

let. - vol. 49

(2003)

št. - no. 11

STROJNIŠKI

VESTNIK 11

JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING

strani - pages 523 - 564

ISSN 0039-2480 . Stroj V . STJVAX

cena 800 SIT

1. Hiter algoritem za poenostavljanje in obnovitev trikotniških mrež za prenos rezultatov MKE preko svetovnega spleta

A Fast Triangular-Mesh Decimation-and-Undecimation Algorithm for Transferring FEM Results via the Web
2. Zasnova trosilnika za hlevski gnoj z matematičnim modelom

Conceptual Design Of A Stable-Manure Spreader Using A Mathematical Model
3. Okoljski nadzorni sistem - Model vrednotenja zakritih zavetij

An Environmental Control System - Assessment Model for Camouflaged Shelters



Vsebina

Contents

Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering
letnik - volume 49, (2003), številka - number 1 1

Razprave

- Krivograd, S., Hren, G., Žalik, B., Jezernik, A.: Hiter
algoritem za poenostavljanje in obnovitev
trikotniških mrež za prenos rezultatov MKE
preko svetovnega spleta 524
- Bernik, R., Benedičič, J., Duhovnik, J.: Zasnova
trosilnika za hlevski gnoj z matematičnim
modelom 538
- Arthur, J.H., Beard, J.T., Ribando, R.J., Patil, A.,
Johnston, N.P.: Okoljski nadzorni sistem -
Model vrednotenja zakritih zavetij 549

Poročila

Strokovna literatura

Osebnosti

Navodila avtorjem

Papers

- Krivograd, S., Hren, G., Žalik, B., Jezernik, A.: A Fast
Triangular-Mesh Decimation-and-Undeci-
mation Algorithm for Transferring FEM
Results via the Web
- Bernik, R., Benedičič, J., Duhovnik, J.: Conceptual
Design Of A Stable-Manure Spreader Using
A Mathematical Model
- Arthur, J.H., Beard, J.T., Ribando, R.J., Patil, A.,
Johnston, N.P.: An Environmental Control
System - Assessment Model for
Camouflaged Shelters

Reports

Professional Literature

Personal Events

Instructions for Authors

Hiter algoritem za poenostavljanje in obnovitev trikotniških mrež za prenos rezultatov MKE preko svetovnega spleta

A Fast Triangular-Mesh Decimation-and-Undecimation Algorithm for Transferring FEM Results via the Web

Sebastian Krivograd · Gorazd Hren · Borut Žalik · Anton Jezernik

Prispevek opisuje učinkovit algoritem za poenostavljanje grafičnega prikaza trikotniških mrež, dobljenih na primer pri analizah po metodi končnih elementov (MKE). Dobljene mreže ohranjajo vse ključne značilnosti izvirnih mrež, pri čemer pa potrebujejo mnogo manj podatkov. Zato je metoda idealna za izmenjavo mrež prek ozkih komunikacijskih kanalov, kakršen je na primer svetovni splet. V uvodu najprej poudarjamo, da MKE, kot približna numerična metoda, običajno ustvarja količinsko izredno obsežne rezultate. V nadaljevanju podajamo kratek pregled znanih metod za poenostavljanje mrež, nato pa opišemo metodo z odstranjevanjem vozlišč. Za pospešitev iskanja najprimernejših vozlišč, ki jih je mogoče umakniti, uporabljamo sekljalno preglednico s heuristiko. Prispevek končujemo z analizo časovne in prostorske zahtevnosti ter praktičnim primerom uporabe metode pri zmanjšanju količine podatkov za prenos rezultatov po MKE prek spleta. Praktični rezultati potrjujejo teoretično časovno zahtevnost.

© 2003 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

(Ključne besede: geometrija računalniška, poenostavljanje mrež, metode končnih elementov, svetovni splet)

This paper describes a fast algorithm for the decimation of triangular meshes, illustrated by transferring the results of a finite-element method (FEM) analysis. The obtained meshes preserve all the key characteristics of the original meshes with considerable less data, which makes the algorithm very useful for data exchange over the web. First, the FEM is briefly described as an approximate and numerical method that mostly results in an excessive quantity of data. A brief overview of the possible approaches to data reduction for triangular meshes is given, and the solution with node elimination is presented. To speed up the search for the nodes to be removed, a hash table is applied, organized heuristically and suitable for engineering data. Finally, the paper presents an analysis of a time-and-space complexity analysis and a practical example with a reduction of FEM data results, enabling efficient transfer over the web. The practical results obtained during the testing of the FEM results' transfer confirm the theoretical estimation of linear time complexity.

© 2003 Journal of Mechanical Engineering. All rights reserved.

(Keywords: computational geometry, mesh decimation, finite element methods, world wide web)

0 UVOD

Inženirji pri svojem delu uporabljamo različne numerične metode za izvajanje analiz in preračunov komponent, kakršna je na primer metoda končnih elementov (MKE). MKE je približna numerična metoda za reševanje problemov, ki jih je mogoče opisati s sistemom diferencialnih enačb. Osnovna zamisel je razdelitev telesa na končno število elementov, omejenih z vozlišči, ki so povezani v celotni sestav z enačbami stanj in robnimi pogoji. Vrednosti v vozliščih so posledica globalnih sprememb telesa. Matrika sistema je sestavljena iz linearnih enačb, ki jih je mogoče z uporabo računalnika preprosto rešiti, je pa po obsegu zelo velika. Linearne probleme lahko rešimo v enem zagonu, pri nelinearnih pa je treba upoštevati spremembe geometrije in lastnosti materiala med obremenitvijo. Rešujemo jih iterativno dokler ni dosežen predpisani zaključni kriterij. Pri trdnostnih preračunih so rezultati izraženi kot pomiki in

0 INTRODUCTION

Many computational methods, such as the finite-element method (FEM), are well developed, implemented and used in daily engineering activities. The FEM is actually an approximate mathematical method for solving problems that can be solved with differential equations. The main idea is to break a problem into a large number of elements, determined by nodes, which are then connected via global state information and boundary conditions. The global problem is transformed as linear equations into a matrix form, which can be easily solved by a computer. The result is a change of the global state for each node. Linear problems, like structural problems, can be solved with a single solver run. Non-linear problems, where a change of the geometry of the material properties during the load application has to be con-

napetosti v posameznem vozlišču mreže elementov. V slikovni obliki so pomiki in napetosti predstavljeni z barvnimi razredi za upodabljanje porazdelitve in koncentracij napetosti in deformacij po strukturi. Računalniški prikaz rezultatov v sistemih za preračune je zelo kakovosten.

V prispevku ne bomo govorili o vedno aktualni problematiki optimalnega generiranja mrež, pač pa o možnostih prenašanja in predstavljanja rezultatov izračunov prek spleta. Pri sočasnem inženiringu oziroma sodelovanju udeležencev proizvodnega postopka se velikokrat pojavi problem prenašanja rezultatov med inženirji ali drugimi udeleženci zaradi vrednotenja rezultatov. Za izmenjavo podatkov obstaja nekaj utečenih poti:

- vsi udeleženci imajo in znajo uporabljati enak sistem za analize po MKE (kar je redko),
- mogoča je neposredna sprememba podatkov med različnimi sistemi za MKE (večinoma drago),
- obstajajo nevtralne oblike, ki jih lahko različni sistemi uvažajo ali izvažajo (izguba informacij),
- rezultate lahko izmenjujemo v obliki zaslonских slik (zelo omejene možnosti predstavitve, posebej pri 3D analizah, nezmožnost geometrijskih preoblik, lastne nastavitve barv in pogledov).

Pri tem poudarjamo, da je izmenjava podatkov mogoča med mnogimi sistemi (model MKE z mrežo elementov in robnimi pogoji), le redko pa je mogoča izmenjava rezultatov. Vsekakor lahko trdimo, da glavni problem pri pošiljanju podatkov o modelih MKE prek spleta (še posebej pri rezultatih) pomeni količina podatkov. Celo preproste mreže MKE lahko vsebujejo nekaj tisoč vozlišč in v vsakem vozlišču je več vrednosti. Število teh vrednosti je odvisno od števila prostostnih stopenj uporabljenih elementov. Pri nelinearnih problemih se število podatkov še bistveno poveča. Prav velika količina podatkov, ki ustvarjajo rezultate, je glavna ovira pri prenosu le-teh prek računalniškega omrežja. Inženirjem so v večini primerov zanimivi dovolj natančni rezultati deformacij in zgostitev napetosti v kritičnih območjih, medtem ko so drugi podatki manj pomembni. Prav v takšnih primerih se izkaže naš algoritem, ki razumno zmanjša količino potrebnih podatkov za vizualizacijo rezultatov analize po MKE.

Poenostavljanje trikotniških mrež lahko opravimo na več načinov glede na to, katere elemente odstranjujejo iz mreže:

- **Poenostavljanje vozlišč.** Poenostavljanje vozlišč je najpogostejše in temelji na Schroederjevem poenostavitvenem postopku [1]. Vozlišča najprej ovrednotimo in jih nato odstranimo iz mreže, glede na njihovo pomembnost. Pregled metod najdemo v [2].
- **Poenostavljanje robov.** V tem primeru odstranjujemo pred tem ovrednotene robove [3]. Ena najboljših metod s poenostavljanjem robov temelji na najmanjši vsoti kvadratov napak, ki sta jo predlagala Garland in Heckberg [4].

sidered, are solved in more than one step, mostly iteratively, using the results of the last run as the start value for the next run, until certain exit conditions are fulfilled.

In this paper we will present the sharing and presentation of results over the web. With today's concurrent engineering and the need for cooperation between production participants, problems arise when one is trying to share results with other people, in some cases other engineers, looking for comments or evaluating results. The existing possibilities for sharing results are as follows:

- Both participants have the same FEM system and know how to use it (this is a rare situation).
- Using a direct translation program between two different systems, produced by FEM systems' providers (this is usually expensive).
- Using neutral meta-files that different systems can export and import (this can result in information loss).
- Sending screen shots represents a very limited visualisation capability, especially for 3D models.

It should be pointed out that many systems can share pre-processing data (a FEM model with mesh and boundary conditions) and a few results. The major bottleneck when transferring data via the web is the quantity of data. Even a simple FEM mesh can result in a few thousand nodes and in every node we have a few values of the results, depending on the type of elements and the number of DOF in the nodes. If we consider non-linear problems, which are solved in more than one step, the quantity of data increases significantly. Usually, at the nodes, the scalar values are given. Frequently, a huge amount of obtained data slows the computer-supported analysis and increases the time and network capacity needed for data transfer. Usually, engineers are looking for sufficiently accurate results in their areas of interest and the remaining data are less significant. Therefore, these less important data can be eliminated without significantly damaging the investigation. At this point our algorithm makes an appearance and drastically reduces the quantity of results.

Many approaches to triangular-mesh decimation have been developed. Roughly, they can be divided according to the elements they are taking from the mesh:

- **Node decimation methods** are the most frequently used and are based on the Schroeder simplification algorithm [1]. The nodes are evaluated, and they are incrementally removed from the mesh according to their importance. There are various techniques proposed, and they differ in terms of how the nodes are evaluated and what type of triangulation is required [2].
- **Edge decimation methods** eliminate edges, according to the evaluation [3]. One of the best edge decimation methods, based on a quadratic error matrix, was proposed by Garland and Heckberg [4].

- **Poenostavljanje trikotnikov.** V tem primeru naj bi algoritem odstranjeval trikotnike, vendar praktične izvedbe tega postopka niso znane.

V prispevku predstavljen algoritem temelji na dveh postopkih poenostavljanja trikotniških mrež. Franc in Skala ([5] in [6]) sta uporabila vzporedni algoritem s sekljalno preglednico, s čimer sta pospešila iskanje vozlišč, ki jih je treba odstraniti. Njuna metoda temelji na kombinaciji odstranjevanja vozlišč in robov, tako da najprej izbereta najprimernejše vozlišče in nato poiščeta med robovi, ki se stikajo v njem, najkrajšega, ki ga odstranita. Naš algoritem uporablja metodo za poenostavljanje vozlišč, kakor jo je predstavil Schroeder [1], za pospešitev pa sekljalno preglednico. Vsebuje tudi inverzno metodo, to je možnost obnovitve izvirne trikotniške mreže.

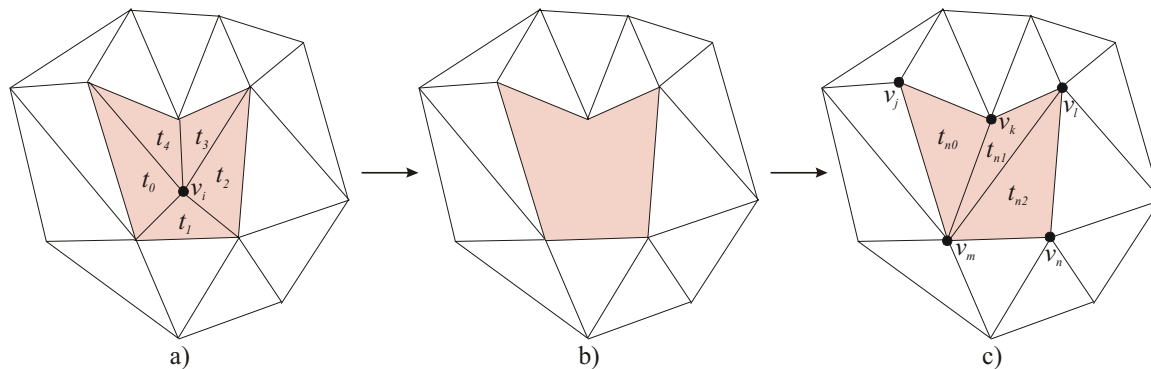
1 ALGORITEM POENOSTAVLJANJA

Algoritem za poenostavljanje trikotniških mrež sestoji iz naslednjih korakov:

1. ovrednotenje vseh vozlišč glede na izbran kriterij in njihova razvrstitev v sekljalno preglednico;
2. izbira najprimernejšega vozlišča z uporabo sekljalne preglednice (na primer vozlišče v_i na sliki 1a);
3. odstranitev vozlišča iz trikotniške mreže;
4. odstranitev vseh trikotnikov, ki so se stikali v odstranjenem vozlišču (slika 1b);
5. omreženje področja, iz katerega smo odstranili trikotnike (slika 1c);
6. ponovno ovrednotenje neposrednih sosedov odstranjenega vozlišča (vozlišča v_j, v_k, v_p, v_m, v_n na sliki 1c);
7. vračanje na korak 2, dokler ni izpolnjen končni kriterij.

1.1 Ovrednotenje vozlišč

Pred postopkom poenostavljanja moramo ovrednotiti vsa vozlišča. Ovrednotenje lahko opravimo na več načinov, na primer:



Sl. 1. Poenostavljanje vozlišč
Fig. 1. Node decimation

- **Triangle decimation methods** eliminate one or more triangles. However, the approaches using this possibility have not yet been reported.

The presented algorithm combines two approaches during mesh decimation. Franc and Skala ([5] and [6]) used a hash table in a parallel environment for speeding up the search for the most suitable node to be removed. They combined node and edge removal: first, the most suitable node is selected, and then from the edges incident to that node, the shortest one is contracted. Our algorithm uses the pure node decimation proposed by Schroeder [1], introducing the hash table as the acceleration technique. The undecimation in our algorithm represents an additional feature that enables an incremental reconstruction possibility for the original mesh, which makes it very suitable for engineering applications.

1 THE DECIMATION ALGORITHM

The algorithm for triangular-mesh decimation consists of the following steps:

1. Evaluation of all the nodes according to a chosen evaluation criterion and arranging them into a hash table.
2. Selecting the most suitable node using the hash table (for example, node v_i in Fig. 1a).
3. Removing the node from the triangular mesh.
4. Removing all the triangles incident on the removed node (Fig. 1b).
5. Triangulating the area from where the triangles have been removed (see Fig. 1c).
6. Re-evaluation of the nodes incident on the removed node (nodes v_j, v_k, v_p, v_m, v_n in Fig. 1c).
7. Returning to step 2 until the termination criterion is met.

1.1 Evaluation of nodes

Before the decimation process starts, the nodes have to be evaluated. The evaluation can be done using different criteria, for example:

- Ustvarimo vektor v_{ij} , ta povezuje vozlišče v_i , ki ga želimo ovrednotiti, in njegovo sosednje vozlišče v_j (slika 2a). Zatem izračunamo kot med tem vektorjem in ravnino XY (γ_{ij}). Povprečna vrednost vseh kotov γ_{ij} , ki so določeni z vozliščem v_i , je faktor ovrednotenja ev_i tega vozlišča.
- Faktor ovrednotenja ev_i vozlišča v_i je povprečna vrednost razlik skalarnih vrednosti f_i med izbranim vozliščem v_i in njegovimi sosedi (sl. 2b).

- Vector v_{ij} connecting the examined node v_i and its neighbouring node v_j is formed (see Figure 2a). The angle between this vector and the xy plane is calculated (γ_{ij}). The average value of all angles γ_{ij} defined by node v_i is used as the evaluation value ev_i .
- The average difference of the scalar values f_i between the examined node v_i and the neighbouring nodes is used as the evaluation value ev_i (Figure 2b).

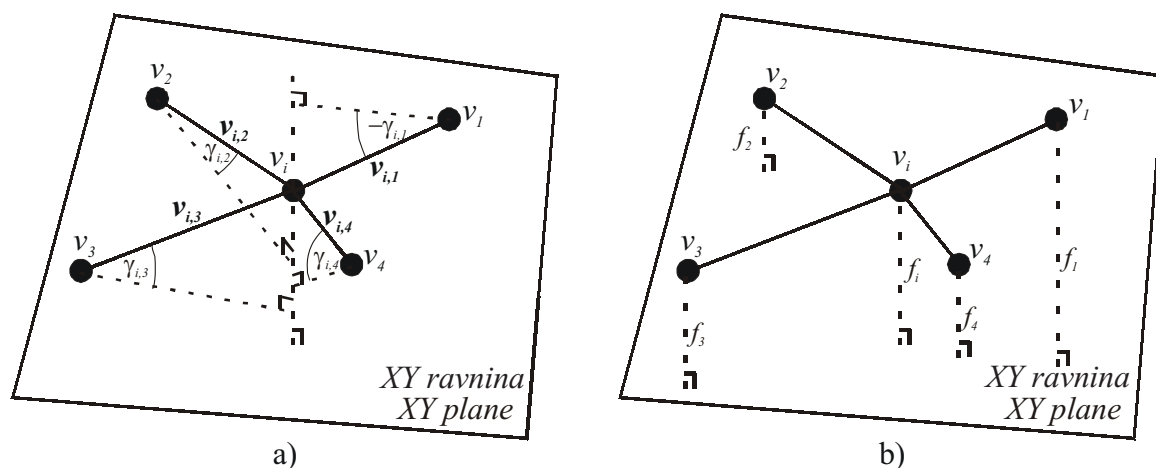
1.2 Izbira vozlišča za odstranitev

Odstranjeno vozlišče naj bi povzročilo najmanjšo napako v predstavitvi podatkov. Zaradi tega bi morali vedno odstraniti iz trikotniške mreže vozlišče z najmanjšim faktorjem ovrednotenja ev_i . Po tem opravi se faktor ovrednotenja ev_i spremeni vsem vozliščem, ki so neposredni sosedi brisanega vozlišča, zato moramo ta vozlišča ponovno ovrednotiti. V naslednjem koraku ponovno potrebujemo vozlišče z najmanjšim faktorjem ovrednotenja ev_i . Iskanje vozlišča z najmanjšim faktorjem ovrednotenja bi lahko najlažje opravili z iskanjem skozi celotno množico vozlišč. Na žalost ta metoda deluje s časovno zahtevnostjo $O(n^2)$ in zelo upočasnjuje algoritem. Druga možnost, da najprej uredimo vsa vozlišča glede na njihov faktor ovrednotenja ev_i in nato glede na spremenjene faktorje spreminjamo njihove položaje, deluje v pričakovani časovni zahtevnosti $O(n \log n)$. Z uporabo sekljalne preglednice dosežemo nespremenljivo časovno zahtevnost $O(1)$. V tem primeru moramo omejiti zahtevo po izbiri vozlišča, ki ima najmanjši faktor ovrednotenja ev_i . Sedaj ne zahtevamo več, da vedno uporabimo vozlišče z najmanjšim faktorjem ovrednotenja ev_i , ampak se zadovoljimo z vozliščem, ki ima dovolj majhen faktor ovrednotenja tako, kakor pojasnjujemo v nadaljevanju. Število vstopov m v sekljalno preglednico določimo z naslednjo heuristično formulo:

1.2 Selection of a node to be removed

The removed node should cause the smallest possible change in the data representation. Therefore, the node with the smallest evaluation value ev_i should be selected and removed from the mesh. After this, the evaluation values ev_i of the neighbouring nodes have to be estimated again. For the next iteration step, the algorithm again needs the node with the smallest ev_i . Walking through the set of remaining nodes, and selecting the one with the smallest ev_i is an easy way to perform the task. Unfortunately, this method works in $O(n^2)$ time and slows down the algorithm significantly. The second possibility is first sorting all the nodes according to ev_i and then adjusting their position in the sorted array according to the changed ev_i , which works, as expected, in $O(n \log n)$ time. The constant expected time complexity can be achieved by introducing a hash table. However, the condition of selecting the node with the smallest ev_i has to be relaxed slightly. The nodes are organised in the hash table according to their evaluation values ev_i . The number of entries m into the hash table has been determined by the following heuristic:

$$m = \left\lceil \frac{n}{k} \right\rceil \quad k > 0 \quad (1),$$



Sl. 2. Ovrednotenje vozlišč
Fig. 2. The evaluation of nodes

kjer k pomeni uporabniško podano stalnico. Ker je v večini tehničnih uporab faktor ovrednotenja ev_i porazdeljen po eksponentnem zakonu, izračunamo meje intervalov d_j , $0 \leq j \leq m$, v sekljalni preglednici z naslednjo enačbo:

$$d_j = ev_{sum} - ev_{ln} \cdot \ln(1 + \Delta ev - j \cdot ev_{\Delta m}), \quad 0 \leq j \leq m \quad (2).$$

Lego vozlišča v sekljalni preglednici izračunamo po enačbi:

$$j = \begin{cases} \left\lfloor \frac{ev_{\Delta m} \cdot \left(1 + \Delta ev - e^{((ev_{sum} - ev_i) \cdot ev_{ln})}\right)}{ev_{\Delta m}} \right\rfloor & ev_i < ev_{max} \\ m-1 & ev_i \geq ev_{max} \end{cases} \quad (3),$$

kjer so:

- ev_i : faktor ovrednotenja vozlišča i
- ev_{min} : najmanjši faktor ovrednotenja ev_i
- ev_{max} : največji faktor ovrednotenja ev_i
- m : število korakov, in

where:

- ev_i : evaluation value of node i ,
- ev_{min} : minimum value of evaluation value ev_i ,
- ev_{max} : maximum value of evaluation value ev_i ,
- m : number of intervals, and

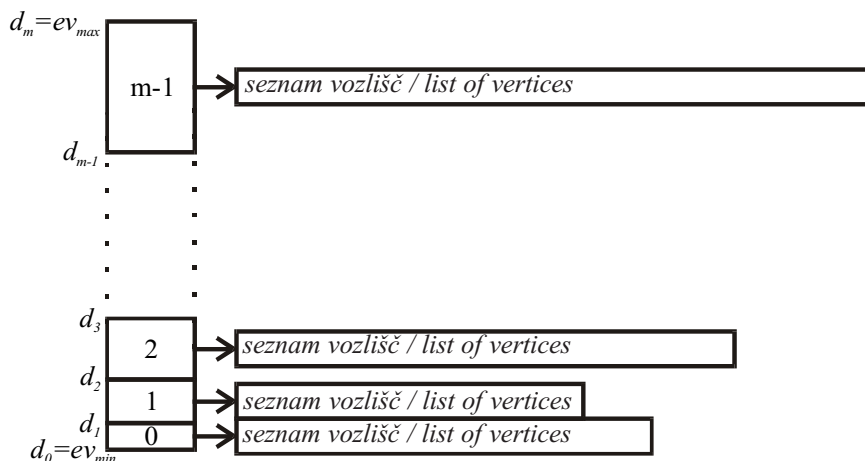
$$\begin{aligned} ev_{sum} &: (ev_{min} + ev_{max}) \\ ev_{ln} &: \frac{ev_{max}}{\ln(1 + \Delta ev)} & ev_{ln_{in}} &: \frac{\ln(1 + \Delta ev)}{ev_{max}} \\ \Delta ev &: (ev_{max} - ev_{min}) \\ ev_{\Delta m} &: \frac{\Delta ev}{m} & ev_{\Delta m_{in}} &: \frac{m}{\Delta ev} \end{aligned}$$

Slika 3 prikazuje strukturo sekljalne preglednice. Vozlišča so v vsakem koraku shranjena v vrsto FIFO.

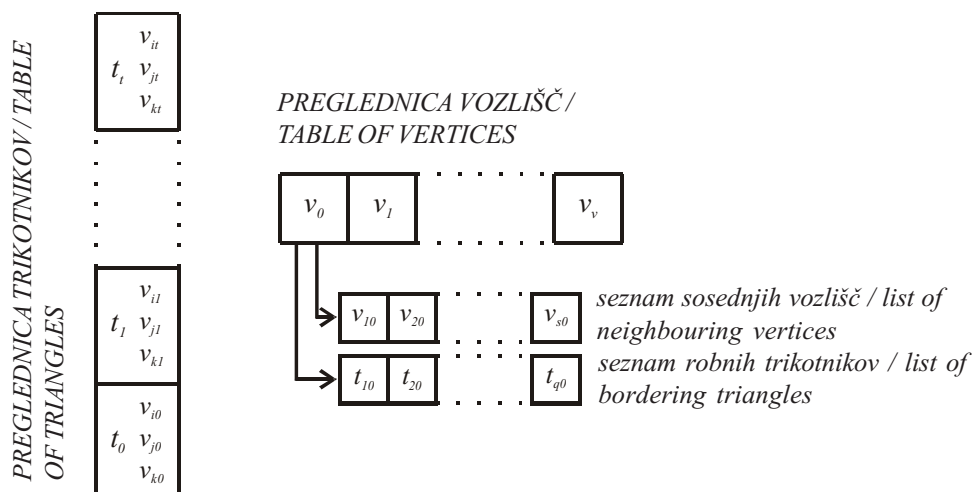
S takšno strukturo je zelo preprosto dobiti vozlišče, ki naj bo odstranjeno v naslednjem koraku. Algoritem izbere prvo vozlišče iz najnižjega polnega koraka in ga briše. Neposredne sosedje je treba ponovno ovrednotiti in potem postaviti na konec vrste FIFO ustreznega koraka. Z vstavljanjem na konec vrste preprečimo, da bi se poenostavljanje izvajalo samo krajevno. Sekljalna

Figure 3 schematically shows the structure of the hash table. The nodes at each interval are stored in a FIFO queue.

With such a structure the next node to be removed from the mesh is easily obtained. The algorithm selects the first node from the lowest non-empty interval and removes it. The neighbouring nodes of the removed node are then re-evaluated. These nodes are then inserted in the corresponding interval at the end of the FIFO queue. Inserting nodes at the end of the queue prevents the decimation process from being performed



Sl. 3. Porazdelitev vozlišč v sekljalno preglednico
Fig. 3. Distribution of nodes into the hash table



Sl. 4. Neposredni dostop do sosednjih vozlišč

Fig. 4. Direct access to neighbours' nodes

preglednica zagotavlja nespremenljivo časovno zahtevnost prvega dela algoritma. S shranjevanjem sosednjih vozlišč lahko dobimo te sosedne brez predhodnega iskanja (slika 4). Ker ima vsako vozlišče l sosednjih vozlišč in ker velja $l \ll n$, se za ponovno razporeditev sosednjih vozlišč porabi $O(l) \approx O(1)$ časa.

V primeru, da robnih vozlišč ne želimo odstraniti, jih ne vstavimo v sekljalno preglednico.

1.3 Triangulacija mnogokotnega območja

Po odstranitvi vozlišča iz trikotniške mreže se odstranijo tudi vsi trikotniki, ki se stikajo v tem vozlišču (osenčen del na sl. 1). Prazno območje moramo napolniti z novimi trikotniki. Franc in Skala [6] sta tukaj uporabila zanimivo rešitev z izbiro najkrajšega roba med brisanim vozliščem in njegovimi sosedi. Izbrani rob se skrči v sosednje vozlišče, skupaj z robovi, ki se v njegovih vozliščih stikajo. Ta eleganten postopek pa predpostavlja, da je meja področja trikotnikov, ki se stikajo v ogliščih odstranjenega roba, vedno konveksna. V praksi se na žalost izkaže, da ta predpostavka vselej ni pravilna. Zaradi tega smo raje uporabili klasični omrežilni algoritem z odstranjevanja uhljev [8].

2 OBNOVITEV TRIKOTNIŠKE MREŽE

Vračanje odstranjenih vozlišč v trikotniško mrežo v nasprotnem vrstnem redu, kakor so bila odstranjena, je zelo uporabno, saj daje uporabniku možnost določitve najugodnejšega števila odstranjenih trikotnikov. Tako lahko uporabnik po korakih rekonstruira brisana vozlišča ali pa obdela celotno množico vozlišč z različnimi kriteriji. Postopek obnavljanja lahko izvedemo zelo učinkovito s primerno podatkovno strukturo. Na začetku imamo seznam vozlišč in seznam trikotnikov. Po brisanju vozlišč iz

only locally. The hash table ensures the constant time complexity of this part of the algorithm. By storing a list of neighbouring nodes at each node of the mesh, the neighbouring nodes are accessible without any search (see Figure 4). As each node has l neighbouring nodes, in general $l \ll n$, the update of the estimation values is realised in $O(l) \approx O(1)$ time.

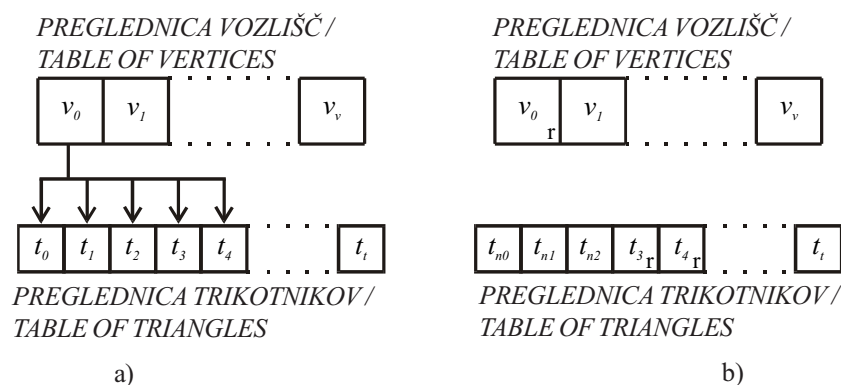
Frequently, it is desirable that the border nodes aren't included in the decimation process, this is achieved by not inserting these nodes into the hash table.

1.3 Triangulation of a polygon area

After removing a node from the mesh, all the triangles incident to it, are eliminated (shaded part in Fig. 1) and the region has to be triangulated again. Here, Franc and Skala [6] applied a solution involving a selection of the shortest edge from the removed node to their neighbours and contracted pulling all the edges defined by the removed node to the opposite node to the shortest edge. However, this elegant method works only when the obtained gap forms a convex polygon, which is, unfortunately, in practice very rare. For this reason we applied a classical polygon ear-cutting triangulation algorithm [8].

2 UNDECIMATION

Returning the removed nodes to the mesh in the reverse order of their elimination is an extremely useful feature in practice, giving the user the opportunity to experiment with the mesh. In this way, the user may return, step by step, only a few nodes instead of processing the whole set of nodes again and again, trying different termination criteria. At the beginning we have an array of nodes and an array of triangles. The position of nodes remains the same, they are just pulled-out from the mesh. The removed



Sl. 5. Stanje podatkovne strukture po brisanju vozlišča

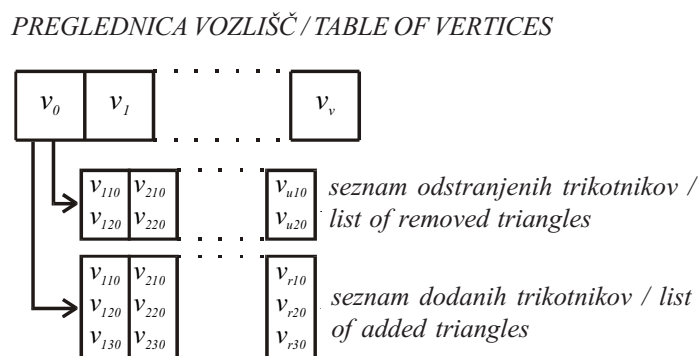
Fig. 5. The state of the data structure after removing a node

trikotniške mreže ostane njihov položaj v seznamu nespremenjen, označimo le, da so vozlišča brisana. Z brisanjem vozlišča se brišejo tudi trikotniki, ki se stikajo v tem vozlišču. Ker je vedno manj novih trikotnikov, kakor je bilo brisanih, le-ti zavzamejo njihova mesta v seznamu trikotnikov. Slika 5 prikazuje stanje podatkovne strukture po brisanju vozlišča v_0 v primeru, ki ga prikazuje slika 1.

Postopek obnavljanja potrebuje zapis o vsakem koraku izvajanja postopka poenostavljanja. Najlažja metoda bi bila, da bi shranjevali celotno topologijo vseh dobljenih trikotniških mrež, kar pa bi zahtevalo opravila z datotekami, s čimer bi zelo upočasnili celoten postopek. Z učinkovito organizacijo podatkovne strukture lahko ta postopek izvedemo z dovolj majhno količino dodatnega pomnilnika. Slika 6 prikazuje predlagano rešitev. Vsakemu brisanemu vozlišču dodamo dva seznama. Prvi seznam vsebuje indekse vozlišč odstranjenih trikotnikov. Potrebujemo le dva indeksa, saj pomeni tretje vozlišče brisano vozlišče. Drugi seznam vsebuje indekse vozlišč novih trikotnikov. Postopek rekonstruiranja je sedaj zelo preprost. Vozlišču, ki ga želimo vrniti v trikotniško mrežo, brišemo označbo, da je brisano. Trikotnike, ki so bili ustvarjeni pri brisanju vozlišča, odstranimo, trikotnike, ki smo jih prej odstranili, pa rekonstruiramo.

node is marked with a flag. When the node is removed, the triangles sharing that node are removed, too. There are always fewer new triangles and they occupy the memory locations of the old ones. Figure 5 shows the state of the data structure after removing node v_0 in the example shown in Fig. 1.

The undecimation process requires a knowledge of how the process of decimation was executed and what changes in the triangular mesh occur during each step. The easiest solution would be to store the topology of each mesh obtained, which involves a file operation and a slowing down of the whole process. However, with a proper organisation of the data, the shape of the mesh can be restored with a modest amount of additional memory. Figure 6 demonstrates the solution. Two additional one-way linked lists are introduced at each removed node. The first list stores the indices of the removed triangles containing two indices; the third one is the removed node itself. The second list stores the indices of the new triangles. The undecimation process is now a straightforward task. The node to be returned to the mesh sets up the flag indicating that it belongs to the mesh again. The triangles that have been added by the polygon triangulation process are removed, and the information about the old triangles is obtained from the list of the removed triangles.



Sl. 6. Dodatna seznama pri brisanem vozlišču

Fig. 6. The additional lists at the removed node

3 REZULTATI

V tem poglavju podajmo najprej teoretično analizo časovne in prostorske zahtevnosti metode, nato pa pokažemo primernost metode na trikotniški mreži analize MKE.

3.1 Časovna in prostorska zahtevnost

Predlagani algoritem za poenostavljanje trikotniških mrež sestoji iz naslednjih korakov:

- ovrednotenje vozlišč izvedemo v času $O(n)$, kjer n pomeni število vhodnih vozlišč;
- brisanje vozlišča v_i izvedemo v nespremenljivem času $O(1)$;
- omreženje mnogokotnika z uporabo algoritma odstranjevanja uhljev izvedemo v času $O(l_i^2)$, kjer l_i pomeni število sosednjih vozlišč brisanega vozlišča v_i . Ker velja $l_i \ll n$, lahko trdimo, da se ta korak izvede v enakem času $O(1)$ glede na n ;
- ponovno ovrednotenje sosednjih vozlišč brisanega vozlišča tudi opravimo v enakem času $O(1)$.

Če je k število vseh vozlišč, ki so bila odstranjena med postopkom poenostavljanja, potem je ocena časovne zahtevnosti:

$$T(n) = O(n) + k \cdot (O(1) + O(1) + O(1)) = O(n) + O(k) = O(n) \quad (4).$$

Enaka časovna ocena velja tudi za postopek obnovitve.

Ostala je še ocena prostorske zahtevnosti algoritma. Na začetku dodelimo n zapisov za vozlišča in $2n$ zapisov trikotnikov (vsako omreženje sestoji iz največ $2n-h-2$ trikotnikov, kjer je h število vozlišč, ki sestavljajo konveksno lupino mnogokotnika [9]). Pri vsakem brisanem vozlišču v_i potrebujemo l_i zapisov za odstranjene trikotnike in $l_i - a$, $0 < a \leq l_i$, $l_i \ll n$, zapisov za dodane trikotnike. Tako dobimo oceno prostorske zahtevnosti:

$$S(n) = O(n) + O(2n) + k \cdot O(1) = O(n) \quad (5).$$

3.2 Praktični rezultati

Algoritem smo testirali na veliko primerih trikotniških mrež s skalarnimi vrednostmi v vozliščih in s tem dobili veliko zanimivih in vzpodbudnih rezultatov o učinkovitosti algoritma. Predstavili bomo dve popolnoma različni množici testnih podatkov. Prvo množico sestavljajo ustvarjeni podatki, ki jih uporabimo za testiranje časovne učinkovitosti. Drugo množico pa predstavlja preprost trikotniški model MKE za prikaz učinkovitosti tega orodja.

3.2.1 Merjenje porabljenega časa

Za testiranje smo ustvarili podatke, pri katerih so bila vhodna vozlišča organizirana v

3 RESULTS

In this section, an analysis of the theoretical time-and-space complexity is performed first, this is followed by a presentation of the FEM analysis.

3.1 Theoretical time-and-space complexity

As we have seen, the proposed algorithm for mesh decimation consists of the following steps:

- the evaluation of the nodes is done in $O(n)$, where n is the number of input nodes,
- the removal of a node v_i is realised in constant time $O(1)$,
- the triangulation of a polygon using ear-cutting is performed in $O(l_i^2)$, where l_i is the number of neighbouring nodes of the removed node v_i . However, $l_i \ll n$, and therefore, this step can be considered as being done in constant time $O(1)$ in terms of n .
- the re-evaluation of the neighbouring nodes of the removed node is done again in constant time $O(1)$.

If k is the number of all the nodes that are removed during the decimation process, the required time complexity becomes:

The process of undecimation follows the same pattern.

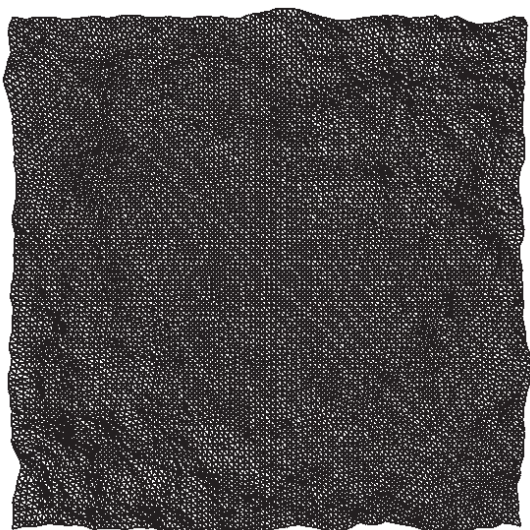
If we investigate the space complexity of the algorithm, the space for n nodes and $2n$ triangles is allocated at the beginning (it is well-known that each triangulation consists of at most $2n-h-2$ triangles, where h is the number of nodes forming the convex hull of the given set of polygons [9]). During the removal of each node v_i , l_i records about removed triangles and $l_i - a$, $0 < a \leq l_i$, $l_i \ll n$, records about added triangles are needed. In this way we obtain:

3.2 Practical results

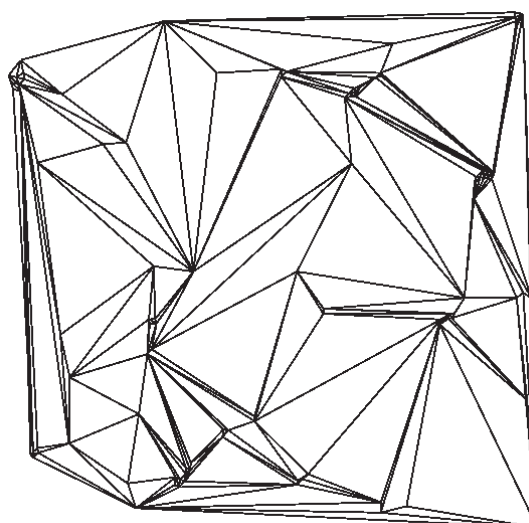
We tested the algorithm on many different sets of data consisting of meshes with scalar values at the nodes and obtained many interesting and encouraging results about algorithm efficiency. Two different testing-data sets are presented. First, an artificial data set is used for testing the time efficiency and, second, simple FEM model meshes considering the efficiency of the described tool are presented.

3.2.1 Time testing

We produced a mesh arranged as a regular grid. The example consists of 10,000 up to



Sl. 7a. Trikotniška mreža z 10.000 vozlišči
Fig. 7a. Mesh with 10,000 nodes



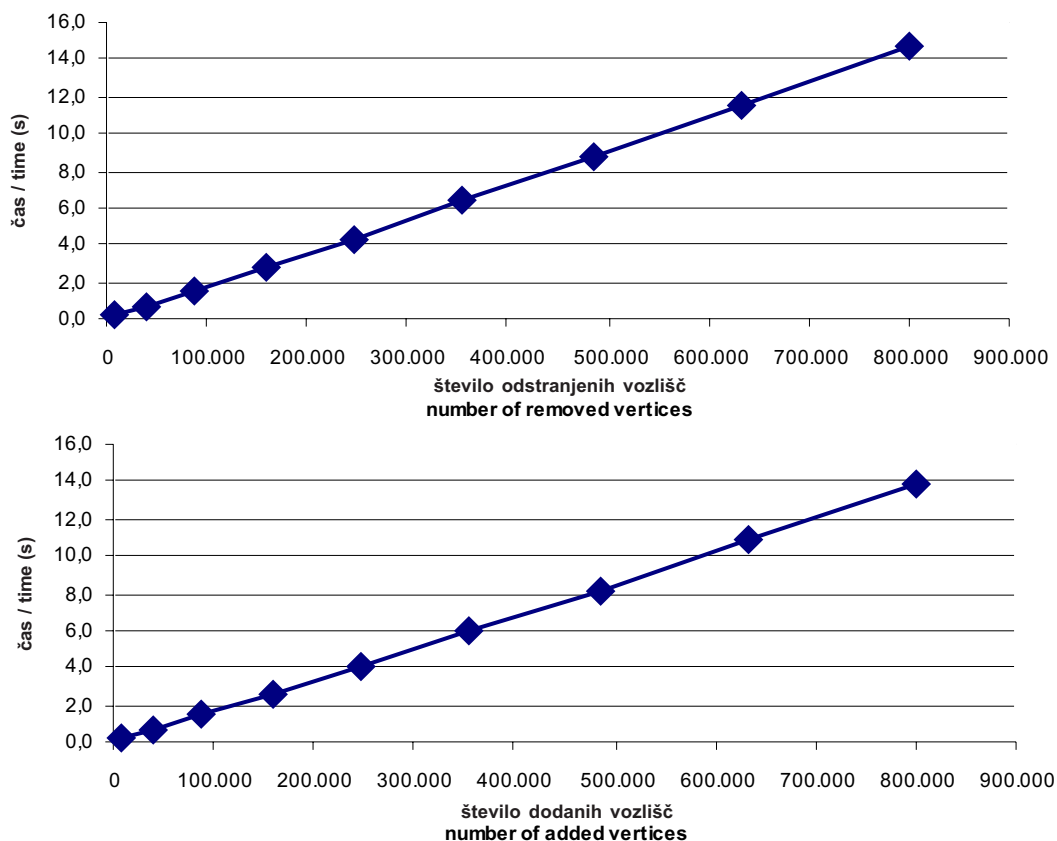
Sl. 7b. Poenostavljena trikotniška mreža s 100 vozlišči
Fig. 7b. Mesh decimation to 100 nodes

regularno mrežo. Pri procesu testiranja smo najprej poenostavili originalno trikotniško mrežo (slika 7a) z odstranitvijo 99% vozlišč (sl. 7b prikazuje dobljeno trikotniško mrežo s samo enim odstotkom vozlišč), le-to smo nato obnovili v originalno mrežo.

Preglednica 1 prikazuje porabljen procesorski čas za poenostavljanje in obnovo

1,000,000 nodes. In the testing procedure, 99% of the nodes were first eliminated from the original mesh (Figure 7a) to obtain a mesh with 1% of nodes (Figure 7b), and then reconstructed into the starting mesh.

Table 1 shows the CPU time needed for the mesh decimation and undecimation. The tests



Sl. 8. Grafa časov, potrebnih za poenostavitev (zgoraj) in obnovo (spodaj) trikotniške mreže
Fig. 8. Graphs of times needed for mesh decimation (abowe) and undecimation (below)

Preglednica 1. Časi, potrebni za poenostavljanje in obnovitev
Table 1. Times needed for mesh decimation and mesh undecimation

VHOD INPUT	št. vozlišč (x1000) no. of nodes (x1000)	10	40	90	160	250	360	490	640	810
IZHOD OUTPUT	št. vozlišč no. of nodes	100	400	900	1600	2500	3600	4900	6400	8100
	št. trikotnikov no. of triangles	188	775	1772	3167	4959	7156	9748	12742	16121
ČAS (s) TIME (s)	poenostavljanje decimation	0,140	0,651	1,583	2,774	4,357	6,340	8,742	11,526	14,681
	rekonstrukcija undecimation	0,140	0,611	1,442	2,583	4,086	5,928	8,202	10,816	13,840

trikotniških mrež. Za testiranje smo uporabili osebni računalnik s procesorjem Celeron 600 MHz in 384 MB spomina. Linearno obnašanje algoritma lahko vidimo iz grafov, ki ju prikazuje slika 8.

3.2.2 Model MKE

Za testiranje uporabnosti algoritma pri prikazu rezultatov numeričnih metod ni nujna uporaba velikih zapletenih problemov, saj so prednosti očitne že pri preprostih primerih, učinkovitost na bolj zapletenih primerih, ki pomenijo tudi večje število podatkov, pa je še večja. Za testiranje smo uporabili rezultate trdnostnega preračuna kvadratne plošče z luknjo, ki je prikazana na sliki 9, kjer so prikazani tudi robni pogoji (porazdeljena obremenitev na zgornjem robu in stalne podpore na spodnjem) in mreža elementov. Mrežo sestavlja 30458 linearnih izometričnih trikotniških elementov, ki jih določa 15559 vozlišč.

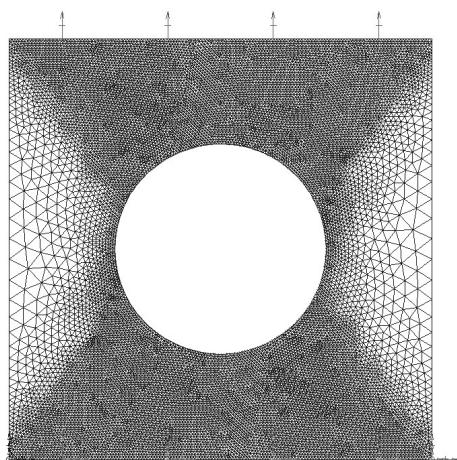
Slika 10 prikazuje rezultate v obliki porazdelitve primerjalnih napetosti, ki je prikazana s

were performed on a PC with a Celeron 600 MHz processor and 384 MB of RAM. The linear behaviour of the algorithm is clearly seen from graphs in Figure 8.

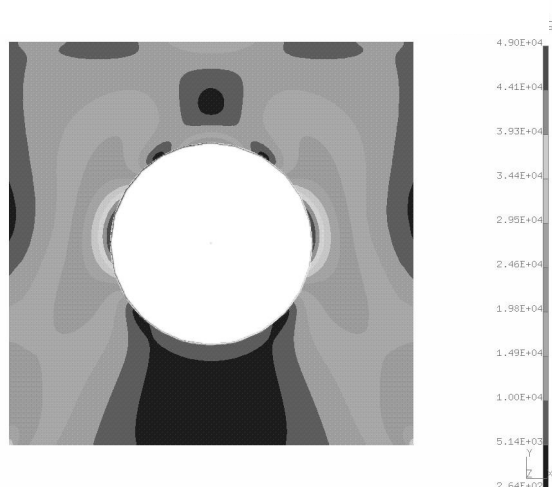
3.2.2 FEM model

For testing the algorithm on real FEM model results it is not necessary to have a large and complex problem. We will clearly show the benefits of the algorithm on a simple example, with more complex problems that have considerably more data, the effectiveness is much higher. The simple example uses a structural FEM analysis of a straight forward part, a steel plate with a centred hole. The applied boundary conditions (continuous load on the upper face and fixed nodes at the bottom) and the mesh of the linear triangular elements are presented in Figure 9. In the mesh, 30,458 linear triangular elements are determined with 15,559 nodes.

The obtained results are presented in Figure 10 with the plotting of the equivalent stress



Sl. 9. Model MKE z definirano trikotniško mrežo
ter robnimi pogoji
Fig. 9. FEM model with defined mesh and
boundary conditions



Sl. 10. Model MKE s Misesovo porazdelitvijo
napetosti
Fig. 10. FEM model equivalent stress distribution
plot

sivo senčenimi področji zaradi črno bele predstavitve. Za pripravo modela MKE in za njegovo obdelavo je bil uporabljen I-DEAS Master serije 7. Dobljeni so bili pričakovani rezultati, ki prikazujejo simetrično zgostitev napetosti na obeh straneh luknje.

Rezultati so bili izvoženi v treh datotekah ASCII, ki vsebujejo geometrijsko obliko s topologijo, vrednosti deformacij (trije pomiki in trije zasuki) in napetosti (največje in najmanjše glavne napetosti in primerjalne napetosti) v vsakem vozlišču. Datoteke so velikosti 4717 kB, 1136 kB in 1295 kB. Te datoteke smo lahko enostavno spremenili, poenostavili, rekonstruirali in prikazali. Primerjava velikosti datotek je prikazana v preglednici 2. V našem primeru se je pokazalo, da je za prikaz dovolj 25% izvirnih podatkov za sprejemljivo kakovost prikaza rezultatov. Poleg tega je v preglednici 2 prikazana tudi primerjava velikosti datotek s formatom stiskanja GEM²A, ki je rezultat lastnih raziskav [10]. V prispevku so predstavljene le slike z uporabo sivin. Bistveno boljše rezultate lahko vidimo pri uporabi barvne porazdelitve.

V preglednici 2 smo primerjali velikosti datotek med nestisnjeno obliko (ASCII), ki smo jih nato stisnili z obliko PKZIP (ZIP) in z našo obliko (GEM²A). Poleg teh oblik za stiskanje trikotniških mrež, obstajajo še drugi, ki so jih razvili različni avtorji ([11] do [13]). Ti avtorji so se osredotočili predvsem na stiskanje topologije brez geometrijskih podatkov. Izjema je algoritem Toume in Gotsmana [13], ki stiska tudi geometrijske podatke, vendar le-te z izgubami. Zaradi tega primerjave teh algoritmov z našim ni mogoča. Izvedena pa je primerjava učinkovitosti stiskanja same topologije trikotniške mreže med našim algoritmom (GEM²A) in algoritmi, ki so jih razvili De Florianijeva s sodelavci [11], Gumhold in Strasser [12] ter Touma in Gotsman [13]. Primerjavo učinkovitosti prikazuje preglednica 3. Metoda [11] ne omogoča stiskanja trikotniških mrež, ki vsebujejo luknje, zato v preglednici 3 pri teh primerih ni rezultata. Kakor vidimo, predlagana metoda v večini primerov dosega boljša zgostitvena razmerja od drugih metod.

4 SKLEP

Prispevek opisuje algoritem za poenostavljanje trikotniških mrež, ki temelji na odstranjevanju vozlišč. Za pospešitev postopka poenostavitve uporabljamo sekljalno preglednico, s čimer smo dobili linearno časovno zahtevnost celotnega postopka. Predstavili smo tudi heuristiko za vzpostavitev sekljalne preglednice ter njeno polnjenje. Algoritem omogoča tudi postopek obnovitve – postopnega vračanja odstranjenih vozlišč. Uporabnik lahko tako zelo preprosto določi, kakšen odstotek poenostavljanja zadovolji kakovost prikaza za

distribution as a grey shaded area caused by the black and white presentation. The IDEAS Master series 7 was for the FEM's model preparation pre-processing, solving and post-processing. The expected results were obtained, showing symmetrical stress concentrations on both sides of the hole.

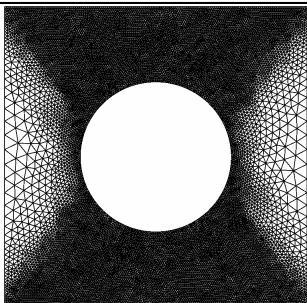
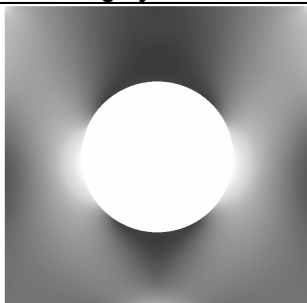
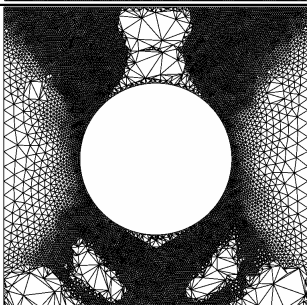
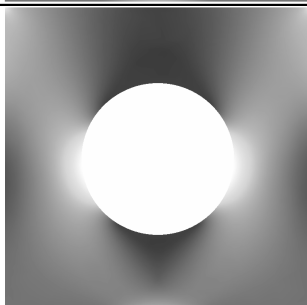
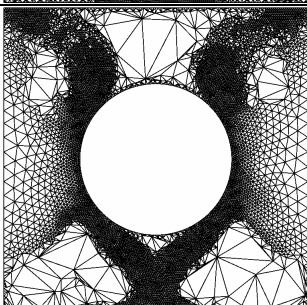
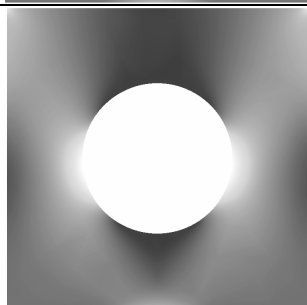
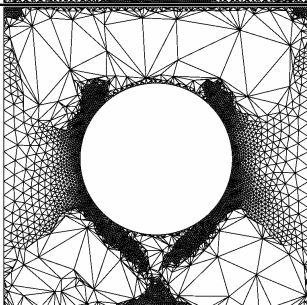
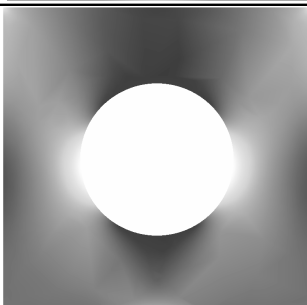
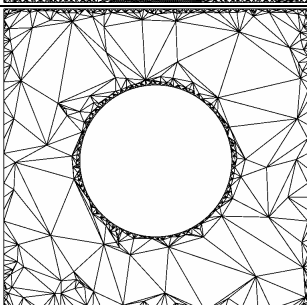
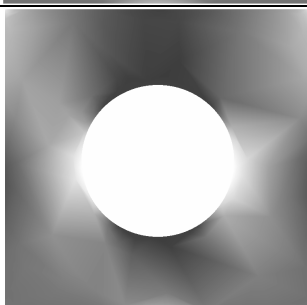
The results data were exported as three ASCII files consisting of geometry (geometry of nodes and elements topology), deformation values (3 displacements and 3 rotations) and stresses (the major and minor principal stresses and equivalent stress) in all nodes with sizes of 4717kB, 1136kB and 1295kB, respectively. These files were easily converted, decimated, undecimated and viewed. The comparison of the file size is presented in Table 2. In the mentioned example, a ratio of 25% was found to be enough for sharing high-quality results with another user. Moreover, we present in Table 2 the sizes of the GEM²A compressed format, which is a self-developed compression format [10]. It has to be stressed that only greyscale pictures are presented, coloured ones give even better results.

In Table 2, the file sizes using the original ASCII format, the compressed ASCII format (applying the well-known PKZIP (ZIP)) and our compression method (GEM²A) are compared. Clearly, there are also other methods for compressing triangular meshes. The most well known are the methods developed by De Floriani et. al [11], by Gumhold and Strasser [12], and by Touma and Gotsman [13]. However, these authors focused on the compression of the triangular mesh topology, with less attention to geometric data. The exception is the work of Touma and Gotsman [13], which also compresses geometric data, but with losses. For this reason we could not compare these algorithms entirely. Therefore, we made a comparison of the efficiency of the topology compression among the mentioned methods and our approach. The results are summarized in Table 3. The [11] algorithm cannot compress triangular meshes containing holes and therefore not all the examples could be compressed. It is obvious that our method produces the best results in the majority of cases.

4 CONCLUSION

This paper describes an algorithm based on removing nodes, performing a triangular mesh decimation and undecimation. To accelerate the decimation task, a hash table is introduced, and as consequence the selection of the next removed node is done at constant time, and the whole decimation process is solved in linear time. The heuristics for establishing the hash table and its filling are also explained. The heuristics is based on the assumption that engineering applications following the exponential law of evaluation values are treated. The algorithm also supports the process of undecimation,

Preglednica 2. Primerjava rezultatov, število trikotnikov, prikaz rezultatov in velikosti datotek
Table 2. Results of the comparison, the number of triangles, the visualisation and the file size

	Mreža Mesh	Prikazani rezultati v sivinah Visualisation results in greyscale																
100%			<table><tr><td>Vozlišča: Nodes:</td><td>15559</td><td></td></tr><tr><td>Trikotniki: Triangles:</td><td>30458</td><td></td></tr><tr><td>Velikost: Size:</td><td>ASCII</td><td>1031356 B</td></tr><tr><td></td><td>ZIP</td><td>364284 B</td></tr><tr><td></td><td>GEM'A</td><td>133435 B</td></tr></table>	Vozlišča: Nodes:	15559		Trikotniki: Triangles:	30458		Velikost: Size:	ASCII	1031356 B		ZIP	364284 B		GEM'A	133435 B
Vozlišča: Nodes:	15559																	
Trikotniki: Triangles:	30458																	
Velikost: Size:	ASCII	1031356 B																
	ZIP	364284 B																
	GEM'A	133435 B																
75%			<table><tr><td>Vozlišča: Nodes:</td><td>11670</td><td></td></tr><tr><td>Trikotniki: Triangles:</td><td>22680</td><td></td></tr><tr><td>Velikost: Size:</td><td>ASCII</td><td>754040 B</td></tr><tr><td></td><td>ZIP</td><td>273438 B</td></tr><tr><td></td><td>GEM'A</td><td>103650 B</td></tr></table>	Vozlišča: Nodes:	11670		Trikotniki: Triangles:	22680		Velikost: Size:	ASCII	754040 B		ZIP	273438 B		GEM'A	103650 B
Vozlišča: Nodes:	11670																	
Trikotniki: Triangles:	22680																	
Velikost: Size:	ASCII	754040 B																
	ZIP	273438 B																
	GEM'A	103650 B																
50%			<table><tr><td>Vozlišča: Nodes:</td><td>7781</td><td></td></tr><tr><td>Trikotniki: Triangles:</td><td>14902</td><td></td></tr><tr><td>Velikost: Size:</td><td>ASCII</td><td>490614 B</td></tr><tr><td></td><td>ZIP</td><td>180307 B</td></tr><tr><td></td><td>GEM'A</td><td>71659 B</td></tr></table>	Vozlišča: Nodes:	7781		Trikotniki: Triangles:	14902		Velikost: Size:	ASCII	490614 B		ZIP	180307 B		GEM'A	71659 B
Vozlišča: Nodes:	7781																	
Trikotniki: Triangles:	14902																	
Velikost: Size:	ASCII	490614 B																
	ZIP	180307 B																
	GEM'A	71659 B																
25%			<table><tr><td>Vozlišča: Nodes:</td><td>7781</td><td></td></tr><tr><td>Trikotniki: Triangles:</td><td>14902</td><td></td></tr><tr><td>Velikost: Size:</td><td>ASCII</td><td>490614 B</td></tr><tr><td></td><td>ZIP</td><td>180307 B</td></tr><tr><td></td><td>GEM'A</td><td>71659 B</td></tr></table>	Vozlišča: Nodes:	7781		Trikotniki: Triangles:	14902		Velikost: Size:	ASCII	490614 B		ZIP	180307 B		GEM'A	71659 B
Vozlišča: Nodes:	7781																	
Trikotniki: Triangles:	14902																	
Velikost: Size:	ASCII	490614 B																
	ZIP	180307 B																
	GEM'A	71659 B																
9,4%			<table><tr><td>Vozlišča: Nodes:</td><td>3892</td><td></td></tr><tr><td>Trikotniki: Triangles:</td><td>7124</td><td></td></tr><tr><td>Velikost: Size:</td><td>ASCII</td><td>235076 B</td></tr><tr><td></td><td>ZIP</td><td>86716 B</td></tr><tr><td></td><td>GEM'A</td><td>36035 B</td></tr></table>	Vozlišča: Nodes:	3892		Trikotniki: Triangles:	7124		Velikost: Size:	ASCII	235076 B		ZIP	86716 B		GEM'A	36035 B
Vozlišča: Nodes:	3892																	
Trikotniki: Triangles:	7124																	
Velikost: Size:	ASCII	235076 B																
	ZIP	86716 B																
	GEM'A	36035 B																

Preglednica 3. Primerjava učinkovitosti stiskanja topologije trikotniških mrež

Table 3. Comparison of the compression efficiency for the topology compression of triangular meshes

Ime Name	Vozlišča Nodes	Trikotniki Triangles	Velikost / Size [b]			
			[11]	[12]	[13]	GEM ² A
puma / puma	1204	752	/	223	499	306
motor / engine	2536	4566	/	1268	252	252
0100	10000	19602	5002	3734	30	28
maneken2 / mannequin2	11704	23402	6283	5342	667	627
napetost / tension	15559	30458	/	6658	1099	1039
koleno / knee	37888	75264	/	14527	28	26
dinozaver / dinosaur	42146	84288	22794	21240	17380	11067
ozemljilo / grounding	46625	59680	23315	16793	10274	5637
venera / venus	100759	201514	54187	46368	27733	24990

prenos prek spleta. Algoritem se je pri testiranju rezultatov MKE izkazal kot hiter, uporaben in učinkovit. Posebej bi radi poudarili lastnost poenostavljanja, ko lahko inženir hitro na oko oceni najmanjšo potrebno kakovost prikaza rezultatov za prenos drugim uporabnikom prek spleta in s tem bistveno zmanjša količino podatkov, potrebnih za prenos, obenem pa še vedno zagotavlja sprejemljivo kakovost prikaza rezultatov. Algoritem je uporaben tudi pri drugih inženirskih uporabah, ki temeljijo na velikem številu podatkov, na primer omrežen digitalni model reliefa.

i.e., gradual replacement of the nodes being removed. The engineer can easily determine a satisfactory ratio of undecimation for the quality of visualisation necessary to send it over the internet. We tested the algorithm with a few FEM results and found it to be very fast, useful and effective. We should again point out the feature of undecimation, which allows the engineer to easily visually determine the quality level of the results to be sent according to the other internet participant. Moreover, the algorithm can be applied in many engineering applications dealing with triangular meshes with even better results.

5 LITERATURA 5 REFERENCES

- [1] Schroeder, W. J., J.A. Zarge, W.E. Lorensen (1992) Decimation of triangle meshes, *Computer Graphics*, 26, 2, 65-70.
- [2] Garland, M., P.S. Heckbert (1995) Fast polygonal approximation of terrains and height fields, tehnično poročilo, <http://www.cs.cmu.edu/~garland/scape>.
- [3] Hoppe, H., T. DeRose, T. Duchamp, J. McDonald, W. Stuetzle (1993) Mesh optimization, *Computer Graphics*, 27, 19-26.
- [4] Garland, M., P.S. Heckbert (1997) Surface simplification using quadric error metrics, *SIGGRAPH Conference Proceedings*.
- [5] Franc, M., V. Skala (2001) Parallel triangular mesh decimation without sorting, *SCCG Proceedings*, Budmerice, Slovakia, 69-75.
- [6] Franc, M., V. Skala (2001) Triangular mesh decimation in parallel environment, *EUROGRAPHICS Workshop on Parallel Graphics and Visualization*, Girona, Spain, 39-52.
- [7] Lamot, M., B. Žalik (2000) A contribution to triangulation algorithms for simple polygons. *Journal of Computing and Information Technology – CIT*, 8, 4, 319-331.
- [8] ElGindy, H., H. Everett, G. Toussaint (1989) Slicing an ear in linear time, internal memorandum, *School of Computer Science, McGill University*.
- [9] de Berg M., van M. Kreveld, M. Overmars, O. Schwarzkopf (1997) Computational geometry: algorithms and applications, *Springer*.
- [10] Krivograd, S., B. Žalik (2002) An approach for compression general triangular meshes, patent no. 21203, patent announcement no. P-200200071, Ljubljana: *Slovenian Intellectual Property Office*.
- [11] De Floriani, L., P. Magillo, E. Puppo (1998) Compressing TINs, *ACM Symposium on Geographic Information Systems - ACM GIS 98*, Washington, D.C., United States, 145-150.
- [12] Gumhold, S., W. Strasser (1998) Real time compression of triangle mesh connectivity, *ACM Computer Graphics - SIGGRAPH '98*, Orlando, Florida, United States, 133-140.
- [13] Touma, C., C. Gotsman (1998) Triangle mesh compression, *Graphics Interface '98 - GI '98*, Vancouver, British Columbia, Canada, 26-34.

Naslova avtorjev: dr. Sebastian Krivograd
prof.dr. Borut Žalik
Univerza v Mariboru
Fakulteta za elektrotehniko,
računalništvo in informatiko
Smetanova 17
2000 Maribor

dr. Gorazd Hren
prof.dr. Anton Jezernik
Univerza v Mariboru
Fakulteta za strojništvo
Smetanova 17
2000 Maribor

Authors' Addresses: Dr. Sebastian Krivograd
Prof.Dr. Borut Žalik
University of Maribor
Faculty of Electrical Eng. and
Computer Science
Smetanova 17
SI-2000 Maribor, Slovenia.

Dr. Gorazd Hren
Prof.Dr. Anton Jezernik
University of Maribor
Faculty of Mechanical Eng.
Smetanova 17
SI-2000 Maribor, Slovenia

Prejeto: 2.9.2002
Received:

Sprejeto: 18.12.2003
Accepted:

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

Zasnova trosilnika za hlevski gnoj z matematičnim modelom

Conceptual Design Of A Stable-Manure Spreader Using A Mathematical Model

Rajko Bernik - Janez Benedičič - Jože Duhovnik

Prispevek opisuje zasnovo matematičnega modela za numerično analizo raztrosa organskega gnoja. Izdelana je numerična analiza raztrosa za trosenje nazaj in primerjana z raztrosom trosilnika Jeantil EP 2060 Epandor 3. Na podlagi postavljenega matematičnega modela so bili ugotovljeni optimalni parametri raztrosa, ki dajo najboljše uporabnostne karakteristike trosilnika. Matematični model je temeljil na načelu sredobežnega meta.

© 2003 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

(**Ključne besede:** trosilniki, gnoj hlevski, modeli matematični)

This paper describes a mathematical model for a numerical analysis of the distribution of organic manure. A numerical analysis of the backward distribution of solid stable manure was performed and its results were compared with the real distribution of a Jeantil EP 2060 Epandor 3 spreader. The optimal distribution parameters, which yield the best spreader operation characteristics, were determined using the mathematical model, which was based on the principle of centrifugal throw.

© 2003 Journal of Mechanical Engineering. All rights reserved.

(**Keywords:** spreaders, solid manure, mathematical models)

0UVOD

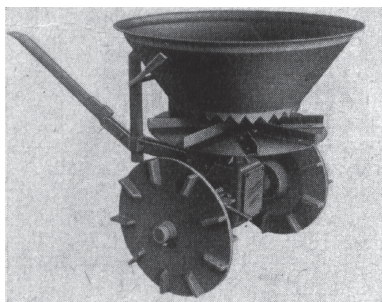
Organski gnoj in s tem hlevski gnoj je eden najboljših krmilij dobre rasti v zemlji. V drugi polovici dvajsetega stoletja so se pojavila umetna gnojila, ki so poskušala delno nadomestiti naravno gnojenje. S tem naj bi povečali količino pridelkov na hektar zemlje. Količine gnojil in pridelkov so se zelo povečale, vendar se je s tem porušilo tudi ravnovesje v naravi. Pridelki so bili umetno prisiljeni k rasti. Tako se jim je zmanjšala tudi kakovost. Zemlja je vedno bolj onesnažena, zato se uveljavlja zopet naravno kmetovanje, kar pomeni, da lahko rast spodbujamo samo z naravno pridobljenimi gnojili (kompost, hlevski gnoj). Gnojenje z organskim gnojem bo postalo tako vse bolj pomembno.

Hlevski gnoj je eno od najugodnejših krmilij dobre rasti v zemlji. Ker pa je trosenje s hlevskim gnojem težaško opravilo (sl. 1b), so prve trosilnike hlevskega gnoja izdelali v prvi polovici devetnajstega stoletja. Ti trosilniki so bili vlečeni s konji, pogon so dobivali prek vozniških koles. Trosilniki so bili izdelani tako, da so opravljali svojo funkcijo zadovoljivo ob najmanjši potrebni moči. Pri trosilnikih hlevskega gnoja je pomembno to, da delo opravijo hitreje in bolje, kakor ga lahko opravimo ročno (sl. 1a). Glede na to trosilnik z dovolj veliko

0 INTRODUCTION

Organic manure, for example stable manure, is one of the best regulators of good growth in soil. In the second half of the twentieth century, artificial fertilizers were developed and their purpose was to serve as partial substitutes for natural fertilization. The intention was to increase the amount of produce per hectare of land. The amount of fertilizers used and the yields have increased considerably since then, but at the same time the natural balance in nature has been disrupted. When plants are artificially forced to grow, their quality decreases. All over the world, the soil is becoming more and more polluted, so that natural agricultural methods involving only the use of naturally produced fertilizers (compost, stable manure) for stimulating plant growth are again on the increase. Fertilization with organic manure is thus becoming increasingly important.

Stable manure is one of the best regulators of plant growth in soil. However, since the distribution of stable manure is hard work (Figure 1b), the first stable-manure spreaders were made as early as the first half of the nineteenth century. They were horse-drawn and driven via wheels, and performed their function satisfactorily, requiring minimal power. For any solid-manure spreader, it is most important that the work is performed quicker and better than can be accomplished manually (Fig. 1a). With a sufficiently high rotating



(a)



(b)

Sl. 1. Trosenje gnoja v preteklosti: (a) - s pomočjo vlečne sile, (b) - ročno

Fig. 1. Manure distribution in the past: (a) - the spreading of manure using power, (b) - the manual spreading of manure

vrtilno frekvenco trosilnih valjev bolj enakomerno raztrosi gnoj po površini, kakor bi bilo to mogoče opraviti ročno.

frequency of the distribution rollers, manure spreaders can distribute manure over the fertilized surface more uniformly than can be achieved manually.

1 TROSILNI MATERIAL

Pri trosenju organskega gnoja so pomembne fizikalne lastnosti gnoja [2]. Predvsem so pomembne mehanske lastnosti, ker raztros gnoja poteka po načelu sredobežnega meta. Med pomembnejše lastnosti spadajo:

- Masa in gostota.

Odvisni sta od vrste gnoja in suhe snovi v gnoju, ki pa sta v naslednji povezavi. Čim večji je delež suhe snovi v gnoju, tem manjšo gostoto ima. Različne vrste gnoja imajo različne vrednosti gostote. Tako se gostota hlevskega gnoja (gnoj goveje živine) giblje med 700 kg/m^3 in celo do 1000 kg/m^3 (Preglednica 1).

- Koeficient trenja, ki spada med statično-dinamične fizikalne lastnosti

Odvisen je od mase, podlage in sestave gnoja (suha snov-voda). Na sliki 2 je prikazana odvisnost koeficienta trenja od gostote gnoja. Tako ima bolj vlažen gnoj (večja gostota) manjši koeficient trenja od bolj suhega. Koeficient trenja, ki ga navaja literatura [2] in [3], je med 0,7 in 1,3 (Pregl. 1), vendar navaja tudi možnost manjših vrednosti. Točne vrednosti koeficienta trenja določene vrste gnoja bi lahko dobili edinole s poskusnimi meritvami.

1 MATERIAL

The physical properties of organic manure are very important for its distribution [2]. It is primarily the mechanical properties that are relevant, because the distribution of manure is performed according to the principles of centrifugal throw. Other important properties include:

- The mass and the density.

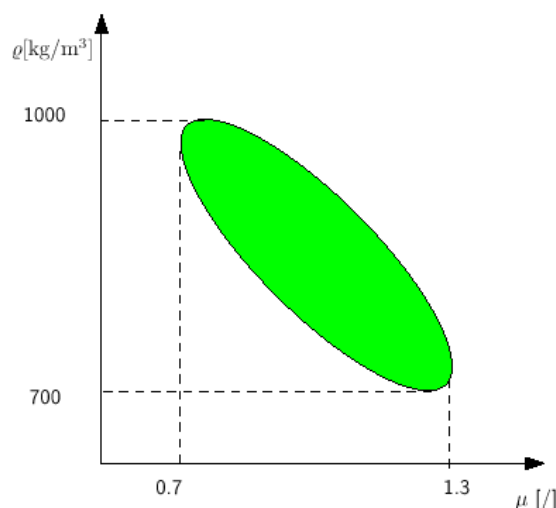
These depend on the type of manure and its dry-matter content. They are related as follows: the greater the dry-matter content of the manure, the lower its density. Different types of manure have different density values. The density of stable (cattle) manure thus ranges between 700 kg/m^3 and 1000 kg/m^3 (Table 1).

- The coefficient of friction, which belongs to the static-dynamic physical properties.

This coefficient depends on the mass of the manure, the surface on which it slides, and its composition (dry matter vs. water). Figure 2 shows the variation of the coefficient of friction with the density of the manure. More moist manures (greater density) thus have a lower coefficient of friction than drier types of manure. The coefficient of friction stated in the literature [2] and [3] ranges between 0.7 and 1.3 (Table 1), but the possibility of lower values is also mentioned. The exact value of the coefficient of friction for a particular type of manure can be obtained only by experimental measurements.

Preglednica 1. Splošne fizikalne lastnosti gnoja
Table 1. General physical properties of manure

Koef. trenja gnoj/jeklo Coefficient of friction manure/steel	Gostota Density kg/m^3
-	
0,7 – 1,3	700 – 1000



Sl. 2. Diagram raztrosa koeficienta trenja
Fig. 2 Diagram of the scatter of the coefficient of friction

Širok raztros podatkov (sl. 2) je za zasnovo matematičnega modela in primerjave z raztrosom trosilnika Jeantil EP 2060 Epandor 3 neuporaben, zato je bil izveden poskus za pridobitev podatkov, ki so bili izmerjeni v razmerah pri trosenju gnoja. Podlaga, na kateri smo merili koeficient trenja in oprijemanja, je bila hrapava pobarvana pločevina. Tako smo se želeli čim bolj približati dejanskemu stanju pri trosenju. Izmerili smo koeficient trenja v gibanju in koeficient trenja v mirovanju – oprijemanja. Izvedli smo po sedem meritev za vsak koeficient in izračunali povprečje:

Vlažen gnoj: koeficient trenja $\mu_t = 0,52$
koeficient oprijemanja $\mu_p = 0,56$
Suh gnoj: koeficient trenja $\mu_t = 0,67$
koeficient oprijemanja $\mu_p = 0,77$

Analiza rezultatov je pokazala, da se koeficient trenja poveča pri gnoju z večjim deležem suhe snovi v njem. Podobne rezultate navaja tudi literatura [2], [3] in [9]. Koeficient oprijemanja pa je v povprečju za 10% večji kakor koeficient trenja pri gibanju.

2 ANALIZA RAZTROSOSA

Organski gnoj je nehomogen material, za katerega je izredno težko napovedati, v katero smer in do kam bo delec gnoja letel, ko zapusti trosilno napravo [9]. Njegove fizikalne lastnosti so odvisne od številnih vplivov (vrsta gnoja, delež vode, homogenost itn.), vendar fizikalno načelo raztrosa ostaja navkljub vsem vplivom in pogojem trosenja enako.

Zaradi širokega razpona spremenljivih fizikalnih parametrov gnoja je težko konstruirati trosilno napravo, ker pred preizkusom naprave ne vemo, kakšna bo slika trosenja. Slika trosenja namreč pove enakomernost porazdelitve gnoja

Wide data scatter (Fig. 2) would be useless for designing a mathematical model and its comparison with the scatter of the Jeantil EP 2060 Epandor 3 manure spreader. For this reason, a data-acquisition experiment was performed first. The parameters were measured under the conditions generally present during manure distribution. The surface on which the static and dynamic coefficients of friction were measured was rough, painted sheet metal. This was selected in order to obtain the best possible approximation to the real conditions of manure distribution. The coefficients of friction were measured during movement and at rest. For each of the two types of coefficients, seven measurements were performed and the averages were calculated:

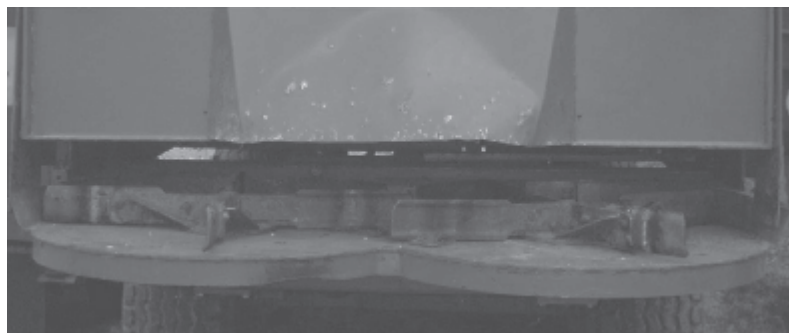
Moist manure: dynamic coefficient of friction $\mu_t = 0.52$
static coefficient of friction $\mu_p = 0.56$
Dry manure: dynamic coefficient of friction $\mu_t = 0.67$
static coefficient of friction $\mu_p = 0.77$

The analysis of the results showed that the coefficient of friction is greater for manures with higher dry-matter contents. Similar results are also reported in the literature [2], [3], and [9]. The static coefficient of friction is 10% higher, on average, than the dynamic coefficient of friction.

2 ANALYSIS OF THE MANURE DISTRIBUTION

Organic manure is a nonhomogeneous material for which it is extremely difficult to predict the direction and range of motion of its pieces once they leave the spreader [9]. The physical properties of organic manure depend on many influences (type of manure, its water content and homogeneity, etc.), but the physical principle of manure distribution remains the same in spite of all the variable influences and conditions.

Because of the wide range of the variable physical parameters of manure, the designing of a spreading device is difficult. This is because the manure-distribution histogram is not known until the device is tested in the field. This histogram shows the uniformity of manure



Sl. 3. Trosilna naprava – trosenje nazaj
Fig. 3. Manure spreader – backwards distribution

prečno in vzdolžno na smer trosenja [9]. Namen zasnovne matematičnega modela za numerično analizo raztrosa je, da s pomočjo predhodne numerične analize raztrosa organskega gnoja po načelu sredobežnega meta [12] izboljšamo zasnovno in detajle konstrukcije trosilne naprave, ki jo snujemo. Na pravilnost numerične analize najodločilneje vpliva matematični model potovanja delcev gnoja in predpostavljeni robni pogoji.

2.1 Matematični model

Matematični model je treba izbrati zelo previdno, saj je pravilnost izračunov neposredno odvisna od njegove izbire. Ker se analiza gradi po načelu sredobežnega meta [12], smo morali uporabiti tehnično načelo rotorja, ki pospeši delček gnoja. Ker še ni poznanega matematičnega modela za izračun meta gnoja, izberemo takšnega, da rezultate lahko primerjamo z izmerjenim raztrosom pri sedanjih napravah. Za primerjavo smo izbrali dobro znano trosilno napravo za trosenje nazaj (sl. 3):

– Jeantil EP 2060 Epandor 3 (široko trosilna naprava - trosenje nazaj)

Zanjo je značilno, da je narejena iz dveh rotorjev. Njuna hitrost zagotavlja, da delci gnoja odletijo iz rotorja. Rotor je zgrajen iz mirujoče plošče, po kateri drsijo lopatice. Te so osrednje vpete na gred, ta pa je povezana prek mehanskega prenosa s kardansko gredjo traktorja. Oba rotorja imata enako vrtilno frekvenco in se vrtita navzven. Geometrijska oblika rotorjev in tehnično načelo delovanja sta popolnoma poznana, prav tako njun položaj glede na gnojeno površino.

Matematični model (sl. 4) temelji na načelu sredobežnega meta [12]. Program, ki je izvajal numerični izračun, je bil izdelan v programskem jeziku C [11]. Za osnovo numeričnega izračuna vzamemo delec organskega gnoja, ki prileti naključno na rotor, na katerem dobi velikost hitrosti in smer

distribution transversely and longitudinally to the direction of spreader movement [9]. The purpose of designing a mathematical model for the numerical analysis of manure distribution is to improve the conceptual design and the structural details of the designed manure-spreading device using a prior numerical analysis of the organic manure distribution according to the principle of centrifugal throw [12]. The accuracy of the numerical analysis is most crucially affected by the mathematical model of manure-piece trajectories and the assumed boundary conditions.

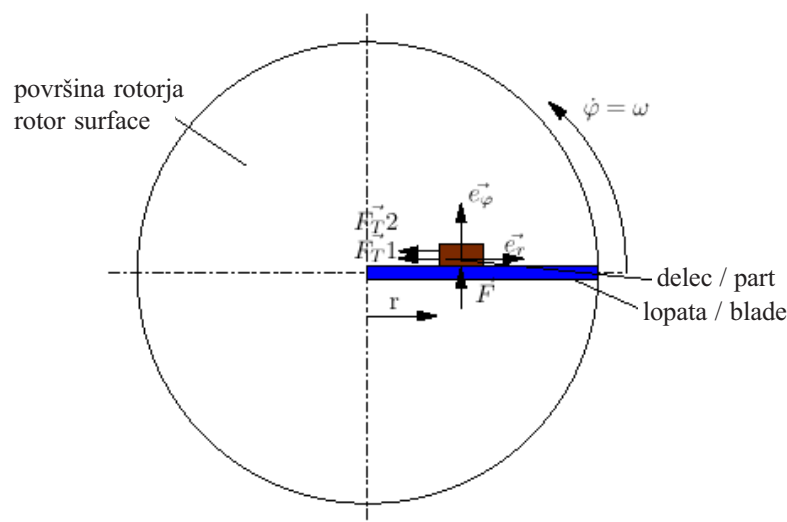
2.1 Mathematical model

The mathematical model needs to be selected very carefully, as the accuracy of the calculations directly depends on it. Since the analysis is based on the principle of centrifugal throw [12], the engineering principle of manure-piece acceleration by a rotor had to be used. Since no mathematical model is known as yet for the calculation of manure trajectories, we selected one that enabled a comparison with the measured real manure distribution for an existing spreader. The following well-known manure spreader for backward distribution was chosen for the comparison (Fig. 3):

– Jeantil EP 2060 Epandor 3 (manure spreader with a wide swath range and backward manure distribution)

This spreader is characterized by two rotors. Their speed is set so as to guarantee that manure pieces will leave the rotor. The rotor consists of a stationary plate, along which the blades slide. The blades are centrally attached to a shaft, which is connected via a mechanical transmission to the tractor's power take-off shaft. Both rotors have the same rotating frequency and rotate outwards. The rotors' geometry and the engineering principle of their operation is known, and so is their position with respect to the fertilized surface.

The mathematical model (Fig. 4) is based on the principle of centrifugal throw [12]. The program for performing the numerical calculations was produced in the C programming language [11]. As the basis for the numerical calculation, we took a piece of organic manure that randomly lands on the rotor and is accelerated by it to a velocity that is a vector defined by its magnitude



Sl. 4. Matematični model za trosenje nazaj

Fig. 4. Mathematical model for backward manure distribution

(vektor). Kot rezultat je podan histogram porazdelitve delcev gnoja v prečni smeri glede na trosilno napravo. Stopnje v postopku numeričnega izračuna, ki jim more matematični model zadostiti, so naslednje:

– Dovajanje delca na rotor

Delce je treba naključno dovajati na rotor, saj postopek odmetovanja poteka povsem naključno. Tako predvidimo, da drobilni valji naključno in enakomerno dovajajo delce gnoja na površino rotorja. Površina rotorja, ki je obenem plošča pod lopaticami, je okrogle oblike (odvisna je od vrtenja lopat) in miruje. Dovajanje delcev na površino je določala naključnostna funkcija. Program je nato izračunal lego delca glede na os vrtenja (kot in polmer).

– Potovanje delca po rotorju

Delec je na površini rotorja "čakal" lopato. Lopata je potovala od kota 0° do 720° . Ko je lopata prispela v lego delca, se je ta pričel gibati izsredno (posledica sredobežne sile) in obodno (prisilno gibanje zaradi gibanja lopate) [12]. Upoštevali smo delovanje sile trenja (koeficient trenja je bil poprej izmerjen s preizkusom) na delec zaradi drsenja ob lopatici in ob podlagi. V gibalni diferencialni enačbi (1) in (2) za trosenje nazaj ni bilo treba upoštevati mase delca gnoja, tako je gibanje delca po rotorju neodvisno od njegove mase. Mase delca ni bilo treba upoštevati, ker smo obravnavali, da delec potuje v brezračnem prostoru in pri tem ni zračnega upora na delec.

and direction. The results are presented in the form of a histogram of manure-piece distribution transversely to the manure spreader. The stages of the procedure for the numerical calculation, which must be taken into account in the mathematical model, are as follows:

– Feeding of manure pieces to the rotor

Manure pieces should be delivered to the rotor at random, as the process of manure distribution needs to be entirely random. It is thus planned that the crushing rollers will deliver manure pieces to the rotor's surface in a random and uniform manner. The rotor's surface, which is at the same time also the plate beneath the blades, is round in shape (because of the blade rotation) and stationary. The randomness of feeding manure pieces to the surface is ensured by using the random function. The program then calculates the manure piece's position with respect to the axis of rotation (angle and radius).

– Movement of manure pieces along the rotor

Each manure piece "waits" for the blade on the rotor's surface. The blade travels from 0° to 720° . Once the blade reaches the position of the manure piece, the piece begins moving radially (as a result of the centrifugal force) and tangentially (forced movement because of the blade movement) [12]. The mathematical model takes into account the force of friction (the coefficient of friction was measured beforehand with an experiment) onto the manure piece because of its sliding along the blade and along the surface. In the motion differential equations (1) and (2) for backward manure distribution, it is not necessary to take into account the manure piece's mass, so that its movement along the rotor is independent of its mass. The mass can be discounted, because it is assumed that the manure piece travels in an airless space and therefore there is no influence of air resistance on the piece.

$$\vec{e}_r : -F_{T1} - F_{T2} = m \cdot \vec{a}_r = m \cdot (\ddot{r} - r \cdot \dot{\varphi}^2) \quad (1)$$

$$\bar{e}_\varphi : F = m \cdot \bar{a}_\varphi = m \cdot (r \cdot \ddot{\varphi} + 2 \cdot \dot{r} \cdot \dot{\varphi}) \quad (2).$$

Gibalna enačba [12] je sestavljena iz dveh delov. Prvi del (1) opisuje gibanje delca v izsredni smeri ($\bar{e}_r$), drugi del (2) pa v obodni smeri ($\bar{e}_\varphi$). Na delec v izsredni smeri deluje sila trenja med delcem in lopato (F_{T1}) in sila trenja med delcem in površino rotorja (F_{T2}), ki zavirata delec, ter sredobežna sila ($m \cdot a_r$), ki delec pospešuje navzven. V obodni smeri deluje na delec sil F in sila zaradi obodnega pospeševanja delca ($m \cdot a_\varphi$). Sila F je reakcija trenja med podlago in delcem zaradi krožnega gibanja delca. Rotor ima stalno kotno hitrost (ω).

The motion equation [12] consists of two parts. The first part (Eq. 1) describes the movement of a manure piece in the radial direction ($\bar{e}_r$), and the second part (Eq. 2) describes its movement in the tangential direction ($\bar{e}_\varphi$). In the radial direction the piece is acted upon by the force of friction between the piece and the blade (F_{T1}) and the force of friction between the piece and the rotor surface (F_{T2}), which both decelerate the piece, as well as the centrifugal force ($m \cdot a_r$), which provides for outward acceleration of the piece. In the tangential direction the piece is acted upon by force F and a force resulting from the tangential acceleration of the piece $m \cdot a_\varphi$. Force F results from the friction between the piece and the surface on which it slides because of the piece's circular movement. The rotor has a constant angular velocity (ω).

– Potovanje delca od rotorja do gnojene površine

Ko delec zapusti rotor, ima določeno hitrost in smer [12]. Model rotorja je narejen tako, da delec lahko zapusti rotor samo na določenem področju. To področje imenujemo kot izstopa. Njegovo potovanje do gnojene površine računamo po fizikalnem načelu za poševni met v prostoru. Pri računanju potovanja delca ((3) in (4)), ko delec zapusti rotor, moramo poznati oddaljenost rotorja od tal (h) (položaj rotorja glede na gnojeno površino), mesto na robu rotorja (r, ω), kjer delec zapusti rotor in hitrost delca (v_x). Dolžino dometa izračunamo tako, da določimo čas (t_p), v katerem bo delec padel na tla. Nato čas množimo s hitrostjo (v_x), ki jo ima v prečni smeri delec in tako dobimo domet (L_x).

– Movement of the manure pieces from the rotor to the surface to be fertilized

Once the manure piece leaves the rotor, it has a certain velocity and direction [12]. The rotor's model is made in such a way that the piece can leave the rotor only from a certain area, which is called the exiting-area angle. The manure piece's trajectory towards the fertilized surface is calculated according to the physical principle of spatial centrifugal throw. For the calculation of manure-piece travel (Equations 3 and 4) once it leaves the rotor, one needs to know the rotor's distance from the ground (h) (i.e., its position with respect to the fertilized surface), the point on the rotor's edge (r, ω) where the piece leaves the rotor, and the piece's velocity (v_x). The piece's range is calculated by determining the time (t_p) it will take to reach the ground. This time is then multiplied by the piece's transverse velocity (v_x) in order to obtain the range, i.e., length (L_x).

$$t_p = \sqrt{\frac{2 \cdot h}{g}} \quad (3)$$

$$L_x = t_p \cdot v_x \quad (4).$$

2.2 Robni pogoji

Pravilnost rezultatov je odvisna od robnih pogojev, ki jih upoštevamo. Že manjša sprememba enega od robnih pogojev lahko bistveno spremeni rezultate, ki jih dobimo. Na dolžino dometa vpliva več dejavnikov:

– Področje dovajanja in izstopanja delcev gnoja iz rotorja.

Za dobro značilnico - sliko trosenja je izredno pomembno, kje bo delec priletel na rotor in kje bo delec zapustil rotor. Področje dovajanja je omejeno in je na površini rotorja.

2.2 Boundary conditions

The accuracy of the results depends on the boundary conditions that are used. Even a small change in one of the boundary conditions can result in a significant change in the obtained results. The range of motion of the manure pieces is affected by several factors:

– Manure delivery and exiting areas on the rotor

For a good manure-distribution diagram, the areas where the piece will land on the rotor and from where it will leave the rotor are extremely important. The landing area is limited and is located on the rotor's surface.

– Koeficient trenja in zračni upor

V izračunu in postavitvi matematičnega modela smo upoštevali koeficient trenja (μ), ne pa koeficienta zračnega upora. Velikost koeficienta trenja smo izbrali glede na rezultate poskusnih meritev, ki smo jih poprej izvedli. Koeficient zračnega upora ima večji vpliv na delce z večjo hitrostjo (v) in daljšim časom potovanja delca (t_p) od rotorja do gnojene površine.

– Hitrosti

Načelo sredobežnega meta je odvisno od hitrosti (v), ki jo delec gnoja prejme na rotorju. Velikost hitrosti je odvisna od vrtilne frekvence rotorja (n) in od premera (d) rotorja.

– Položaj rotorja

Oddaljenost rotorja oziroma osi rotorja od tal (h) vpliva na velikost dometa.

3 REZULTATI NUMERIČNE ANALIZE

Rezultate numerične analize bomo prikazali v obliki histograma prečnega raztrosa. Histogram vzdolžnega raztrosa je neuporaben kot rezultat numerične analize, saj pri definiranju robnih pogojev ne moremo oceniti števila delcev gnoja na enoto potovanja trosilnika. Histogram prečnega raztrosa pokaže dejansko kakovost trosilnika. Naša želja je, da je raztros v prečni smeri čim bolj enakomeren. Slika 5 prikazuje iz ptičje perspektive položaj delcev

– Coefficient of friction and air resistance

In the calculations and the setting up of the mathematical model, the coefficient of friction (μ) was taken into account, but not the coefficient of air resistance. The magnitude of the coefficient of friction was selected with respect to the results of experimental measurements, which were performed in advance. The coefficient of air resistance exerts a greater influence on pieces which have a higher velocity (v) and a longer time of travel (t_p) from the rotor to the fertilized surface.

– Velocity

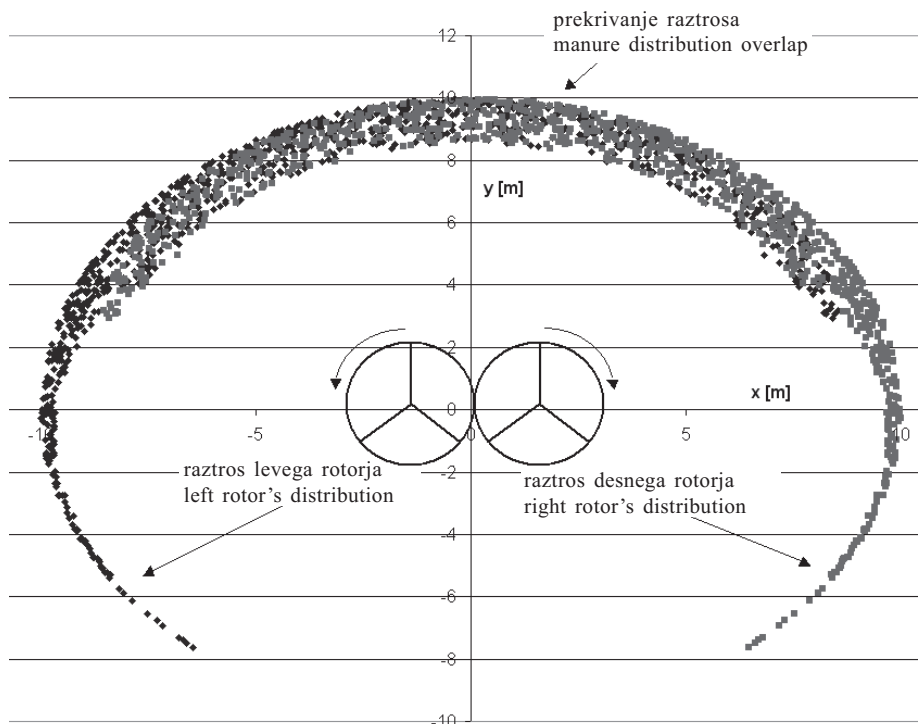
The principle of centrifugal throw depends on the velocity (v) to which a manure piece is accelerated on/by the rotor. The magnitude of this velocity depends on the rotor's rpm value (n) and its diameter (d).

– Rotor position

The distance of the rotor or rotor axis from the ground (h) also affects the manure piece's range of motion.

3 RESULTS OF THE NUMERICAL ANALYSIS

The results of the numerical analysis are presented in the form of a histogram of transverse manure distribution. The histogram of longitudinal distribution is useless as a result of the numerical analysis, because the number of manure pieces per unit of distance covered by the spreader cannot be estimated when defining the boundary conditions. The histogram of transverse distribution shows the spreader's actual quality. The aim is to maximize the uniformity of the transverse distribution. Figure 5 shows a bird's eye



Sl. 5. Rezultati analize raztrosa široke trosilne naprave (ptičja perspektiva)

Fig. 5. Results of manure distribution analysis for a manure spreader with a wide swath (bird's eye perspective)

organskega gnoja na gnojni površini glede na položaj rotorjev. Ta slika o sami kakovosti raztrosa ne pove nič, obvesti pa nas o področju na gnojni površini, ki ga pokrivajo delci iz posameznega rotorja.

Rezultate analize trosenja smo primerjali z rezultati meritev trosilne naprave podjetja Jeantil EP 2060 Eparator 3 [8]. Za pravilnost postavitve matematičnega modela smo upoštevali predvsem širino trosenja.

Kakor smo že omenili, prikazuje slika 4 rezultat numerične analize raztrosa delcev organskega gnoja iz ptičje perspektive. Svetlejšje točke, so delci gnoja, ki priletijo iz desnega rotorja, temnejše, pa delci gnoja, ki priletijo iz levega rotorja. Rotorja se vrtita na mestu in navzven, kar je tudi prikazano na sliki 5. S slike je razvidno, da bomo s prekritjem delcev iz levega in desnega rotorja poskusili doseči najprimernejšo površino, na kateri bo raztros gnoja enakomeren.

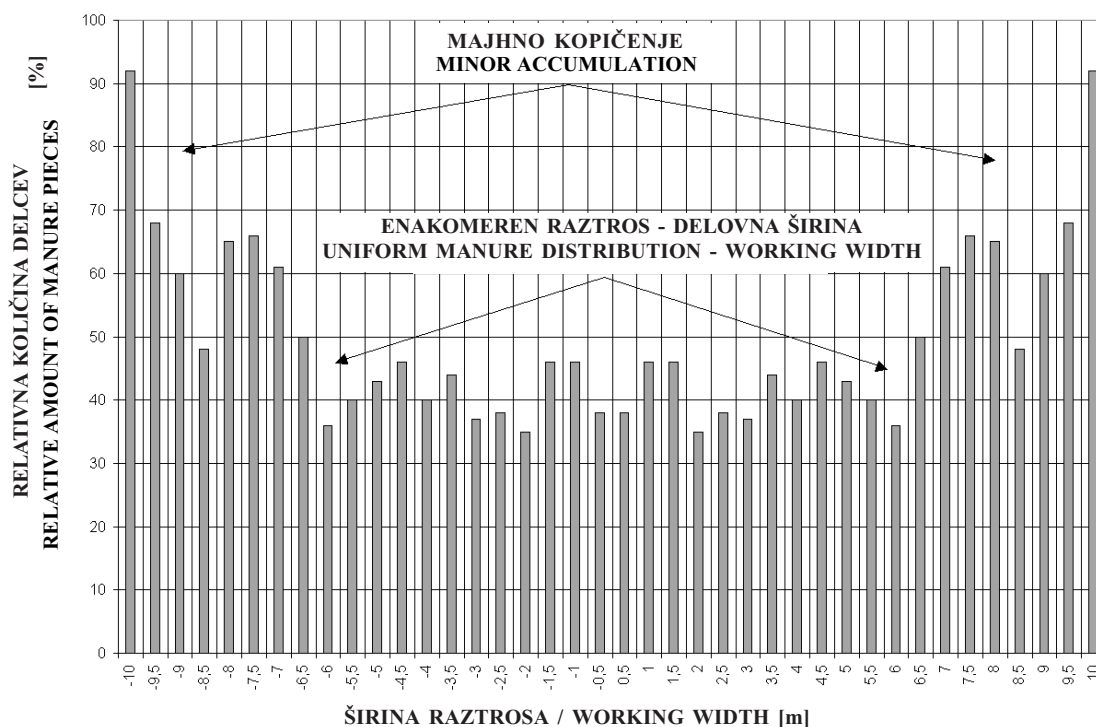
Najprej moramo potrditi matematični model in robne pogoje, ki smo jih predpostavili. Slika 6 je histogram prečnega raztrosa numerične analize, na podlagi katerega bomo potrdili naše predpostavke v primerjavi z izmerjenim histogramom prečnega raztrosa trosilnika Jeantil EP 2060 Eparator 3 (sl. 7). V našem primeru smo opazovali le širino trosenja in odstopanja od enakomerne porazdelitve delcev gnoja v histogramu prečne porazdelitve. Na sliki 5 vidimo, da je enakomerna porazdelitev zagotovljena na širini 12 m. Na dejanskem primeru (sl. 7) je to na

view of the position of organic manure pieces on the fertilized surface with respect to the rotor position. This figure tells us nothing about the quality of the distribution, but it does provide information on the area of the fertilized surface covered by manure pieces coming from an individual rotor.

The results of the manure distribution analysis are compared with the results of measurements performed on the Jeantil EP 2060 Eparator 3 manure spreader [8]. The swath width is primarily used in verifying the mathematical model.

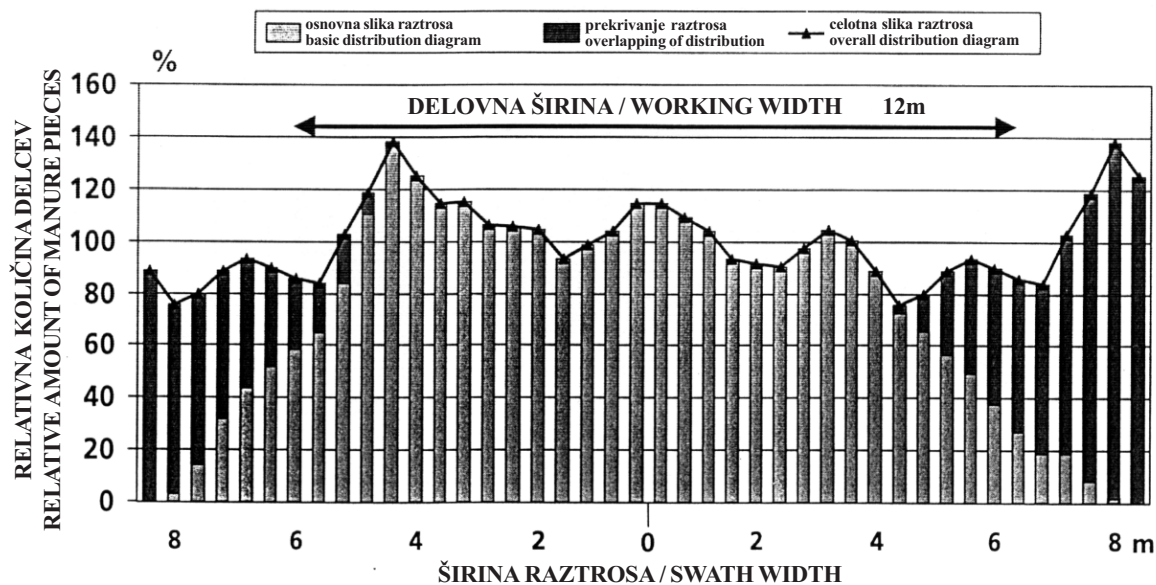
As was already mentioned above, Figure 5 presents the results of the numerical analysis of the organic manure-piece distribution from the bird's eye perspective. The lighter points represent manure pieces coming from the right rotor, while the darker ones represent those coming from the left one. The rotors rotate both in place and outwards, as shown in Figure 5. It can be seen in this figure that we have tried to achieve an optimal area of uniform manure distribution by overlapping the left and right rotor swaths.

Firstly, the mathematical model and the assumed boundary conditions need to be verified. Figure 6 is a histogram of the transverse distribution obtained by a numerical analysis, on the basis of which our assumptions will be confirmed via a comparison with the measured histogram of the transverse distribution of the Jeantil EP 2060 Eparator 3 manure spreader (Fig. 7). In our case, only the swath width and the deviations from a uniform distribution of manure pieces in the transverse distribution's histogram are observed. Figure 5 shows that in this case a uniform distribution is ensured over a width of 12 m. For the real case (Fig. 7), this width is 10 m. There is a difference in the



Sl. 6. Histogram numerične analize raztrosa (trosenje nazaj)

Fig. 6. Histogram of the numerical analysis of manure spreading (backwards distribution)



Sl. 7. Histogram meritve prečne porazdelitve trosilnika Jeantil EP 2060 Epandor 3 [8] (trosenje nazaj)
Fig. 7. Histogram of the measurements of transverse manure distribution for the Jeantil EP 2060 Epandor 3 manure spreader [8] (backwards distribution)

širini 10 m. Razliko opazimo v največji širini raztrosa in v količini na robu. Pri numerični analizi so vrednosti na robovih večje od sredinske enakomerne porazdelitve, pri dejanskem primeru se količina delcev zmanjšuje. To razliko lahko razložimo s tem, da v matematičnem modelu nismo upoštevali zračnega upora. Vemo, da se zaradi vpliva zračnega upora hitrost delcu spreminja s kvadratom, kar za naš primer pomeni, da se delcu hitrost zmanjšuje. Če se hitrost zmanjšuje z oddaljevanjem delca od trosilne naprave, pomeni, da se največji domet delca zmanjšuje. Tako dobimo več delcev v območju enakomernega raztrosa, manj pa ob robovih (sl. 7). Ta trditev spodbija rezultate naše numerične analize, vendar moramo vedeti, da nismo upoštevali vpliva zračnega upora (sl. 6). Zaradi zračnega upora se domet delcev zmanjša, kar pa pomeni, da se povečana količina na robovih (sl. 6) zmanjša in porazdeli v področje enakomernega dometa. Zmanjša se tudi največja širina dometa. To pomeni, da širina raztrosa analize ustreza dejanskemu primeru, ker je v dejanskem primeru (sl. 7) za 25% manjša, kakor pri izračunu (sl. 6).

4 UGOTOVITVE IN SKLEP

Ugotovitve:

- Koefficient trenja ima na dolžino dometa zelo majhen vpliv.
- Trenje na enakomernost raztrosa nima vpliva.
- Masa na enakomernost in dolžino dometa nima vpliva, ker se v gibalni enačbi krajša. Ne upoštevamo zračnega upora.

maximum swath width and the amount of manure on its edge. In the numerical analysis the amount of manure on the edge exceeds that found within the central portion with a uniform distribution, while in the real case this amount decreases towards the edge. This difference can be explained by the fact that air resistance was not taken into account in the mathematical model. It is known that because of the influence of air resistance the velocity of a manure piece varies as a square, which in our case means that the piece's velocity decreases. If the velocity decreases with the manure piece's distance from the spreader, this means that the piece's maximum range is decreasing. In this way, more pieces are obtained in the area with a uniform distribution and fewer ones along the edges (Fig. 7). This assertion is contrary to the results of our numerical analysis; however, it should be remembered that in our analysis the influence of air resistance was ignored (Fig. 6). Because of the influence of air resistance, the range of motion of manure pieces decreases, and this in turn means that the increased amount of the manure on the edges (Fig. 6) is actually reduced and distributed to the area with a uniform range. The maximum range width is also reduced, which means that the swath width obtained by the analysis corresponds to the real case, because in the real case (Fig. 7) it is 25% smaller than the calculations have shown (Fig. 6).

4 FINDINGS AND CONCLUSION

Findings:

- The coefficient of friction has a very small influence on the range of motion of manure pieces;
- Friction has no influence on the uniformity of manure distribution;
- Mass has no influence on the uniformity and range, because it is cancelled out in the motion

- Odločilni vpliv na enakomernost raztrosa ima področje, na katerega dovajamo gnoj in področje, v katerem delci gnoja lahko zapustijo rotor.
- Največji domet je odvisen predvsem od obodne hitrosti rotorja.
- Zračni upor mnogo bolj vpliva na porazdelitev delcev na robovih (zunaj področja enakomernega raztrosa), kakor v področju enakomernega raztrosa.

V osnovi je mogoče potrditi nastavljeni matematični model, saj smo izračunali širino raztrosa za 25% večjo kakor ga ima dejanski primer, kar pa pomeni, da bi se z upoštevanjem zračnega upora naši rezultati gibali v področju širine raztrosa dejanskega primera. Področje enakomernega raztrosa se v dokajšnji meri pokriva s področjem enakomernega raztrosa dejanskega primera, kar pomeni, da so bile predpostavke matematičnega modela pravilne in prav tako tudi predvideni robni pogoji.

Opravljeni izračuni in nastavljeni matematični model je lahko osnova za sodoben način k celovitega konstruiranja ([1] in [10]) trosilnih naprav, saj bi s predhodno numerično analizo lahko deloma usmerili konstrukterja že v prvi fazi snovanja k iskanju takšnih rešitev ([4] do [6]), ki bi zagotavljali boljše kakovost raztrosa in s tem večjo učinkovitost trosilne naprave.

- equation. The air resistance was ignored;
- The area to which manure is delivered and the area from which the pieces can leave the rotor both have a crucial effect on the uniformity of the distribution;
- The maximum range of manure pieces depends primarily on the rotor's tangential velocity;
- The air resistance has a much greater effect on the manure-piece distribution along the edges (outside of the area of uniform distribution) than in the area of uniform distribution.

The produced mathematical model can therefore be considered essentially verified: the swath width was calculated to be 25% greater than for the real case, which means that if air resistance was taken into account, our results would range within the swath width for the real case. The area of uniform distribution corresponds quite well to the area of uniform distribution for the real case, which means that the assumptions of our mathematical model were correct and so were the selected boundary conditions.

The performed calculations and the produced mathematical model can serve as the basis for modern approaches to the global design ([1] and [10]) of manure spreaders, as prior numerical analysis can be used to partially direct the design engineer towards solutions that ensure a better quality of manure distribution and thus greater efficacy of the manure spreader during the initial phase of design ([4] to [6]).

5 LITERATURA 5 REFERENCES

- [1] VDI2221.
- [2] Bernik, R. (1996) Tabele lastnosti kmetijskih pridelkov in materialov. Oddelek za agronomijo, *Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani*, 1. izdaja.
- [3] Dohler, H., B. Biskupek (1993) Umweltverträgliche Verwertung von Festmist. *Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V.(KTBL)*, Bartningstrasse 49, Darmstadt, 1. izdaja.
- [4] Duhovnik, J., J. Benedičič, R. Bernik (2001) Distributor kosmičev organskega gnoja na rotorju : patentna prijava št. P-200100277. Ljubljana: *Urad RS za intelektualno lastnino*, 25.10.2001. 1 listina, ilustr.
- [5] Duhovnik, J., J. Benedičič, R. Bernik (2001) Dovajalnik in odmetovalnik kosmičev organskega gnoja : patentna prijava št. P-200100279. Ljubljana: *Urad RS za intelektualno lastnino*, 25.10.2001. 1 listina, ilustr.
- [6] Duhovnik, J., J. Benedičič, R. Bernik (2001) Večnamenska trosilna naprava: patentna prijava št. P-200100278. Ljubljana: *Urad RS za intelektualno lastnino*, 25.10.2001. 1 listina, ilustr.
- [7] Frick, R. (2001) Streusysteme im Vergleich. *Landtechnik, UFA-Revue* 10/01.
- [8] Frick, R., J. Heusser, and M. Schick (2001) Ausbringtechnik Abfalldünger und Laufstallmist. *FAT Berichte* Nr.560.
- [9] Redelberger, H. and E. Kuyhlmann (1989) Festmistausbringung in der Praxis. *Hessisches Landesamt für Ernährung, Landwirtschaft und Landentwicklung*, Kölnische Strasse.
- [10] Žavbi, R. (1998) Razvoj izdelka s povezavo funkcije in delovnih principov, doktorsko delo. *Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo*.
- [11] Kernighan, B.W. and Ritchie, D.M. (1990) Programski jezik C. *Fakulteta za elektrotehniko in računalništvo, Univerza v Ljubljani*, 2. izdaja.
- [12] Kuhelj, A. (1993) Kinematika in dinamika. *Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo*, 2. izdaja.

Naslova avtorjev: doc.dr. Rajko Bernik
Biotehniška fakulteta
Oddelek za agronomijo
Univerza v Ljubljani
Jamnikarjeva 101
1000 Ljubljana
rajko.bernik@bf.uni-lj.si

Janez Benedičič
prof.dr. Jože Duhovnik
Fakulteta za strojništvo
Laboratorij za računalniško
podprto konstruiranje LECAD
Univerza v Ljubljani
Aškerčeva 6
1000 Ljubljana
joze.duhovnik@lecad.fs.uni-lj.si

Authors' Addresses: Doc.Dr. Rajko Bernik
Faculty of Biotechnology
Department of Agronomy
University of Ljubljana
Jamnikarjeva 101
1000 Ljubljana, Slovenia
rajko.bernik@bf.uni-lj.si

Janez Benedičič
Prof. Dr. Jože Duhovnik
Faculty of Mechanical Eng.
Laboratory of Computer-
Aided Design LECAD
University of Ljubljana
Aškerčeva 6
1000 Ljubljana, Slovenia
joze.duhovnik@lecad.fs.uni-lj.si

Prejeto: 11.3.2003
Received:

Sprejeto: 18.12.2003
Accepted:

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

Okoljski nadzorni sistem - Model vrednotenja zakritih zavetij

An Environmental Control System - Assessment Model for Camouflaged Shelters

J. Howard Arthur - J. Taylor Beard - Robert J. Ribando - Ashok Patil
- Nicholas P. Johnston

Kot osnova modela za okoljsko vrednotenje prenosnih zavetij je bil razvit matematični algoritem. Model vrednotenja lahko uporabimo za načrtovanje ogrevalne in hladilne opreme ter za oceno prehodnih toplotnih odzivov zavetij v časovno neustaljenih razmerah okolice. Model se razlikuje od klasičnih modelov KGH (klimatizacija, gretje in hlajenje) v prehodnih odzivih, ki jih lahko vključimo v analizo zavetja. Za javno in poslovno uporabo so trenutno dostopni modeli, s katerimi določimo spremembe prehodnih obremenitev in rabo energije na podlagi določene računske notranje temperature. Z računalniškimi programi, kakršen je npr. TRNSYS, lahko določimo prehodne pogoje v notranjosti, vendar zato potrebujemo natančne vstopne podatke, ki za značilna zavetja običajno niso na voljo. Z novim modelom okoljskega vrednotenja zavetij lahko določimo notranjo temperaturo v odvisnosti od razmer v okolici, delovanja sistemov KGH in notranjih virov.

V algoritmih je za stene zavetja, opremo in notranji zrak uporabljen večvozliščni model, saj se elementi med seboj razlikujejo po svoji toplotni vsebnosti. V model je vključen zastor, obravnavan kot toplotni ščit, z zanemarljivo zmožnostjo shranjevanja energije. Zato izračunamo temperature sevalne zaščitne mreže za vsak časovni korak iz iterativnih energijskih bilanc pri nespremenljivih razmerah. Neznane temperature za vsakega od elementov z zmožnostjo hranjenja energije izračunamo za vsako točko v času z uporabo koračne funkcije, upoštevajoč temperaturo sevalnega ščita. Model je zasnovan tako, da prilagodi toplotne dobitke opreme in osebja ter delovne značilnosti sistemov KGH vremenskim razmeram za določen kraj ali običajnim zunanjim razmeram.

© 2003 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

(**Ključne besede:** okolje, sistemi nadzorni, algoritmi matematični, zavetja, modeli vrednotenja)

Mathematical algorithms have been developed as the foundation of an environmental assessment model for mobile shelters. The assessment model can be used for sizing the heating and cooling equipment and for evaluating the transient thermal responses of shelters under specified initial heat-up and cool-down conditions. This model differs from standard HVAC load models in the form of the transient responses that can be predicted for the shelter. Currently available commercial and public-domain HVAC models predict transient-load variations and energy usage based upon a fixed inside design temperature. Computer codes such as TRNSYS can predict transient indoor conditions, but require detailed input, which is usually not available for the typical shelter. The new, shelter environmental assessment model has the ability to predict inside temperature as a function of variations in environment condition, HVAC equipment performance, and inside load conditions.

The algorithms use a multi-node lumped-capacity model for the shelter walls, the equipment and the air inside the shelter, since each of these elements has an energy-storage capacity. The model includes provisions for modeling camouflage netting as a thermal radiation shield having a negligible energy-storage capacity. Therefore, radiation-shield temperatures are computed from iterative, steady-state energy balances for each time step. The unknown temperatures for the elements with heat capacity are calculated at each point in time using a "marching" solution combined with the radiation-shield temperatures. The model is designed to accommodate the energy gains from equipment and personnel, and HVAC equipment operational features, with weather data for a specific location or from standard outdoor environmental conditions.

© 2003 Journal of Mechanical Engineering. All rights reserved.

(**Keywords:** environmental control systems, mathematical algorithms, shelters, assessment models)

0 UVOD

Zavetja in šotore uporabljamo za različna podnebja po vsem svetu, na primer za vojaško uporabo kot vojaške postojanke, bolnišnice, latrine, kuhinje, računalniške centre, spalne prostore in kopalnice. Taka zavetja so zelo različna, od platnenih do sestavljenih stenskih profilov z aluminijastimi ploščami na zunanji in papirnato satasto izolacijo na notranji strani. Simulacijske modele lahko uporabimo za določanje toplotnih in hladilnih moči za različna zavetja in šotore, razvite za različne vremenske razmere. Dobljene rezultate lahko uporabimo pri določanju zmogljivosti opreme za nadzor okolja glede na kraj postavitve.

Učinkovito ogrevanje in hlajenje notranjosti zavetij (vzdrževanje temperature in vlažnosti) je postalo nujno za učinkovito delo osebja in opreme. Na primer, komunikacijska oprema deluje v okolju z omejenim spreminjanjem temperatur in vlažnosti. S tem se izognemo nepravilnemu delovanju ali poškodbam na napravah. Posledice premalo zmogljive nadzorne enote notranjega okolja (NENO) bi bile nezdravo in nestorilno delovno okolje in odpoved delovanja opreme. Predimenzionirana NENO pa bi za svoje delovanje potrebovala prevelik generator in bi pomenila veliko oskrbno breme.

1 PODLAGA

V osemdesetih letih prejšnjega stoletja je podjetje BDM International, Inc. izdelalo model izračuna sestave zavetja (MISZ - SAM) [1] za določanje zmogljivosti okoljske nadzorne opreme za prenosna zavetja vojske ZDA. Odvisnost poveljevanja od elektronske opreme se močno povečuje. Zato so po letu 1980 razvili nove oblike zavetij (velikost, snovi in namen uporabe). Metode za določanje toplotnih in hladilnih moči, ki jih priporoča Ameriško združenje inženirjev s področja gretja, hlajenja in prezračevanja ASHRAE, so se v zadnjih dvajsetih letih močno izboljšale. Nekatera predvidevanja prvotnega modela MISZ so postala vprašljiva in neskladna s sedanjimi priporočili ASHRAE [2].

Novi model vrednotenja okoljskega nadzornega sistema smo razvili za izračun ogrevalnih in hladilnih moči ter za napovedovanje prehodnih toplotnih pojavov pri klimatizaciji opreme v zavetjih in šotorih [3]. Napovedi modela temeljijo na upoštevanju občutene toplote in predpostavki, da so vplivi vlaženja in sušenja zanemarljivi.

V prispevku so prikazane razširitve modela, ki so bile narejene za simulacije zavetij z zakrivno mrežo. Zakrivni sistemi so modelirani kot sevalni ščiti.

0 INTRODUCTION

Shelters and tents are deployed in diverse climates all over the world. Examples include military applications such as command posts, hospitals, latrines, kitchens, computer centers, sleeping quarters, and showers. The construction of these shelters varies from canvas to composite wall sections with external aluminum sheets and internal paper honeycomb insulation. Simulation models can be used for determining the heating and cooling loads for different shelters and tents deployed under various environmental conditions. These results can be used in sizing site-specific environmental control equipment.

Effective heating and cooling for internal shelter environments (temperature and humidity) has become essential for optimum personnel and equipment performance. For example, communications equipment must be maintained within a certain temperature and humidity range in order to avoid damage during startup and operation. An undersized environmental control unit (ECU) could result in unhealthy conditions and equipment failure. An oversized ECU will require an excessively large generator, and will impose a logistics burden.

1 BACKGROUND

In the 1980s BDM International, Inc., produced a Shelter System Assessment Model (SAM) [1] to size environmental control equipment for portable shelters for the U.S. Army. The dependence on electronic equipment in command-and-control shelters has increased substantially, and the types of shelters (size, materials and uses) have also changed since 1980. The recommended ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers) methods for determining heating and cooling loads have improved considerably during the past twenty years. Some of the assumptions for the original SAM model are questionable and inconsistent with current ASHRAE recommendations [2].

A new environmental control assessment model has been under development for computing the heating and cooling loads and for predicting the transient thermal performance of air-conditioning equipment in shelters and tents [3]. Model predictions are based on sensible heat considerations under the assumption of negligible humidification and dehumidification influences.

This paper reports the model enhancement made for simulating shelters deployed with camouflage netting. Camouflage systems are modeled as radiation shields.

2 RAČUNSKI MODEL

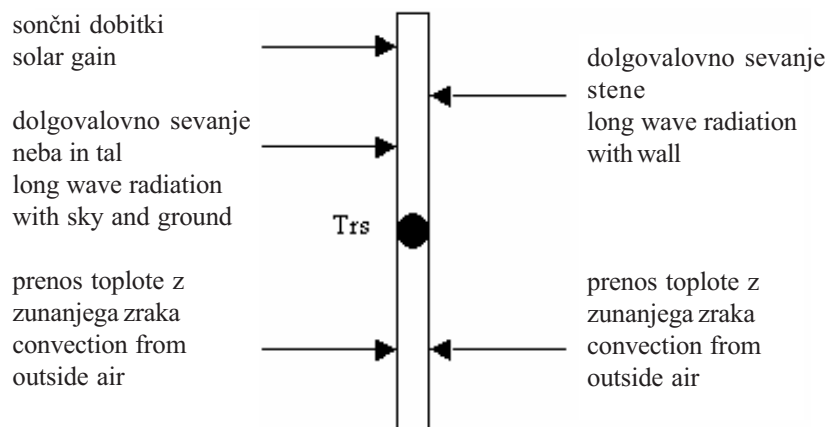
Stene zavetja so pogosto narejene iz sataste izolacijske strukture med dvema aluminijastima ploščama. Prehod toplote v stenah zavetja ovrednotimo z večvozliščnim modelom. Predpostavimo, da se toplota shranjuje v aluminijastem sloju stene, ki ne predstavlja upora prevodu toplote in da je celoten upor prevodu toplote posledica vgrajene toplotne izolacije, v kateri se toplota ne shranjuje. Predpostavimo tudi, da ima zakrivna mreža (sevalna zaščita) zanemarljivo zmožnost hranjenja toplote. Zato obravnavamo prehod toplote v sevalnem ščitu kot stacionarni problem. Celotni model obravnava zaprt prostor s štirimi stenami, streho, podom in ustrezno zaščito pred sončnim sevanjem.

Kakor je prikazano na sliki 1 sledi, da je absorbirano sončno sevanje enako konvektivnemu toplotnemu toku med okolico in notranjo ter zunanjo površino ščita, dolgovalovnemu sevalnemu toplotnemu toku med ščitom in steno zavetja in dolgovalovnemu sevalnemu toplotnemu toku med ščitom in nebom oz. okolico. Temu ustreza energijska bilanca:

$$0 = Q_{solar} + 2h_0 A(T_a - T_{rs}) + \frac{\sigma A (T_{wo}^4 - T_{rs}^4)}{\frac{1}{\epsilon_{rs}} + \frac{1}{\epsilon_{wo}} - 1} + \epsilon_{rs} \sigma A(T_{rs}^4 - F_{ss} T_{sky}^4 - F_{sg} T_g^4) \quad (1).$$

Energijska bilanca v vozlišču zunanje stene upošteva, da je sprememba notranje energije tega elementa enaka razliki toplotnih tokov, v izbranem časovnem koraku. Kakor je prikazano na sliki 2, na spremembo notranje energije zunanjega vozlišča stene vpliva konvektivni prenos toplote na zunanji zrak in dolgovalovni sevalni tok, ki ga stena izmenjuje s ščitom ter prevod toplote med notranjim in zunanjim vozliščem. Ta energijska bilanca je:

$$(\rho c V)_{wo} \frac{\Delta T_{wo}}{\Delta \tau} = h_0 A(T_a - T_{wo}) + \frac{kA}{L}(T_{wi} - T_{wo}) + \frac{\sigma A(T_{rs}^4 - T_{wo}^4)}{\frac{1}{\epsilon_{rs}} + \frac{1}{\epsilon_{wo}} - 1} \quad (2).$$



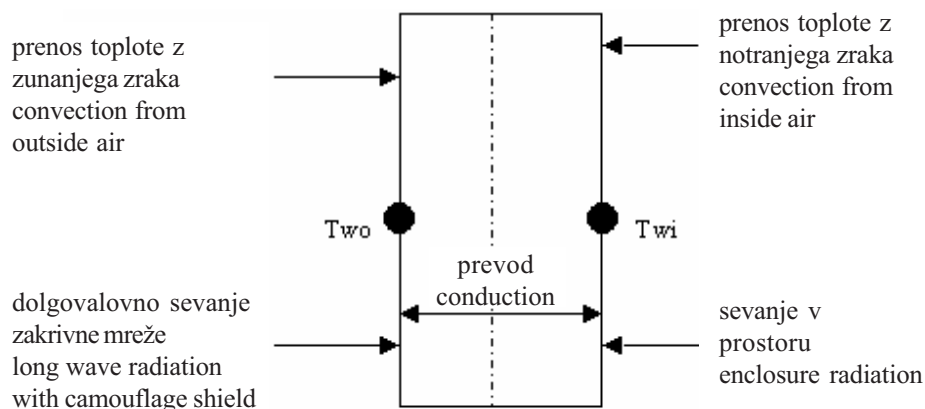
Sl. 1. Energijska bilanca vozlišča sevalne zaščite (zakrivne mreže)
Fig. 1. Energy balance for the radiation shield (camouflage netting)

2 NUMERICAL MODEL

The shelter walls are often constructed of a honeycomb insulation structure between two aluminum plates. These walls are modeled using a multi-node lumped-capacity model. The assumption is that all energy storage is in the wall skin (aluminum), which offers no internal resistance to energy flow, and that the insulation offers resistance to energy flow without any energy storage. The camouflage netting (radiation shield) is assumed to have negligible heat capacity. Therefore, the radiation shield is modeled using a steady-state energy balance. The full model provides for an enclosure with four wall surfaces, a roof, a floor and corresponding solar radiation shields.

As illustrated in Figure 1, the steady-state energy balance on a radiation-shield node requires that the absorbed solar energy must be equal to the convection with the outside air on each side of the shield, the long-wavelength radiant exchange with the wall, and the long-wavelength radiant exchange with the sky and the ground. The corresponding energy-balance equation is given as:

An energy balance on the outside-wall node requires that the change in the internal energy of the node must be equal to the net energy into the node at any instant in time. As illustrated in Figure 2, the net energy into the outside-wall node consists of the convection with the outside air, the conduction from the inside-wall node, and the long-wavelength radiant exchange with the radiation shield (camouflage net). This energy balance is:



Sl. 2. Energijska bilanca zunanjske in notranjske stene zavetja

Fig. 2. Energy balance for the shelter wall

Enačbo, ki povezuje vozlišče na notranji strani stene, vozlišče opreme v zavetju in vozlišče notranjega zraka so razvili Arthur et al. [3]. Energijsko bilanco za vozlišče na notranji strani zidu lahko zapišemo s spremembo temperature vozlišča v časovnem koraku. Na spremembo notranje energije vpliva prevod toplote v steni ter konvektivni in sevalni prestop toplote z notranje površine stene na zrak in opremo v prostoru. Ta enačba je podana kot:

$$(\rho c V)_{wi} \frac{\Delta T_{wi}}{\Delta \tau} = h_i A (T_i - T_{wi}) + \frac{kA}{L} (T_{wo} - T_{wi}) + h_r A (T_{fs} - T_{wi}) \quad (3).$$

Model sevanja v prostoru, ki smo ga uporabili za določitev sevalne izmenjave na notranjih površinah, temelji na delu Waltona [4], kot je navedeno v delu Spitler idr. [5]. Pri tem modelu za vsako površino, ki obdaja prostor, predpostavimo, da seva na namišljeno površino v prostoru, katere sevalnost in temperatura zagotavljata približno enak prestop toplote s površine kakor je ta v dejanskem zaprtem prostoru z več površinami. Ker postavitev električnih naprav v zavetju običajno ni znana, za rešitev običajnih problemov sevanja v zaprtih prostorih, ne moremo izračunati geometrijskih sevalnih faktorjev. Waltonov model upošteva približne vrednosti geometrijskih sevalnih faktorjev, ki zagotavljajo enak sevalni prenos toplote.

Električne naprave v zavetju obravnavamo kot enotno maso, ki izmenjuje toploto z notranjim zrakom s konvekcijo, z notranjo površino sten prostora pa z dolgovalovnim sevanjem. V tem vozlišču upoštevamo tudi sproščanje toplote pri uporovnem gretju delujočih naprav. Ta energijska bilanca je podana v enačbi:

$$(\rho c V)_{eq} \frac{\Delta T_{eq}}{\Delta \tau} = h_{eq} A_{eq} (T_i - T_{eq}) + h_r A_{eq} (T_{fs} - T_{eq}) + \dot{Q}_{gen} \quad (4).$$

Sprememba notranje energije zraka v zavetju je enaka toplotnemu toku, ki ga dovedemo ali odvedemo pri ogrevanju ali hlajenju z nadzorno enoto notranjega okolja, prestopu toplote na zrak z notranje površine sten, prestopu toplote s površine električnih

The equations for the inside-wall node, the internal mass in the shelter and the inside-air node were developed by Arthur et al. [3] and presented here. For the inside-wall node, the energy balance can be described as the change in the internal energy of the node being equal to the net energy flow into the node per unit time. The net energy into the node consists of convective exchange with the inside air, conduction from the outside wall node, and radiant exchange in the enclosure. This equation is given as:

The radiation enclosure model used to estimate the radiant exchange among the inside surfaces was based on work by Walton [4], as given in Spitler et al. [5]. In this model each surface in the enclosure is assumed to radiate to a fictitious surface that has an area, an emissivity, and a temperature giving approximately the same heat transfer from the surface as in the real multi-surface enclosure. Since the layout of the electrical equipment in the shelter is not generally known, radiation configuration factors cannot be calculated for solving the classic radiation-enclosure problem. Walton's model makes approximations for the radiation shape factors and provides for the conservation of the radiant energy in the enclosure.

The electrical equipment in the shelter is modeled as a single mass that exchanges energy with the inside air via convection and with the walls via long-wavelength radiation. The electric energy generation (resistive heating) in this mass is also included. This energy balance is given as equation 4:

The change in the internal energy of the air in the shelter must equal the heating (or cooling) by the environmental control unit, the convection to the air from all the wall surfaces, the convection from the equipment mass, the sensible heat associated with

naprav, občuteni toploti, povezani s prezračevanjem in toplotnemu toku, ki ga oddajajo ljudje. V tem modelu latentne toplotne dobitke zanemarimo. Opisana energijska bilanca je prikazana z enačbo:

$$(\rho c V)_i \frac{\Delta T_i}{\Delta \tau} = Q_{ecu} + h_{im} A_{sur} (T_{eq} - T_i) + \sum_{all\ surf} (h_i A (T_{wi} - T_i) + Q_{peo} + \frac{\dot{Q}_o}{v_o} c_p (T_a - T_i)) \quad (5).$$

3 UPORABA MODELA IN REZULTATI

Zgoraj opisane povezave v množici vozliščnih kapacitivnosti so za steno zavetja z notranjo opremo prikazane na sliki 3 kot poenostavljeno električno analogno vezje. Ker smo predpostavili, da ima sevalna zaščita (zakrivna mreža) zanemarljivo zmožnost hranjenja energije, izračunamo temperature zaščite iz energijskih bilanc v ustaljenem stanju. Neznane temperature elementov z zmožnostjo hranjenja energije izračunamo za vsako točko v času z uporabo "koračne" rešitve v povezavi s temperaturami sevalne zaščitne mreže.

Zavetje Version 4 SICPS smo izbrali kot primer, na katerem smo proučevali učinek hlajenja z zakrivno mrežo in brez nje. Toplotno-fizikalni parametri, ki smo jih uporabili v simulacijskem modelu, so podani v preglednici 1. Uporabili smo izračunano sončno sevanje 21. julija ob 14.00 na 36° severne zemljepisne širine (predpostavili smo, da je sevanje v času simulacije nespremenljivo). Predpostavili smo odbojnost tal 20% in čistost ozračja 0,95. Upoštevali smo pretok zunanjega zraka pri prezračevanju 0,019 m³/s. Za čas simulacije smo upoštevali nespremenljivo temperaturo zunanjega zraka 49 °C. Take razmere v okolju so bile izbrane kot najbolj neugodne in ne predstavljajo nekega določenega okolja.

V prvi študiji smo določili čas, ki je potreben, da se zavetje ohladi z začetne temperature 49 °C na 32 °C s hlajenjem z močjo 4 ali 10 kW. Z drugo študijo smo določili velikost hladilnega sistema, ki ga potrebujemo, da se zniža temperatura opreme z 49 °C na 32 °C v 30 oziroma 120 minutah. Omenjeni študiji sta bili izvedeni za zavetje s sevalno zaščito in brez nje. Pri obeh študijah smo predpostavili nespremenljivo začetno temperaturo zavetja, opreme in zraka 49 °C.

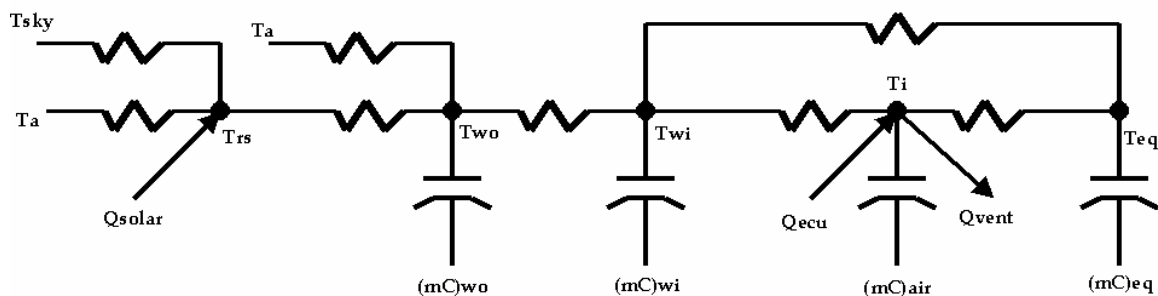
the make up (outside) air, and the heat gain from personnel. Latent heat gain is neglected in the current model. The statement of this energy balance is given as equation below.

3 MODEL IMPLEMENTATION AND RESULTS

The above-described multi-node lumped-capacity relationships for an example shelter wall with internal equipment and air inside the shelter are illustrated in Figure 3 as a simple electric analog network. Since radiation shields (camouflage netting) are assumed to have negligible energy-storage capacity, their temperatures are computed from steady-state energy balances. The unknown temperatures for the elements with energy storage are calculated at each point in time using a "marching" solution combined with the radiation-shield temperatures.

A Version 4 SICPS shelter was selected as an example shelter to study cool-down performance with and without camouflage. The thermo-physical parameters used in the model simulation are given in Table 1. The incident solar radiation was calculated for July 21st at 14:00 hours at latitude of 36° north (and assumed constant for the simulation). Ground reflectance was assumed to be 20% and the atmospheric clearness of 0.95 was used. Outside air at a rate of 0.019 m³/s was assumed for makeup. The outside-air temperature was held constant at 49°C during the simulation. These ambient conditions were meant to be conservative and not necessarily representative of any particular environment.

The first study was of the time needed to cool the shelter from an initial temperature of 49°C to a final temperature of 32°C using a 4-kW or a 10-kW cooler. The second study determined the cooler size needed to lower the equipment from 49°C to 32°C in 30 minutes and in 120 minutes. The above studies were run for a shelter with and without camouflage (radiation shielding). Both studies were started with the assumption that the shelter, the equipment and the air were at a steady initial temperature of 49°C.



Sl. 3. Preprosta električna shema zavetja
Fig. 3. Simple electric schematic for the shelter

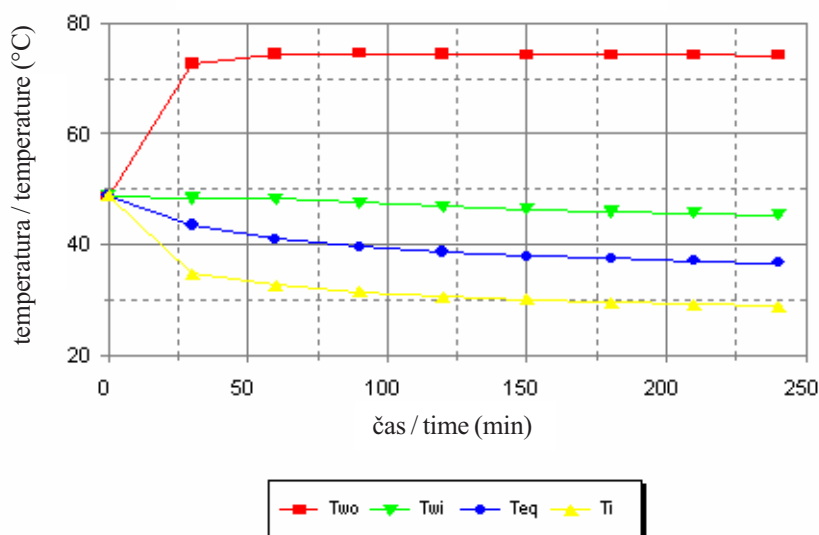
Preglednica 1. Izbrani parametri v primeru hlajenja zavetja

Table 1. Parameters selected for shelter cooling example

	zunanje stene outside walls	izolacija insulation	notranje stene inside walls	oprema equipment	notranji zrak inside air
h (W/m ² K)	7,0		3,4	45,0	
masa / mass (kg)	136		136	182	8,75
c_p (kJ/kgK)	0,92		0,92	1,09	1,00
površina / area (m ²)	25,5		25,5	6,5	
k/L (W/m ² K)		2,337			
sevalnost stene zavetja shelter wall emissivity	0,8		0,8		
sevalnost zaščite camouflage emissivity	0,4		0,4		

Preglednica 2. Potrebna moč hlajenja opreme na želeno temperaturo 32 °C pri prezračevanju z zunanjim zrakom 0,019 m³/s v zavetju brez sevalne zaščiteTable 2. Performance for equipment to reach 32°C with 0.019 m³/s outside makeup air in a shelter without camouflage (radiation shielding)

znižanje temperatur temperature range	čas time	potrebna moč hlajenja required cooling power	temp. notranjega zraka inside-air temperature
49°C do/to 32°C	30 min	6,4 kW	19,6°C
49°C do/to 32°C	120 min	4,6 kW	23,6°C
znižanje temperatur temperature range	moč hlajenja cooling power	potreben čas required time	temp. notranjega zraka inside-air temperature
49°C do/to 32°C	4 kW	nezadostno / insufficient	nezadostno / insufficient
49°C do/to 32°C	10 kW	13 min	10,6°C

Sl. 4. Temperature elementov modela SICPS pri hlajenju z močjo 4 kW, prezračevanjem 0,019 m³/s, začetni temperaturi 49°C, brez sevalne zaščiteFig. 4. SICPS thermal performance with a 4-kW cooler, 0.019 m³/s outside air, initial temperature of 49°C, without camouflage

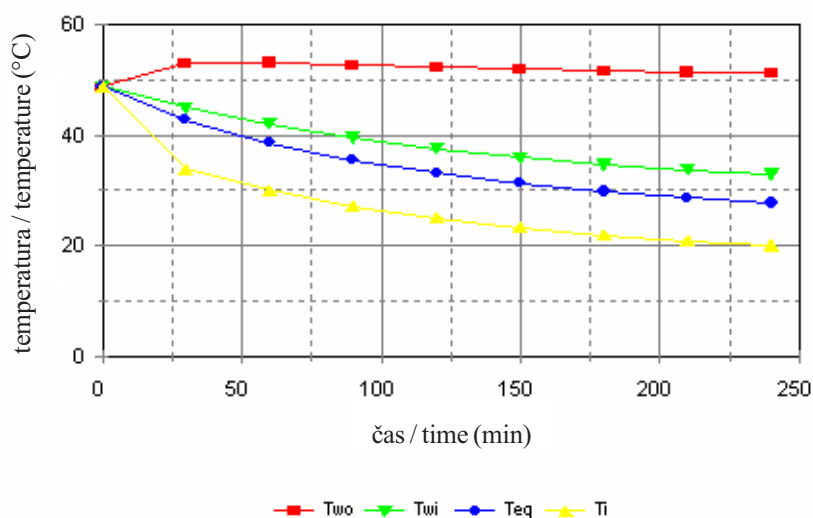
Pregled rezultatov simulacije za zavetje brez zakrivne zaščite je v prikazan v preglednici 2. Iz preglednice 2 vidimo, da v skladu z modelom hladilnik z močjo 4 kW ni dovolj močan, da bi, pri pogojih simulacije, ohladil opremo v zavetju do želene

A summary of the simulation results for the shelter without camouflage shielding is given in Table 2. From Table 2, we see that the model predicts that the 4-kW cooler is unable to bring the shelter down to the desired operational temperature of 32°C under the

Preglednica 3. Rezultati simulacije temperatur opreme pri hlajenju na 32 °C, prezračevanju 0,019 m³/s v zavetju s sevalno zaščito

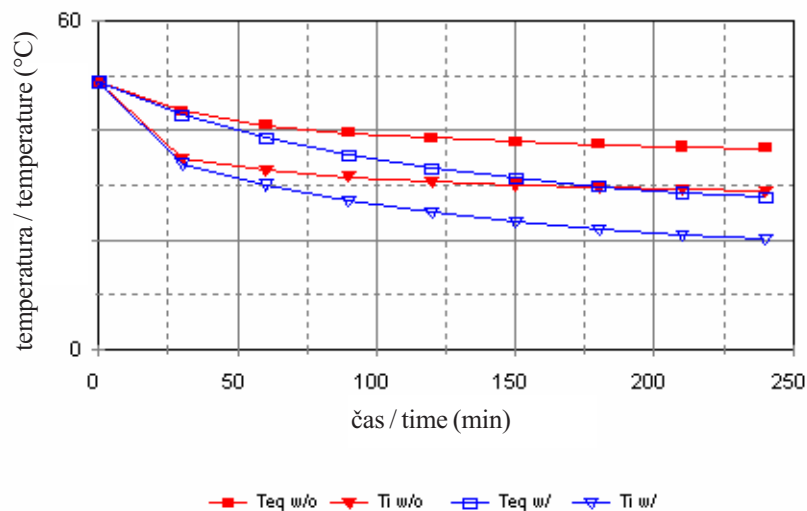
Table 3. Performance for equipment to reach 32°C with 0.019 m³/s outside makeup air in a shelter with camouflage (radiation shielding)

obseg temperatur temperature range	čas time	potrebna moč hladilnika required AC unit	temp. notranjega zraka inside-air temperature
49°C do/to 32°C	30 min	6,2 kW	19,6°C
49°C do/to 32°C	120 min	4,1 kW	24,1°C
obseg temperatur temperature range	velikost hladilnika AC unit size	potreben čas required time	temp. notranjega zraka inside-air temperature
49°C do/to 32°C	4 kW	140 min	24,4°C
49°C do/to 32°C	10 kW	13 min	10,6°C



Sl. 5. Temperature elementov modela SICPS pri hlajenju z močjo 4 kW, prezračevanjem 0,019 m³/s, začetno temperaturo 49°C, s sevalno zaščito

Fig. 5. SICPS thermal performance with a 4-kW cooler, 0.019 m³/s outside air, initial temperature of 49°C, with camouflage



Sl. 6. Primerjava temperatur elementov zavetja SICPS s sevalno zaščito in brez nje med hlajenjem

Fig. 6. Comparison of SICPS shelter with and without camouflage during cool down

temperature 32 °C. Prehodne temperature so prikazane na sliki 4. Pregled rezultatov za zavetje s sevalno zaščito je prikazan v preglednici 3. Iz te preglednice vidimo, da lahko prostor, ki ga hladimo s hladilnim tokom 4 kW ohladimo do želen temperature v 140 minutah. Potek temperature v tem primeru je prikazan na sliki 5.

Iz rezultatov obeh študij lahko ugotovimo, da ima sevalna zaščita na začetku majhen učinek, kar je razvidno s slike 6 pri hlajenju po 60 minutah. Vendar pa je v daljšem času zaščita koristna. Pri namestitvi le-te je temperatura opreme in notranjega zraka pri enaki hladilni moči po 240 minutah hlajenja nižja za 9 °C.

4 SKLEP

Razvili smo novi simulacijski model za napoved ogrevanja in hlajenja zavetij, ki ga lahko uporabimo za določevanje spreminjanja temperatur elementov zavetja. Model lahko uporabimo tudi za določitev velikosti NENO. Za zavetje Version 4 SICPS smo izvedli različne simulacije s sevalno zaščito (zakritjem) in brez nje.

ZAHVALE

Avtorji se zahvaljujemo za podporo in pomoč gospoda Franka Clakinsa iz Oddelka za okoljske sisteme in gorivne celice iz Centra CECOM RD&E armade ZDA, Ft. Belvoir. Projekt je bil financiran s pogodbo DAAB15-02-P-0067.

7 OZNAČBE

7 NOMENCLATURE

gostota	ρ	kg/m ³	material density
specifična toplota	c_p	kJ/kgK	material specific heat
prostornina	V	m ³	material volume
debelina stene	L	m	wall thickness
toplotna prevodnost snovi	k	W/mK	material thermal conductivity
koeficient prestopa toplote na zunanji strani stene	h_o	W/m ² K	outside-wall convection coefficient
koeficient prestopa toplote na notranji strani stene	h_i	W/m ² K	inside-wall convection coefficient
koeficient prestopa toplote notranje el. mase	h_{im}	W/m ² K	inside electrical mass convection coefficient
koeficient prestopa toplote za vozlišče opremne mase	h_{eq}	W/m ² K	convection coefficient for the equipment mass node
koeficient sevalnega prestopa toplote za notranje površine	h_r	W/m ² K	radiation heat-transfer coefficient for the inside surfaces
površina stene	A	m ²	wall surface area
površina notranjih električnih naprav	A_{sur}	m ²	inside electrical mass surface area
površina vozliščne opremne mase	A_{eq}	m ²	surface area of the equipment mass node
temperatura zunanjega zraka	T_a	K	outside-air temperature
temperatura neba	T_s	K	sky temperature
temperatura tal	T_g	K	ground temperature
temperatura notranjega zraka	T_i	K	inside-air temperature
temperatura sevalnega (zakrivnega) ščita	T_{rs}	K	radiation-shield (camouflage) temperature
temperatura vozlišča na zunanji površini	T_{wo}	K	outside-wall surface node temperature
temperatura vozlišča na notranji površini	T_{wi}	K	inside-wall surface node temperature
temperatura opreme	T_{eq}	K	equipment temperature
navidezna temperatura površine po Waltonovi metodi	T_{fs}	K	fictitious surface temperature of Walton's method

simulated conditions. Transient temperatures are plotted in Figure 4. A summary of the simulation results for the shelter with camouflage is given in Table 3. From this table, we see that the 4-kW cooler can bring the shelter down to the set point after 140 minutes. The temperature histories for this simulation are shown in Figure 5.

From the results of these studies we can see that camouflage has little effect initially, for example, see Figure 6 at 60 minutes. However, in the long term, camouflage is beneficial: Figure 6, at 240 minutes, shows that the equipment mass and the inside-air temperatures are reduced by 9 °C when camouflage is used.

4 CONCLUSION

A new heating-and-cooling simulation model for camouflaged shelters has been developed. The model can be used to predict the temperature history of the shelter. The model can also be used to predict the necessary environmental control unit size. Various simulations have been made of a Version 4 SICPS shelter with and without radiation shielding (camouflage).

ACKNOWLEDGMENTS

The authors acknowledge the support and assistance given by Mr. Frank Calkins of the Environmental Systems and Fuel Cells Branch, US Army CECOMRD&E Center, Ft. Belvoir. This project was funded under contract DAAB15-02-P-0067.

sevalnost zunanjega zidu	ε_{wo}	outside-wall emissivity
sevalnost sevalnega (zakrivnega) ščita	ε_{rs}	radiation-shield (camouflage) emissivity
Stefan-Boltzmannova konstanta	$\sigma=5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$	Stefan-Boltzmann constant
sevalni oblikovni faktor površine proti nebu	F_{ss}	surface-to-sky radiation shape factor
sevalni oblikovni faktor površine proti tlem	F_{sg}	surface-to-ground radiation shape factor
absorbirano sončno sevanje	Q_{solar} W	absorbed solar radiation
dolgovalovno sevanje s stene proti drugim površinam v bližini	Q_{lwi} W	long-wavelength radiation from the wall to other surfaces in the enclosure
dolgovalovno sevanje z notranje snovi proti preostalim površinam v bližini	Q_{lwm} W	long-wavelength radiation from the internal mass to other surfaces in the enclosure
uporovno gretje električne opreme v zavetju	Q_{gen} W	resistive heating of the electrical equipment in the shelter
toplota ljudi	Q_{peo} W	heat from people
moč grelnе/hladilne opreme	Q_{ecu} W	capacity of heating/cooling equipment
pretok zraka	$\dot{V}_{\infty}$ m ³ /s	makeup air-flow rate
gostota zunanjega zraka	ρ_o m ³ /s	outside-air density

7 LITERATURA

7 REFERENCES

- [1] Kirtland, Lane, Hayes (1990) Shelter system assessment model (SAM) users manual, *BDM International, Inc.*, BDM/MCL-90-04222-TR.
- [2] Taylor Beard, J., A. Howard (2002) New shelter environmental assessment model, Phase I, Characterization, A final report by associated environmental consultants, to US Army, CECOM, *RD&E Center*, Ft. Belvoir, VA.
- [3] Howard, A. J., J. Taylor Beard, R. J. Ribando, A. Patil, N. P. Johnston (2003) A new environmental control system assessment model for shelters, paper submitted to the 6th *ASME-JSME Thermal Engineering Joint Conference*.
- [4] Walton, G.N. (1980) A new algorithm for radiant interchange in room loads calculations, *ASHRAE Transactions*, Vol. 86, No. 2, 190-208.
- [5] McQuiston, F. C., J. D. Parker, J. D. Spitler (2000) Heating ventilating, and air conditioning analysis and design, 5th Edition, *John Wiley & Sons, Inc.*, New York.

Naslovi avtorjev:

prof.dr. J. Howard Arthur
Department of Mechanical Engineering
Virginia Military Institute
Lexington
VA 24450-0304, USA

prof.dr. J. Taylor Beard
prof.dr. Robert J. Ribando
Department of Mechanical and Aerospace Eng.
University of Virginia
P.O. Box 400746
Charlottesville
VA 22904-4746, USA

dr. Ashok Patil
Nicholas P. Johnston
Environmental Systems and Fuel Cells Branch
US Army CECOM RD&E Center
Ft. Belvoir
VA 22060-5817, USA
ashok.patil@armypower.army.mil

Authors' Addresses:

Prof.Dr. J. Howard Arthur
Department of Mechanical Engineering
Virginia Military Institute
Lexington
VA 24450-0304, USA

Prof.Dr. J. Taylor Beard
Prof.Dr. Robert J. Ribando
Department of Mechanical and Aerospace Eng.
University of Virginia
P.O. Box 400746
Charlottesville
VA 22904-4746, USA

Dr. Ashok Patil
Nicholas P. Johnston
Environmental Systems and Fuel Cells Branch
US Army CECOM RD&E Center
Ft. Belvoir
VA 22060-5817, USA
ashok.patil@armypower.army.mil

Prejeto:
Received: 16.8.2002

Sprejeto:
Accepted: 18.12.2003

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

Poročila

Reports

Posvetovanje Avtomatizacija montaže

Laboratorij za strego, montažo in pnevmatiko (LASIM) s Fakultete za strojništvo v Ljubljani, ki ga vodi prof. dr. Dragica Noe že od svojega nastanka dejavno sodeluje na področju montaže in avtomatizacije v industriji. Sodeloval je tudi pri organizaciji pred časom že tradicionalnih srečanj na temo avtomatizacije v montaži in proizvodne logistike, dokler ni nastala v tem prostoru nekakšna praznina, ko se je vsak ukvarjal samo s svojimi problemi ter ni našel časa ne volje za srečevanje z drugimi, včasih tudi konkurenti, ki se ukvarjajo s podobno problematiko.

Da bi v ta prostor vnesli nekaj novega zraka in energije, je LASIM v sodelovanju z Gospodarsko zbornico Slovenije (GZS) organiziral posvet Avtomatizacija montaže, ki se je zgodil 13. novembra 2003 v veliki dvorani na GZS. Posvetovanja se je udeležilo petindevetdeset strokovnjakov iz industrije in obeh univerz. Tako številčna udeležba in pozitiven odziv, ki so ga udeleženci posvetovanja izrekli osebno oziroma v odgovorih na anketo, kaže, da je bila odločitev prof. Noetove o organiziranju posveta več kot dobrodošla.

To je v svojem pozdravu omenil tudi sekretar Združenja kovinske industrije pri GZS g. Marko Mirnik, s katerim se je tudi uradno pričel posvet. Poudaril je velik pomen takih srečanj še posebej v času, ko Slovenija vstopa v Evropsko zvezo, saj se mora slovenska industrija na to dobro pripraviti. Predvsem se bo industrija morala prilagoditi zakonodaji in standardom Evropske zveze, hkrati pa bo to tudi izziv za prodor na evropski trg.

V imenu Fakultete za strojništvo Univerze v Ljubljani in organizacijskega odbora posveta je udeležence pozdravila še prof. Dragica Noe in jim zaželela uspešno delo in prijetno druženje.

Program posveta je bil razdeljen na tri bolj ali manj tematske sklope, kjer je bilo predstavljanih dvanajst referatov, in okroglo mizo na temo »Možnost slovenskih proizvajalcev opreme za avtomatizacijo montaže in proizvodnje v Evropski zvezi«. Tematski sklopi so zaobjeli tri področja in sicer avtomatizirane montažne sisteme, načrtovanje avtomatizirane montaže in komponente ter tehnologije avtomatizacije montaže. V nadaljevanju tega prispevka bodo na kratko povzeti referati, ki so bili predstavljeni na posvetu.

Montažni sistemi danes in v prihodnosti, je naslov prvega referata, v katerem je prof. Dragica Noe predstavila stanje na področju montažnih postopkov in sistemov, z njimi povezanih

informativskih tehnologij, pomen integriranega razvoja izdelkov in smeri kot so montaža v navideznem okolju in navideznem podjetju, preuredljivi in dogradljivi montažni sistemi in računalniške mreže v montažnih sistemih.

G. Jure Kranjc iz podjetja Flexatec, fleksibilna avtomatizacija, d.o.o., je predstavil referat z naslovom Avtomatizacija montaže svetil, v katerem je obravnaval problematiko avtomatizacije montaže svetlobne opreme za avtomobilsko industrijo iz vidika njihovih tehnoloških značilnosti. Podrobno je predstavil tudi izvedeni projekt avtomatizirane proge za sestavo skupine izdelkov iz programa ploščatih svetilk.

Prvi tematski sklop se je končal z referatom Robotska celica za uporovno varjenje karoserijskih sklopov za vozilo SAAB-Cabrio v Cimos – TAM Maribor, ki ga je predstavil g. Hubert Kosler, direktor podjetja Motoman robotec, d.o.o. Referat se je pričel z opisom karoserijskih delov in zahtev naročnika, nadaljeval z opisom sestave robotske celice in njenega delovanja končal pa z posnetkom delovanja robotske celice v praksi.

V odmoru so si lahko udeleženci ogledali reklamno gradivo nekaterih podjetij, ki so to možnost izkoristila in pred dvorano pripravila svojo predstavitev.

Prvi prispevek v drugem sklopu je predstavil dr. Tomaž Perme, tema pa je obravnavala načrtovanje montaže podprto s sistemom FMEA in simulacijo. Vodilo referata je bilo vprašanje kako simulacijo, ki kljub nedvomni uporabnosti in koristnosti nikakor ne prodre v prakso, približati uporabniku načrtovalcu. Predlagana rešitev je nadgradnja oziroma dopolnitev sistema FMEA, ki je že nepogrešljiv v dobri praksi, s



simulacijo ter tako dati obveščanju med naročnikom in izvajalcem oziroma med člani projektne skupine še dodatno izmero.

S primerom načrtovanja montaže je g. Dario Ogrin iz podjetja CIMOS Avtomobilska industrija d.d. prikazal sistematičen potek razvoja montaže od grobega načrtovanja, preko uporabe analize FMEA do izdelave tehnično dobavnih pogojev in izvedbe. Poudaril je pomen montaže kot integralni del proizvodnje, ki neposredno vpliva na uspešnost podjetja, ter na primeru montaže ročne zavore ilustrativno prikazal vpliv tipa montaže na stroške in donosnost investicije.

Montaža in z njo povezani stroški se pričnejo že pri razvoju izdelka. Prikazati pristop k montažno usmerjenemu osvajanju izdelka, kot ga uporabljajo v podjetju Saturnus Avtooprema, d.d. je bila glavna tema referata, ki ga je predstavil g. Marjan Brezarič iz omenjenega podjetja. Pristop temelji na projektnem vodenju in postopku devetih ključev, ki dobro definira korake in nadzorne točke pri postopku nastajanja izdelka. Poleg opisa metode pa so bili v referatu prikazani tudi primeri montaže za različne velikosti serij izdelkov, ki so bili izdelani po tem načinu načrtovanja.

Montažni sistem za ročno zavoro BMW je bil prikaz uspešne izvedbe montažnega sistema na osnovi dobrega načrtovanja. Prispevek je predstavil g. Tomaž Suhadolnik iz podjetja Kovinoplastika Lož d.d., ki je projekt tudi izvedlo. Bistveni elementi, ki so pripomogli k uspehu projekta, so ustrezno projektno vodenje z imenovanjem osebja in določitvijo časovnega poteka projekta, uporabljena orodja za projektiranje in konstruiranje ter nenazadnje dobro definirani tehnično dobavnimi pogoji in dobro obojestransko obveščanje z naročnikom.

Ker se montaža v podjetjih stalno spreminja, ji je potrebno slediti tudi z ustreznimi metodami. Ponovno načrtovanje montaže je ena od njih, ki pa vključuje prenovu vseh elementov montaže od samega izdelka, montažnih postopkov, toka materiala pa do osebja in toka informacij ter podatkov, je poudaril avtor prispevka mag. Peter Peternel iz podjetja Trimo, d.d. Ilustrativno je opisal dejansko izvajanje ponovnega načrtovanja v praksi, ga podkrepil s praktičnimi nasveti ter poudaril avtonomnost načrtovalske skupine in zavezanost vodstva temu projektu, kot ključna elementa za uspešno prenovu.

V zadnjem sklopu predstavitev je najprej g. Miro Brulc predstavil v referatu Komponente in elementi za gradnjo avtomatizacije in mehatronike, podjetje INOTEH iz katerega prihaja, nato pa podrobno opisal njihov prodajno proizvodni program in dejavnost podjetja.

Dr. Francelj Trdič iz podjetja FDS Research d.o.o. je predstavil prispevek z naslovom Računalniški vid v montaži, kjer je opisal osnove vidnih zaznavnih sistemov, njihov namen in uporabo ter na primeru

termovizijskega nadzora hladilnih naprav tudi enega od številnih uspešno izvedenih projektov uvajanja tovrstnih sistemov za nadzor kakovosti v proizvodnjo. Prikazal je tudi problematiko vidno zaznavnih sistemov, katere se morata zavedati tako naročnik uporabnik kot tudi izvajalec oziroma ponudnik tovrstnih rešitev, saj je tudi od tega odvisna uspešnost projekta.

Vijačenje je eno od zelo pogostih montažnih opravil, ki se ga tudi največkrat uspešno avtomatizira, pa vendar zahteva kakovost izdelka zmeraj nove rešitve. Primerna rešitev je vijačenje s servopogoni, ki ga je predstavil g. Matjaž Petrovčič iz podjetja PS, d.o.o. Opisal je sestavo in zgradbo servopogonov, njihovo krmiljenje in poudaril njihove prednosti. Na primeru servoregulatorja UNIDRIVE podjetja Control Techniques je prikazal možnosti krmiljenja in programiranja servopogonov. Razložil je tudi načrtovanje postopka vijačenja s servopogoni, ter na primerih iz prakse prikazal razloge za njihovo uporabo in prednosti, ki jih tako vijačenje prinese.

Nadzorni sistem za istosmerne motorje z dodano analizo izmerjenih vibracij je predstavil dr. Martin Furlan iz podjetja Iskra Avtoelektrika, d.d. V prispevku opisan primer je rezultat uspešnega sodelovanja znanosti z industrijo, saj je pri realizaciji projekta sodeloval poleg podjetij Iskra Avtoelektrika in Iskra ASING tudi Laboratorij za dinamiko strojev in konstrukcij s Fakultete za strojništvo Ljubljana, katerega vodja je doc. dr. Miha Boltežar. Referat je podal v strnjeni obliki osnovne informacije o meritvi vibracij in zvoka, področje njihove uporabe, vire hrupa in vibracij v električnih strojih, ter opis sistema za prepoznavanje napak. Na primeru izsrednosti rotorja je bil prikazan način prepoznavanja napak in vpeljava sistema za nadzor vibracij v proizvodnjo.

Posvet se je zaključil z okroglo mizo, ki so jo vodili g. Marko Mirnik z GZS, prof. dr. Dragica Noe z UL FS in dr. Niko Herakovič z Ministrstva za šolstvo, znanost in šport. Namen okrogle mize je bil vzpodbuditi strokovnjake iz industrije k razpravi o treh temah in sicer možnostih slovenskih podjetij po vstopu Slovenije v Evropsko zvezo, možnostih povezovanja podjetij, ki jih nudi država ter problematiki izobraževanja oziroma pomanjkanja strokovnih kadrov.

Razprava je sicer postregla z nekaterimi komentarji, manj pa s stvarnimi predlogi s strani industrije. Zdi se, kot da cilji v industriji niso dovolj visoko postavljeni, pa tudi pravega pomena znanja, ki je temelj sodobne družbe, se po večini v industriji premalo zavedajo. Le z znanjem in inovativnostjo se lahko doseže večjo dodano vrednost izdelkov in storitev. Eden od načinov, kako ustvariti kritično maso znanja, je združevanje in povezovanje morda tudi v oblikah, ki jih podpira država, kot so na primer grozdi ali tehnološke mreže. Vendar se zdi pomislek, da bi na ta način konkurenca prišla do njihovega znanja, v



prvem trenutku povsem utemeljen, po dobrem razmisleku pa postane tipično slovenski v obliki vrtičkov in sosedovih krav.

Dejstvo je, da bodo morala biti podjetja za konkurenčnost na trgu ozko specializirana in tam v svetovnem vrhu. Vprašanje je, kako to doseči, še

zlasti, ko znanje ne raste na drevesu, temveč zori leta in leta, v Sloveniji pa je že nekaj časa opaziti upadanje zanimanja mladine za študij na področju tehnike. Če k temu dodamo še že sedaj opazno pomanjkanje strokovnjakov, predvsem strojnikov, ki bi imeli tudi dovolj znanja s področja avtomatizacije in montaže, potem se morata industrija in država podvizati in nekaj storiti. Ne samo, da se bliža Evropa in s tem še močnejša in ostrejša konkurenca na trgu komponent in sistemov za avtomatizacijo montaže, temveč tudi na trgu znanja.

Na posvetu se je pokazalo, da to znanje v Sloveniji je in, da obstaja zanj tudi zanimanje, zato organizacijski odbor posveta že sedaj načrtuje naslednji posvet, ki bo predvidoma v prvi polovici novembra naslednjega leta, hkrati pa se še enkrat zahvaljuje avtorjem referatov in nenazadnje udeležencem, ki so s svojo številčnostjo in zanimanjem dali prireditvi pravi pomen.

Tomaž Perme

Strokovna literatura

Professional Literature

Ocena knjige

Marko Zlokarnik: Scale-Up in Chemical Engineering

Zal.: WILEY-VCH Verlag Gmbh, Weinheim,
1. izdaja, 2002

Obseg: format 17×24 cm, 219 strani, 88 slik, 49
rešenih primerov, 139 citatov
Cena je \$165,00.

Dimenzijska analiza je bila v zadnjem stoletju predvsem zaradi svoje preproste uporabnosti pogosto uporabljena za metode povečav ter pomanjšav pri obravnavi dinamike tekočin in prehoda toplote v praktično vseh pomembnejših vejah industrije kot npr. v avtomobilski, letalski in ladjedelniški. Posebej v procesni industriji pa je široko zastopana in predstavlja osnovo povečevalnih metod pri prenosu rezultatov eksperimenta z modelnih naprav na realni proces v industrijski napravi. Tu se namreč kemijski inženir najpogosteje srečuje z realizacijo procesov, pri katerih kemični ali mikrobiološki postopki potekajo hkrati z gibanjem snovi ter prenosa toplote in snovi. Ker so lastnosti teh procesov odvisne od njihove velikostne lestvice, se pri tem vedno porajajo vprašanja kot so: Kako majhna je lahko modelna naprava? Bo zadoščal preizkus na dveh različno velikih napravah? Kdaj so lahko oziroma kdaj morajo

biti fizikalne lastnosti različne? Kateri je glavni kriterij pri možnem naboru večjega števila enakovrednih kriterijev za najuspešnejši prenos rezultatov z modelne na industrijsko napravo? Ta in še mnoga druga vprašanja, ki zadevajo metode povečevanja z dimenzijsko analizo avtor sistematično obdela ter podaja rešitve s praktičnimi primeri različnih področij.

Knjiga v prvem delu zajema teoretične osnove dimenzijske analize in metode povečevanja. Prikazane so na enostaven in razumljiv način, za nazornejšo predstavbo je podanih 20 primerov z rešitvami iz različnih in dobro poznanih področij kemijskega inženirstva. V drugem delu so prikazani izbrani primeri obravnave mehanike (11 primerov), prenosa toplote in snovi (6 primerov) in kemičnih procesov (5 primerov). Kot posebnost je v zadnjem poglavju obravnavanih tudi nekaj primerov (5) z »živega« sveta, ki lahko služijo boljšemu razumevanju raznih gibalnih procesov. Zaradi izreden širine obravnavanih problemov in uporabnosti omenjenih metod, so v knjigi zajete reference skoraj vse do leta izida knjige. Knjiga podaja dober fenomenološki vpogled po posameznih področjih in je primerna tako za pomoč študentom pri njihovem študiju kot za industrijsko prakso.

A. Bombač

Osebnosti

Personal Events

Doktorati, magisteriji, diplome

DOKTORATI

Na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani so z uspehom zagovarjali svoje doktorske disertacije:

dne 27. avgusta 2003: **Marjan Trstenjak**, z naslovom: "Razvoj modela vzdrževanja na osnovi zanesljivosti obratovanja delovnih sredstev". (popravek iz številke SV-7/8(49)2003)

dne 9. novembra 2003: **mag. Joško Valentinčič**, z naslovom: "Model izbire parametrov EDM procesa glede na velikost erodirane površine" in **mag. Matjaž Žnidaršič**, z naslovom: "Lasersko legiranje tankega površinskega sloja maloogljičnega jekla".

S tem so navedeni kandidati dosegli akademsko stopnjo doktorja znanosti.

MAGISTERIJI

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

dne 17. novembra 2003: **Urh Knuplež**, z naslovom: "Razvoj modela za izbiro obdelovalnih postopkov na stiskalnicah".

S tem je navedeni kandidat dosegel akademsko stopnjo magistra znanosti.

DIPLOMIRANISO

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

dne 27. novembra 2003: Boštjan ČEH, Franc ČEH, Tomaž JELŠEK, Matjaž MATAVŽ.

*

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

dne 13. novembra 2003: Aleš BRENČIČ, Gaber LOVŠIN, Borut PODGORŠEK, Sebastijan PRLEC, Anton STRAŠEK, Rafko ŠVEGLJ;

dne 14. novembra 2003: Davorin PAJK, Renato ZORZENONE;

dne 17. novembra 2003: Miran JUREČIČ, Goran KENDA.

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

dne 27. novembra 2003: Janko GOROPEVŠEK, Martin KOREZ, Tomaž KOVAČ, Srečko KRUŠIČ, Matjaž RING.

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 presledki 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 pomanjšujemo.

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

Vse označbe na slikah morajo biti dvojezične.

Za vse slike po fotografskih posnetkih je treba priložiti izvirne fotografije ali kakovostno 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
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
1001 Ljubljana, Slovenia
Telephone: +386 (0)1 4771-757
Fax: +386 (0)1 2518-567
E-mail: strojnistki.vestnik@fs.uni-lj.si