consistent and efficient evaluation of the product, without the need for expensive physical prototypes, using VR methods with CAD (see for example [1]), or the possibility of representing products and data exchange over the internet

in izmenjave podatkov prek omrežja, s ceneno grafično opremo in uporabo standardnih spletnih orodij [2].

Pri računalniški podpori fazi snovanja je razvoj usmerjen po eni strani v podporo metodičnemu načinu konstrukcijskega postopka, po drugi v klasifikacijo in opis funkcijske sestave izdelkov ([3] in [4]), pa tudi v uporabo metod umetne inteligence ali inteligentnih računalniških sistemov ([5] in [6]). Pregled in klasifikacija je podana v [7]. Namen tega prispevka je prikazati strukturirano definicijo podatkov, ki se pojavijo v fazi zasnove, ter na osnovi le-teh razviti "funkcijske značilnosti", ki bodo uporabne kot nosilec informacij v računalniški podpori fazi zasnove konstrukcijskega postopka. Ob tem sledimo metodičnemu načinu kakršnega predlaga evropska šola konstruiranja ([8] in [9]). Glavni cilj raziskovalnega dela je razviti strukturo podatkov, ki bo omogočala avtomatizirano shranjevanje, iskanje in uporabo informacij, pomembnih v začetni fazi konstruiranja, s tem pa ponovno rabo znanja, uporabljenega v izdelkih, pri konstruiranju novih izdelkov oziroma pri spremembi sedanjih izdelkov.

Prispevek v prvem delu opisuje osnove metodičnega konstruiranja, nato podaja sestavo informacij, uporabljenih v tem postopku, zatem pa opis značilnosti in predlog definicije funkcijske značilnosti. Na koncu so podani zgled in sklepi ter predlogi za nadaljnje delo.

1 METODIČNO KONSTRUIRANJE

Metodično konstruiranje je način, ki predpisuje postopke in metode za učinkovito doseganje cilja. Posamezni avtorji so razvili številne metode, ki so večinoma podobne in se deloma tudi prekrivajo. *Sistematični postopek konstruiranja* po Pahlu in Beitzu [8] deli konstrukcijski postopek v štiri faze. Po koncu vsake faze sledita odločitev in izbira za nadaljnje delo. Posamezni koraki se lahko ponavljajo.

Prva faza je namenjena razjasnitvi naloge. Vključuje zbiranje podatkov o prihodnjem izdelku, tržne analize, študije usmeritev, preučevanje konkurence ali iskanje zamisli za nov izdelek. Sledi natančno določanje naloge, ki jo mora izdelek opravljati, ter postavitve zahtev in omejitev, ki jim mora ustrezati. Rezultat te faze je specifikacija oz. naročilo za razvoj. Pred nadaljevanjem dela je potrebna odločitev, ali je specifikacija sprejemljiva oziroma ali je smotno začeti razvoj predlaganega izdelka. Druga faza – zasnova – je namenjena iskanju idejnih rešitev za izvedbo izdelka (sl. 1). Začne se s preučitvijo specifikacije in abstrakcijo razvojne naloge. Namen je najti bistveno funkcijo, ki jo je treba izvesti. Tako razvojno nalogo definiramo v abstraktni obliki, neodvisni od izvedbe. (Zgled: »Konstruiranje vodne črpalke« nas v abstraktni obliki privede do naloge »Razvij sistem za dviganje tekočin«) To omogoča širši prostor za iskanje rešitev, saj se izognemo predsodkom, ki omejujejo izkušene konstrukterje z vnaprejšnjim predvidevanjem stereotipne rešitve. Sledi iskanje funkcije, ki jo je treba izpolniti. Običajno problem razdelimo na podfunkcije in

using standard web applications and inexpensive computer graphics [2].

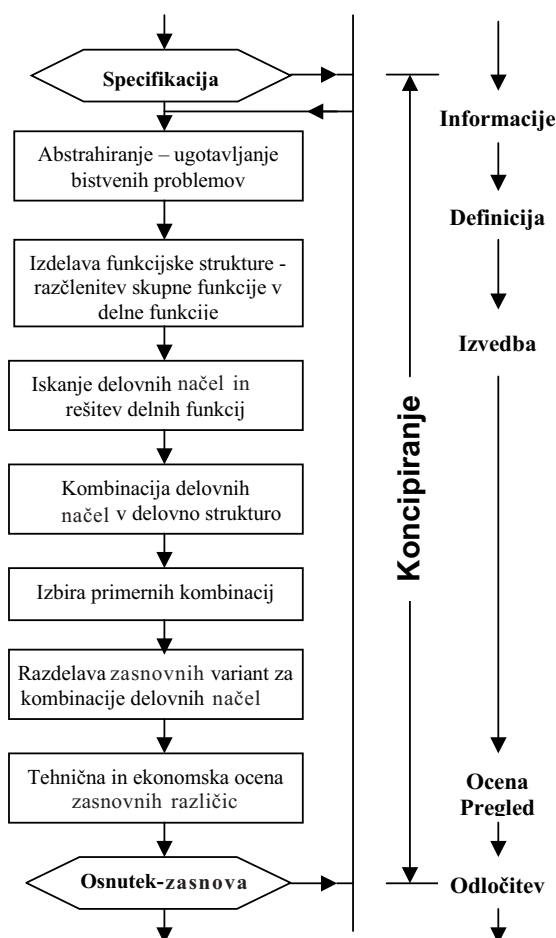
Existing approaches to computer-aided conceptual design include support for a systematic approach to the design process and the classification and description of the functional structure of technical systems ([3] and [4]), as well as exploring AI methods and intelligent computer systems ([5] and [6]). An overview of this can be found in [7]. The aim of this paper is to develop a concept to represent the conceptual design information, for supporting the product semantics during the development process, following the methodical approach to the design process as proposed by the European Design School ([8] and [9]). The major prerequisite of such an approach, and therefore the focus of this paper, is a suitable representation scheme to store, manage, and retrieve the product semantics, including the conceptual data.

This paper begins with an introduction to systematic design, which is followed by a description of the information structure used in this process. After a short introduction of the features, a proposal for the definition of a "functional" feature is given, and this is illustrated with an example. Finally, some conclusions and perspectives for future work are outlined.

1 SYSTEMATIC DESIGN

Product design is an iterative, complex and decision-making process. It has been analysed by many researchers and a number of design methodologies have been developed. An internationally accepted approach of the European school of design is the *Systematic Approach to Engineering Design* proposed by [8], which is the starting point for the work presented here. It divides the design process into four phases, after which certain decisions will have been made. The steps between the phases are approximate and are based on iteration and recursion.

The first phase addresses the clarification of the design task and results in a detailed design specification. The second phase is that of the conceptual design, shown in Fig. 1. It starts with an analysis of the specification in order to identify the essential problems to be solved. The design problem is then formulated in an abstract, solution-neutral form (example: "design a water pump" led to a task: "design a technical system for raising fluids"). This makes the solution space as wide as possible, in order to avoid prejudices that may tempt the designer to decide on a certain solution before other alternatives have been considered. The problem may then be decomposed into sub-problems and function structures can



Sl. 1. Faza zasnove

zgradimo t.i. funkcijsko strukturo oz. več alternativnih struktur. Velikokrat lahko izboljšave dosežemo že z variiranjem funkcij. Naslednji korak je iskanje rešitev za posamezne podfunkcije. Pri tem si pomagamo z ustvarjalnimi metodami (npr. prebliski (brainstorming), metoda 635, sinektika), običajnimi metodami (preiskovanje patentov) ali sistematičnimi metodami (konstrukcijski katalogi z opisanimi znanimi fizikalnimi ali kemičnimi pojavi, strojnimi elementi ipd.). Rešitve posameznih podfunkcij kombiniramo v skupno rešitev s t.i. morfološkimi matrikami. Po oceni posameznih kombinacij izberemo obetajoče rešitve za izdelavo zasnovnih različic. Ko jih tehnično in ekonomsko ovrednotimo, izberemo najustreznejšo (ali več) za nadaljnji razvoj. Če nobena rešitev ne ustreza, zasnovo začnemo ponovno, lahko s spremenjenimi zahtevami, ali pa projekt opustimo. Sistematični način poudarja pomembnost odločitev, sprejetih v fazi zasnove, saj je morebitne pomanjkljivosti v zasnovi rešitve kasneje zelo težko ali celo nemogoče popraviti. Zato je ta faza tudi najbolj ustvarjalna, hkrati pa ime zaradi zahtevne sestave informacij tudi najslabšo računalniško podporo.

Fazi zasnove sledi faza snovanja – razvoj zgradbe ali ustroja izdelka z izdelavo osnutka v merilu. Določi se prostorska zasnova, osnovna oblika in razpored sklopov izdelka. Po izbiri najboljše oblike sledijo analize, optimiranje, določitev osnovnih dimenzij izdelka in ponovno tehnično in ekonomsko vrednotenje. Rezultat te faze je natančen

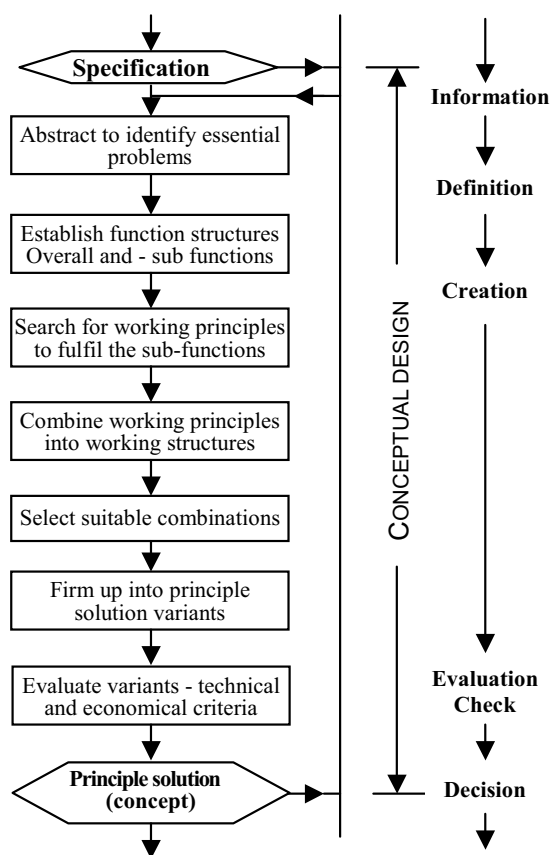


Fig. 1. Steps of conceptual design

be established. Solutions to the sub-functions are then sought. This process is supported by creative, conventional and systematic methods. Morphological matrices are used to combine sub-function solutions into system solutions. Afterwards, promising system solutions are further developed into concept variants. Finally, a use-value analysis is used to evaluate the concept variants, and the “best” concept is selected for further development. Such a systematic approach emphasizes the importance of a decision taken in the conceptual design phase, because it is very difficult to correct fundamental shortcomings of the concept in the latter design phases – embodiment and detail design.

The concept design phase is followed by the embodiment design phase. During this phase the designer develops the layout and the form of the final system. It is also the phase where CAE and simulation software are often used nowadays, even if due to the shortcomings of today’s CAx systems, engineers have to start with the modelling details in the CAD in order to perform the analyses. Support to the embodiment design is provided by means of rules, principles and guidelines.

osnutek z določenimi osnovnimi merami in končno obliko.

Zadnja faza je dodelava, (detajliranje), kjer so določene podrobnosti, sestava in struktura izdelka. Obsega oblikovanje in optimiranje sklopov in delov – elementov, podrobno trdnostno preverjanje oblik in materialov, izdelavo izvedbenih predlog – risbe, kosovnice, navodila ter izdelavo in preizkus prototipa.

2 INFORMACIJSKA STRUKTURA PRI ZASNOVI

Kakor je razvidno iz opisanega, je predvsem faza zasnove intenziven miselni postopek, ki obsega abstraktne in neformalne podatke. Če želimo ustrezno računalniško podporo, moramo te podatke ustrezno formalizirati in strukturirati za uporabo v računalniški obliki.

2.1 Zahtevnik

Zahtevnik je rezultat prve naloge pri zasnovi – razjasnitve zadane projektne naloge. Vsebuje zahteve in želje, ki jih izdelek mora izpolnjevati, rabi pa za vrednotenje in ocenjevanje primernosti izbrane rešitve. Opis zahtev mora v strukturirani obliki vsebovati naslednje informacije:

Opis zahtevnika

- ime zahteve
- vrsta $\in$ {zahteva, želja}
- razred $\in$ {funkcionalnost, izdelava, ekonomičnost, uporabnik / okolje}
- ↳ podrazred {geometrija, kinematika, sile, energija, material, signal, itn.}
- kakovostno/količinsko
- lastnosti - geometrijske {velikost, višina, širina, dolžina}
- vrednost, enota

2.2 Funkcija izdelka oziroma sistema

Tehnični sistemi (TS) spreminjajo energijo, material in/ali signale. To pretvorbo lahko opišemo kot pretok skozi sistem. Naloga oziroma funkcija TS je opisana na podlagi vhodnega stanja in želenega izhodnega stanja pretokov. Pri tem je ena vrsta spremembe običajno prevladujoča in jo imenujemo glavni tok, drugi pa so pomožni in omogočajo doseganje namena oziroma funkcije. Zgled: za uparjanje vode – glavni tok je material – potrebujemo pomožni tok – energijo. Večinoma se pojavljata vsaj dva tokova, pogosto pa celo vsi trije tokovi. Za reševanje tehničnega sistema potrebujemo jasno definirano razmerje med vstopom in izstopom, ki ga lahko opišemo kot funkcijo sistema. Ta je abstrakten zapis naloge in je neodvisen od rešitve. Celotno funkcijo TS lahko običajno razdelimo na podfunkcije in tako sestavimo funkcijsko strukturo. Pri nadaljnji delitvi lahko pridemo do osnovnih funkcij,

Finally, in the detail design phase, detailed product models (e.g. CAD models, and production documents) are completed, mostly using standard computer-aided design tools. Nowadays, the times and costs for prototyping are significantly reduced with the introduction of VR techniques.

2 INFORMATION IN CONCEPTUAL DESIGN

Effective computer support during the conceptual phase of the design process is obtainable via properly structured information. Due to the highly complex and informal data used in this process, feature-based representation seems to be the most appropriate for achieving this goal.

2.1 Requirements

The requirements list results from the very first task-clarification phase and describes the general constraints a product has to or should, fulfil. An important prerequisite to enable automatic validation of the proposed solutions against given requirements is a structured and formalised description of these requirements that has to handle the following information:

Representation of requirements

- name
- type $\in$ {demand, wish}
- class $\in$ {functionality, manufacturability, economy, user / environment}
- ↳ subclass {geometrical, kinematical, forces, energy, material, signal, etc.}
- qualitative/quantitative
- properties - geometrical {size, height, width, length}
- operator

2.2 Product Function

In technical systems it is energy, material and/or signals that are converted. These conversions can be described as a flow through the system, where one is the main flow and the others, if any, are supporting flows. For the design of a technical system, a clear attitude between the input and the output must be defined in the form of the function of the system. This function is an abstract formulation of the task. The overall function can often be divided into sub-functions, and function structures can be established. With a further sub-division of the sub-functions, basic functions – also called generally valid – can then be recognised. These functions, according to the definition by Rodenacker and Krumhauer (see for instance [8]) are change, vary, connect, channel and store. They repre-

ki jih lahko opišemo kot splošno veljavne funkcije. Te so definirane glede na značilnosti vstopa in izstopa [8], in sicer: menjaj, spreminjaj, poveži, usmeri in shrani. Izdelava funkcijske strukture olajša iskanje rešitve, posamezne podfunkcije pa lahko rešujemo tudi ločeno.

Funkcije izpolnimo z uporabo fizikalnih, kemičnih ali bioloških postopkov, pri čemer strojniške rešitve temeljijo večinoma na fizikalnih postopkih.

Načelno rešitev, ki izpolni zahtevano funkcijo, lahko izvedemo z izbranim fizikalnim učinkom, ki ga dosežemo z ustrezno obliko - geometrijskimi značilnostmi in materialnimi lastnostmi izdelka. Delovni učinek sistema lahko definiramo kot funkcijo oblike, lastnosti materiala in vhodnih količin. Če zahtevane funkcije ne moremo izpolniti s preprostim učinkom, uporabimo dodatne učinke in sestavimo funkcijsko strukturo.

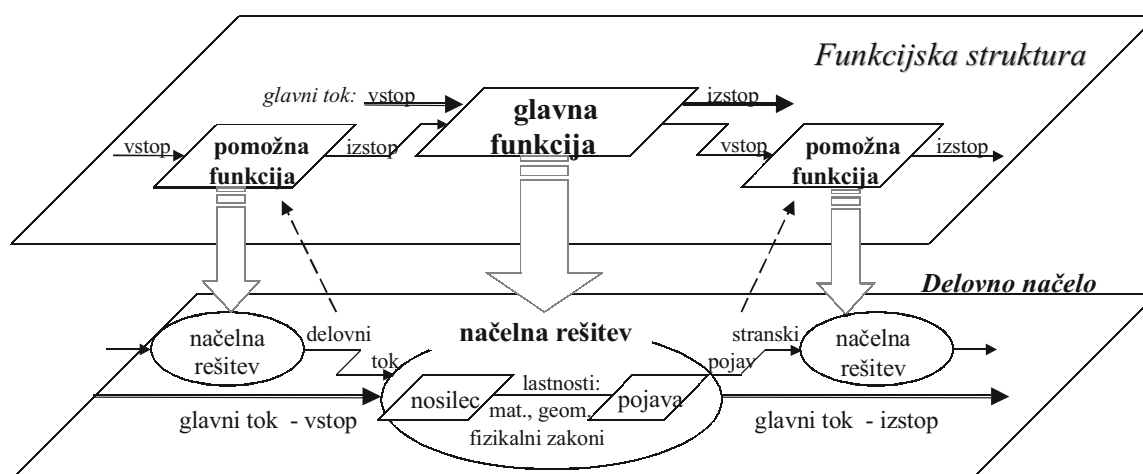
Sl. 2 prikazuje preslikavo funkcijske strukture v delovno načelo. Za izpolnitev zahtevane funkcije izberemo ustrezno načelno rešitev. Ta je določena s fizikalnim učinkom, izbranim prenosom (materialom in obliko) in pripadajočimi fizikalnimi zakoni. Običajno za izvajanje glavne funkcije potrebujemo še dodatne funkcije, ki zagotavljajo pomožne tokove (npr. energija, signali). Dodatno (pomožno) funkcijo lahko

sent a conversion of type, magnitude, number, place and time, respectively.

Functions are usually fulfilled by physical, chemical or biological processes, whereas mechanical-engineering solutions are based mainly on physical processes.

Selected physical effects and the determined material and geometric characteristics result in a working principle that fulfils each function. If a function cannot be fulfilled with a simple effect, a structure of effects has to be used instead. In the embodiment design phase qualitative and quantitative parameters, such as surfaces, dimensions and material properties, are defined according to the physical laws given by the effects.

Figure 2 shows the mapping of a function structure into a working principle. To fulfil the main function of a product, an appropriate principle solution has to be selected. A principle solution is defined by an effect, an effect carrier, properties and physical laws. To perform the main function, auxiliary functions may be needed to supply supporting flows, to eliminate side effects or to meet given requirements. Auxiliary functions can be



Sl. 2. Preslikava funkcijske strukture v delovno načelo

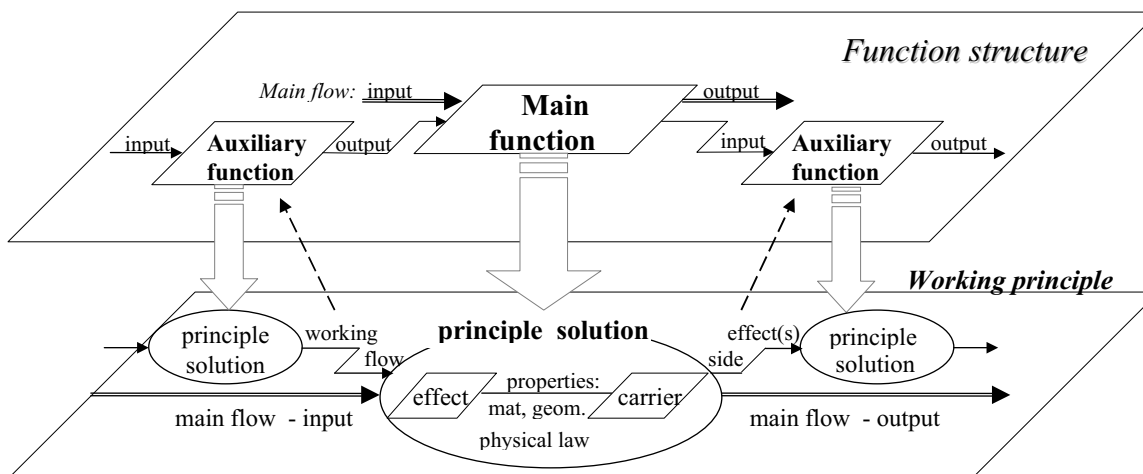


Fig. 2. Function fulfilled by working principle

izvede že izbrana načelna rešitev, pogosteje pa potrebujemo dodatne rešitve. Podobno velja za stranske učinke, ki jih večinoma tudi rešujemo z dodatnimi učinki oziroma načelnimi rešitvami. Tako dobimo strukturo načelnih rešitev, ki skupaj tvori delovno načelo. Predlagana podatkovna struktura opisuje funkcijo izdelka, ki se sklicuje na pretok. Podan je tudi predlog opisa pretoka in funkcijske strukture.

Opis funkcije

- Namen - funkcija
- Vrsta (argument) {
 - ↗ spremeni (tip),
 - ↗ spreminjaj (velikost),
 - ↗ usmeri (prostor),
 - ↗ poveži (število),
 - ↗ shrani (čas)}
- Razred {glavna, dodatna}
- **Pretok** => sklic

Representation of function

- Intent - purpose
- Type (change in) {
 - ↗ change (type),
 - ↗ vary (magnitude),
 - ↗ channel (place),
 - ↗ connect (number),
 - ↗ store (time)}
- Class {main, auxiliary}
- **Flow** => reference

Opis pretoka

- Vrsta {material, energija, signal}
- Razred {glavni, delovni, stranski}
- Usmeritev {vstop, izstop}
- Lastnosti
 - ↗ material {trden {telo, zrnat, prašek, prah}, tekočina, plin, prostor}
 - ↗ energija {mehanska, toplotna, električna, magnetna, akustična, optična, kemična}
 - ↗ signal {meritev, podatki, vrednost, nadzorni sunek, sporočila, itn.}

Representation of flow

- Type {material, energy, signal}
- Class {main, working, side}
- Orientation {input, output}
- Properties
 - ↗ material {solid {body, grains, powder, dust}, fluid, gas, space}
 - ↗ energy {mechanical, thermal, electrical, magnetic, acoustic, optical, chemical}
 - ↗ signal {measure, data, value, control impulse, message, etc.}

Funkcijska struktura je sestavljena iz posameznih funkcij, povezana je z delovnim načelom, ki je običajno izveden s sestavo. V podani shemi lahko funkcije opišemo tudi kot funkcijske značilnosti, ki vsebujejo tudi informacije o namenu ter izvedbi v obliki načelne rešitve.

Opis funkcijske strukture

- Glavna funkcija
- pomožni pretok(i) in podfunkcije zanje
 - ↗ vstop/izstop

Representation of function structure

- Main function
- auxiliary flow(s) and related sub-functions
 - ↗ input/output

solved by the same or by additional principle solutions. In the functional structure, therefore, sub-functions have to be related with the principle solutions. Intuitive, systematic and contradiction-oriented methods are used to search for the solutions of sub-functions, taking into account the existing solutions. For the efficient capturing, storing and retrieving of product data on the functional level, we use the following representation of function and function structure.

A function structure is a non-empty set of functions and their interrelations. Functions are represented by function features, which not only represent the static function information mentioned above, but also carry the knowledge about its intent and its concretisation in terms of principle solutions.

2.2.1 Načelna rešitev

Načelna rešitev temelji na izbranem naravnem pojavu in ustrezni izvedbi. Nekatere pojave lahko uporabimo za različne načelne rešitve, odvisno od izbranega materiala in izmer. Tako lahko npr. toplotni raztezek izvedemo s trdnim telesom ali tekočino, ali pa uporabimo učinek vzvoda za spremembo smeri sile ali za njeno povečanje. Prav tako razmerje med funkcijo in načelno

2.2.1 Principle Solution

A principle solution consists of a chosen effect and the appropriate effect carrier. Usually, the same effect can generate several principle solutions, depending on the material and the geometrical properties; for example, the thermal dilatation effect can be combined with a solid body or a fluid as the carrier. The relation between func-

rešitvijo običajno ni ena proti ena. Nekatere načelne rešitve lahko izvedejo več funkcij hkrati – npr. zagotavlja lahko spremeni smer sile in jo poveča – večinoma pa je potrebnih več načelnih rešitev za izvedbo ene funkcije – npr. pri spremembi krožnega v premo gibanje učinek vzvoda in trenja. Struktura načelnih rešitev tvori, kakor je že opisano, delovno načelo, ki ga ob upoštevanju podanih zahtev, izbranih materialov in fizikalnih zakonov realiziramo z osnutkom v naslednji fazi konstrukcijskega postopka – snovanju. Število (znanih) naravnih pojavov je omejeno, zato so jih nekateri avtorji zbrali in izdali v obliki katalogov za rabo pri konstruiranju ([10] in [11]). Struktura podatkov v njih je primerna tudi za računalniško izvedbo.

Struktura opisa načelne rešitve

Razpoznavna (naziv, opis, skica)

- funkcije
- pojav { seznam pojavov za vsako vrsto }
- vrsta $\in$ { mehanske, tekočine, električne, optične }
- izvedba učinka $\in$ { trdno telo, tekočina, plin, prostor }
- lastnosti materiala in geometrijska oblika
- vstop, izstop
- vrsta $\in$ { sila, pot-prostornina, hitrost, pospešek, navor, kotna hitrost, kotni pospešek, masa, temperature-toplota, čas, frekvenca, amplituda, zvok, svetloba, napetost, itn., material A, material B, mešanica AB } itn.
- fizikalni zakoni za opis razmerij med vstopom in izstopom

2.2.2 Delovno načelo

Ustrezna struktura načelnih rešitev, ki izpolnjuje zahtevano glavno funkcijo izdelka, tvori delovno načelo. Le-ta skupaj s podanimi zahtevami vpliva na izvedbo osnutka - snovanje izdelka. Prav tako delovno načelo zaradi povezav z dodatnimi funkcijami posredno vpliva tudi na funkcijsko strukturo.

Opis delovnega načela

- glavna funkcija
 - uporabljena načelna rešitev
 - vstop - izstop (vrednost, enote)
 - dodatni pretok(i), - po potrebi
 - dodatne funkcije zanj(e)
 - stranski pretok / pojav
 - potrebna dodatna funkcija
- Opomba: dodatne funkcije lahko imajo lastno (pod)strukturo

2.3 Snovanje

Snovanje je »utelešenje« zasnove (zamislj), pri katerem definiramo ustroj izdelka in določimo osnovne parametre in izmere – rezultat te faze je osnutek. Osnovne lastnosti so geometrijska oblika in uporabljen material. Na oboje vplivajo izbrano delovno načelo in postavljene zahteve, ki jih mora izdelek

tion and principle solution is rarely one to one. Some principle solutions can solve several functions at once; however, a lot of functions cannot be solved by only one principle solution. In this case a principle solutions structure is needed, which represents the working principle. As the number of known physical effects is deterministic, some authors have collected related principal solutions for use in a design process ([10] and [11]). These catalogues of principle solutions are structured appropriately for a computer implementation.

Representation of principle solution

Identification (name, description, sketch)

- functions
- effect {list of effects for each type}
- type $\in$ {mechanical, fluid, electrical, optical, ...}
- effect carrier $\in$ {solid, fluid, gas, space}
- material and geometrical properties
- input, output
- (for mechanical effects) type $\in$ {force, path-volume, speed velocity, acceleration, torque, angular speed, angular acceleration, mass, temperature-heat, time, frequency, amplitude, sound, light, stress, etc., material A, mat. B, mat. mixture AB} etc.
- physical laws describing the relations between the input and output.

2.2.2 Working principle

An appropriate structure of principle solutions, which fulfils the main function of a product, is a working principle. Together with given requirements, a working principle determines the embodiment of a product. Due to links/connections to auxiliary functions and a hierarchical structure of the data, a working principle describes the principle solutions structure and implicitly also the function structure.

Representation of working principle

- function to be fulfilled
- principle solution used
- input/output (value, unit)
- auxiliary flow(s) provided by auxiliary function(s), if they are needed
- side flow(s) or effects and the auxiliary functions(s) to handle them

2.3 Embodiment

The embodiment represents the materialisation of a concept where the overall layout of a product is determined. Embodiment is defined by geometrical properties - shapes, and the properties of the material from which the part or parts are built. Both are influenced by a working principle and requirements. Shapes consist of working surfaces, required by working prin-

izpolnjevati oz. jim ustrezati. Obliko določajo delovne površine, odvisne od izbrane načelne rešitve, ter proste površine. Osnovne mere določajo: fizikalni zakoni naravnih pojavov, izbranih v načelnih rešitvah, postavljene zahteve ali lastnosti izbranega materiala glede na napetostne analize ipd.

Osnutek, ki ga izdelamo v fazi snovanja, je določen z geometrijsko obliko – delovnimi in prostimi površinami, njihovimi medsebojnimi razmerji in osnovnimi lastnostmi materiala.

Opis osnutka

- delovno načelo
- zahtevnik
- sestavnica / deli
- ↳ razmerja/položaji
- ↳ geometrijske oblike (delovne in proste površine, izmere) in lastnosti materiala
- ↳ preračuni (fizikalni zakoni, povezave med lastnostmi materiala in izmerami)

3 FUNKCIJSKE ZNAČILNOSTI

3.1 Značilnosti

Računalniški modeli izdelka vsebujejo predvsem geometrijski opis in nekatere lastnosti, ki jih lahko podamo numerično. Ob tem se izgubi inženirski pomen posameznih elementov, npr. luknja, utor, rebro itn., ki opisuje npr. namen ali način izdelave. Pomanjkljivosti so se pokazale predvsem ob prenosu modelov v nadaljnje faze proizvodnega postopka, saj npr. program za pripravo proizvodnje ni mogel samodejno razbrati, da koordinata središča in polmer pomenita luknjo, ki jo je treba izdelati z vrtanjem. Zato so se v računalniški podpori postopku konstruiranja uveljavile značilnosti, ki posameznim elementom računalniškega modela dodajajo inženirski pomen, skupaj z „znanjem“, ki je v takšnem pomenu zajeto, npr. utor je utor, dokler ga omejujeta dve običajno vzporedni stranici in dno, ki je nižje od površine elementa. Če se dno dvigne nad površino, to ni več utor, temveč kvečjemu rebro. Seveda mora opis značilnosti vsebovati razmerja med posameznimi gradniki in programsko kodo za nadzor veljavnosti – npr. luknjo mora obdajati material z vseh strani. Pravotno so se uveljavile geometrijske značilnosti, kasneje pa tudi materialne, tolerančne ipd.

3.2 Definicija značilnosti

Glavna definicija značilnosti, kakor jo je podala izvedenska skupina FEMEX, je splošna [12], zato omogoča njihovo uporabo kot nosilec strukturirane informacije v katerikoli fazi proizvodnega postopka. Značilnosti so informacijska enota (element), ki pomeni področje zanimanja znotraj izdelka. Opisuje jo skupek lastnosti izdelka. Ta opis vsebuje ustrezne

principale and free surfaces. The general dimensions are defined either by the physical laws governing the various effects used in working principles, or from requirements, or by material properties according to a strength and stress analysis, for instance. Usually, the physical realisations of a working principle require more than one part per solution. Therefore, an assembly model should contain information about embodiment.

Principle solutions, as mentioned above, are defined by effects and effect carriers, where each effect carrier has to be considered as a starting point for detailing the layout of an assembly.

Representation of embodiment

- working principle
- requirements
- assemblies / parts
- ↳ interrelations/positions
- ↳ geometrical properties (working and free surfaces, dimensions and material properties
- ↳ calculations(physical laws describing relations between material and dimensions)

3 FUNCTIONAL FEATURES

3.1 Features

Computer models of a product consist mainly of numerical data, like geometry, topology or material properties. The engineering meaning of components, which describe intention or production, for example, hole, slot or bolt, etc. are lost. Problems first arise with a downstream application like product planning, where the program cannot recognise geometrical data, for example, the centre line and radius of a hole, which should be bored. Research work leads to the use of “features”, with the engineering meaning of entities in a computer model, along with all knowledge, i.e. a slot is a slot, as long as it is limited by two, mostly parallel side planes and a bottom plane lower than the surrounding surface. If the bottom plane rises above the surrounding surface, the element is no longer the slot, but a protrusion. The description of the features should include the relation between the entities and the program code for validation, i.e. a hole must be surrounded by material. First, geometrical features were introduced, this was followed by material, tolerance etc.

3.2 Feature definition

According to the results of the FEMEX (Feature Modelling Experts) working group, (see, for instance, [12]) a feature is defined as follows: A feature is an information unit (element) representing a region of interest within a product. It is described by an aggregation of the properties of a product. The description contains the relevant properties, including their values and their relations (structure and con-

lastnosti, vključno z njihovimi vrednostmi in razmerji. Nadalje so značilnosti definirane v okviru specifičnega vpogleda v lastnosti izdelka glede na kategorije lastnosti in trenutno fazo življenjske dobe izdelka. Podana definicija ponuja štiri posebne vidike:

1. nujno je najti primerno strukturo lastnosti za podajanje informacij kakor so funkcija, delovno načelo, fizikalni pojav in načelna rešitev v fazi zasnove izdelka;
2. značilnost ni omejena na fizični element in obstaja samo v obliki informacijskega modela;
3. "lastnosti" so osnova v zgornji definiciji in hkrati glavni mehanizem izvedbe;
4. "skuppek lastnosti" in "faza življenjske dobe izdelka" v zgornji definiciji nista sočasna. Nekatere lastnosti – npr. geometrijska oblika v različnih oblikah – se pojavlja v skoraj vseh fazah življenjske dobe. Informacije o izdelku, izražene v obliki lastnosti, ki so združene v različnih značilnostih in v različnih primerih uporabe, so torej ključ do celostnega razvoja izdelkov.

3.3 Funkcijske značilnosti

Konstrukterji v fazi zasnove iščejo delovna načela za reševanje posameznih funkcij tehničnega sistema. Če želijo uporabiti znane rešitve, morajo s svojim inženirskim znanjem razpoznati delovanje in funkcijo posameznega sistema ali sklopa. Če funkcija ustreza, lahko sklop uporabijo ali ustrezno prilagodijo. Ob tem morajo še preveriti, ali sedanja rešitev ustreza postavljenim zahtevam.

Za uvedbo računalniške podpore je treba delovanje in funkcijo tehničnega sistema (ali podsistema) opisati kot delovno načelo in ustrezno funkcijo, ki jo ta izpolnjuje, v obliki „funkcijskih značilnosti“. Te vsebujejo opis naravnega pojava, na katerem rešitev temelji, ustreznih sredstev ali prenosnikov pojava, ter delovanja in funkcije sistema, ki jo le-ta opravlja. Pri tem so pomembna predvsem medsebojna razmerja in vplivi posameznih gradnikov, manj pa njihove lastnosti in izmere. V taki obliki so zapisane funkcijske značilnosti namenjene za iskanje in ponovno uporabo sedanjih rešitev posameznih funkcij sistema.

S funkcijskimi značilnostmi lahko izdelamo katalog načelnih rešitev z uporabo znanih naravnih pojavov, v modelih izdelkov pa lahko z njimi opišemo delovanje in funkcijo posameznih sklopov ali elementov ter tako omogočimo njihovo ponovno uporabo.

4 ZGLED: KAVNI MLINČEK

Glavna funkcija kavnega mlinčka je drobljenje kavnih zrn. Najpogostejša izvedba uporablja nožek, ki z veliko hitrostjo udarja ob zrna ter jih drobi.

straints). Furthermore, it is defined in the scope of a specific view onto the product description with respect to the classes of properties and to the phases of the product life-cycle. Finally, a feature is described by properties out of several different classes of properties, thus relating these (classes of) properties to one another. There are four special aspects in the definition above:

1. It is necessary to find a structure of properties suitable for expressing conceptual design information like function, working principle, physical effects, and solution principles, in terms of such product properties.
2. A feature is not limited to physical elements and exists only in the world of information models.
3. "Properties" are the basis of the definition and at the same time the basic implementation mechanism.
4. "Classes of properties" and "product life-cycle phases" are distinguished in the definition above. Some properties are meaningful in more than one phase, for instance, geometry – in different phenotypes – is considered in nearly every phase of the product life-cycle. The product information expressed in terms of properties aggregated by different features in different application contexts is therefore the key mechanism to integrated product development.

3.3 Functional features

In the conceptual design phase, solutions for functions of a technical system are sought. If designers want to use solutions from a previous design they should recognise the behaviour and function of existing parts or assemblies, using their engineering knowledge. When function match, they can use existing solutions or adopted design. A check against the requirements given is necessary.

To enable computer support, the behaviour and function of a technical system (or subsystem) should be described as a working principle and a function fulfilled in the form of "functional features". The definition of functional features includes a chosen physical effect with an effect carrier and physical laws, behaviour and function of a system. The relations and influence of elements is more considerable than their properties and dimensions. Such defined functional features could serve for storing, searching and reuse of existing solutions.

Functional features allow the creation of a catalogue of principle solutions, using known physical effects on the one hand, and a description of the behaviour and the function of parts in product model, for their reuse in design, on the other.

4 EXAMPLE: A COFFEE GRINDER

The main function of a coffee grinder is to crush coffee beans into a granulate. The most common design uses a blade, which grinds the beans by hitting them at

Nekatere izvedbe uporabljajo valj, kjer na zrna pritiskamo s silo in jih drobimo, ali strgamo s primerno oblikovanim strgalom. V tem primeru je mogoče tudi krmiljenje debeline mletja.

Funkcijo mlinčka lahko opišemo z osnovno funkcijo spreminjaj (velikost) [8]. Primarni tok je material, klasificiramo ga kot trdno telo, kavna zrna na vstopu in mleta kava na izstopu.

Za izvajanje glavne funkcije izberemo naravni pojav: kohezija [11]. Prenosnik pojava je trdno telo - v našem primeru nožek. Tako dobimo načelno rešitev „drobljenje“, ki jo povzročajo še lastnosti (trdnost, trdota) in oblika noža ter sila, s katero le-ta deluje na zrna. Izbrana načelna rešitev potrebuje pomožno funkcijo – mehansko silo, ustvari pa tudi stranski pojav – reakcijo. Funkcijsko strukturo razširimo s pomožnima funkcijama in za vsako poiščemo ustrezno rešitev. V prvem primeru uporabimo pojav sunka, pri katerem nožek z veliko hitrostjo udari mirujoče zrno in ustvari silo. Hitrost ali gibanje zagotovi dodatna pomožna funkcija, ki pa jo v našem primeru rešuje podsklop „pogon“. Le-ta potrebuje vhodni tok: energijo in pomožni tok: signal za vklop in izklop.

Reakcijo, ki nastane na zrnu ob udarcu, reši naravni pojav „vztrajnost“, pospešek ali gibanje, ki ga ob tem zrno dobi, pa omeji okrov. Izstopni tok pomožne funkcije sta hrup in toplota.

Delovno načelo, shranjeno v modelu izdelka, vsebuje glavno funkcijo in načelno rešitev ter zahteve, ki jih rešitev izpolnjuje.

Ob morebitni spremembi konstrukcije je mogoče preverjanje ali:

- je uporabljena enaka načelna rešitev,
- izpolnjuje podane zahteve ali jih presega,
- nova načelna rešitev izpolnjuje glavno funkcijo.

Pri iskanju rešitev za nove izdelke lahko v bazi rešitev poiščemo:

- delovna načela, ki rešujejo glavno funkcijo,
- preverimo, ali izpolnjujejo podane zahteve.

Če se spremenijo zahteve za izdelek, lahko:

- preverimo, ali izbrano delovno načelo izpolnjuje nove zahteve,
- poiščemo delovna načela ali načelne rešitve, ki omogočajo izpolnjevanje zahtev, npr. dodatna zahteva: prilagajanje debeline mletja.

Prilagoditev debeline mletja v opisani izvedbi mlinčka ni mogoča (oziroma jo lahko izvede uporabnik

high speed. Alternative designs press the beans, mostly with a roller, or grate them with a properly designed grater, which allows the granulate size to be regulated.

The grind function can be characterised as the main function to: vary the size [8]. The main flow is material, classified as solid body: coffee beans on input and granulate (powder) on output.

To fulfil the main function, the physical effect “cohesion” is chosen [11] for applying pressure on beans. The effect carrier is a solid body – a blade in our case – that defines the working principle “grinding”, defined also by the material (strength, hardness) and the geometrical properties (shape, dimension). As we need force to produce the pressure on the beans, and force produces a side effect – reaction – the function structure should be extended with the following sub-functions: “produce force” and “eliminate reaction”. The force is created by the effect impulse, where the blade hits the bean at high speed, which is provided by another auxiliary function, and solved with the subassembly “drive”. The input flow for this sub function is energy and the auxiliary flow signal for switching on/off.

The reaction, produced when the blade hits a bean, eliminates the physical effect persistence. The motion of the beans as a result of this is limited by the casing. The output flows of this sub function are heat and noise.

The working principle, which is saved in the product model, includes the main function, the used principle solution and the requirements the product has to fulfil.

During the product redesign validation it can be assessed whether:

- The same principle solution was used
- The requirements are fulfilled or surpassed
- The new principle solution fulfils the main function

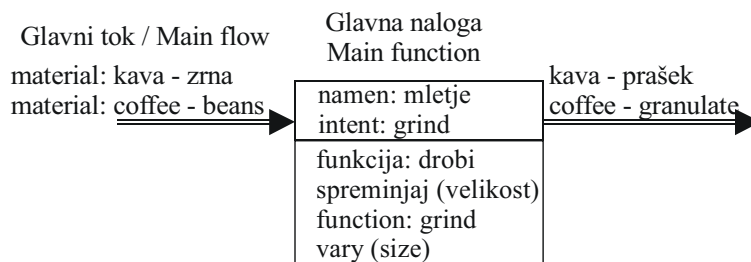
When designing new products, the solution base can be used for searching:

- Working principles that fulfil the main function
- A consistency check against given requirements

When the requirements for the product change, it is possible to:

- Check the working principle used against the new requirements
- Search for working principles or principle solutions that fulfil the given requirements; for example, the added requirement: adjustment of granulate size.

Granulate size adjustment is not foreseen in



Sl. 3. Glavna naloga in tok
Fig. 3. Main function and flow

z določanjem dolžine delovanja). Če bi želeli izpolniti zahtevo po debelini mletja, bi morali izbrati drugačno delovno načelo. V bazi rešitev poiščemo znane rešitve, ki to omogočajo, npr. mletje z nastavljivimi valji. Uporabljen je sicer isti naravni pojav – kohezija, silo pa ustvarimo s pojavom trenja in zagozde. Če je treba, lahko uporabimo še dodatno funkcijo za zmanjšanje vrtljajev. Krmiljenje debeline izvaja pomožna funkcija nastavitve razmika valjev. V funkcijski strukturi jo lahko obravnavamo kot samostojno podfunkcijo in jo rešujemo posebej. Ta funkcija lahko prevzame tudi rešitev stranskega pojava – reakcija, ki nastopi ob uporabi sile.

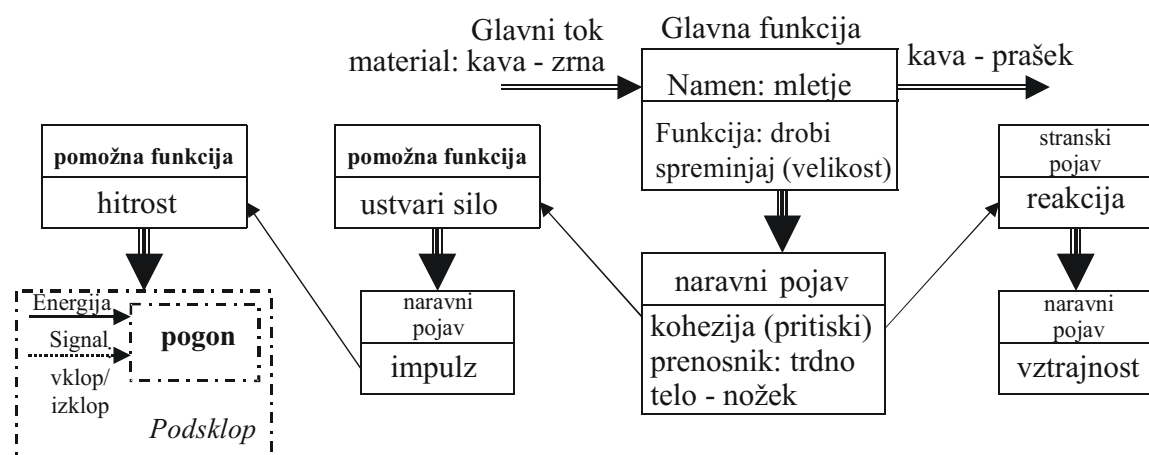
5 SKLEP

Računalniška podpora fazi zasnove v konstrukcijskem postopku zahteva strukturirano obliko informacij, ki se v njej pojavijo. Avtorja predlagata uporabo „funkcijskih“ značilnosti kot prenosnika informacije, saj le-te omogočajo predstavitev pomena strojnega dela in opis njegove funkcije, skupaj z izbrano načelno rešitvijo in delovnim načelom.

our example of the coffee grinder. To fulfil this requirement, another working principle should be used. The solution base search gives known solutions, for example, the use of adjustable rollers. Using the same physical effect of cohesion, the force is created by the effect of wedge and friction. If necessary, an auxiliary function can be used to reduce the speed of revolution. The control of granulate size is performed by an auxiliary function to roller distance adjustment, which can be maintained as a sub function in the function structure, and as a result, solved separately. This function can also fulfil the solution of side effect – reaction to grinding force.

5 CONCLUSION

Computer support to conceptual design demands adequately structured information for proper computer management. We have introduced a proposal for “functional features” as an information carrier, as features that allow the semantic description of a product because of its characteristic to include not only the geometric properties of a product, but also all other relevant information like function, principle solution and working principle.



Sl. 4. Funkcijska struktura in delovno načelo

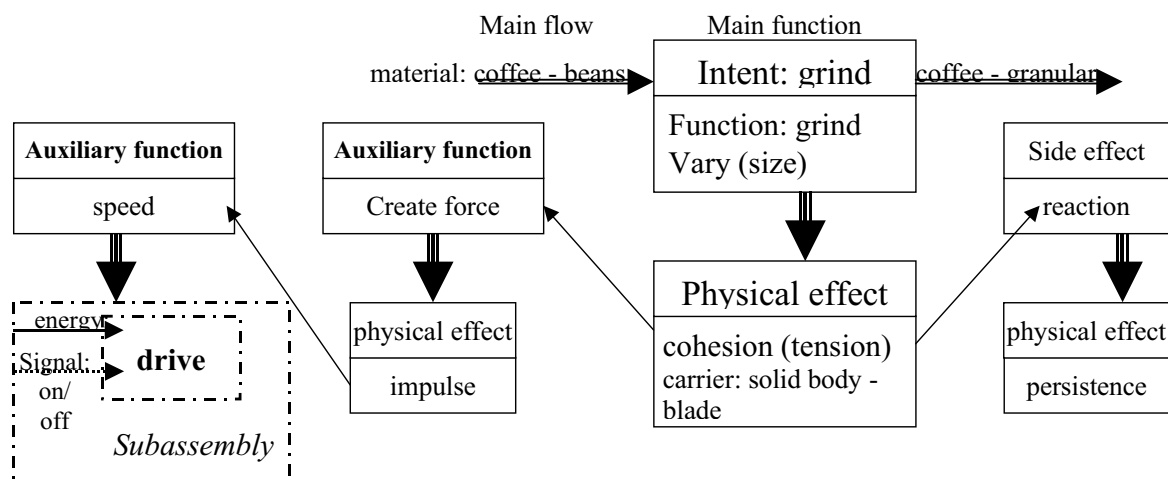


Fig. 4. Function structure and working principle

Prispevek je delni rezultat raziskave, katere namen je omogočiti računalniško podporo konstruiranju v fazi zasnove ter uporabo informacij, pridobljenih v tem postopku tudi v nadaljnjih fazah konstrukcijskega in proizvodnega postopka.

This paper presents the results of ongoing research towards a feature-based conceptual design system that will be able to capture the relevant product semantics of the early design phases and to allow this information to be reused in later phases for the purpose of a consistency check and for significant user support.

6 LITERATURA

6 REFERENCES

- [1] Bimber, O., L.M. Encarnação, A. Stork (2000) A multi-layered architecture for sketch-based interaction within virtual environments, *Computers & Graphics*, Vol. 24, 851-867.
- [2] Hren, G., B. Golob, A. Jezernik (2001) Visualisation and optimisation of motorhome prototypes using virtual environment techniques. V: MASTORAKIS, Nikos (ur.). Proceedings of the 5th WSES International Conference on Circuits, Systems, Communications and Computers (CSCC 2001) [and] Proceedings of the 3rd WSES International Conference on Mathematics and Computers in Physics (MCP 2001) [and] Proceedings of the 3rd WSES International Conference on Mathematics and Computers in Mechanical Engineering (MCME 2001) : Rethymno, Greece, July 8-15, 2001. [S.l.]: *WSES: IEEE*, 2001, [5].
- [3] Szykman, S., J. W. Racz, R. D. Sriram (1999), The representation of function in computer-based design, *Proceedings of the 1999 ASME Design Engineering Technical Conferences* (11th International Conference on Design Theory and Methodology), Paper No. DETC99/DTM-8742, Las Vegas, NV, September.
- [4] Brunetti, G., B. Golob (2000) A feature-based approach towards an integrated product model including conceptual design information, *Comput. Aided Des.* [Print ed.], 2000, 32, 877-887.
- [5] Hsu, W., I.M.Y. Woon (1998) Current research in the conceptual design of mechanical products, *Computer-Aided Design*, Vol. 30, No. 5, 377-389, *Elsevier Science Ltd*.
- [6] Novak, M., B. Dolšak (2000) Inteligentni računalniški sistem za pomoč pri poučevanju konstruiranja = An intelligent computer system for supporting design education. *Stroj. vestn.*, 46, št. 6, 383-390.
- [7] Dolšak, B. (2002) Intelligent structural design optimization. V: 6th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis, Istanbul, Turkey, July 8-11, 2002. *ESDA 2002*. New York: ASME International, 5 str., ESDA2002/DES-015.
- [8] Pahl, G., W. Beitz (1996) Engineering design, A systematic approach, 2nd edition. London: *Springer Verlag*, - XXX, 544.
- [9] VDI 2221 Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte, *Beuth Verlag GmbH*, Berlin 1993.
- [10] Roth, K. (1982) Konstruieren mit Konstruktionskatalogen: Systematisierung und zweckmaessige Aufbereitung technischer Sachverhalte fuer das methodische Konstruieren Berlin [u.a.] : *Springer*, 1982. 2.Aufl. 1994 - XVI, 475.
- [11] Koller, R., N. Kastrup (1998) Prinziploesungen zur Konstruktion technischer Produkte - 2., neubearb. Aufl. Berlin [u.a.] : *Springer*, - IX, 503.
- [12] Vajna, S., G. Podel (1998) Durchgängige Produktmodellierung mit Features. CAD-CAM Report Nr. 3, pp1-8.

Naslov avtorjev: Borut Golob

prof.dr. Anton Jezernik
Univerza v Mariboru
Fakulteta za strojništvo
Smetanova 17
2000 Maribor
borut.golob@uni-mb.si

Authors' Address: Borut Golob

Prof.Dr. Anton Jezernik
University of Maribor
Faculty of Mechanical Eng.
Smetanova 17
2000 Maribor, Slovenia
borut.golob@uni-mb.si

Prejeto:
Received: 2.9.2002

Sprejeto:
Accepted: 12.9.2003

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

Primerjava masnega ter magnetnega neuravnoteženja rotorja glede na vibracije enosmernih elektromotorjev

A Comparison of the Mass Unbalance and the Magnetic Unbalance with Respect to the Vibration of DC Electric Motors

Matej Petrič · Martin Furlan · Miha Boltežar

V prispevku obravnavamo vpliv magnetnega neuravnoteženja rotorjev na vibracije enosmernega elektromotorja s trajnimi magneti v primerjavi z masnim neuravnoteženjem. Obravnavani problem se pojavi pri uravnoteženju rotorjev z odvzemanjem materiala, pri čemer nastanejo zareze na površini rotorja, ki vplivajo na magnetno neuravnoteženost. Z namenom potrditve vpliva magnetne neuravnoteženosti na vibracije elektromotorja, smo izvedli meritve vibracij, tako na uravnoteženih kakor tudi na neuravnoteženih rotorjih in jih pozneje medsebojno primerjali. Dvoražsežni (2D) in triražsežni (3D) elektromagnetni model elektromotorja, kjer smo na površini rotorja modelirali določeno število zarez, je omogočil, da smo ovrednotili vpliv zarez na magnetne sile na rotor in na posamezne magnetne. Raziskava je bila opravljena na enosmernih elektromotorjih s trajnimi magneti, ki se uporabljajo za pogon hidravlične črpalke na krmilnem mehanizmu v avtomobilu. Pokazala je pomen magnetne neuravnoteženosti na vibracije enosmernega elektromotorja.

© 2003 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

(Ključne besede: elektromotorji enosmerni, uravnoteženje rotorjev, vibracije, analize končnih elementov, sile magnetne)

The influence of magnetic unbalance in comparison to mass unbalance on the vibrations of permanent-magnet DC electric motors was studied. The phenomenon of magnetic unbalance is a result of removing the mass when balancing rotors. As a result the notches on the rotor surface cause the magnetic unbalance. Vibration measurements on balanced and unbalanced electric motors were carried out to confirm the existence of magnetic unbalance. Numerical modelling included two-dimensional (2D) and three-dimensional (3D) electromagnetic models of an electric motor. Notches were modelled on the surface enabling the estimation of the magnetic forces on the rotor and on the magnets. Electric motors with permanent magnets are used to drive the hydraulic pump in the steering mechanism in a car. The results of the research confirm the importance of magnetic unbalance on the vibrations of electric motors.

© 2003 Journal of Mechanical Engineering. All rights reserved.

(Keywords: DC electric motors, rotors balancing, vibrations, finite element analysis, magnetic forces)

0 UVOD

Zahteva po vse tišjem delovanju strojev sili tudi proizvajalce enosmernih elektromotorjev k izdelavi vedno mirnejših elektromotorjev. Če želimo zmanjšati hrupnost električnih strojev nasploh, je pomembno, da najprej spoznamo vzroke in mehanizme nastanka vibracij. Vibracije enosmernih elektromotorjev delimo na mehansko, ki so posledica gibanja mehanskih delov, ter magnetno tresenje, ki je posledica delovanja magnetnih sil ([1] do [3]).

Dejstvo je, da je za zmanjšanje mehanskih tresenj zelo pomembno, da rotorje čim bolj masno uravnotežimo.

Pri masnem uravnoteženju togih rotorjev običajno ločimo uravnoteženje v eni in dveh ravninah. Pri uravnoteženju v eni ravnini za ozke ter počasi tekoče rotorje poskušamo odpraviti njihovo izsrednost oz. uravnotežiti momente teže. V našem primeru, pri katerem imamo opravka s hitrovrtečimi se rotorji, uporabljamo uravnoteženje v dveh ravninah. Tako poskušamo odpraviti masne deviacijske

momente glede na par pravokotnih osi, od katerih je ena vedno os vrtenja. Z drugimi besedami; želimo odpraviti momente centrifugalnih sil pri vrtenju.

Masno uravnoteženje rotorjev smo izvajali na avtomatizirani balansirni napravi, kjer smo rotorjem najprej ugotavljali stopnjo neuravnoteženosti. Pri postopku uravnoteženja, ki ga v nadaljevanju raziskujemo, pride do odvzemanja materiala, kar se kaže v obliki zarez na obodu rotorja (sl. 1). Le-te pa vplivajo na magnetno neuravnoteženost.

Vzrok za pojav magnetne neuravnoteženosti je v zarezah, zaradi katerih imamo v zračni reži manjšo gostoto magnetnega pretoka in posledično manjše privlačne sile, ki delujejo na rotor in stator. Ker zareze niso porazdeljene simetrično po obodu, pride do neuravnoteženega delovanja magnetnih sil na rotor, kar se kaže v rezultirajoči magnetni sili na rotor [4]. Naš namen je raziskati vpliv zarez, ki nastanejo pri uravnoteženju z odvzemanjem materiala, na velikost sil na rotor in stator ter na vibracije elektromotorja. Vpliv smo raziskovali tako eksperimentalno kakor tudi numerično.

V delu so najprej predstavljeni eksperimentalni rezultati, sledi jim predstavitev rezultatov numeričnih simulacij. Prikazana je tudi njihova primerjava.

1 MERJENJE VIBRACIJ ELEKTROMOTORJA

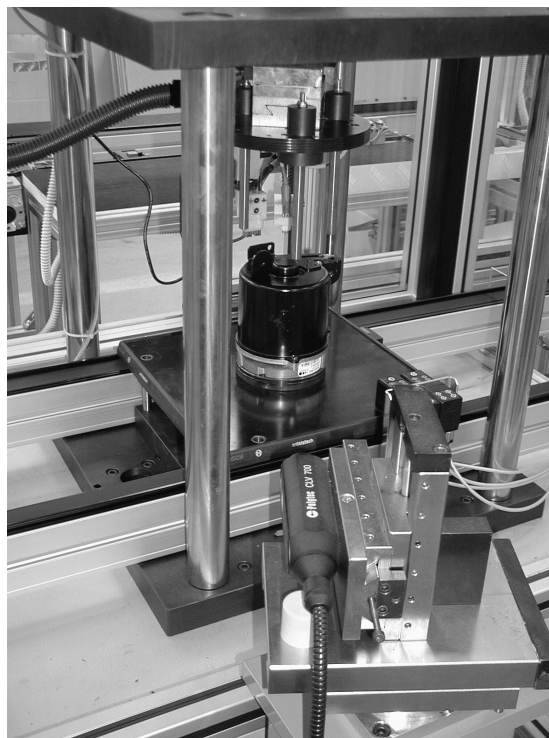
Vpliv zarez na površini rotorja na vibracije elektromotorja smo raziskovali na enosmernem elektromotorju s trajnimi magneti tipa AMJ1515. Merjenje vibracij je potekalo na proizvodni nadzorni napravi za nadzor vibracij (sl. 2) [5]. Meritve tresenja smo izvajali tako, da smo merili hitrost gibanja izbrane točke na okrovu elektromotorja. Da bi spoznali vpliv obremenitve na vibracije, kot posledico magnetne neuravnoteženosti motorja, smo meritve opravili pri različnih zaviralnih momentih elektromotorja (0,7; 0,8; ..., 1,7 Nm). Nadzorna naprava s programsko opremo in na podlagi diskretne Fourierjeve preslikave (DFP) izmerjenih vibracijskih hitrosti, oceni spekter vibracij,



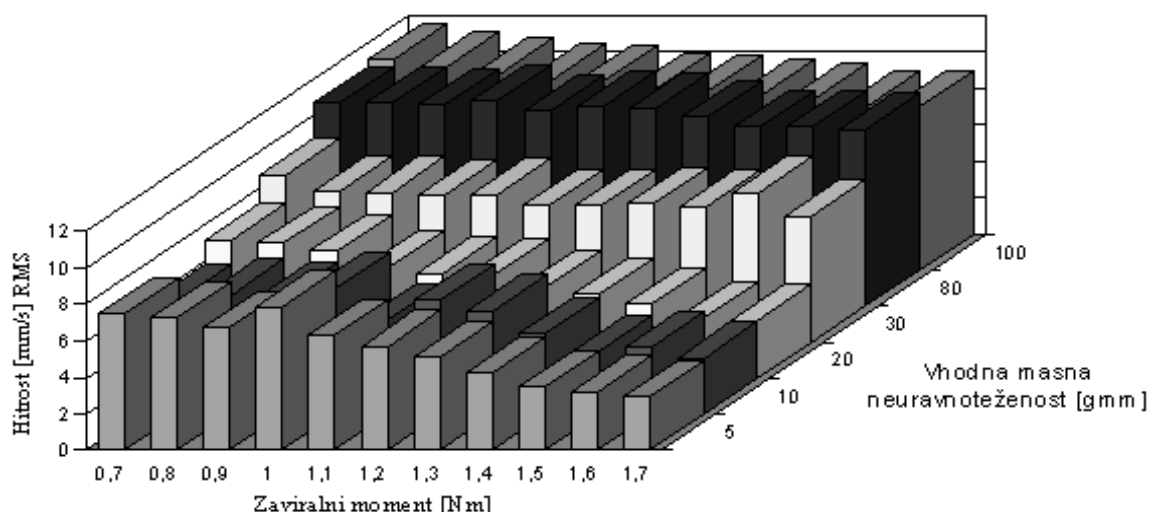
Sl. 1. Rotor z zarezami na površini

na katerem temelji najprej izračun dejanskih vrednosti vibracijskih hitrosti ter nato še harmonskih komponent, ki jih povezujemo z magnetnim in masnim neuravnoteženjem rotorja [1]. To sta 1. in 2. harmonska vrtilne frekvence motorja.

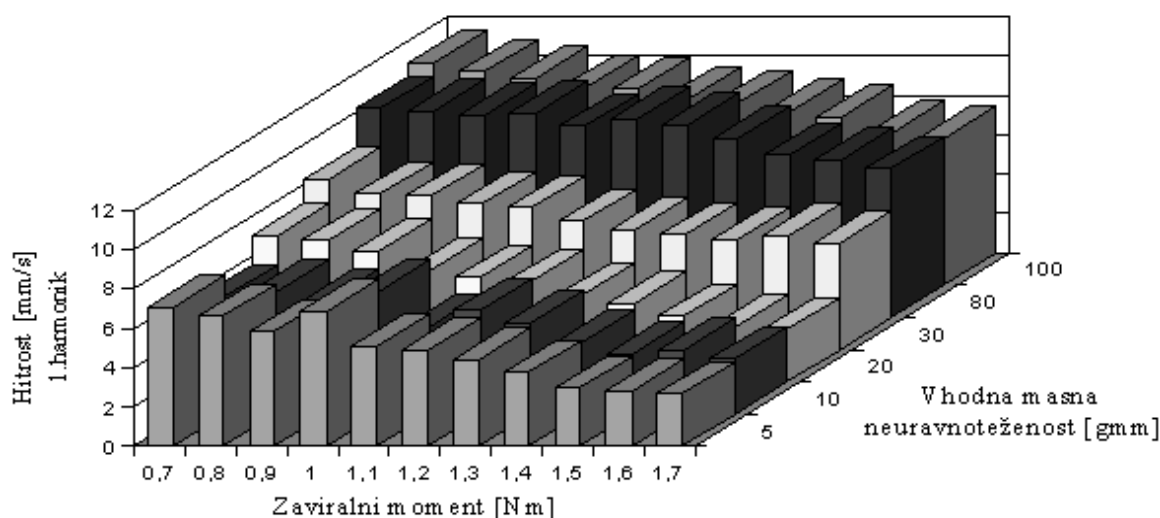
Z namenom ločitve vpliva masnega in magnetnega neuravnoteženja rotorjev smo najprej naredili več vzorcev masno neuravnoteženih rotorjev. To smo izvedli z dodajanjem materiala, tako da smo vnesli različno veliko, vendar znano masno dinamično neuravnoteženost. Rotorjem smo dodajali material tako, da je bila statična masna neuravnoteženost pri vseh rotorjih nična. Na tak način smo lahko opazovali le vpliv masne dinamične neuravnoteženosti. Tako pripravljene rotorje smo vgrajevali vedno v isti okrov elektromotorja in zanje izmerili vibracije pri različnih vrednostih zaviralnih momentov. Iste rotorje smo kasneje uravnotežili še z odvzemanjem materiala ter jih nazadnje ponovno vgradili v isto okrov elektromotorja in izmerili vibracije. Tako so imeli vsi rotorji pred merjenjem tako masno dinamično kakor tudi masno statično neuravnoteženost nižjo od 5 gmm, kolikor je tudi natančnost balansirnega stroja. Razlikovali so se le v velikosti vhodne masne dinamične neuravnoteženosti pred uravnoteženjem z odvzemanjem materiala. Slednje pomeni, da so imeli rotorji različno število zarez na površini. Na podlagi omenjenega smo kasneje lahko izvedli primerjavo vibracij istega elektromotorja z enkrat masno neuravnoteženim rotorjem in drugič z magnetno neuravnoteženim rotorjem.



Sl. 2. Nadzorna naprava za nadzor vibracij



Sl. 3. Vrednosti RMS kot funkcija zaviralnega momenta in vhodne masne neuravnoteženosti



Sl. 4. Vrednosti H1 kot funkcija zaviralnega momenta in vhodne masne neuravnoteženosti

1.1 Rezultati meritev vibracij elektromotorjev z rotorji, uravnoteženimi z odvzemanjem materiala

Na slikah 3 in 4 so prikazane dejanske vrednosti hitrosti gibanja točke okrova motorja, in sicer najprej na celotnem frekvenčnem območju s prikazom dejanskih vrednosti (RMS) na sliki 3 ter nato tudi v območju 1. harmonske (H1) na sliki 4 v odvisnosti od velikosti vhodne masne dinamične neuravnoteženosti za različne zaviralne momente.

Opazovali smo tudi vrednosti RMS hitrosti gibanja točke okrova pri višjih harmonskih, kjer pa spremembe niso bile značilne [4].

Meritve so pokazale, da je vpliv vhodne masne neuravnoteženosti rotorja na vibracije točke na okrovu elektromotorja velik. S slike 3, kjer je prikazan graf vrednosti RMS hitrosti tresenja v odvisnosti od zaviralnega momenta za različne velikosti vhodne masne neuravnoteženosti, in na sliki 4, kjer je prikazan graf vrednosti za H1 v odvisnosti od zaviralnega

momenta za različne velikosti vhodne masne neuravnoteženosti, se vidi, da se z večanjem vhodne masne neuravnoteženosti večajo tako vrednosti RMS kakor tudi vrednosti H1. Vrednosti RMS in H1 so za rotor z največjo vhodno masno neuravnoteženostjo (100 gmm) skoraj dvakrat večje kakor pri rotorju z najmanjšo vhodno masno neuravnoteženostjo (5 gmm). Opazimo lahko, da so pri nekaterih zaviralnih momentih vrednosti RMS in H1 pri rotorju z 80 gmm vhodne neuravnoteženosti večje kakor pri rotorju s 100 gmm vhodne neuravnoteženosti. Vendar se je treba zavedati, da na vibracije elektromotorja vplivajo številni dejavniki in ni mogoče, da bi jih povsem izločiti. Problem, s katerim smo se srečali, je bil tudi v zagotavljanju enakih vrtilnih frekvenc pri vseh elektromotorjih za določen zaviralni moment. Pri večkratnem menjavanju okrova elektromotorja prihaja tudi do obrabe ščetk, lahko pride do slabega naleganja ležajev in vrste drugih vplivov, ki različno vplivajo na rezultate meritev.

1.2 Primerjava rezultatov meritev vibracij elektromotorjev z rotorji pred uravnoteženjem in z rotorji po uravnoteženju

Zanimiva je primerjava vrednosti RMS hitrosti vibracij med elektromotorji z neuravnoteženimi rotorji in med elektromotorji z istimi rotorji po masnem uravnoteženju z odvzemanjem materiala. Na sliki 5 je prikazan graf odvisnosti vrednosti RMS od masne dinamične neuravnoteženosti za zaviralni moment 0,7 Nm. Treba je poudariti, da na vodoravno os v primeru uravnoteženega rotorja nanašamo vhodno masno dinamično neuravnoteženost (neuravnoteženost pred uravnoteženjem). Končna neuravnoteženost je namreč po uravnoteženju pri vseh rotorjih manjša od 5 gmm, kolikor znaša natančnost balansirnega stroja. V primeru neuravnoteženega rotorja pa na vodoravno os nanašamo masno dinamično neuravnoteženost rotorja, ki jo je imel rotor pred merjenjem vibracij.

S slike 5 je razvidno, da se z uravnoteženjem rotorja z odvzemanjem materiala vibracije elektromotorja samo povečujejo oziroma ostane nespremenjeno. Iz tega bi lahko sklepali, da je uravnoteženje rotorjev nepotrebno, vendar smo pri merjenju uporabljali samo take rotorje, katerih masna statična neuravnoteženost je znašala približno nič. V našem primeru, ko imamo kratek rotor, masna dinamična neuravnoteženost nima tako velikega vpliva na vibracije, zato tudi nismo dobili velikih tresenj pri neuravnoteženih rotorjih. Balansirni ravni sta v našem primeru zelo blizu skupaj, zato je zaradi kratke ročice tudi moment, ki nastane zaradi masne dinamične neuravnoteženosti, majhen. Sredobežni sili se pri masni dinamični neuravnoteženosti izničita. Ker balansiramo v dveh ravninah, se dogaja pri rotorjih z veliko masno dinamično neuravnoteženostjo in najmanjšo masno statično neuravnoteženostjo to, da balansirni stroj takim rotorjem na obeh balansirnih ravninah odvzame precej materiala oziroma naredi mnogo zarez, da izniči masno dinamično

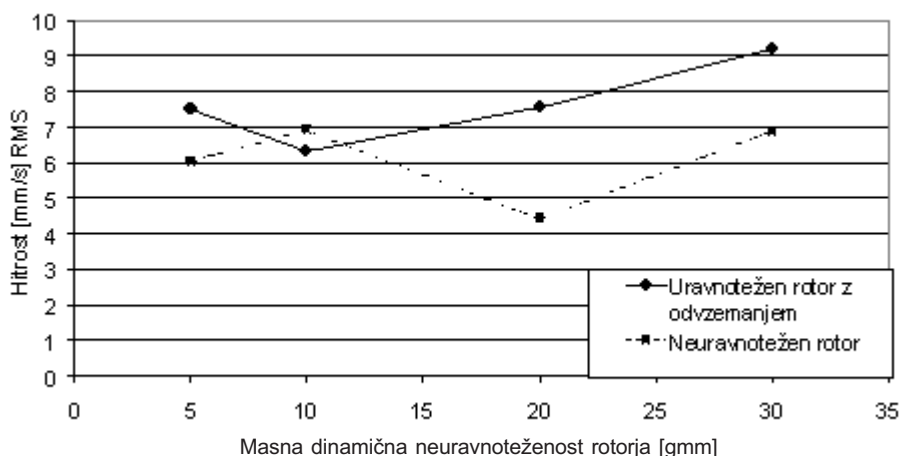
neuravnoteženost. Posledica zarez so večje vibracije elektromotorja, kakor če ga sploh ne bi uravnotežili, ker je vpliv zarez na magnetno neuravnoteženost in posledično na vibracije elektromotorja večji, kakor pa je vpliv masne dinamične neuravnoteženosti.

2 RAČUNANJE ELEKTROMAGNETNIH SIL Z METODO KONČNIH ELEMENTOV (MKE)

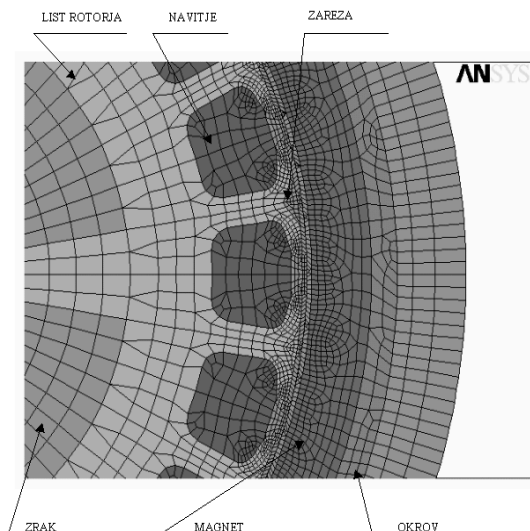
Za simulacijo magnetnih sil smo uporabili programski paket ANSYS, ki za reševanje enačb uporablja MKE. Najprej smo naredili 2D, pozneje pa še 3D model MKE elektromotorja z možnostjo vrtenja rotorja za poljuben kot. Tako smo lahko simulirali poljubno lego rotorja glede na stator. Simulirali smo tudi zareze na površini rotorja (sl. 6). Na 3D modelu smo simulirali le štiri zareze na zgornji strani in štiri na spodnji strani ter tako simulirali dinamično neuravnoteženost (sl. 7). Na teh dveh modelih smo raziskovali vpliv zarez na gostoto magnetnega toka ter posledično njihov vpliv na sile in momente na rotorju.

Zareze na površini rotorja porušijo simetrijo geometrijske oblike rotorja in s tem se poruši tudi magnetna simetričnost, saj se na mestu zareze pojavi krajevno povečanje zračne reže med rotorjem in magnetom. Posledica manjše gostote magnetnega polja na mestu zareze pa je na tistem mestu tudi manjša magnetna sila na rotor, kar dokazujeta tako 2D kot tudi 3D analizi MKE (sl. 8, 9).

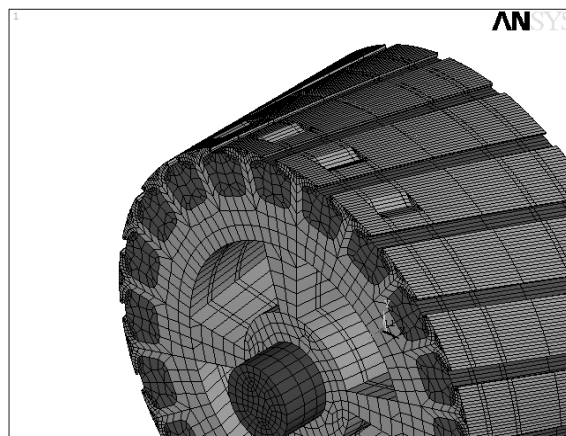
S slik 8 in 9 je razvidno, da je na mestu zareze sila na rotor manjša. Na velikost rezultante sil na rotor vpliva lega zareze. Kadar je zareza na takem mestu, da bi bilo na tistem mestu pričakovati majhne sile, če ne bi bilo zareze, se rezultanta sil bistveno ne poveča. Na mestih, kjer je pričakovati večje sile, pa je tudi povečanje rezultante sil večje. Na sliki 10 lepo vidimo, kako se velikost rezultante sil na rotor spreminja v odvisnosti od kota vrtenja rotorja za različno število zarez na površini rotorja pri 2D modelu.



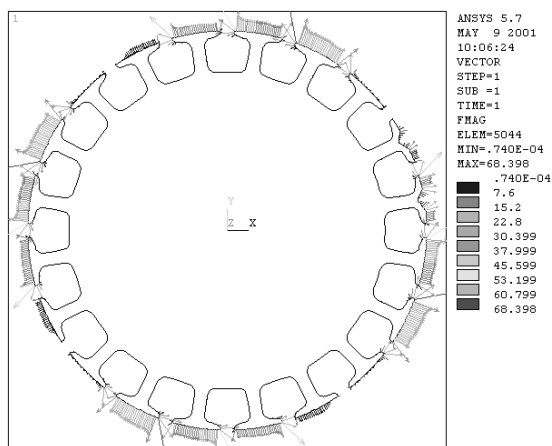
Sl. 5. Vrednosti RMS v odvisnosti od masne dinamične neuravnoteženosti rotorja za uravnotežen rotor z odvzemanjem in za neuravnotežen rotor



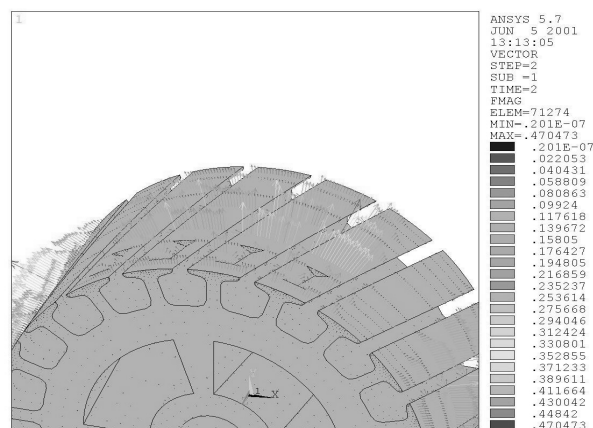
Sl. 6. 2D model rotorja MKE



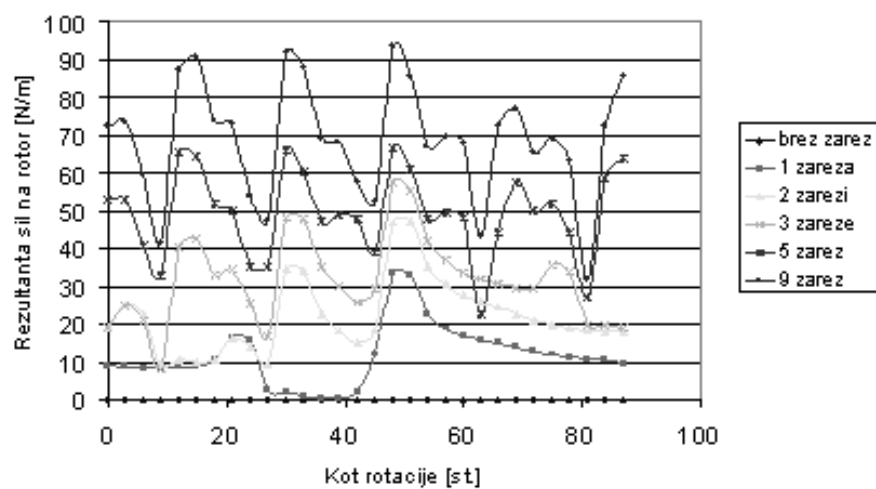
Sl. 7. 3D model rotorja MKE



Sl. 8. Magnetne sile na rotor pri 2D modelu MKE



Sl. 9. Magnetne sile na rotor pri 3D modelu MKE



Sl. 10. Graf rezultante sil na rotor v odvisnosti od kota vrtenja rotorja za različno število zareza

2.1 Razlaga rezultatov analize MKE

Magnetnih sil, ki delujejo na rotor in stator, ne moremo neposredno povezati z vibracijami elektromotorja. Vemo pa, da so posledica magnetne neuravnoteženosti. Velikost magnetne neuravnoteženosti izračunamo tako, da jo primerjamo z ekvivalentno masno statično neuravnoteženostjo, ki bi povzročila enako veliko silo na rotor.

Iz enačbe za sredobežno silo:

$$F_c = mr\omega^2 \quad (1),$$

kjer je m masa, ki kroži na razdalji r od osi vrtenja s kotno hitrostjo ω , izrazimo zmnožek mr , ki pomeni velikost masne statične neuravnoteženosti in izračunamo velikost masne statične neuravnoteženosti oziroma magnetne neuravnoteženosti. Za F_c vstavimo povprečno vrednost rezultante sil na rotor, za ω pa vstavimo ustrezno vrednost za kotno hitrost vrtenja rotorja. V našem primeru se je elektromotor vrtel s 4000 min⁻¹. Pri 3D modelu pa z analizo MKE izračunamo skupni moment na rotor v smeri X in Y. F_c izračunamo tako, da skupni moment v smeri X in Y delimo s širino rotorja.

Za lažjo primerjavo smo izračunali tudi, kolikšno masno statično neuravnoteženost bi povzročila ena zareza dolžine enega centimetra. Masna statična neuravnoteženost mase ene zareze znaša 10,58 gmm. V preglednici 1 so prikazane vrednosti masne statične neuravnoteženosti pred uravnoteženjem, povprečna magnetna sila na rotor in magnetna neuravnoteženost za različno število zarez na površini rotorja.

Iz rezultatov v preglednici 1 je razvidno, da bi v primeru rotorja z vhodno masno statično neuravnoteženostjo (pred uravnoteženjem) 95 gmm tak rotor imel po uravnoteženju z odvzemanjem materiala na površini 9 zarez in bi njegova magnetna neuravnoteženost, ki je posledica spremembe gostote magnetnega pretoka, zaradi zarez na površini rotorja znašala 3,14 gmm. Vidimo tudi, da so rezultati pri 3D modelu približno dvakrat večji kakor pri 2D modelu. Pričakovati je večjo natančnost rezultatov pri 3D modelu, ker bolj prepričljivo popisuje obliko elektromotorja in tako upošteva tudi vpliv robnih

pogojev, ki imajo pri kratkih rotorjih toliko večji vpliv. Glede na eksperimentalno dobljene rezultate smo pričakovali večji vpliv zarez na magnetno neuravnoteženost. Vendar smo to magnetno neuravnoteženost izračunali glede na sile in momente na rotor, ki pa niso edine vzbujevalne sile.

3 SKLEP

Na podlagi meritev hitrosti vibracij točke na okrovu elektromotorjev z rotorji, uravnoveženimi z odvzemanjem materiala, smo ugotovili, da se dejanski vrednosti hitrosti na celotnem frekvenčnem območju, predvsem pa tudi v območju prvega harmonika, povečujeta z povečevanjem vhodne masne dinamične neuravnoteženosti. Za primer elektromotorja z rotorjem z vhodno masno dinamično neuravnoteženostjo 5 mm je znašala vrednost RMS 7,5 mm/s, vrednost H1 pa 7 mm/s; za rotor z vhodno masno dinamično neuravnoteženostjo 100 mm, je znašala vrednost RMS 11,5 mm/s in H1 vrednost 11 mm/s. S tem smo potrdili naše domneve, da število zarez, ki nastane pri uravnoteženju z odvzemanjem materiala, vpliva na velikost vibracij.

Da pa bi ugotovili, kako močan je ta vpliv, smo rezultate meritev vibracij na okrovu elektromotorjev z uravnoveženimi rotorji primerjali še z rezultati meritev istih rotorjev pred uravnoteženjem. Ugotovili smo, da je tresenje elektromotorjev z uravnoveženimi rotorji približno enako veliko in včasih celo večje kakor pri neuravnoveženih.

Z namenom potrditve vpliva uravnoveženja z odvzemanjem materiala na vibracije elektromotorjev, smo naredili še dvorazsežni in trirazsežni model elektromotorja in z analizo MKE ugotovili, da je na mestu zarez gostota magnetnega polja manjša. Zato so tam tudi manjše sile. Zaradi porušitve geometrijske in posledično magnetne simetrije pride do pojava rezultante magnetnih sil na rotor, ki se z večanjem zarez povečuje. Tudi sile na posamezne magnete se spreminjajo s spreminjanjem števila zarez. Na podlagi izračunanih magnetnih sil na rotor pri 2D modelu smo ugotovili, da bi rotor z vhodno masno statično neuravnoteženostjo 50 gmm dobil zaradi poškodbe površine pri uravnoteženju magnetno neuravnoteženost 2,2 gmm. Pri računanju s 3D modelom pa smo ugotovili, da bi rotor z vhodno

Preglednica 1. Velikosti magnetne neuravnoteženosti za določeno število zarez

Število zarez	Statična neuravnoteženost pred uravnoteženjem v gmm	Povprečna sila na rotor N	Magnetna neuravnoteženost gmm	Model
1	10,58	0,094	0,54	2D
2	21,17	0,178	1,02	2D
3	31,75	0,256	1,46	2D
4	42,32	0,716	4,08	3D
5	52,92	0,397	2,29	2D
9	95,26	0,550	3,14	2D

statično neuravnoteženostjo 40 gmm imel po uravnoteženju magnetno neuravnoteženost 4 gmm. Pri tem gre verjeti rezultatom 3D analize, pri kateri ta model bolj prepričljivo opiše dejansko obliko elektromotorja.

Zavedati se je treba, da je rezultirajoča magnetna sil na rotor le ena od povzročiteljev vibracij elektromotorja. Ne smemo zanemariti dejstva, da tudi magnetne sile na magnete vplivajo na vibracije, vendar je njihov vpliv teže ovrednotiti.

4 LITERATURA

- [1] Furlan, M. (1998) Identifikacija, ovrednotenje in zmanjšanje hrupa družine enosmernih elektromotorjev, Magistrsko delo, FS Ljubljana.
- [2] Yang, S.J. (1981) Low-noise electrical motors, Clarendon Press, Oxford.
- [3] Timar, P.L. (1989) Noise and vibration of electric machines, Akademiai Kiado, Budapest.
- [4] Petrič, M. (2001) Primerjava masnega ter magnetnega neuravnoteženja rotorja z ozirom na vibracije enosmernih elektromotorjev, Diplomsko naloga, FS Ljubljana.
- [5] Vodopivec, B. (2000) Naprave za analizo kvalitete montaže ZF motorjev, Diplomsko naloga, FS Ljubljana.

Naslovi avtorjev: Matej Petrič
Gostol-gopan d.o.o.
Prvomajska 37
5000 Nova Gorica
petric.m@gostol-gopan.si

dr. Martin Furlan
Iskra Avtoelektrika d.d.
Polje 15
5290 Šempeter pri Gorici
martin.furlan@avtoel-go.si

doc.dr. Miha Boltežar
Univerza v Ljubljani
Fakulteta za strojništvo
Aškerčeva 6
1000 Ljubljana
miha.boltezar@fs.uni-lj.si

Prejeto: 7.2.2003
Received:

Sprejeto: 12.9.2003
Accepted:

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

Osebnosti vesti

Personal Events

Doktorati, magistrirani, specializacije, diplome

DOKTORATI

Na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani je z uspehom zagovarjal svojo doktorsko disertacijo, in sicer:

dne 30. maja 2003: **mag. Jože Kutin**, z naslovom: "Modeliranje in razvoj Coriolisovega merilnika".

Na Fakulteti za strojništvo Univerze v Mariboru sta z uspehom zagovarjala svoji doktorski disertaciji, in sicer:

dne 20. maja 2003: **mag. Leo Gusel**, z naslovom: "Modeliranje mehanskih lastnosti pri hladnem preoblikovanju materiala z metodo genetskega programiranja" in

dne 21. maja 2003: **mag. Marjan Korošec**, z naslovom: "Optimiranje izdelave poljubnih prostorskih oblik z uporabo nevronske mreže".

S tem so navedeni kandidati dosegli akademsko stopnjo doktorja tehničnih znanosti.

MAGISTERIJI

Na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani sta z uspehom zagovarjala svoji magistrski deli, in sicer:

dne 14. maja 2003: **Tomaž Kek**, z naslovom: "Vpliv različnih pogojev interakcije laserske svetlobe pri površinskem utrjevanju jekel", in

dne 30. maja 2003: **Andrej Stepišnik**, z naslovom: "Računalniška integracija načrtovanja procesov preoblikovanja pločevine in izdelave pripadajočih orodij".

S tem sta navedena kandidata dosegla akademsko stopnjo magistra tehničnih znanosti.

SPECIALIZACIJE

Na Fakulteti za strojništvo Univerze v Mariboru je z uspehom zagovarjal svoje specialistično delo, in sicer:

dne 16. maja 2003: **Jožef Maučec**, z naslovom: "Numerični model določitve tokovnih razmer v homogenizatorju trdno-kapljevit zmesi melasa – voda".

S tem je navedeni kandidat dosegel akademsko stopnjo specialista.

DIPLOMIRANISO

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

dne 30. maja 2003: Matjaž BALANT, Miha KAVČIČ, Aleksander LAVRIČ PREGELJ, Uroš ROSA.

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

dne 29. maja 2003: Gorazd CVETKO, Marko PODLESEK.

*

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

dne 15. maja 2003: Tomaž GRUDEN, Danijel MILAVEC, Janez ŽEROVNIK;

dne 16. maja 2003: Aleš BOBNAR, Ivan MERZEL, Primož STREL, Gregor Sašo TAVČAR;

dne 19. maja 2003: Damijan KOŠMRLJ, Janez MAJDIČ, Robert MOLEK.

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. Hkrati dostavite odtis članka na papirju, vključno z vsemi slikami in preglednicami ter identično kopijo v elektronski obliki.

Prosimo, 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.).

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

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. 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.).

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

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 pomajšujemo.

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 narejen posnetek. 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] Tarnag, 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: strojnistki.vestnik@fs.uni-lj.si

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] Tarnag, 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: strojnistki.vestnik@fs.uni-lj.si