

**PROBLEMATICA MODELARII  
STRUCTURALE SI  
MATERIALELE PENTRU  
FIABILIZAREA DINTILOR DE  
EXCAVATOR**

**FLOREA Carmen<sup>1</sup>, NAN Marin<sup>2</sup>,  
STĂNILĂ Sorina<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *prof.univ.dr.ing. UNIVERSITATEA  
DIN PETROȘANI,*

<sup>2</sup> *prof.univ.dr.ing., UNIVERSITATEA  
DIN PETROȘANI*

<sup>3</sup> *sef lucr.dr.ing. UNIVERSITATEA DIN  
PETROȘANI*

**ABSTRACT:** Cercetarea în domeniul modelării și simulării structurii materialelor presupune etape de modelare matematică, de transpunere în formule matematice a proprietăților corpurilor constituite din materiale deformabile, de definire a legilor de comportament, de descriere și prognoză a răspunsului acestor materiale la condiții diferite de solicitare.

Modelarea matematică presupune existența unor date de natură experimentală, care evidențiază specificitatea corpurilor și proprietățile acestora (între altele utilizându-se testul corectitudinii modelului). Modelarea matematică înseamnă și dezvoltarea formalismului matematic, dar și elaborări de algoritmi numerici și de utilizare a unor pachete de programe deja elaborate (de exemplu Matlab) pentru a găsi datele care determină răspunsuri concrete la probleme practice.

În acest context se înscrie lucrarea de față, fiind o rezultantă succintă a cercetărilor de ani, în domeniul sculelor de dislocare a rocilor.

## 1. INTRODUCERE

Modelarea structurală, a unor entități fizice, încearcă să transfere în condiții experimentale controlate o serie de parametri structurali ai unui sistem material complex. Câteva exemple în acest sens, ar putea fi modelarea comportamentului mecanic al unui material urmată de verificarea experimentală a unor materiale, etc.

În același context modelarea proceselor, se referă la elaborarea unei metode ce

**PROBLEMS IN STRUCTURAL  
MODELLING AND MATERIALS  
USED FOR THE RELIABILITY  
OF EXCAVATOR TEETH**

**FLOREA Carmen<sup>1</sup>, NAN Marin<sup>2</sup>,  
STĂNILĂ Sorina<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Professor Ph.D. Eng., University of  
Petroșani*

<sup>2</sup> *Professor Ph.D. Eng., University of  
Petroșani*

<sup>3</sup> *Assistant Professor Ph.D. Eng.,  
University of Petroșani*

**ABSTRACT:** Modelling research and material structure simulation implies a series of mathematical modelling steps, projecting them into mathematical formulas of the properties of the bodies developed from distortable materials, defining behaviour rules, describing and foreseeing the answer of these materials to different load conditions.

Mathematical modelling implies the existence of experimental data which emphasise the characteristic of the bodies and their properties (also the test for the correctness of the model being used). Mathematical modelling means the development of mathematical formalism on one hand and the development of numeric algorithms and use of already created software packs (such as Matlab) in order to find the data determining concrete answers to practice problems in the other hand.

It is this exact issue that the paper deals with, being the result of years of research of rock dislocation machineries.

## 1. INTRODUCTION

The structural modelling of physical entities tries to transfer in experimental controlled conditions a series of structural parameters of a material complex system. An example could be the modelling of the mechanic behaviour of a material followed by experimental control of the material.

Process modelling also means the development of a method characterising, for instance, the modelling of a technology

caracterizează, de exemplu, modelarea tehnologiei prin care se obțin parametrii structurali dictați de condițiile de funcționare ale sistemului material.

O serie de studii bazate pe modelare utilizează ambele metode. În cazul unor simulări ale condițiilor în care se obțin parametrii structurali se utilizează atât modele structurale cât și modele de proces.

Solicitările ce se exercită la nivelul acestor structuri sunt de o mare varietate atât în ceea ce privește tipul (forțe, presiuni, variații termice), cât și momentul apariției lor. Consecințele acestor solicitări mecanice și termice sunt și ele foarte variate; determinarea cât mai riguroasă a raportului cauză – efect pentru aceste procese reprezintă o temă de interes nu numai pentru cercetarea fundamentală, dar și pentru activitatea de producție.

Studiile ce analizează legătura dintre încărcări (solicitări) și efectele corespunzătoare cu ajutorul unor modele fizice (mecanice) simplifică determinarea printr-un control mai bun a parametrilor „de intrare”. Modelele fizice pot avea complexitate variabilă, de la simple epruvete supuse la încercări mecanice în mașini universale de testat, modele analogice din punct de vedere geometric, analizate prin fotoelastometrie, până la structuri complexe, ce simulează condițiile chimice, termice și mecanice reale, de funcționare, ale materialelor. Rezultatele acestui tip de cercetare sunt reproductibile și au un bun potențial de generalizare. Costurile pe care le implică realizarea unor astfel de experimente sunt mari, iar modelarea structurilor sistemului studiat este adesea aproximativă. De exemplu, unele metode utilizează modele, având caracteristici mecanice, cum ar fi: modulul de elasticitate, diferite de cele ale structurilor modelate, ceea ce determină doar o apreciere generală, comparativă, și nu una riguroasă, cantitativă, a rezultatelor.

Dezvoltarea unor metode de calcul numeric pentru problemele legate de rezistența materialelor precum și posibilitatea apărută odată cu inventarea calculatorului electronic,

through which structural parameters implied by the operational conditions of the material system can be obtained.

A series of studies based on modelling use both methods. Considering conditions simulations where structural parameters are obtained, both structural as well as process models are used.

The loads of these structures are various both in what the type (forces, pressures, thermal variations) as well as the moment of their appearance. The consequences of these mechanical and thermal loads are various as well; the thorough determination of the cause – effect ration for these processes represents a research thematic not only fundamental research but as well for the production activity.

The studies analysing the relations between loads and their corresponding effects with the help of physical models (mechanical) simplify the determination through a better control of the “input” parameters. The complexity of the physical model may be variable, from simple sample tubes mechanically tested with universal testing machineries, geometrically analogical models, analysed through photoelasticity, up to complex structures simulating real chemical, thermal and mechanical conditions of the materials. The results of this type of research are reproducible and have a good generalisation potential. The costs of such experiments are increased, and the modelling of the studied system is approximate. For instance, some methods use mechanical models such as: the elasticity module, different of those of the modelled structures determining a general comparative appreciation of results and not a thorough quantitative one.

The development of numerical determination methods related to material resistance as well as the possibility, appeared together with the invention of the electronic calculator, to efficiently and rapidly realise a large number of determinations which also allowed the development another study model for the relation of causality between the load and

de realizare efectivă și rapidă a unui volum mare de calcule, au permis elaborarea unui alt model de studiu pentru relația de cauzalitate dintre solicitare și efectele mecanice; acesta utilizează, în locul structurii reale, sau a replicii (modelării) fizice – un sistem de modelare virtuală, cu ajutorul calculatorului. În momentul de față este posibil să se facă, cu ajutorul calculatorului și la un nivel de aproximare acceptabil, un calcul termic sau de rezistență pentru o structură de material foarte complexă. Un instrument care poate fi utilizat pentru a rezolva aceste probleme se bazează pe metoda elementelor finite (MEF). Dezvoltarea MEF a urmat un ritm rapid, orientat spre utilizatorul primar: proiectantul. Ulterior au apărut și primele variante comerciale de programe: ANSYS, Cosmos și Nastran.

## **2. EXCAVATORUL PENTRU CARIERE SI DINTII DE DISLOCARE A MATERIALELOR**

Excavatoarele de tip EsRs1400-30/7, sunt utilajele cele mai des întâlnite în exploatarea miniere, de lignit, la zi (de suprafață) și sunt de tipul, cu roată port-cupe.

Aceste excavatoare funcționează din anul 1969 la Rovinari, cariera Gârla; produs inițial de firma Krupp excavatorul a fost asimilat, în fabricație, în mai multe etape de colaborare.

În număr de 61 de utilaje, aceste utilaje au suferit mai multe modificări pentru adaptarea la condițiile de lucru din carierele de lignit din România.

Pe parcursul timpului, în urma diferitelor modificări suferite, s-au diferențiat două tipuri de excavatoare: nemodernizate și modernizate (având simbolul M).

Excavatorul cu roată portcupe tip EsRc 1400 - 30/7 - M (Fig.1) este destinat carierelor de steril și cărbune și reprezintă utilajul principal de excavare din carierele de lignit din Oltenia, fiind destinat tăierii tangențiale și în adâncime, precum și preluării și transportului materialului dislocat.

În principal, excavatorul cu roată cu cupe tip ERC 1400-30/7M are în componența sa

mechanic effects; this uses a real structure, or physical replica (modelling) instead of a virtual modelling system with the help of a computer. A thermal or resistance determination is presently possible at an acceptable approximation level with the help of a computer for a very complex material structure. An instrument which may be used to solve these problems is based on the method of finite elements (MFE).

The development of the MFE was made in a fast rhythm oriented towards the primary user, i.e. the designer. The first commercial alternatives of programmes then appeared: ANSYS, Cosmos and Nastran.

## **2. QUARRY EXCAVATOR AND TEETH FOR THE DISLOCATION OF MATERIAL**

EsRs1400-30/7 type excavators, namely bucket wheel excavators, are the most common met machineries in open pit brown coal mines.

These excavators have been operating in Garla quarry Rovinari since 1969; initially manufactured by Krupp, the excavator was assimilated into operation in several collaboration steps.

61 of them have suffered several changes in order to be adapted to the operational conditions in Romanian brown coal quarries.

Two types of excavators have emerged during time following the changes: un-modernised and modernised ones (marked with the symbol M).

The EsRc 1400 - 30/7 - M bucket wheel excavator (Figure 1) is destined for waste and coal quarries and represents the leading machinery in Oltenia's brown coal quarries, being able to either tangentially or deep digging, as well as conveying and hauling the dislocated material.

Mainly, the ERC 1400-30/7M bucket wheel excavator is composed of the following parts:

următoarele părți:

- A. Excavatorul cu roată cu cupe propriu-zis
- B. Căruciorul de încărcare;
- C. Instalația de benzi.

Excavatorul cuprinde mecanismul „roata portcupe”, ce are în componența sa roata cu cupe cu diametrul măsurat pe cercul de pretăiere, al dinților, de 11500mm .

Roata portcupe se compune dintr-un corp de roată, 9 cupe interschimbabile și 9 dinți de pretăiere. Cupele sunt legate de corpul roții prin bolțuri și șuruburi, putând fi schimbate în cel mai scurt timp.

Antrenarea roții portcupe se face printr-un mecanism de acționare (3), compus dintr-un motor electric de 630 kW, cuplaj de siguranță centrifugal cu bile, schimbător de viteze, ax cardanic și redactor de turație. Roata poate lucra cu două viteze de tăiere.

Dinții de excavator, montați pe cupe, pentru dislocarea materialului, sunt piese supuse unor uzări intense (fig.2), fapt pentru care au fiabilitate variabilă mai ales, în funcție de caracteristicile rocilor tăiate, astfel încât fiabilitatea și mentenanța lor poate fi modelată ținând seama de aceste aspecte.

- A. The so called bucket wheel excavator;
- B. The loading mechanism;
- C. Conveyor installation.

The excavator comprises the “bucket wheel” composed by the buckets with a measured diameter of the pre-cutting circle of teeth of 11500mm.

The bucket wheel consists of a wheel, 9 interchangeable buckets and 9 pre-cutting teeth. The buckets are connected to the wheel by nuts and bolts, being able to change them in the shortest time possible.

The operation of the bucket wheel is made by a drive mechanism (3) which consists of an electric 630 kW motor, centrifugal ball safety coupling, gearshift, cardan shaft and rpm reducer. The wheel is able to operate in two cutting speeds.

The excavator teeth installed on the buckets for the dislocation of the material are parts kept under intensive wear (Figure 2), leading to their variable reliability especially depending on the characteristics of the cut rock, therefore their reliability and maintenance may be modelled considering the previously mentioned aspects.



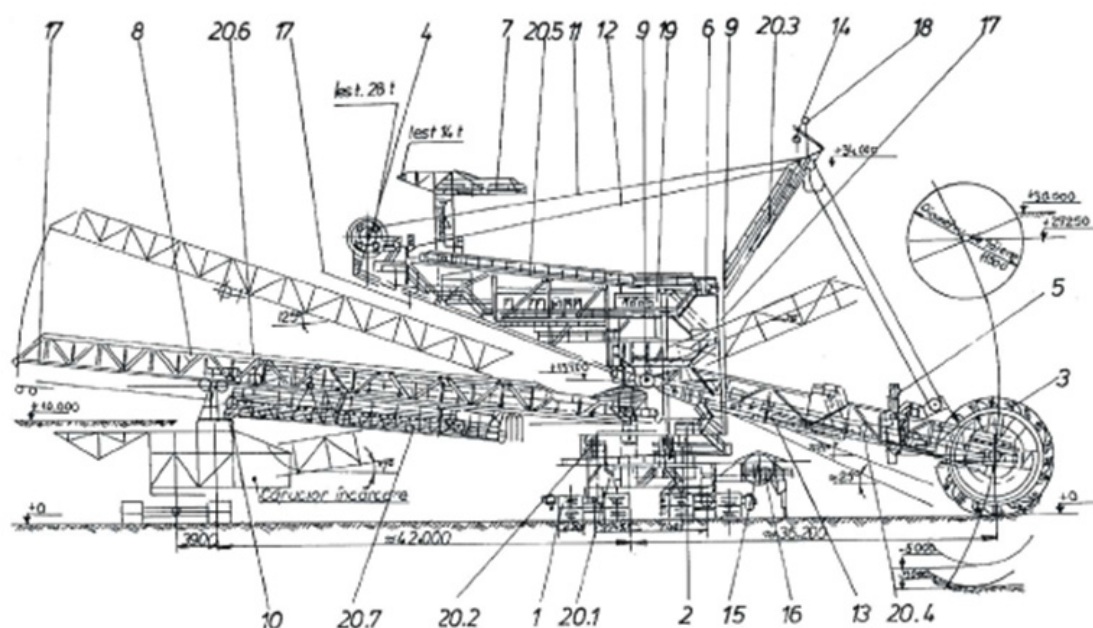


Fig.1. Excavatorul ERC 1400–30/7

1 - mecanism deplasare pe senile; 2 - mecanism de rotire; 3 - mecanism roată cu cupe; 4 - mecanism de ridicare a bratului; 5 - mecanism acționare cabină de comandă; 6- mecanism deplasare macara de montaj; 7- macara rotitoare 10 t; 8- mecanism de ridicare și translație cărucior; 9 - lagăre de articulații; 10- articulație cu bolțuri; 11- cablu de ridicare braț roată cu cupe; 12- cablu de ancorare; 13- ghidaj cu role pentru scara glisantă; 14 - electropalan; 15- tambur pentru cablul de alimentare 6 kV; 16 - tambur cablu comandă; 17- limitator cursă; 18- suport anemometru; 19 - fixare placă de inscripție; 20 - construcție metalică (20.1- șasiul de bază; 20.2- platformă; 20.3- turn și stâlp; 20.4- brațul roții cu cupe; 20.5 - braț de echilibrare; 20.6- pod de legătură; 20.7- banda de deplasare).

Figure 1 ERC 1400–30/7 type Excavator

1 – crawler travel mechanism; 2 – rotation mechanism; 3 – bucket wheel; 4 – boom lifting mechanism; 5 – command cabin operation mechanism; 6 – hoist operation mechanism; 7 – rotating crane 10 t; 8 – conveyor hoisting and moving mechanism; 9 – articulation lagers; 10 – bolt articulation; 11 – bucket wheel boom hoisting cable; 12 – anchorage cable; 13 – guide rail for the sliding ladder; 14 – electric hoisting wheel; 15 – cylinder for the 6kV supply cable; 16 – cylinder for the command cable; 17 – race limiter; 18 – anemometer support; 19 – inscription plate fixation; 20 – metallic construction (20.1 – basic chassis; 20.2 - platform; 20.3 – tower and prop; 20.4 – bucket wheel boom; 20.5 – counterweight boom; 20.6 – connection bridge; 20.7 – conveyor belt).

Mentenanța diferitelor subansamble și piese de schimb depinde, în general, de durata de funcționare planificată, precum și de condițiile concrete de lucru. Compoziția chimică și structura materialelor metalice alese pentru execuția lor (tabelele 1 și 2), trebuie să asigure o uzare minimă, pentru o durată de funcționare corespunzătoare unei mentenanțe puțin costisitoare.

Dinții de excavator, ca piese supuse unor uzări intense (fig.2), au fiabilitate variabilă mai ales, în funcție de caracteristicile rocilor dislocate, astfel încât fiabilitatea și mentenanța lor poate fi modelată ținând seama de aceste aspecte.

The maintenance of different substructures and spare parts depends mainly on the planned period of operation as well as on the practical operational conditions. Chemical composition and the structure of the material chosen for their manufacture (tables 1 and 2) has to ensure a minimum wear for an operational period corresponding to a cost effective maintenance, i.e. a maintenance implying reduced costs.

The excavator teeth, subject to intensive wear (figure 2), have variable reliability especially depending on the characteristics of the dislocated rock therefore their reliability and maintenance may be modelled considering the previous mentioned aspects.

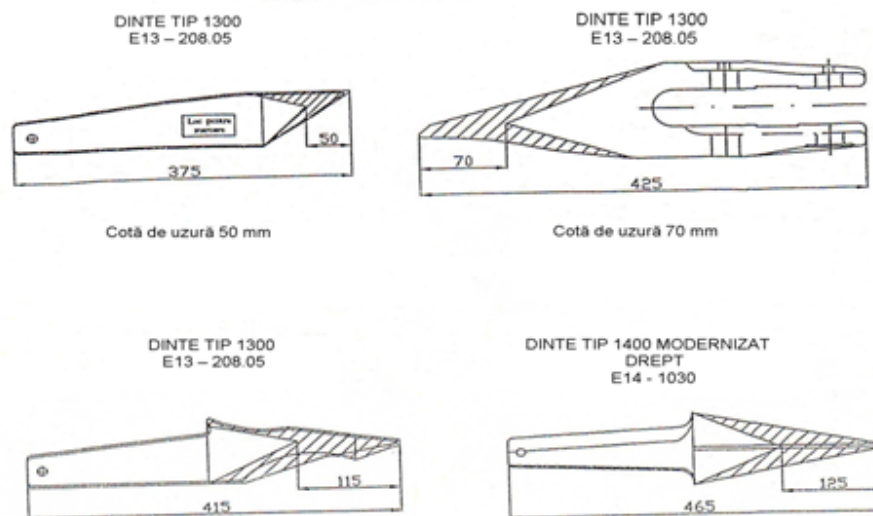


Fig. 2. Tipuri de dinți de excavator  
Fig. 2. Types of excavator teeth

În tabelele 1 și 2 sunt redată unele din materialele indicate a fi utilizate la execuția sculelor de dislocare a rocilor.

Materialul corpului de bază al dinților de excavator poate fi oțelul carbon aliat cu Si și Mn (material cu structură ferito-perlitică de rezistență medie). Oțelurile carbon aliate cu Si și Mn pot avea o structură feritico-perlitică de rezistență medie (întărirea materialului are loc sub influența elementelor de aliere în soluție). Alte materiale care se pot utiliza pentru execuția dinților, sunt:

- a – oțelurile de scule;
- b – oțelurile rapide cu tenacitate ridicată;
- c – oțelurile manganoase cu capacitate mare de ecrisare;
- d – aliajele dure turnate.

Durata de funcționare a dinților, prototip, realizați din oțeluri manganoase și cu tășuri durificate cu materiale, având structuri modelate anterior, în cariera de lignit Prigoria, a fost de 108 ore, adică cu 50% mai mare decât a celor realizate și utilizate anterior.

Tables 1 and 2 present some materials designated for the use in the manufacture of rock dislocating tools.

The material of the body of the teeth may be carbon steel alloyed with Si and Mn (perlite-ferrite average resistance material). The Si and Mn carbon steel alloys may have a perlite-ferrite average resistance structure (the hardening of the material takes place under the influence of alloy elements in the solution). Other materials for the manufacture of excavator teeth are:

- a – tools' steel;
- b – increased tenacity rapid steel;
- c – cold hardening manganese steel;
- d – precast hard alloys.

The operation period of prototype teeth realised from manganese steel with hardened edges, previously modelled structures in the brown coal Prigoria quarry was 108 hours, i.e. 50% larger than those made and used previously.

Tabel 1. Caracteristici fizico-mecanice și structurale impuse aliajelor feroase destinate utilizării la execuția sculelor de dislocare a rocilor

Table 1 Physical-Mechanical and structural characteristics imposed for ferrous materials destined for the manufacture of rock dislocation tools

No.	Area	Type of alloy	Chemical Composition [%]	Mechanical Characteristics	Thermal Conductivity [ $\square$ ]	Structural Characteristics
1	Basic Structure	Metallica construction steel	C = 0.20-0.40 Si = 1.00-1.60 Mn = 1.00-1.80 Mo = 0.10-0.25 Ni = 0.30-0.50	Rp <sub>0.2</sub> = 600-800 MPa Treated state toughness Minimum 230 HB	$\square_t = (40-45) \text{ W/m } ^\circ\text{C}$	Perlitic-ferrite Structure Sorbite structure (ferrite + uniformly distributed carbides)
2	Basic structures and active areas resistant to shock	Manganese Steel	C = 0.90-1.20 Si = 0.50-1.00 Mn = 11.50-14.50 Ni = max. 0.50	Rp <sub>0.2</sub> = 250-400 MPa toughness 180-220 HB	$\square_t = 50,2 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$	Austenitic and sorbitic structure
3	Active area resistant to shock and wear	Alloy cast-iron - Ni, Cr	C = 2.50-3.60 Ni = 3.00-6.50 Cr = 1.50-10.00	toughness 520-800 HV	$\square_t = 50 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$	Ledeburite, perlite, and graphite
		- Cr, Mo	C = 2.40-3.10 Cr = 14.00-18.00 Mo = 2.50-3.00	Approximate toughness 550 HV	$\square_t = 55 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$	Ledeburite, perlite, ferrite and graphite
4	Active area resistant to shock, wear and increased temperatures	- Cr, Ni, Mo	C = 1.80-3.60 Cr = 11.00-28.00 Ni = 2.00 Mo = 3.00 Cu = 1.00	Minimum toughness min. 600 HV	$\square_t = 63 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$	Ledeburite, perlite, ferrite and graphite
5	Active area resistant to shock, wear and increased temperatures	Rapid steel	C = 0.75-1.35 Cr = 3.80-4.50 Mo = 0.50-0.80 / 3.20-3.90 V = 1.40-3.50 W = 9.00-18.50 Co = 4.50-10.50	Toughness = 64 HRC	$\square_t = 26 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$	Fine-accicular martensite, uniformly distributed carbide for ferrite structures Alloyed ledeburite, martensite and austenite for precast structures
6	Active area with an increased resistance to wear	Hard precast alloys	C = 0.80-1.50 Cr = 4.25 Mo = 3.00-5.85 W = 6.30-12.00 V = 3.20-5.00 Co = 5.00-10.00	Toughness = 75-80 HRC	$\square_t = 32 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$	Carbides distributed in an eutectic mass

Tabel 2. Compoziția chimică impusă a oțelurilor destinate utilizării la execuția dinților de excavator  
Table 2 Chemical composition of steel destined for the manufacture of excavator teeth

No.	Alloy Type	Destination	Symbol	C [%]	Si [%]	Mn [%]	Cr [%]	Mo [%]	Ni [%]	Other elements [%]	Mechanical Characteristics
1.	Improvement steel	Teeth structures	26 MnSi17	0.23-0.29	0.20-1.60	0.20-1.60	0.30	0.15-0.25	0.30-0.50	P < 0.03	Toughness 300 HB
			40 Mo10	0.37-0.45	0.17-0.37	0.70-1.00	< 0.30	-	< 0.30	S. P < 0.035	Rp <sub>0.2</sub> = min. 360 MPa
2.	Manganese Steel	Teeth Structures and active areas resistant to mechanical shock	T105Mn120	0.9-1.20	0.50-1.00	11.50-13.50	-	-	< 0.50	S = 0.05 P < 0.11	Rp <sub>0.2</sub> = min. 250 MPa
			T130Mn135	1.25-1.40	0.50-1.00	12.50-14.50	-	-	< 0.50	S < 0.05 P < 0.11	Rp <sub>0.2</sub> = min. 240 MPa

### 3. CONCLUZII

Modelarea proceselor constituie baza studiilor necesare cunoașterii gradelor de influența exercitate de condițiile de funcționare ale sistemului material asupra parametrilor structurali ai diferitelor subsansamble care vor constitui un utilaj tehnologic, de tipul excavatoarelor pentru carierele de lignit.

Dinții de excavator, ca elemente supuse unor uzări excesive, trebuie astfel realizați încât, durata lor, de exploatare să corespundă unor cheltuieli minime pentru activitățile de mentenanță pe care le necesită. În acest sens materialele alese pentru realizarea dinților sunt rezultatul unor modelări structurale, urmate de verificarea experimentală.

### BIBLIOGRAFIE

- [1] Grant, : *Cercetări avansate privind realizarea unor materiale compozite nanostructurate cu gradient controlat pentru aplicații de uzură excesivă*, Progamul” MATNANTECH”, M. Ed. C.T., 2006-2008
- [2] Florea, C.: *Mentenanța*, ISBN (13)978-973-741-009-2, 2006
- [3] Florea C., Praporgescu, G., Vătavu, S., Stănilă, S.: *Posibilități de creștere a fiabilității echipamentelor tehnologice de tăiere și de transport utilizate în medii explozive*, International Conference of the Carpathian EURO-REGION specialists in Industrial Systems, vol. XXII, p.187-191, Baia Mare, 2008

### 3. CONCLUSIONS

Process modelling constitutes the base of the studies required for acknowledging the degrees of influence of the operational conditions of the material system on the structural parameters of different substructures composing one technologic machinery, i.e. a brown coal quarry excavator.

Excavator teeth, as elements continuously kept under excessive wear, need to be realised in such a way that their operation period to correspond to minimum maintenance costs. Therefore, the materials chosen for the manufacture of excavator teeth are the result of structural modelling followed by experimental controls.

### BIBLIOGRAFIE

- [1] Grant: *Cercetări avansate privind realizarea unor materiale compozite nanostructurate cu gradient controlat pentru aplicații de uzură excesivă*, Programme” MATNANTECH”, Ministry of Education Research and Youth, 2006-2008
- [2] Florea, C.: *Mentenanța*, ISBN (13)978-973-741-009-2, 2006
- [3] Florea C., Praporgescu, G., Vătavu, S., Stănilă, S.: *Posibilități de creștere a fiabilității echipamentelor tehnologice de tăiere și de transport utilizate în medii explozive*, International Conference of the Carpathian EURO-REGION specialists in Industrial Systems, vol. XXII, p.187-191, Baia Mare, 2008