

## SPIS TREŚCI

---

<i>W skrócie .....</i>	2
<i>Od redakcji .....</i>	3

### Nauka i Technika

Waldemar Scharf, Wioletta Wieszczycka <i>Particle accelerators for industrial processing (part 2) .....</i>	4
Józef Jonak, Jerzy Podgórski <i>Wpływ geometrii ostrza na wielkość elementu wióra generowanego w procesie skrawania materiału kruchego</i> <i>Influence of the cutting wedge on the formation on the chip size formed in the cutting process of brittle materials .....</i>	14
Johannes Altenbach, Holm Altenbach <i>Trends in Engineering Plate Theories .....</i>	21
Dariusz Mazurkiewicz <i>Wpływ wybranych parametrów konstrukcyjnych układów wielostrzowych na efektywności skrawania materiałów skalnych</i> <i>Multi-tool sets constructional parameters influence on rock materials cutting efficiency .....</i>	31
Anna Bajuk, Krzysztof Głuch, Leszek Michalak <i>Laserowa jonizacja próbki wspomagana matrycą</i> <i>Matrix Assisted Laser Desorption/Ionization .....</i>	38
Zdzisław Chłopek, Leszek Piaseczny <i>Uwagi o modelowaniu w badaniach naukowych</i> <i>Remarks about the modelling in science researches .....</i>	47

### Aktualności PN-TTE

R. Wodzicki <i>II Ogólnopolskie Seminarium „Kolej Lokalna w Polsce” .....</i>	58
--	----

### Informacje o Programach Unii Europejskiej

A. Stępniewski <i>„Wsparcie integracji krajów kandydujących z europejską przestrzenią badawczą” - nowa oferta KE .....</i>	60
---	----

### Ośrodki Naukowe i Przemysłowe

A.J. Klijn <i>Maintenance - a european perspective .....</i>	62
---	----

## W SKRÓCIE

SCHARF W., WIESZCZYCKA W.: **Particle accelerators for industrial processing (part 2);** EiN nr 4/2001, s. 4-14.

The applications of over 1000 electron beam (EB) accelerator processors used recently worldwide span technological fields from material modification to medical sterilization and food processing.

JONAK J., PODGÓRSKI J.: **Wpływ geometrii ostrza na wielkość elementu wióra generowanego w procesie skrawania materiału kruchego;** EiN nr 4/2001, s. 14-20.

W artykule przedstawiono wyniki symulacji MES, dotyczących wpływu geometrii ostrza (wielkość kąta natarcia i przyłożenia) na zasięg propagacji szczeliny generującej główny element wióra. Stwierdzono, że wzrost kąta ostrza (mniejsze kąty natarcia i przyłożenia), sprzyja głębszej penetracji szczeliny pierwotnej, utrudnia spływanie materiału po powierzchni natarcia a tym samym nie sprzyja formowaniu głównego elementu wióra.

Altenbach J., Altenbach H.: **Trends in Engineering Plate Theories;** EiN nr 4/2001, s. 21-30.

The paper summarises some basic trends in modelling and analysis of refined plate theories not primary from a mathematical aspect but from the viewpoint of engineering application and of an increasing reliability of engineering structure analysis. Shear rigid and shear deformable plate models including shear correction factors or kinematical warping effects can be formulated. An extended two-dimensional theory for transverse shear stress analysis yields improved results, the influence of singularities on the global struc-

MAZURKIEWICZ D.: **Wpływ wybranych parametrów konstrukcyjnych układów wielostrzowych na efektywności skrawania materiałów skalnych;** EiN nr 4/2001, s. 31-37.

Artykuł przedstawia wyniki badań laboratoryjnych zmierzających do określenia wpływu wybranych parametrów konstrukcyjnych układów wielostrzowych na efektywność procesu skrawania materiałów kruchych pochodzenia naturalnego, takich jak wapienie czy piaskowiec.

BAJUK A., GŁUCH K., MICHALAK L.: **Laserowa jonizacja próbki wspomagana matrycą;** EiN nr 4/2001, s. 38-46.

Laserowa jonizacja próbki wspomagana matrycą (MALDI - Matrix Assisted Laser Desorption/Ionization) jest nową metodą stosowaną w spektrometrii masowej od połowy lat osiemdziesiątych w badaniach ciężkich biomolekuł. Wykorzystuje ona stałą matrycę, która pełni kluczową rolę w ich procesach jonizacyjnych. Procesy te (desorpcaja, jonizacja) inicjuje tutaj krótkotrwały (kilka nanosekund) impuls światła laserowego. Dzięki tzw. "miękkiej" jonizacji w metodzie MALDI znajduje ona zastosowanie w badaniach ciężkich biomolekuł takich jak peptydy, białka, kwasy karboksylowe i wiele innych. W artykule zawarte są podstawy dotyczące spektrometrii masowej związków biologicznych, a także informacje na temat procesu jonizacji za pomocą desorpcji laserowej. Ponadto zaprezentowane są wyniki najnowszych badań przeprowadzonych metodą MALDI w Zakładzie Fizyki Stosowanej Instytutu Fizyki Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie.

CHŁOPEK Z., PIASECZNY L.: **Uwagi o modelowaniu w badaniach naukowych;** EiN nr 4/2001, s. 47-57.

W pracy przedstawiono krytyczne podejście autorów do modelowania w badaniach naukowych. Zaproponowano systematyczną klasifikację pojęć związanych z modelowaniem oraz ich klasyfikację. Rozważania ilustrowano przykładem modelowania układu słonecznego.

The performance level achieved by the main manufacturers is demonstrated by some selected parameters of processors in the energy range from 0.1 MeV to 10 MeV. The design of the new generation of low cost compact in-line and stand-alone accelerators is discussed.

JONAK J., PODGÓRSKI J.: **Influence of the cutting wedge on the formation on the chip size formed in the cutting process of brittle materials;** EiN nr 4/2001, s. 14-20.

The article presents results of FEA simulations on the influence of the geometry of the cutting wedge (size of the angle of rake and clearance) on the crack propagation extend that generates the main chip element. It was found out that an increase in the angle of the cutting wedge (smaller angles of rake and clearance) favours in-depth penetration of the primary crack, makes material flow on the rake face difficult, and at the same time does not favour formation of the main chip element.

ture behaviour must be considered and the kinematical degree of freedom of plate models is an important criterion in structural analysis of folded plate structures.

Composite materials have become an increasing importance in engineering structures. Multilayered, laminated and sandwich plates are used in aerospace and many other industries. Thin-walled structures composed of composite material have generally a moderate thickness and low transverse stiffness. An adequate modelling of structural plate elements should be given by refined plate theories.

MAZURKIEWICZ D.: **Multi-tool sets constructional parameters influence on rock materials cutting efficiency;** EiN nr 4/2001, s. 31-37.

The paper presents some results of laboratory tests, which aim was to determine influence of multi-tool sets constructional parameters on final efficiency of rock materials cutting process.

BAJUK A., GŁUCH K., MICHALAK L.: **Matrix Assisted Laser Desorption/Ionization;** EiN nr 4/2001, s. 38-46.

MALDI (Matrix Assisted Laser Desorption and Ionization) is a quite new method used in the mass spectrometry since the middle of eighties in studies of heavy biomolecules. It uses a solid matrix that is crucial in the ionization processes of macromolecular substances. These processes (desorption and ionization) are initiated by a few nanoseconds laser pulse. Because of its "softness", MALDI has the application in the analysis of biomolecules such as peptides, proteins, carbohydrates, oligonucleotides and others. This article presents basics of the biomolecule mass spectrometry first of all, but also some general pieces of information about sample ionization processes by MALDI. Some of the results obtained by using TOF spectrometer, in the Division of Applied Physics, Institute of Physics, Marie Curie-Skłodowska University, are also presented.

CHŁOPEK Z., PIASECZNY L.: **Remarks about the modelling in science researches;** EiN nr 4/2001, s. 47-57.

The paper presents authors' critical approach to modelling in science researches. Systematic of notions concerning modelling and their classification are proposed. Considerations are illustrated with an example of the system modelling.

### ***Od Redakcji***

*Zapraszamy do lektury czwartego w bieżącym roku numeru kwartalnika "Eksploatacja i Niezawodność" wydawanego przez Polskie Naukowo-Techniczne Towarzystwo Eksploatacyjne pod patronatem Komisji Lubelskiej Polskiej Akademii Nauk.*

*W głównej, recenzowanej części naszego wydawnictwa znajduje się tym razem sześć artykułów naukowych, poświęconych zagadnieniom teoretycznym, jak i praktycznym. Pierwszy z tekstu to druga część obszernego przeglądu dotyczącego akceleratorów cząsteczek oraz ich zastosowań przemysłowych w takich dziedzinach, jak sterylizacja medyczna, przetwarzanie żywności i innych. Zagadnienia efektywności skrawania specjalnej grupy materiałów kruchych jakimi są materiały skalne i ceramiczne omawiane są w artykule analizującym wpływ geometrii ostrza skrawającego na wielkość wióra generowanego w czasie skrawania. Podobnej tematyki, choć nieco w innym ujęciu, dotyczy analiza wpływu parametrów konstrukcyjnych układów wielonarzędziowych na efektywność procesu skrawania materiałów kruchych pochodzenia naturalnego. Kolejny z tekstu recenzowanych prezentuje wyniki najnowszych badań nad laserową jonizacją próbki wspomaganej matrycą, jakie przeprowadzano ostatnio w Instytucie Fizyki UMCS. Na zakończenie proponujemy tekst prezentujący rozważania o modelowaniu w badaniach naukowych.*

*Jak w każdym numerze, i tym razem w dalszej części prezentujemy tekst dotyczący współpracy międzynarodowej i programów europejskich. Tym razem na temat nowej oferty Komisji Europejskiej w zakresie wsparcia integracji krajów kandydujących z europejską przestrzenią badawczą.*

*W dziale "Ośrodki naukowe i przemysłowe" przedstawiamy Europejską Federację Narodowych Towarzystw Eksploatacyjnych, której jak mamy nadzieję PN-TTE stanie się wkrótce pełnoprawnym członkiem.*

*Dr inż. Dariusz Mazurkiewicz*

*Redaktor Naczelny*

# NAUKA I TECHNIKA

Waldemar Scharf

Wioletta Wieszczycka

## PARTICLE ACCELERATORS FOR INDUSTRIAL PROCESSING (PART 2)\*

*The applications of over 1000 electron beam (EB) accelerator processors used recently worldwide span technological fields from material modification to medical sterilization and food processing. The performance level achieved by the main manufacturers is demonstrated by some selected parameters of processors in the energy range from 0.1 MeV to 10 MeV. The design of the new generation of low cost compact in-line and stand-alone accelerators is discussed.*

### 5. Radiation Processing Linacs

More than 1500 accelerators are functioning contemporary in the industry and in the R&D processing centers all over the world (Table 1) and about 200 machines from this group are linacs. Several companies now offer rf linear accelerators in the 10 MeV region (Table 16). Used in the electron mode, a higher energy beam has better penetration and will process a wider range of product. For example, the high energy systems at 10 MeV can penetrate and treat up to 40 mm of water, whereas the low energy system of about 1 MeV can only treat about 3 mm of water. Less dense materials, e.g. cardboard boxes for medical sterilization ( $\sim 0.15 \text{ g cm}^{-3}$ ) are penetrated proportionally deeper (Fig. 6).

These high energy levels are required to penetrate the product while the sterilized product is contained in the final shipping packaging. The *in-line sterilization system* is one where the electron beam irradiation system is integrated directly into the production process. This can be accomplished with a small electron beam system dedicated to each production line or several lines feeding a single electron beam system. In either configuration the type of electron beam system can be designed to process cartons or single products in their sterile packaging (Table 15).

Excluding steam, the current US market is estimated at 245 million cubic feet of sterilized product. This market is sub-divided into; 133 million cubic

feet processed by ethylene oxide (EtO); 95 million cubic feet by gamma and 17 million cubic feet by accelerators. The trend towards contracting out sterilization services reflects in the growth of irradiators. Over the past five years there has been an increase of 74% in the North American irradiator licensed capacity (46).

The design of an electron beam sterilization facility requires the integration of the accelerator, product handling system and shielding. The size and power of the accelerators as well as characteristics of the product handling system are determined by the type and volume of products to be sterilized. The system controls must track the product as it moves from the non-sterile area through the electron beam to the sterile area. The system must not only monitor identification, position, orientation etc., but also isolate those products which for any reason may not have been properly sterilized. The shielding design is a function of the requirements for the accelerator and product handling system with an overriding concern for worker safety (47).

A *stand-alone* system differs from the in-line approach in that the electron beam system is not directly integrated into the production process. This approach is generally used to process many different types of products in their final shipping carton configurations. Stand-alone systems come in many sizes and are generally classified according to the power of the accelerator (small 1-5 kW, medium 10-20 kW and large

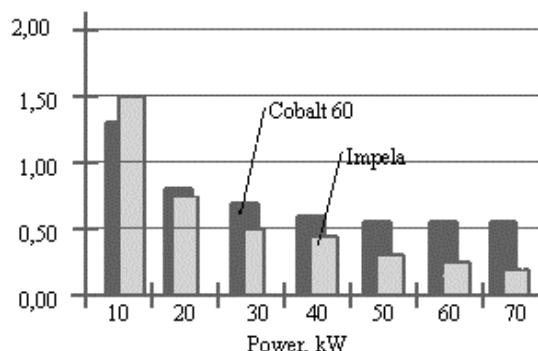
\*Part 1 was published in EiN nr 2-3/2001

25-150 kW) - the larger to the power, the more product volume can be processed. Power ranges above 35 kW are available but are seldom applied to medical device sterilization applications due to the difficulty in control issues at such high process rates.

*Tab. 15. Comparison of Sterilization Processes*

	High-pressure Steam Sterilization	EOG Sterilization	Gamma Ray Sterilization	Electron Beam Sterilization
Sterilization Mechanism	exposing high-pressure steam over 121°	exposing ethylene oxide gas	irradiation of Gamma-ray from Co <sup>60</sup>	irradiation of high energy electron beam
Penetrability	-	no penetrability	high	1. less than gamma-ray 2. penetrability depends on energy of electron beam
Processing Mode	batch processing	batch processing	continuous processing	continuous processing
Processing Time	several hours	more than 10 hours	several hours	less than minute
Other	dry up treatment required	waste to stop treatment is required	unable to stop Gamma-ray radiation	electron beam is stopped when power source is cut

The cost for electron sterilization is a strong function of volume treated (Fig. 22). In the past the maximum reliable power level for electron accelerator was between 10 and 20 kW. At this power, gamma rays from cobalt 60 provide strong price competition. At higher powers the economics of the process becomes limited more by the availability of the product to be treated in any one place rather than the power of accelerator.



*Fig. 22. Cost of sterilization as a function of power (throughput)*

Today, however, rf electron linacs are frequently limited to an average beam power of only 10 to 30 kW (Table 16). The design of these accelerators is restricted by the characteristics of commercially available klystrons (usually S-band or L-band). To achieve higher beam power, higher duty cycle and/or the use of lower frequencies are necessary.

## 5.1. High Energy Linacs

**Thomson-CSF Linacs.** In 1956 Thomson-CSF created the department of Electron Accelerators. In 1987 General Electric buys the branch CGR and concentrates on the medical business. Industrial and scientific market are being covered by a new founded company MeV Industry which is joint venture between SHI and GE. Table 17 lists characteristics of CIRCE linacs manufactured by Thomson-CSF [F16].

In 1986 Thomson-CSF Linac installed the first accelerator used for food preservation in a chicken factory called SPI. This machine produced 5 kW power and 7 MeV energy. They could treat 3 tons of deboned meat per hour at 3 kGy. This machine was operating three shifts per day and 230 days per year. Variable costs were less than 0.02 \$ per kilo. In 1990 this machine was replaced by a new accelerator type CIRCE 10 MeV 10 kW, allowing them to double the throughput.

*Tab. 16. Electron rf Linear Accelerators for Industrial Processing*

Manufacturer Model	Electron energy, MeV	Beam power, kW	Frequency
<b>Medium Energy Range</b>			
Denki Kogyo Co, Ltd. Electronshower	0,3-0,9	1,2-6	200 MHz
RPC, Industries	2	10	S-band
Budker Institute of Nuclear Physics ILU	0,1-2,5	up to 40	120 MHz
<b>High Energy Range</b>			
Varian	2-10	0,6-5	S-band
Mega Ray-Series			
HITESYS [F24]	4-10	1	S-band
Ste-Power STERIL			
TORYI	2-10	6-12	S-band
Elektronika			
Efremov Institute, UELV-8	4-12	12	S-band
Thomson CSF CIRCE II/III	5-10	10-20	S-band
Mitsubishi Heavy Ind.	8-11	25	S-band
Scanditronix EB 10	10	30	S-band
Titan Beta, Titan Scan	3-10	1-50	S-band
Technical Systems, Ltd. (Harwel)	10	50	L-band
IBA Rhodotron	3-10	150	107,5 MH
AECL IMPELA	10	50	L-band

The subsidiary in Belgium of Mölnlycke, a Swedish company (number one in non-woven medical disposable supplies) uses Thomson linacs for sterilization. Their throughput is 70.000 m<sup>3</sup> per year and the density ranges from 0.11 to 0.20.

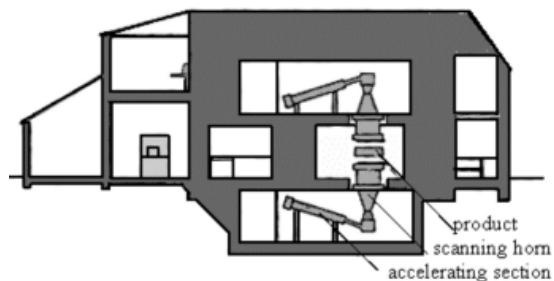
This facility is equipped with 2 accelerators type CIRCE 10 MeV 20 kW placed vertically, facing each other, so as to irradiate products from both sides at the same time (Fig.23).

*Tab. 17. Parameters of CIRCE accelerators mfd. by Thomson-CSF [F16]*

	CIRCE II -10	CIRCE II -20	CIRCE II -20-B	CIRCE III -10
Energy, MeV	10	10	10	5 & 10
Beam power, kW	10	20	18	10
Max pulse repetition rate, Hz <sup>1)</sup>	310	550	500	450
Scanning width, cm	30 to 100	30 to 100	30 to 100	30 to 100

<sup>1)</sup> Beam pulse length 12.5μs

The advantages of this modular system are the following: 1) if the machine breaks down, the other can be used, 2) simple handling system: all-in, all-out (it allows to avoid the use of a turning-over device). This facility is an example of big in-house facility (the project started beginning in 1989). The 10 MeV electrons, in cases of double side irradiation admit a maximal surface weigh of approximately 6.5 g cm<sup>-2</sup>.

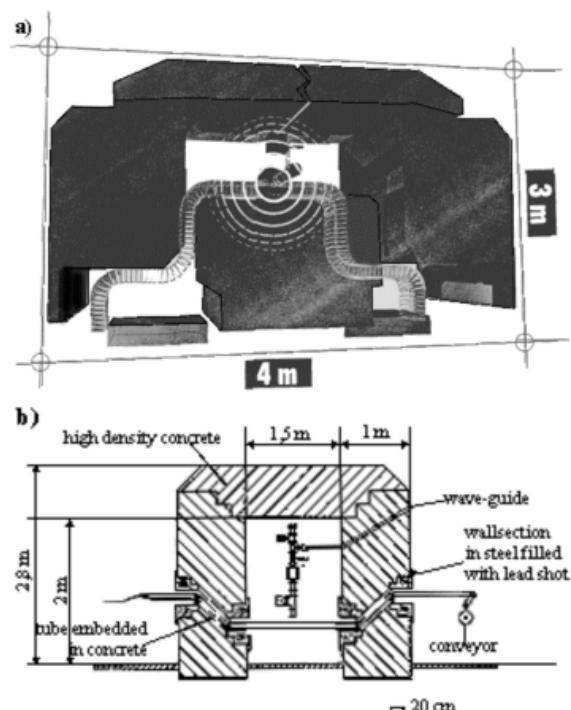


*Fig. 23. System for radiation sterilization equipped with two 10 MeV, 20 kW CIRCE opposite rf linacs (SCA Mölnlycke SA Clinical Products, Belgium [F22])*

At present, Thomson-CSF developed STERBOX (Fig. 24) sterilization system for use in-line.

Table 18 lists STERBOX throughput and dose parameters for sterilization and food processing.

**NIEFA Linacs.** Scientific Production Complex of Linear Accelerators and Cyclotrons (NPK LUTS) is an independent subdivision of the Efremov Institute of Electrophysical Apparatus (NIEFA) [F17] that was established in 1945. More than a hundred of linacs were manufactured and presently are working in Russia and abroad. For electron beam sterilization, for food processing and industrial irradiation technologies NIEFA produce the new generation of electron linacs.



*Fig. 24. STERBOX Sterilization System: a) View, b) Principle of Product Transport System*

*Tab. 18. Performance of STERBOX System*

Products	Throughput, per hour	Dose, kGy
Syringes	6000	25
blood-tubes	10000	25
non-wovens	400 units	25
petri-dishes	6000	10
Cereals	1,5 T	1,0
sea-food	1,0 T	3
poultry, meat	0,8 T	5
spices	0,4 T	10

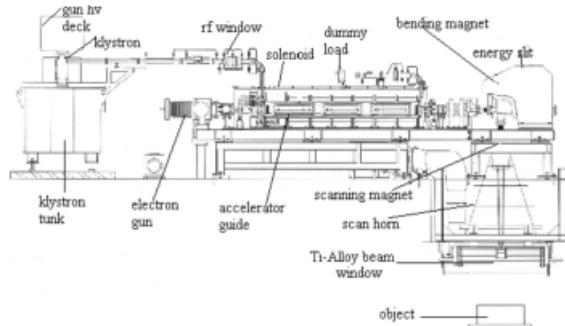
Linac type UELV-8-15S-1 is working in energy range 4-12 MeV with max beam power 15 kW and 12 kW as for long term operation. Continuos output of the x-ray beam is up to 300 Gy m<sup>2</sup> min<sup>-1</sup>. The machine is designed for two-three-shift mode of operation.

At present, there are 8-9 commercial linacs for sterilization at plants and irradiation centers. In the near future, it may be 13-14 linacs used for these purposes (22).

**Mitsubishi Processing Linacs.** The main cause of the instability of most of the S-band linacs is the thermal instability of the accelerator guide under an intense heat load. In some cases, 20 to 30 kW rf power is dissipated in a 1 to 2 m accelerator guide with less than 10 cm diameter cavities. Beam loss in the accelerator guide an additional lumped heat load to some part of the accelerator guide where the beam is lost.

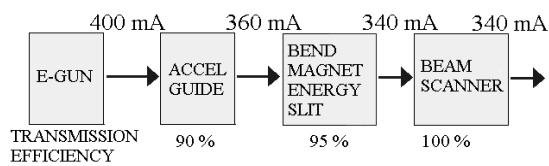
The intense and uneven heat load distorts the cavities of the accelerator guide to destruct a correct acceleration phase relationship and cause the beam instability. That is why in the past the maximal beam power of rf linacs was limited to 15-20 kW (Table 16).

Mitsubishi Heavy Industries design concept is to reduce the rf loss and beam loss to the theoretical limit. System construction is shown on Fig. 25.



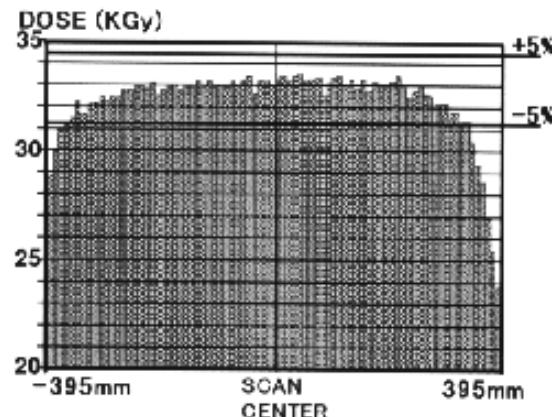
*Fig. 25. System construction (accelerator side view) mfd. by Mitsubishi Heavy Industries [F18]; after Y. Kamino (24)*

A travelling wave CG type guide is selected because a circulator and dummy load system for the input wave guide which constitutes a major loss can be deleted with the travelling wave guide and the klystron output port can be connected directly to the input port of the accelerator guide. The guide parameter is selected as 2 m long (60 cavities) and 0.38 Neper (attenuation factor) CG type to get the 10 MeV beam energy at the nearly heaviest loading condition with available klystron power of 4.8 MW at the guide input by the load line analysis. The beam current is 360 mA (Fig. 26). The initial 8 cavities of the accelerator guide the tapered buncher section and the disk spacing is determined by the electron phase analysis to get the best bunch suppression ratio for tight energy spectrum and the phase limit of -90 deg (just on the crest of the accelerating field) for the best energy conversion efficiency. The energy conversion efficiency of the accelerator guide is as high as about 70% (measured value) and nearly the theoretical limit. This good energy conversion efficiency reduces the heat load of the accelerator guide to as low as 10 kW (average) under the 25 kW beam power operation.



*Fig. 26. Efficiency scheme of Mitsubishi sterilization linac; after Y. Kamino*

The dose uniformity of Mitsubishi sterilization linac is indicated in Fig. 27.



*Fig. 27. The dose uniformity of Mitsubishi sterilization linac*

In March 1995 two machines were delivered to HOGY Medical Co., Ltd., one of the major medical device suppliers in Japan. The system availability is as high as 98%. Guaranteed beam power of next generation of these linacs is 28 kW (25).

**Titan Scan Systems.** The Titan Corporation of San Diego (California, USA) [F10] has developed an integrated electron beam system for the radiation sterilization of medical devices. The system employs a 10 MeV, klystron driven electron linear accelerator, a carrier based materials handling system and a graphics biased information and control system.

The facility is divided into four areas: a processing room, a control room and a product staging area. The processing room is shielded concrete structure with walls and roof ranging from 2.1 m to about 3.1 m at the thickest point directly in front of the electron beam. The processing room contains a 1.4 m long standing wave accelerating section, magnetic systems to focus and scan the 10 MeV 10 kW electron beam, and overhead power and free transport conveyor and the under-beam process table.

Power supplies and utilities are located in adjacent modulator room, which is separated from the processing room by a shield wall so it can be occupied during operation. The control room houses the computers and sub-systems that control, monitor and document the sterilization process. An isolated dosimetry lab is located in the control room area. Processed and unprocessed product is separated by a chain-link fence to prevent intermixing. Denver, Colorado facility occupies about 2700 square meters including office space.

Because the linac system is specifically designed to function as part of a medical product sterilization system, it is built with a component safety margin allowing continuous, 24 hour per day operations. The horizontal accelerator axis provides for two-sided irradiation of medical products with bulk density in the range from 0.03 to 0.30 g/cm<sup>3</sup>. The beam is scanned in the vertical direction to accommodate packages up to 51 cm in height at the front surface of the carrier (26).

The new Surebeam 10/15 is designed as an end-of-line sterilization system which sterilizes the product in its final shipping case configuration. Processing rates will vary dependent on dose and product density and will average from 10 to 13 cubic meters (350 to 450 cubic feeds) per hour. The customers have been able to achieve economic payback on Surebeam systems in less than 3 years (27).

**IBA Rhodotron System.** Ion Beam Application (IBA) is a small Belgian company producing a particle accelerators [F19].

The Rhodotron invented by Pottier (28) is a new kind of electron accelerator, based on the principle of recirculating a cw beam through a single coaxial cavity resonating in metric waves. The rose-shaped pattern described by the acceleration path gives rise to the name Rhodotron, rhodos in Greek means rose.

This design makes it possible to easily achieve the acceleration of high intensity electron beams to high energies. The beam passes several times along different diameters in the median plane. After each pass, the beam is bent by a magnet and then sent back to the accelerating cavity, the trajectories having a rosaceous shape. In the Rhodotron cavity (TEM mode), the electric field is radial and the magnetic field is azimuthal having zero value in the median plane. Focusing of the beam is achieved by proper edge shaping of the deflecting magnets.

A continuous mode (100% duty cycle) is the best solution for industrial processes. The size of the machine is defined by the fundamental resonance frequency of the cavity. The available commercial powerful amplifiers are limited in frequency to about 100 MHz. The number of passes is limited to about 10 by the size of magnets and the energy gain per pass is limited to about 2 MeV by power of existing continuous rf cavity. Hence, the energy range of the Rhodotron beam is 1 to 20 MeV. The electrons are generated in a vacuum environment by the electron gun, located at the outer wall of cavity (Fig. 28). The electrons are then drawn away and accelerated by the radial electric field, which transmits energy to them. The electrons undergo a first acceleration toward the inner wall of the cavity. They then pass through openings in the center conductor.

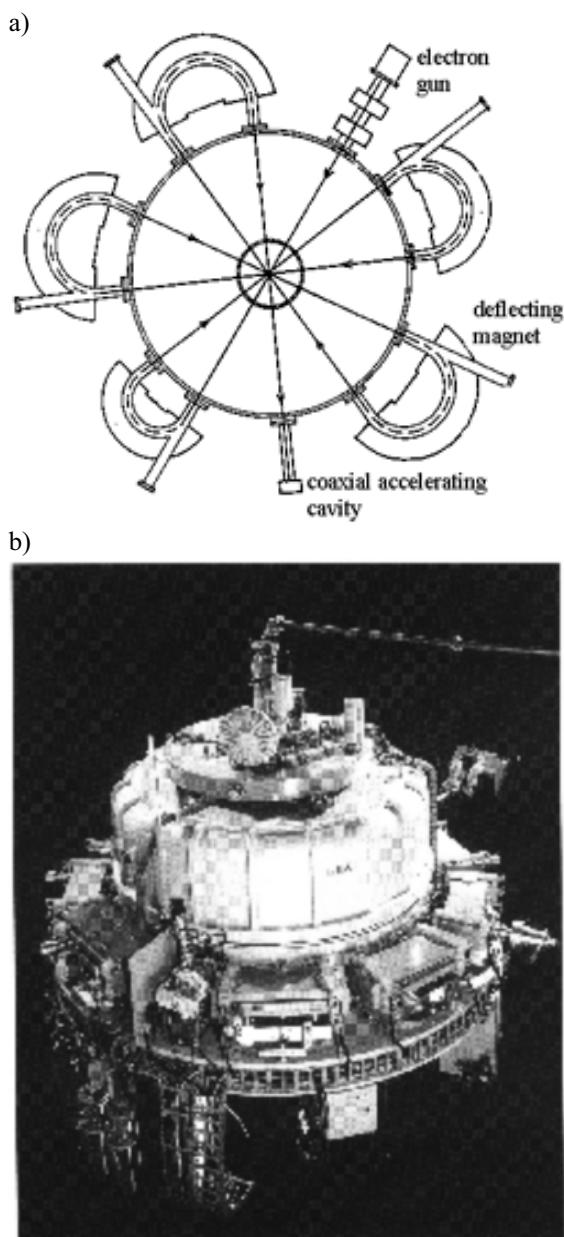


Fig. 28. a) Median section of Rhodotron, with electron trajectories shown; after J. Pottier (28); b) View of Rhodotron

This accelerating cavity is a half-wavelength coaxial cavity (a tube surrounding a central conductor, both tubes having coincident axes), shorted at both ends and resonating in metric waves at 107.5 MHz. The cavity is brought to an alternative electric potential which creates an electric field between external tube and the central conductor. This electric field is radial and exhibits rotating symmetry. In the median plane the electric field is maximum and magnetic field is zero. This plane makes it convenient for an accel-

erated beam to be recirculated along several different diameters without perturbation of the electron trajectories by the magnetic field.

Because the Rhodotron operates in a continuous wave (cw) mode, it does not need a klystron to amplify the accelerating rf signal. Instead, it uses a cathode driven tetrode which, by design, always operates at peak efficiency.

Rhodotron is available in three models: 1) TT100: 3-10 MeV, 1-35 kW, 2) TT200: 3-10 MeV, 1-80 kW and 3) TT300: 3-10 MeV, 1-150 kW. As yet, eight systems are sold (30). Rhodotron models have "wall-plug to beam power" electrical efficiency of better than 20, 31, 43% respectively. With TT100 model footprint is only 1.6 m in diameter and a height about 1.75 m.

At 10 MeV / 35 kW Rhodotron based sterilization unit, for example, a realistic capacity of about 100.000 m<sup>3</sup>/year a Rhodotron -based sterilization facility can demonstrate and unit sterilization cost of about \$14 per cubic meter (less than \$0.40 per cubic foot), inclusive of investment and operating expenses.

**IMPELA System.** AECL [F20] is developing a family of industrial irradiators based on high-power electron linear accelerators to cover beam energies around 10 MeV at average beam powers from 50 to 60 kW. This family of industrial irradiators, called IMPELA (Industrial Materials Electron Linear Accelerators), has been designed for applications where combinations of dose, penetration, and volume are high. Processing can be done in electron or x-ray mode. The electron beam energies ranging from 5 to 18 MeV at beam powers of 20 to 250 kW.

This pulse (~200 ms) accelerator was designed to provide low electrical stress (<100 kV, ~2.5 MW, 3 MeV m<sup>-1</sup>), low thermal stress (20-45°C) and low mechanical stress (1.3 GHz) in a shielded vault (~400 m<sup>2</sup>) and provide sufficient energy and power to meet the requirements of the established cross-linking and sterilization industries. Three accelerators have been built so far and have reached over 20.000 hours of commercial operation in Canada and the United States.

IMPELA beam energy 10 MeV can penetrate at typical shipper of medical products 60 cm (24 inches) thick. Beam power of 50 kW makes it possible to sterilize up to 2.5 tones of such product per hour.

## 5.2. Medium Energy Linacs

Single Cavity Accelerators ILU-type. An resonant single-cavity accelerator was developed at Budker Institute of Nuclear Physics [F7] to cover the elec-

tron energy range from 0.1 to 2.5 MeV with the average beam power up to 40 kW (34). Fig. 29 shows the principle of operation of the accelerator.

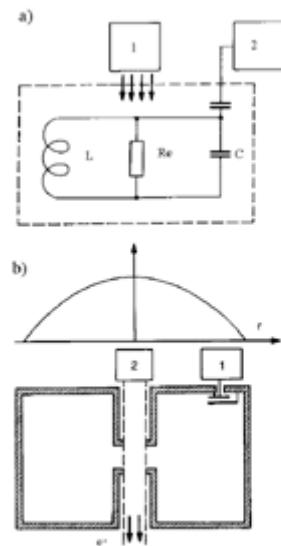


Fig. 29. Principle of operation of an accelerator based on one pass single cavity coaxial resonator: 1) high frequency generator, 2) electron gun, a) simplified electric diagram, b) electric field density distribution across the resonant cavity, c) cross section of a coaxial resonant cavity

The toroidal cavity is made of two isolated halves - one half partly entering the other - is mounted inside the stainless steel vacuum tank. The side surfaces of these halves form a coaxial capacitor, which shorts out the cavity rf current. The lower half of cavity is isolated from the body and is supplied via the inductivity with a constant negative voltage for suppressing the multipaction discharge and preventing the ion leakage from the accelerating gap. For exciting the cavity, the auto-generator with a common grid circuit is used. The cavity is connected to the generator tube anode via the inductive loop without the use of intermediate feeder and produces the anode circuit. The use of such a scheme simplifies substantially the accelerator design and decreases the accelerator overall dimensions. The generator back-coupling mode is tuned by varying the gap in air capacitance between the cathode and anode and with the cathode tail length.

The constant voltage (1 kV) from the separate power source is applied to the autogenerator anode in order to improve its operation stability. This power source is connected to the secondary winding of the pulse transformer. In this case, the autogenerator is operated in continuous mode (115-120 MHz) at a low level of supplied power. When the pulse high power

is applied to the tube anode, the rf voltage envelope on the accelerating gap has practically the same form as that of the pulse anode power at high load of resonator with the beam of accelerated electrons.

In period 1978-93 about 32 ILU-type accelerators was manufactured.

#### **Denki Kogyo, Co. Electronshower System.**

Denki Kogyo developed an electron beam irradiation system, similar to ILU, without a bending magnet, in which the beam is accelerated vertically and scanned in the horizontal plane because in most cases materials are irradiated in the horizontal plane. The system is named Electronshower (ES) and has an energy range of 300 to 900 keV. The maximum energy rating of 900 keV is not a technical limit but is chosen for the practical reason those electron machines whose beam energy is lower than 1 MeV can be used without governmental permission (Japan). Fig. 30a shows a cross sectional scheme of Electronshower and Fig 30b its view.

An electron beam is extracted with the dc anode voltage of 5.5 kV from an electron gun mounted in the entrance side stem. The velocity of the extracted beam is modulated by the rf field at the bunch gap and electrons are concentrated at the acceleration gap in the narrow phase of the main acceleration field. The beam accelerated at the gap is focused by the solenoid coil in the exit side steam and transported into the scanning magnet. The magnet is made of stacked thin iron plates 0.5 mm thick to reduce the eddy current and the pole piece has a semi-circular boundary to keep the beam spot rather insensitive to the deflection angles. The waveform of current exciting the magnet can be adjusted to obtain a good uniformity of dose over a scanning length. The beam is scanned over a length of 25 cm and extracted through the window (titanium foil, 0.03 mm thick). Samples are placed in a box below the foil and are irradiated. The window is cooled by nitrogen gas and the oxygen density in the box can be kept lower than 100 ppm.

The self-excited oscillator delivers an output power of more than 100 kW in the accelerating cavity in pulse mode at frequency more than 175 MHz. Footprint of accelerator is 1.5x0.9 m and height 1.85 m (Fig. 30b).

**RPC Technologies Linac System.** RPC Technologies [F4] has developed a 10 kW scanned electron linac system for medium energy industrial processing such as in-line sterilization. The parameters are: electron energy: 2 MeV, average beam current: 5.0 mA and scanned width: 0.5 m. Accelerator is vertically mounted, the system height above the floor is 3.4 m, and the footprint

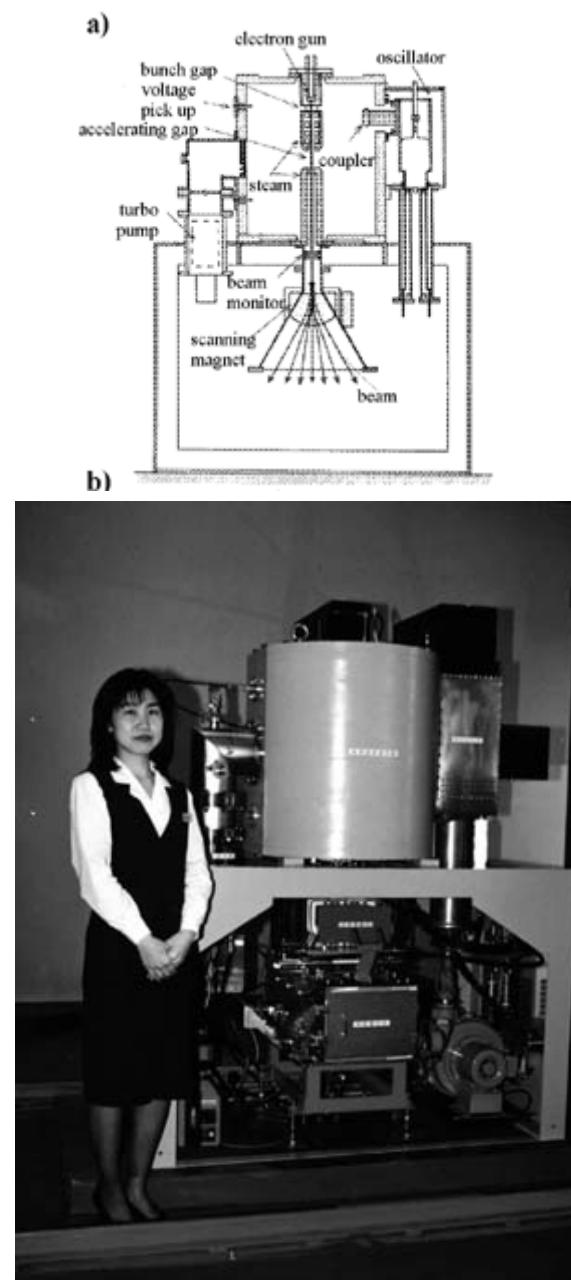


Fig. 30. Electronshower system: a) cross sectional scheme, b) view; mfd by Denki Kogyo [F21], after T. Fujisawa et al. (37)

is 0.9x1.2 m<sup>2</sup>. The typical processing cell inside dimensions are 3.0 m by 4.2 m high with concrete sidewalls 0.5 m thick aboveground level. The products to be sterilized have densities ranging from 0.19 to 0.58 g cm<sup>-3</sup> (41). Estimated operated cost is \$5 per m<sup>3</sup> (annual output 12.700 cubic meters).

### 5.3. Comparison of Linacs

The reason why dc machines are used in energy ranges lower than 5 MeV, are because the electric power efficiency of a dc machine is better than that of a rf machine, and the principle and technology of dc machines are well established compared to those of rf type. An rf accelerator, however, is much smaller than a dc machine in energy ranges higher than 300 keV and no accessory is required such as a reservoir for SF<sub>6</sub> gas for a dc machine. Furthermore, an rf accelerator is more reliable than a dc machine because no insulator is used in the area where the strong electric field is generated.

Medium and high energy linacs are mainly devoted to medical sterilization. By the end of 1993, there were 18 plants doing commercial sterilization on large scale; 7 in North America, 8 in Europe and 3 in Japan. It is expected that in 2000 this number will be doubled. Performance comparison of modern linac systems for medical sterilization is given in Table 19 (33). The present designs routinely achieve a 24 hour per day duty cycle. Today, systems routinely operate more than 7000 hours per year, with maintenance performed in less than 8 hours per week. Unscheduled down time has been measured consistently at least than 5%.

Irradiation of food has been approved in 37 countries for more than 40 products (42). Low doses up to 1 kGy control the trichina parasite in fresh pork, inhibit maturation in fruits and vegetables, and control insects, mites and other arthropod pest in food. Medium doses, up to 10 kGy, control bacteria in poultry and high doses - above 10 kGy - control microorganisms in herbs, spices, teas, and other dried vegetable substances. Quantities irradiated are not well documented, however, it is generally accepted that alone for spices the per annum treatment increased from about 25.000 t in 1992 to ca. 100.000 t in 1994 with still increasing tendency until today (42).

Use of EB facilities would supplement gamma processing, especially in a situation where existing gamma irradiators could not meet a sudden increase in demand for processing capacity. For example, in Germany alone, annual consumption of poultry was about 1.000.000 t in 1994. To treat the quantity at a dose of 1 kGy a processing capacity of about 15 commercial facilities - each 2-3 MCi Cobalt - 60 or 10 kW 10MeV-electrons - would be required, 24 h per day and 365 days per year (43). Until now only a few accelerator systems are operating worldwide for commercial processing.

*Tab. 19. Performance Comparison of Linac Systems for Medical Sterilization; after Titan Scan Electron Beam Systems (33)*

Parameter	System size		
	Small	Medium	Large
Beam energy / Power System footprint , m <sup>2</sup>	2-3MeV / 1,5kW 65 <sup>1)</sup>	4-6MeV / 10kW 65 <sup>1)</sup>	
	approx. 4,000single products /shift / week <sup>1)</sup>		70-90 m <sup>3</sup> /shift/week <sup>1)</sup>
	System \$1,800,000	System \$2,300,000	
	Facility \$100,000	Facility \$100,000	
Throughput	irradiate individual packaged components single sided	irradiate individual cartons single or double sided	
Capital cost approx.	Small	Medium	Large
	10MeV / 4-6kW 56 <sup>1)</sup>	10MeV / 10-20kW 350 <sup>1)</sup>	10MeV / 25-50kW
	approx. 70-90 m <sup>3</sup> /shift / week <sup>1)</sup>	267-534m <sup>3</sup> /shift/ week <sup>1)</sup>	667-1,332 m <sup>3</sup> /shift/week <sup>1)</sup>
	System \$2,300,000	System \$4,000,000	System \$5,300,000
Capabilities	Facility \$100,000	Facility \$800,000	Facility \$1,300,000
	irradiate individual cartons single or double sided		

<sup>1)</sup> dose 25 kGy in material with <0.05 g cm<sup>-3</sup> density

### 6. High Energy Pulsed Power Accelerators

The technology base for Repetitive Energy Pulsed Power (RHEPP) was originally developed to support defense program applications. As RHEPP technology matures, its potential for use in commercial applications can be explored based on inherent strengths of high average power, high dose rate, cost efficient scaling with power, and potential for long life performance. The 300 kW, 2 MeV RHEPP II accelerator is now in operation (Scandia National Laboratory) as a designated DOE User Facility, exploring applications where high dose -rate ( $>10^8$  Gy s<sup>-1</sup>) may be advantageous, or very high average power is needed to meet throughput requirements. Material surface and bulk property modification, food safety, and large-scale timber disinfestation are applications presently under development (38).

RHEPP technology development is focused in areas requiring repetitive, short-pulse, large area beams; very high average power electron beam (100's of kW) or x-ray outputs, or where high dose rates ( $>10^8$  Gy s $^{-1}$ ), may be advantageous over commercially available dc or rf accelerator technologies (Fig.31). Magnetic switching, an essential component in RHEPP technology can also produce multi-kilojoule pulses at 100's of pulses per second (pps) rates, enabling applications not easily serviced by conventional switching technologies. Combining these features with a capability to scale cost effectively to megawatt level systems, RHEPP represents a credible building block. At present this technology is being commercialized by QM Technologies [F23].

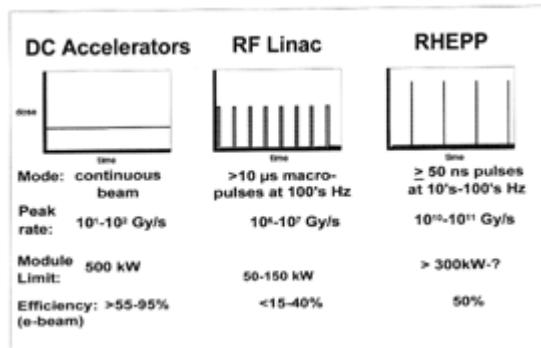


Fig. 31. RHEPP e-beam characteristics in comparison to commercial accelerator technologies; after L. X. Schneider et al. (38)

## 7. Conclusion

The situation in the field of low energy, i.e. 0.1-0.3 MeV processors, is stable: it is mainly the production of the updated 1960s and 1970s designs that has been continued. The growth in the use of these self-shielded high current accelerators is being pulled by the attention to the elimination of solvents and air pollutants from coating and printing operations. The different situation obtains for the accelerators in the medium energy range of 0.5-5.0 MeV. The core of the industrial accelerator business remains in this medium-voltage area, where the traditional use of EB processing for the crosslinking of wire and cable jacketing and films remains the major end use.

Work on new designs is being focused mainly on the high-energy (5.0-10 MeV) machines. Most of the designs of the new generation accelerators are low-cost compact on-line and stand-alone systems featuring high reliability (over 95-98%). From the point of view of accelerator technology, there have been considerable advances in this high-energy area. However, the market acceptance for this new generation of machines, with their ability to deliver beams with greater penetration, is still evolving. What seems to be a decisive factor in the more intensive future development of applications of accelerator processors is their cost-effectiveness, with special emphasis placed on unit cost of processing.

There is still lack of commercially manufactured high-power ( $\geq 1000$  kW) accelerators which would lead to a widespread use of accelerator techniques that require high power beams.

## 8. References

- [1] Anonym: *Statistics on the Use of Radiation in Japan* (1997)
- [2] G. A. Norton, G. M. Klody: *The Application of Electrostatic Accelerator in Research and Industry - a Summary*, 1109-14 in (39)
- [3] S. Machi: *Radiation Technology for Sustainable Development*, Radiat. Phys. Chem. 46, No. 4-6, 399-410 (1995)
- [4] M R. Cleland: *Electron Beam Workshop Addresses Future Needs*, (1998)
- [5] *Electron Beam Processing*, <http://www.ebeam.com> (1998)
- [6] R. Mehnert et al.: *Low-energy electron accelerator for industrial radiation processing*, 525-29 in (7)
- [7] H. Qitao et al.: *Proc. of 8th Int. Meeting on Radiation Processing*, 13-18 Sept. 1992, Bejing, Radiat. Phys. Chem. 42, No. 1-6 (1993)
- [8] P. Holl, E. Foll: *Electron Beam for Non-Thermal Curing and Crosslinking of Lacquers, Printing Inks and Adhesives*, Polymer Physik GmbH Pub., Tubingen (1993)
- [9] Y. Kumata et al.: *Development of New-Type Low Energy Electron Beam Processor*, private communication (1996)
- [10] P. Holl, E. Foll: *High Scruff-Resistant Surfaces*, Polymer Physik GmbH Pub., Tubingen (1994)
- [11] R. Mehnert et al.: *Materials Modifications Using Electron Beams* in (12)
- [12] NATO Advanced Study Institute: *Application of Particle and Laser Beam in Materials Technology*, 8-21 May, Chalkidiki (1994)

- [13] M. R. Cleland, J. A. Beck: *Electron Beam Sterilization*, 105-36, in J. Swarbrick, J. C. Boylan: Encyclopedia of Pharmaceutical Technology, Vol. 5, Marcel Dekker, Inc., New York (1992)
- [14] Shiguin, Ch. Dali: *ITC Accelerator for Radiation Applications*, 559-62 in (7)
- [15] Y. Golubenko et al.: *Accelerators of ELV-Type: Status, Development, Applications*, 1-29, private communication
- [16] Techsnabexport: *Accelerators for Industrial Radiation Technological Processes*, Moskwa (1987)
- [17] T. Fujisawa, NHV, private communication (1998)
- [18] M. R. Cleland et al.: *New High-Current Dynamitron Accelerators for Electron Beam Processing*, Nucl. Instr. Meth. B79, 861-64 (1993)
- [19] Th. Descamps: *The Practical Experience of a Total Conversion to High Energy Electron Beam Processing*, Radiat. Phys. Chem., Vol. 46, 439-42 (1995)
- [20] Th. Descamps: *Design an Development of a Unique Electron Accelerator Facility*, Molnlycke, Waregem (1997)
- [21] M. F. Vorogushin et al.: *Electron Linacs of D.V. Efremov Institute for Industry*, Doc. EC411, St Petersburg (1997)
- [22] M. F. Vorogushin, private communication (Feb. 1998)
- [23] Y. Hoshi et al.: *X-ray Irradiation System for a Sterilization Application*, Nucl. Instr. Meth. A 353, 6-9 (1994)
- [24] Y. Kamino: *10 MeV 25 kW Industrial Electron Linac*, 836-838, in Proceedings of the XVIII Int. Linear Acc. Conference Linac'96, CERN Pub, 96-07 (Nov. 1996); ditto, Radiat. Phys. Chem. 52, 469-473 (1998)
- [25] Y. Kamino, private communication (Nov. 1997)
- [26] H. Anamkath: *10 MeV 10 kW E-beam processing linac*, Nucl. Instr. Meth. B99, 725-727 (1995)
- [27] *SureBeam™ 10/15 System*, <http://www.titan.com/10-15.html> (1998)
- [28] J. Pottier: *A new Type of rf Electron Accelerator: the Rhodotron*, Nucl. Instr. Meth. B40/41, 943-45 (1989)
- [29] Y. Jongen et al.: *Rhodotron Accelerators for Industrial Electron-Beam Processing: Progress Report*, 2687-89, in EPAC'96 - Proceeding of the 5th European Particle Accelerator Conference, Inst. of Physics Publishing, Bristol (1997)
- [30] J. Pottier, private communication (Jan. 1998)
- [31] J. McKeown et al.: *The IMPELA Accelerator*, Field Performance and New Developments in (39)
- [32] N. H. Drewell: *Characterization and Stability of Accelerator Parameters for Industrial Applications*, in (39)
- [33] *Electron Beam Systems for Medical Device Sterilization*, <http://www.titan.com/scansystems/mdm.html> (1998)
- [34] V. L. Auslender I. N. Meskov: *Powerful Single Cavity rf accelerators and their Uses in the Radiation Chemical Processing Line*, Radiat. Phys. Chem. 35, 627-31 (1990)
- [35] V. L. Auslender et al.: *Installations for Electron Beams Treatment of Tubes and Bands on the Base of ILU-8 Accelerator*, 531-34, in (7)
- [36] V. L . Auslender, V. A. Polyakov: *The Installation for the Single Use Medical Devices Based on the ILU*, 563-66, in (7)
- [37] T. Fujisawa et al: *Compact rf Accelerator for Electron Beam Irradiation*, Nucl. Instr. Meth. B124, 120-27 (1997)
- [38] L. X. Schneider et al.: *Repetitive High Energy Pulsed Power Technology Development for Industrial Applications 1085-88*, in (39)
- [39] CAARI'96, J. L. Duggan I. L. Morgan, CP392, AIP Press, New York (1997)
- [40] E. L.Neau: *Pulsed, low impedance accelerator for industrial applications*, 1171-74, in (39)
- [41] R. R. Smith, S. R. Farrell: *2 MeV Linear Accelerators for Industrial Applications*, 1093-96 in (39)
- [42] P. Redlinger, D. Nelson: *Food irradiation*, HTML written by UMSCHPS (1998)
- [43] A. E. Ehlermann: *Status of food irradiation in Europe*, 3-7, in Proc. of the 22nd Japan Conf. on Radiation and Isotopes, Dec. 17-19, 1996, Yokohama
- [44] B. Mager, D. A. E. Ehlermann: *Electron beam processing of chicken carcasses*, 144-146, in R. Jowitt(ed): *Engineering and food at ICEF 7*, Part 2, Sheffield Academic Press, Sheffield (1997)
- [45] P. Holl, private communication, July 1998
- [46] J. T. Corley: *Cobalt 60 gamma irradiation - current status, trends and insights*, Radiat. Phys. Chem. 52, 491-494 (1998)
- [47] J. L. Hackett: *A state of the art. Electron beam sterilization facility*, Radiat. Phys. Chem. 52, 491-495 (1998)

## List of Firms

- [F1] ESI - Energy Science, Incorporation, 42 Industrial Way, Wilmington, MA 01887, USA  
Geneva Branch: Chemin du Pre-de-la-Fontaine 12, CH-1217 Meryin, Switzerland
- [F2] Polymer Physik GmbH & Co. KG, Sieben-Hofe-Str. 91, D-7400 Tubingen, Germany; closed down since the end of February 1998
- [F3] SHI - Sumitomo Heavy Industries, Ltd, Quantum Equipment Division, 5-10-11 Kiba, Koto-ku, Tokyo, Japan
- [F4] RPC Technologies, 21325 Cabot Blvd, Hayward, California 94545, USA
- [F5] NHV - Nissin High Voltage Co., Ltd., 47 Umezu-Tanase-cho, Ukyo-ku, Kyoto 615, Japan
- [F6] High Voltage Engineering Europe B. V., AmsterdamSeweg 61, P.O. Box 99, 3800 AB Amersfoort, The Netherlands
- [F7] Budker Institute of Nuclear Physics, 630090, Novosibirsk, Russia
- [F8] RDI - Radiation Dynamics, Inc, 151 Heartland Blvd., Edgewood, NY 11717-8374
- [F9] Denki Kogyo 3-3-1, Marunouchi Chioda-Ku, Tokyo 100, Japan
- [F10] a) Titan Beta, 6780 Sierra Court, Dublin, CA 94568, USA; b) Titan Scan, 6750 East 46th AvenueDrive, Denver, CO 80216, USA
- [F11] Mitsubishi Heavy Industries, Ltd., 10 Oye-Cho, Minato-Ku, Nagoya, 455, Japan
- [F12] BGS - Beta-Gamma-Service, Fritz-Kotz-Strasse 16, D-51674 Wiehl, Germany
- [F13] Industrial Contract Irradiation Center Studer AG, Hogenweidstrasse 2, CH-4658 Daniken, Switzerland
- [F14] CARIC, Domaine de Corbeville, 91400 Orsay, France
- [F15] SCANCARIC, 71400 Kopparberg, Sweden
- [F16] Thomson-CSF, Parc Technologique, Gemini II, Route de l'Orme, F-91195 Saint-Aubin Cedex, France
- [F17] Sci. R. Efremov Institute of Electrophysical Apparatus, (NIEFA), 189631 St Petersburg, Russia
- [F18] Mitsubishi Heavy Industries, Ltd., Nagoya Aerospace Systems, 10 Oye-Cho Minato-ku, Nagoya, 455 Japan
- [F19] Ion Beam Application, IBA, Chemain du Cyclotron, Louvain-la-Neuve, Belgium
- [F20] AECL Accelerators, 10 Hearst Way, Kanata, Ontario K2P4, Canada
- [F21] Denki Kogyo Co., Ltd., Nakatu-Sakuradai 4052-1, Aikawa-machi, Aikou-gun, Kanagawa 243-03, Japan
- [F22] SCA Mölnlycke, S.A. Clinical Products Parc Industriel, B-4300 Waremme, Belgique
- [F23] QM Technologies, 3701 Hawkins St. NE, Albuquerque, New Mexico 87109, USA
- [F24] High Technology Systems Spa (HITESYS), via dell'Industria, 1/A, 04011 Aprilia, Italy

---

**Dr Waldemar Scharf  
Mgr inż. Wioletta Wieszczycka**  
*Warsaw University of Technology  
Institute of Radioelectronics  
Nowowiejska Street 15/19  
PL 00-665 Warsaw, Poland  
e-mail W.Scharf@ire.pw.edu.pl*

---

## WPŁYW GEOMETRII OSTRZA NA WIELKOŚĆ ELEMENTU WIÓRA GENEROWANEGO W PROCESIE SKRAWANIA MATERIAŁU KRUCHEGO

### INFLUENCE OF THE CUTTING WEDGE ON THE FORMATION ON THE CHIP SIZE FORMED IN THE CUTTING PROCESS OF BRITTLE MATERIALS

*W artykule przedstawiono wyniki symulacji MES, dotyczących wpływu geometrii ostrza (wielkość kąta natarcia i przyłożenia) na zasięg propagacji szczeliny generującej główny element wióra. Stwierdzono, że wzrost kąta ostrza (mniejsze kąty natarcia i przyłożenia), sprzyja w głębszej penetracji szczeliny pierwotnej, utrudnia spływanie materiału po powierzchni natarcia a tym samym nie sprzyja formowaniu głównego elementu wióra.*

*The article presents results of FEA simulations on the influence of the geometry of the cutting wedge (size of the angle of rake and clearance) on the crack propagation extend that generates the main chip element. It was found out that an increase in the angle of the cutting wedge (smaller angles of rake and clearance) favours in-depth penetration of the primary crack, makes material flow on the rake face difficult, and at the same time does not favour formation of the main chip element.*

#### 1. Wprowadzenie

Dla wydajności i energochłonności procesów drążenia skał, istotne jest odspajanie przez każde z ostrzy głowicy urabiającej, w jednym przejściu, jak największej objętości uroku. Oprócz jak największego przekroju poprzecznego warstwy materiału usuwanego przez jedno ostrze, istotne znaczenie ma tutaj jak się wydaje, uzyskanie jak największego zasięgu szczelin pierwotnych, generujących główny element wióra. Wiąże się to z faktem, że propagacja wspomnianych szczelin, odbywa się z minimalnym nakładem energii. Stąd też powinno się dążyć do wytwarzania warunków, w których zasięg szczelin pierwotnych generowanych przed ostrzem, będzie jak największa, przez co i objętość materiału odspajanego w elementarnym cyklu skrawania, będzie również jak największa.

Ponieważ w chwili obecnej, mechanika tego procesu jest stosunkowo słabo poznana, stąd też na bazie analiz MES, podjęto próbę analizy tego zagadnienia.

#### 1. Introduction

From the point of view of efficiency and energy consumption of the process of rock cutting, it is important to ensure that each of the cutting wedges of the tool head loosens the biggest possible amount of winning at one go. Beside the biggest possible cross-section area of the material layer cut off by one cutting wedge, it seems that that the biggest possible extend of the primary cracks that generates the main chip element are significant. It is related to the fact that propagation of the cracks takes place with the lowest possible energy input. Hence, we should attempt to create conditions in which the extend of primary cracks generated in front of the cutting wedge would be the biggest, which will make the volume of material loosened in the elementary machining cycle the highest possible.

Since at the moment relatively little is known on the mechanics of this process, an analysis of this problem has been undertaken on the basis of the FEA programmes.

## 2. Model strefy skrawania, założenia do modelowania

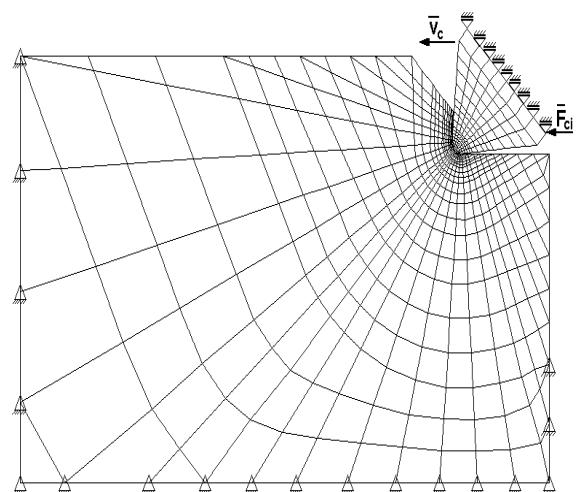
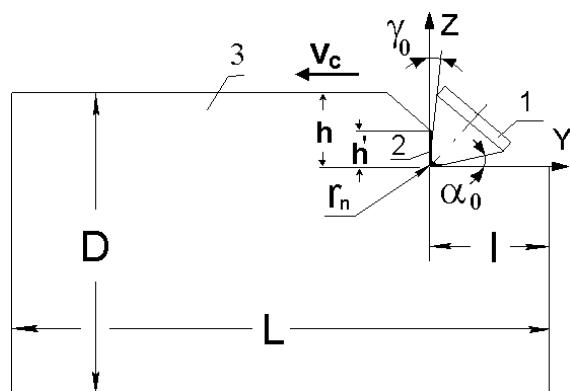
Ponieważ z wcześniejszych obserwacji i badań [np. 1, 2] wynika, że na wielkość wióra istotny wpływ może mieć geometria ostrza, stąd też w prezentowanych badaniach MES, zwrócono główną uwagę na wyjaśnienie kwestii wpływu wielkości kąta ostrza (a tym samym kątów natarcia i przyłożenia ostrza), na zasięg szczeliny generowanej przed ostrzem, której konsekwencją jest odspajany wiór, o określonych rozmiarach.

Do analizy zagadnienia wykorzystano model mechaniczny strefy skrawania, przedstawiony na rys. 1a, którego dyskretyzację siatką elementów skończonych oraz sposób utwierdzenia węzłów brzegowych, przedstawia rys. 1b. Wymiary strefy skrawania przyjęto:  $D = 50\text{mm}$ ,  $L = 90\text{mm}$ ,  $l = 20\text{mm}$ , grubość warstwy skrawanej  $h = 12\text{mm}$ , promień zaokrąglenia krawędzi skrawającej  $r_n = 1,5\text{mm}$ , wielkość kontaktu powierzchni natarcia ze skrawanym materiałem  $h' = 6\text{mm}$ . Pomiędzy ostrze (1) a skrawany materiał (3) wprowadzono tzw. warstwę kontaktową [3] (2) o sprężysto-idealnie-plastycznej charakterystyce materiału (model Drucker-Pragera), umożliwiającą analizę zagadnień kontaktowych, za pomocą standardowego oprogramowania MES (system ALGOR). Ostrzu narzucono więzy umożliwiające mu jedynie przemieszczanie się zgodnie z wektorem prędkości skrawania ( $v_c$ ) lub też zgod-

## 2. Model of the cutting zone, assumptions for modelling

Since previous observations and studies [e.g. 1, 2] showed that cutting wedge geometry can significantly influence chip size, in the present FEA studies attention was paid to the explanation of the problem of influence that the value of the cutting wedge angle (and hence rake and clearance angles) exerts on the extend of the crack generated in front of the cutting wedge and the resulting loosening of a chip with a certain size.

A mechanical model of the work zone was applied for the analysis of the problem. The model is presented in Fig. 1a. Digitisation of the model with the mesh of finite elements and fixation of the boundary nodes are presented in Fig.1b. Dimensions of the work zone assumed were:  $D=50\text{ mm}$ ,  $L=90\text{ mm}$ ,  $l=20\text{mm}$ , the thickness of the work layer was  $h=12\text{mm}$ , radius of the cutting edge rounding  $r_n=1,5\text{mm}$ , the area of contact of the rake face with the machined material  $h'=6\text{mm}$ . The so-called "contact layer" [3] (2, Fig.1a) with an elastic-absolutely plastic material characteristics (Durcker-Prager's model) was inserted between the cutting wedge (1, Fig. 1a) and the work material (3, Fig.1a) which enabled analysis of the problems related to contact with the application of a standard FEA software (the ALGOR system). Movement of the cutting wedge was restricted by constraints that allowed only for its transfer in line with



Rys. 1. Model mechaniczny strefy skrawania (a) oraz jego dyskretyzacja (b): 1 - ostrze, 2 - warstwa kontaktowa, 3 - skrawany materiał,  $h$  - grubość warstwy skrawanej,  $h'$  - długość strefy kontaktu powierzchni natarcia ze skrawanym materiałem,  $r_n$  - promień zaokrąglenia krawędzi skrawającej,  $D, L$  - rozmiary obszaru modelowania,  $l$  - odległość krawędzi skrawającej od brzegu próbki,  $a_o, g_o$  - kąty natarcia i przyłożenia,  $v_c$  - prędkość skrawania,  $F_c$  - siła wymuszająca ruch ostrza (skrawania)

Fig. 1. Mechanical model of the work zone (a) and its digitisation (b): 1- cutting wedge; 2 - contact layer; 3 - machined material;  $h$  - thickness of the machined layer;  $h'$  - length of contact between the rake face and the machined material;  $r_n$  - radius of rounding of the cutting edge;  $D, L$  - size of the modelling zone;  $l$  - distance between the cutting edge and the edge of the sample;  $a_o, g_o$  - rake and clearance angles;  $v_c$  - speed of machining;  $F_c$  - exciting force for the cutting wedge movements (machining)

nie ze zwrotem siły wymuszającej ( $F_c$ ). Zagadnienie przeanalizowano dla dwóch modeli geometrycznych ostrza tj. dla: a)  $\alpha_0 = 5^\circ, \gamma_0 = 5^\circ$ , b)  $\alpha_0 = 2,5^\circ, \gamma_0 = -7,5^\circ$ , oraz dla sprężysto-idealnie plastycznego (Druckera-Pragera) modelu materiału skrawanego. Ponieważ system MES ALGOR, nie posiada procedur umożliwiających wyznaczanie wytrzymałości dla materiałów kruchych, jako kryterium stanu granicznego przyjęto kryterium Podgórskiego [4], w postaci:

$$\sigma_0 - C_0 + C_1 P \tau_0 + C_2 \tau_0^2 = 0 \quad (1)$$

gdzie:

$\sigma_0$  - naprężenie średnie,

$\tau_0$  - naprężenie oktaedryczne,

$P, C_0, C_1, C_2$  - współczynniki zależne od parametrów wytrzymałościowych skrawanego materiału [4].

Korzystając ze specjalnie opracowanych procedur, oraz z informacji zapisanych w plikach \*.pin oraz \*.out systemu ALGOR, dotyczących aktualnych wielkości naprężzeń  $s_{xx}, s_{yy}, s_{yz}, s_{zz}$ , w węzłach siatki modelu, określano wytrzymałość materiału, korzystając z zależności:

$$W = \frac{\tau_0}{\tau_g} \quad (2)$$

gdzie:

$W$  - wskaźnik wytrzymałości materiału,

$\tau_0$  - styczne naprężenie oktaedryczne, wyznaczane z aktualnych naprężień, obliczonych z wykorzystaniem systemu MES,

$\tau_g$  - wartość naprężzeń granicznych, wyznaczona z kryterium stanu granicznego Podgórskiego.

Dla warstwy kontaktowej założono fikcyjne wartości parametrów tj.: kąt tarcia wewnętrznego  $\phi = 1^\circ$ , kohezja  $c = 0,1 \text{ MPa}$ , liczba Poisson'a  $\nu = 0,4$  oraz moduł Younga  $E = 103 \text{ MPa}$ . Dla skrawanego materiału przyjęto odpowiednio:  $\nu = 0,2$ ,  $\phi = 69^\circ$ ,  $c = 3,7 \text{ MPa}$ ,  $E = 104 \text{ MPa}$  oraz wytrzymałość na jednoosiowe rozciąganie  $f_t = 2 \text{ MPa}$ , wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie  $f_c = 40 \text{ MPa}$ . Założono zatem bardzo dużą asymetrię wytrzymałości, która charakteryzowała skrawany materiał kruchy.

Do ostrza przykładana była krokowo narastająca (o 5% w każdym kroku) siła wymuszająca jego przemieszczenie ( $F_c$ ), aż do momentu stwierdzenia w którymś z węzłów siatki MES skrawanego materiału, stanu granicznego. Po zidentyfikowaniu węzła, w którym osiągnięty został powyższy stan, w miejscu tym rozpinano siatkę oraz generowano pod wyznaczonym wcześniej kątem, zarys szczeliny oraz powtórnie generowano nową siatkę MES. Sytuację powtarzano dla każdego następnego kroku rozwoju szczeliny przed ostrzem, aż do osiągnięcia jej maksymalnego zasięgu.

the vector of the cutting speed ( $v_c$ ) or in line with the sense of the exciting force ( $F_c$ ). The problem was analysed for two geometrical models of the cutting wedge, i.e. a)  $\alpha_0 = 5^\circ, \gamma_0 = 5^\circ$ , b)  $\alpha_0 = 2,5^\circ, \gamma_0 = -7,5^\circ$  and for elastic - ideal plastic (acc. to Drucker-Prager) model of the work material. Since the FEA ALGOR system does not contain procedures that enable determination of effort for brittle materials, the Podgórski criterion [4] in the form given below, was assumed as the criterion for the limit condition:

$$\sigma_0 - C_0 + C_1 P \tau_0 + C_2 \tau_0^2 = 0 \quad (1)$$

where:

$\sigma_0$  - mean stress,

$\tau_0$  - octaedral shear stress,

$P$  - is the function of the third stress invariant ( $J$ ),

$C_0, C_1, C_2$  - coefficients related to the strength parameters of the machined material.

Applying special procedures and information recorded in the \*.pin and \*.out files of the ALGOR system on the actual values of  $s_{xx}, s_{yy}, s_{yz}, s_{zz}$  stress in the nodes of the model mesh, material effort was determined on the basis of the relation below:

$$W = \frac{\tau_0}{\tau_g} \quad (2)$$

where:

$W$  - an index of material effort,

$\tau_0$  - shear stress determined from the actual stresses calculated by means of the FEA system,

$\tau_g$  - the value of limit stresses determined from the Podgórski limit state criterion.

For the contact layer the following fictitious values of the relevant parameters were assumed: angle of inner friction  $\phi = 1^\circ$ , cohesion  $c = 0,1 \text{ MPa}$ , Poisson's ratio  $\nu = 0,4$ , and the Young's modulus  $E = 103 \text{ MPa}$ . Parameters assumed for the machined materials were as follows:  $\nu = 0,2$ ,  $\phi = 69^\circ$ ,  $c = 3,7 \text{ MPa}$ ,  $E = 104 \text{ MPa}$  resistance to uniaxial  $f_t = 2 \text{ MPa}$ , compression  $f_c = 40 \text{ MPa}$ . Hence, a very big asymmetry of strength that characterised the machined material was assumed.

An exciting force that increased in leaps (by 5% in each leap) was applied to the cutting wedge. The force moved the cutting wedge ( $F_c$ ) till the limit conditions were achieved in one of the nodes of the FEA mesh of the work material. After node identification, the mesh was removed and a draft of the crack was generated under the angle that had been previously determined. Then a new FEA mesh was generated. This situation was repeated for each of the consecutive steps in crack development in front of the cutting wedge till its maximum extend was achieved.

Z uwagi na ograniczone możliwości systemu ALGOR, kierunek propagacji szczeliny wyznaczano korzystając z informacji zawartych w pliku wynikowym \*.out, a w szczególności zaś wartości naprężzeń  $\sigma_{yy}$ ,  $\sigma_{zz}$ ,  $\sigma_{yz}$  w węzłach siatki modelu, korzystając z ogólnej zależności:

$$\Theta_\alpha = \frac{1}{2} \arctan\left(\frac{2\sigma_{yz}}{\sigma_{zz} - \sigma_{yy}}\right) \quad (3)$$

gdzie:  $\theta_\alpha$  - ( $^0$ ),

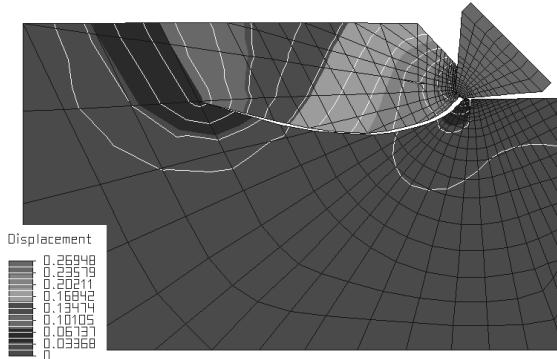
skąd kat propagacji szczeliny (a) wyniesie:

$$\alpha = \Theta_\alpha \frac{180}{\pi} \quad (4)$$

### 3. Wyniki analizy

W wyniku tak przyjętych założeń oraz przeprowadzonej analizy stwierdzono, że dla ostrza ostrego, o małym kącie ostrza ( $\alpha=\gamma=5^0$ ), szczelina penetruje jak na rysunku 2.

Z kolei dla ostrza, które posiada ujemny kat natarcia ( $\gamma=-7,5^0$ ) oraz mniejszy kat przyłożenia ( $\alpha=2,5^0$ ), szczelina penetruje znacznie głębiej, daleko poniżej poziomu powierzchni obrabianej, jak na rys. 3.



Rys. 2. Propagacja szczeliny generującej główny element wióra, przed ostrzem dla  $\alpha = \gamma = 5^0$

Fig. 2. Propagation of the crack generating the main chip element in front of the cutting wedge for  $\alpha = \gamma = 5^0$

W trakcie badań stwierdzono, że stosunkowo duży promień zaokrąglenia krawędzi skrawającej, utrudnia modelowanie procesu skrawania. W pierwszym etapie przemieszczania się ostrza, materiał pęka w strefie powierzchni przyłożenia, na zakończeniu zaokrąglonej krawędzi skrawającej. W dalszym etapie wnikania ostrza, pojawia się strefa rozdziela kierunku spływu materiału wzduż zaokrąglonej krawędzi skrawającej. Okazuje się, że można wyodrębnić pewien punkt "graniczny" wspomnianej krawędzi. Materiał leżący poniżej tego punktu, nie tworzy wióra, lecz jest wciskany pod ostrze. Materiał leżący powyżej tego punktu, spływa swobodnie wzduż powierzch-

Since the possibilities of the ALGOR system are limited, direction of the crack propagation was determined on the basis of data in the resulting \*.out file, and especially the values of the  $\sigma_{yy}$ ,  $\sigma_{zz}$ ,  $\sigma_{yz}$  stresses in the nodes of the model mesh from the general relation:

$$\Theta_\alpha = \frac{1}{2} \arctan\left(\frac{2\sigma_{yz}}{\sigma_{zz} - \sigma_{yy}}\right) \quad (3)$$

where:  $\theta_\alpha$  - ( $^0$ ),

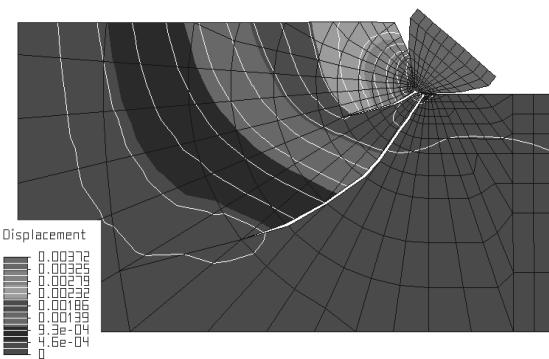
hence the angle of crack propagation (a) is:

$$\alpha = \Theta_\alpha \frac{180}{\pi} \quad (4)$$

### 3. Results of analysis

As a result of the above assumptions and the analysis carried out it was found out that for sharp cutting wedges (with a small angle of the cutting wedge), the crack penetrates as in Fig. 2.

And for the cutting wedge with a negative rake angle ( $\gamma = -7,5^0$ ) and a smaller clearance angle ( $\alpha = 2,5^0$ ), the crack penetrates far deeper, below the level of the work surface, as in Fig. 3.



Rys. 3. Propagacja szczeliny pierwotnej (niższej) oraz szczeliny wtórnej, przed ostrzem o kątach  $\alpha = 2,5^0$  oraz  $\gamma = -7,5^0$

Fig. 3. Propagation of the primary crack (lower) and the secondary crack in front of the cutting wedge with the angles:  $\gamma=-7.5^0$  and  $\alpha=2.5^0$

The present studies showed that a relatively big radius of the cutting edge rounding makes modelling of the cutting process difficult. At the first stage of the cutting wedge dislocation, material cracks in the zone of the surface of clearance, at the end of the rounded cutting edge. At further stages of the cutting edge penetration, a zone of separation appears in the direction of material flow along the rounded cutting edge. It seems that a certain "border" point can be distinguished on the above edge. The material located below this point, flows freely along the rake face forming a chip. As a result, a secondary crack situated

ni natarcia, tworząc wiór. W efekcie, może pojawiać się szczelina wtórna, usytuowana nieco powyżej szczeliny pierwotnej. Równocześnie też, materiał usytuowany pomiędzy szczeliną pierwotną a szczeliną wtórną, jest przemieszczany za ostrzem, ciągle zmieniając stan równowagi powstający w strefie wierzchołków szczelin (rys. 3).

## 4. Podsumowanie

Przeprowadzona analiza nie dała jednoznacznej odpowiedzi co do zasięgu szczeliny pierwotnej generującej główny element wióra, zależnie od parametrów geometrycznych ostrza. Uzyskane trajektorie szczelin są zbliżone w pewnej części do sugerowanych przez Evansa [5] (kształt zbliżony do okręgu) jak też Nishimatsu [6] (kształt łukowo-prostolinowy). Jak wykazuje praktyka np. [2], rzeczywisty przebieg wspomnianych szczelin jest o wiele bardziej złożony niż to sugerują Evans i Nishimatsu. Według sugestii autorów badań [6], rzeczywista trajektoria szczeliny, w pierwszym etapie jej propagacji, jest zbliżona do sugerowanej przez Nishimatsu. W dalszym etapie, jej trajektoria jest zbliżona do opisanej przez Evansa.

Zakłócenia w analizie wprowadza istnienie promienia zaokrąglenia krawędzi skrawającej, powodując powstawanie efektu rozdziela kierunku spływu materiału po ostrzu. Aktualnie brak jest bliższych danych co do zachowania się i rozwoju strefy zmiażdżenia w elementarnym cyklu skrawania, stąd też trudności w odpowiednim zamodelowaniu tego procesu.

Ogólną tendencją, jaka wynika z przeprowadzonej analizy jest, że zasięg szczeliny, a zatem i objętość (wielkość) odspajanego, głównego elementu wióra rośnie, gdy maleje kąt natarcia ostrza. Należy mieć jednak na uwadze, że gwałtownie rośnie wtedy także obciążenie ostrza (siła skrawania i normalna). W efekcie, energochłonność procesu może również rosnąć. Niezbędne są jednak bardziej szczegółowe analizy w poruszonym temacie, celem znalezienia optymalnych parametrów ostrza, tj. takich, dla których wielkość odspajanego wióra będzie jak największa, przy ewentualnie, relatywnie niskim przyroście obciążenia ostrza.

Dopracowania wymaga technika generowania szczeliny i wyznaczania jej kierunku, zwłaszcza pod kątem automatyzacji generowania siatki po wydłużeniu szczeliny o jej następny krok. Dotychczasowe, ręczne prowadzenie tych prac, może być przyczyną generowania błędów np. w przewidywanym kierunku propagacji szczeliny. Dotychczasowe wyniki analiz można jednak uznać za obiecujące.

a little above the primary crack, can appear. At the same time the material situated between the primary and secondary cracks, is displaced after the cutting wedge, continuously changing the state of equilibrium generated in the sphere of the tops of cracks (Fig.3).

## 4. Summary

The analysis carried out did not give a unique answer as to the extend of the primary crack that generates chip element in relation to the geometrical parameters of the cutting wedge. The obtained trajectories are close to the solutions suggested by Evans [5] (shape close to a circle) or Nishimatsu [6] (shape of an arch- straight line). As can be observed in practice [2], the actual course of the above mentioned cracks is far more complex than suggested by Evans or Nishimatsu. According to the suggestions of the present authors [6], the actual trajectory of the crack in the first stage of its propagation is close to the one suggested by Nishimatsu. At further stages, its trajectory is close to the one described by Evans.

Some disturbances in the analysis are introduced by the very presence of the radius of the cutting edge rounding that gives the effect of separation in the direction of the material flow along the cutting wedge.

The general tendency that results from the present analysis is that the extend of the crack, and hence also the volume (size) of the loosened main chip element increases when the angle of the cutting wedge clearance decreases. However, it should be borne in mind that the load on the cutting wedge rapidly increases (total cutting and normal force). As a result, energy consumption of the process can also increase. It is necessary to carry out a more detailed analysis on this problem in order to find the optimum parameters of the cutting wedge, i.e. the parameters for which loosening of the chip will be the biggest with relatively low increase of the wedge loading.

Technology of crack generation and determination of crack direction especially in respect of automatic mesh generation after the crack has been prolonged by its next step, requires further elaboration. The so far applied manual methods of determining the course of crack trajectory can result in the generation of mistakes. However, the results obtained so far are very promising.

### 5. References:

- [1] Jonak J., 1994. *Wpływ wybranych parametrów noży urabiających na efekty urabiania skał*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Górnictwo, z. 218, 67-95. Gliwice.
- [2] Jonak J. *Aplication of spectroscopic (Fourier's) analysis for the evaluation of rock cutting processes*. Archives of Mining Sciences (przyjęty do druku).
- [3] Jonak J., Podgórski J., 1998. *Wybrane aspekty skrawania skał*. Mat. Symp. Nt.: Zagadnienia mechaniki pękania i skrawania materiałów. Red. Z. Mróz, T. Sadowski. Kazimierz Dolny n. Wisłą, 22-24.10.1998. LTN, 112-120.
- [4] Podgórski J, 1985. *General Failure Criterion For Isotropic Media*. Journal of Engineering Mechanics, Vol. 111, No 2 (February), pp. 188-201.
- [5] Evans J., Pomeroy C.D. 1966. *The strength, fracture and Workability of Coal*. Oxford, Pergamon Press.
- [6] Nishimatsu Y. 1972. *The Mechanics of rock cutting*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Vol. 9.
- [7] Gray K. E. 1962. Armstrong F., Gatlin C.: *Two-Dimensional Study of Rock Breakage in Drag-Bit at Atmospheric Pressure*. Journal of Petroleum Technology. (January), pp.93-98.

---

**Dr hab. inż. Józef Jonak, prof. PL**

Politechnika Lubelska  
Wydział Mechaniczny  
Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji  
ul. Nadbystrzycka 36  
20-618 Lublin  
e-mail: kanoj@archimedes.pol.lublin.pl

**Jerzy Podgórski**

Politechnika Lubelska  
Wydział Budowlany  
Katedra Mechaniki Budowli  
ul. Nadbystrzycka 40  
20-618 Lublin  
e-mail: jpkmb@akwpdis.pol.lublin.pl

---

## TRENDS IN ENGINEERING PLATE THEORIES

*The paper summarises some basic trends in modelling and analysis of refined plate theories not primary from a mathematical aspect but from the viewpoint of engineering application and of an increasing reliability of engineering structure analysis. Shear rigid and shear deformable plate models including shear correction factors or kinematical warping effects can be formulated. An extended two-dimensional theory for transverse shear stress analysis yields improved results, the influence of singularities on the global structure behaviour must be considered and the kinematical degree of freedom of plate models is an important criterion in structural analysis of folded plate structures. Composite materials have become an increasing importance in engineering structures. Multilayered, laminated and sandwich plates are used in aerospace and many other industries. Thin-walled structures composed of composite material have generally a moderate thickness and low transverse stiffness. An adequate modelling of structural plate elements should be given by refined plate theories.*

### 1. Introduction

Modelling and analysis of plates and plate structures are basic problems of mechanical structure analysis in civil and mechanical engineering. The classical Kirchhoff's plate theory was for a long period the predominant model in engineering applications, e.g. in bridge-building, shipbuilding, etc. The structural elements of these engineering constructions were in general single layered plates composed of metal or reinforced concrete. Their mechanical properties were on a macroscopic level homogeneously through the thickness and the structural response was isotropic or orthotropic.

A suitable extension of the geometrically linear Kirchhoff's plate theory has been presented by von Kármán. In selected thin-walled structures the values of the displacements and the plate thickness are of the same order. The nonlinear terms in the kinematical plate equations affect the stress and the deformation states of the thin plate and must be partly considered. The necessity to apply the von Kármán's plate equations is connected with the loading level and the plate geometry. Note that loading conditions and geometrical relations which are typically for the use of the Kirchhoff's plate theory in dependence on the material model (elastic, plastic or time-dependent) in some cases demand the introduction of the von Kármán's plate equations.

Nowadays there is a growing use of composite materials and modern lightweight structures employ plate elements consisting of three or a much greater number of layers. The material of the layers can be

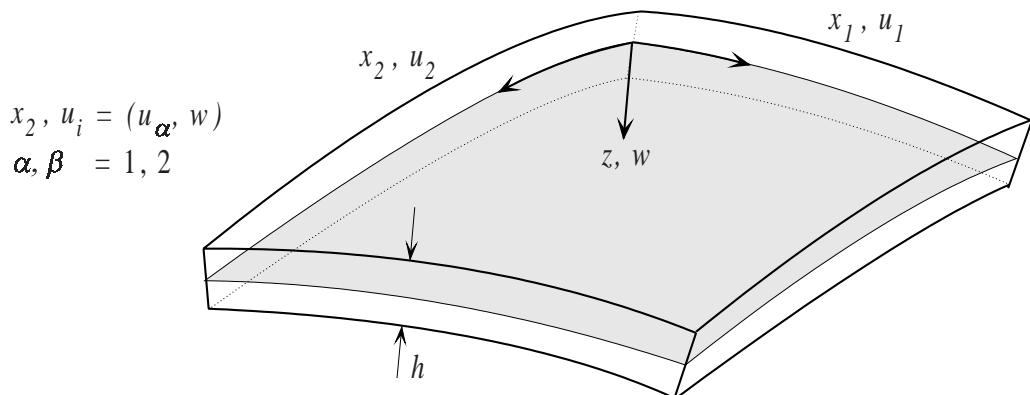
either homogeneous or inhomogeneous. Typical three-layered structure elements are sandwich plates. The outer layers are made of high strength material, e.g. homogeneous metal faces or fibre reinforced multilayered faces. They cover the inner layer consisting of a soft and rather homogeneous material, e.g. a foam, or of an inhomogeneous material, e.g. a cellular filler. The first serious applications of sandwich structures concerned the aircraft industry, because sandwich structural elements created lightweight design and improved strength properties and corresponded functional requirements and mechanical characteristics.

At present, sandwich and multilayered, laminated plates are widely used in various fields of engineering, for instance in aircraft and rocket constructions, machine building, automotive industry, oil production, civil engineering, energetics, sports industry, etc. Modelling and analysis of sandwich and laminated plates is a more complicated problem of engineering plate modelling and yield an increasing significance of extended, refined plate theories. First steps in this direction were presented by Reissner and Mindlin for homogeneous moderately thick plates.

All engineering plate concepts reduce the three-dimensional equilibrium, kinematical and constitutive equations of the mechanics of deformable bodies and describe approximately the mechanical response of plate structures by a two-dimensional model. These engineering concepts based in general on hypotheses of the deformation or stress states. Figure 1 summarises some linear plate models with different approximations of the in-plane and the transverse di-

splacements and or the in-plane and the transverse stresses, respectively. Also mixed approximations of displacements and stresses are possible and can be useful. In the equations of the displacement approximations  $u_\alpha(x_\beta, z)$  are the in-plane displacements and  $w(x_\beta, z)$  the transverse displacement or the plate deflection.  $u_\alpha^0(x_\beta)$  are membrane displacements,  $w(x_\beta)$  the deflection of the middle surface of the plate,  $\varphi_\alpha(x_\beta)$  are cross-sectional rotations. and are sets of functions in product series expansions for the in-plane displacements and the transverse displacements. The second term in the product series expansion for in-plane displacements with a set of functions  $\psi^q(z)$  introduces

a coupling between the in-plane and the transverse displacements and allowing to impose restrictions on the distributions of the transverse shear stresses of a plate. Most applied classical and refined plate theories can be incorporated in the product series approximation as special series of the general expansions, e.g. Kirchhoff's, Hencky's, Preußer's or Touratier's plate models [2, 3]. Plate modelling that incorporate conditions on the transverse normal stresses are not included in these approximations. It demands additional terms in the series approximation for  $w(x_\beta, z)$  which contain second derivatives of  $u_\alpha^0$  and  $w^q$ . Asymptotic integration methods or concepts of the



- Displacement approximations

$$u_\alpha(x_\beta, z) = u_\alpha^0(x_\beta) - zw_{,\alpha}(x_\beta)$$

$$w(x_\beta, z) = w(x_\beta)$$

Kirchoff (1850)

$$u_\alpha(x_\beta, z) = u_\alpha^0(x_\beta) + z\varphi_\alpha(x_\beta)$$

$$w(x_\beta, z) = w(x_\beta)$$

Hencky, Bollé (1974)  
Mindlin (1951)

$$u_\alpha(x_\beta, z) = u_\alpha^0(x_\beta) - [w_{,\alpha}(x_\beta) + \varphi_\alpha(x_\beta)]4z^3/3h^2$$

$$w(x_\beta, z) = w(x_\beta)$$

Levinson (1981)  
Reddy (1989)

- Displacement approximations - Product series

$$u_\alpha(x_\beta, z) = \sum_{q=0}^{K_1} u_\alpha^q(x_\beta) \psi^q(z) + \sum_{q=0}^{K_2} w_\alpha^q(x_\beta) \psi^q(z)$$

$$w(x_\beta, z) = w(x_\beta)$$

Meenen, Altenbach (1999)

- Stress approximations

$$(\sigma_\alpha, \sigma_\beta, \tau_{\alpha\beta}) = \frac{12z}{h^3} (M_\alpha, M_\beta, M_{\alpha\beta}),$$

E. Reissner (1944), (1950)

$$\tau_{\alpha\beta} = \frac{3Q_\alpha}{2h} [1 - (\frac{2z}{h})^2]$$

$$\sigma_{\beta\beta} = \frac{3q}{4} [\frac{2z}{h} - \frac{1}{3} (\frac{2z}{h})^3]$$

- Mixed approximations

E. Reissner (1984), (19870)

Fig. 1. Two-dimensional modelling of thin and moderately thick plates, linear plate theories

introduction of deformable two-dimensional directed surfaces are more mathematical techniques and are not considered in this paper. For more information see, for example, [4].

## 2. Engineering Theories for Isotropic Plates

A classification of engineering plate theories can be given by

- small deflection linear theory for thin plates,
- small deflection linear theory for moderately thick plates, and
- large deflection nonlinear theory for thin plates.

These classical plate models for homogeneous isotropic plates are connected with the fundamental papers of Kirchhoff, Reissner, Mindlin and v. Kármán [1]. Figures 2 and 3 show the kinematical hypotheses and the stress distributions for these classical models.

The Kirchhoff's plate model yields, from viewpoint of engineering applications, reasonable accuracy in the analysis of various global response parameters like deflection, vibration, buckling, etc. This simplest and most widely used plate model in classical structural mechanics based on the following assumptions:

- Points on a normal to the undeflected midplane of the plate lie on a normal to the midplane of the deflected plate, i.e. a lineal element of the plate extending through the plate thickness, normal to the midplane in the unstressed state, undergoes at most a translation and a rotation and mains normal to the deformed middle surface. The lineal element through the thickness does not elongate or contract and the plate behaviour in thickness direction is shear rigid.
- The slope of the deflected plate in any direction is small, so that its square may be neglected in comparision with unity.
- The midplane of the plate is a "neutral plane", i.e. any midplane stresses arising from the deflection of the plate into a non-developable surface may be ignored.
- The stresses normal to the midplane, arising from applied loading, are negligible in comparision with the normal stresses in the plane of the plate.

Experimental tests and analytical or numerical reference results of three-dimensional plate problems qualify the Kirchhoff's assumptions if an elastic isotropic plate is sufficiently thin and its transverse deflection is small compared to its thickness. The contradiction between the number of physically motivated boundary conditions and the order of the governing differential equation can be overcome by introducing "Kirchhoff's edge forces". From a theoretical point of

view the Kirchhoff's plate theory underestimates the transverse deflection and overestimates natural frequencies and buckling loads.

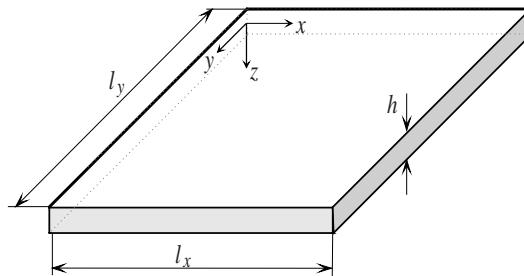
The von Kármán's plate model is in combination with the Kirchhoff's assumptions based on the fundamental additional assumption that geometrical nonlinearity can not be neglected, but that the strains and the square of rotations are small compared to unity. So, in a more correct view, the von Kármán's plate theory, which is restricted to small strains, but moderately large rotations must be termed as a "moderately large deflection theory" but, customarily, we find in literature the technical term "large deflection theory". The von Kármán plate theory predicts the deflection and stresses in thin plates with reasonable accuracy for deflections having the order of the plate thickness.

The Kirchhoff and the von Kármán plate theory are based on three independent kinematical degrees of freedom that means three independent translations for all material points of the middle surface, if there are transverse and in-plane loadings. If the plate loading is restricted to transverse loading only, the independent kinematical degree of freedom reduces for Kirchhoff plates to one. The Reissner or the Mindlin plate theories include approximately the effect of transverse shear strains and yields a simple refined plate theory by introducing assumptions on the displacement distribution over the plate thickness, which is less restrictive than the Kirchhoff assumption. The improved plate model has five kinematical degrees of freedom: three translations and two independent rotations. These shear deformable linear plate models of Reissner and Mindlin can be simple extended to a nonlinear shear deformable plate model for moderate large deflections by including the von Kármán's geometrical nonlinear relations [5].

The shear rigid von Kármán plate model has been used in creep damage analysis. This problem is mathematical formulated by a non-linear initial-boundary problem which can be solved numerically. Numerical examples demonstrate the significance of the geometrical nonlinear plate theory in the creep-damage analysis even for moderate deflections [6].

## 3. Classical and Refined Theories for Multi-layered Plates

The modelling of multilayered plates, i.e. sandwich and laminated plates, based on an analogy with the modelling of isotropic, single-layer plates, section 2. But there are two principal different approaches for a two-dimensional plate modelling of multilayered plates [7]:



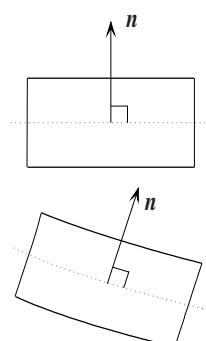
**a**

Assumptions

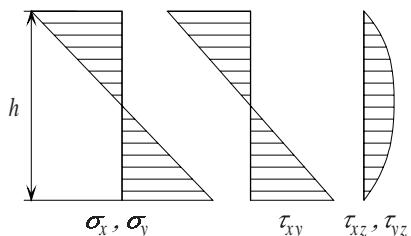
$$h/\min(l_x, l_y) < 0.1, \\ w/h < 0.2$$

Kinematical hypotheses

$$\varepsilon_z \approx 0 \\ \gamma_{xz}, \gamma_{yz} \approx 0$$



Stress distribution



Normal stresses  $\sigma_x, \sigma_y$  and shear stresses  $\tau_{xy}$  linear over  $h$ ,  $\tau_{xz}, \tau_{yz}$  parabolic over  $h$

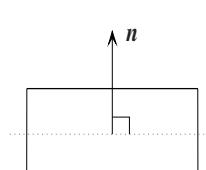
**b**

Assumptions

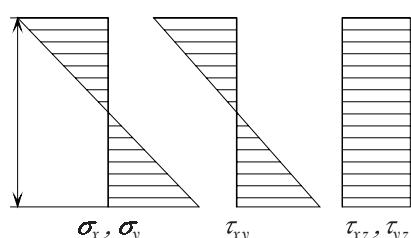
$$h/\min(l_x, l_y) < 0.2, \\ w/h < 0.2$$

$$\varepsilon_z \approx 0$$

$$\gamma_{xz}, \gamma_{yz} = \text{const}$$



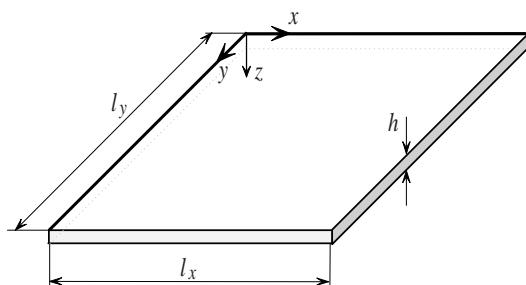
Stress distribution



Normal stresses  $\sigma_x, \sigma_y$  and shear stresses  $\tau_{xy}$  linear over  $h$ ,  $\tau_{xz}, \tau_{yz}$  constant over  $h$

Fig. 2. Kirchhoff's, Reissner's and Mindlin's plate models:

- a)** Shear rigid Kirchhoff model,
- b)** Shear deformable Reissner's and Mindlin's model



**a**

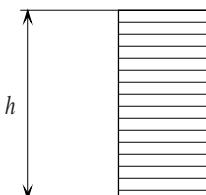
Assumptions

$$h \ll \min(l_x, l_y)$$

$$w/h > 0.5$$

$$\tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yz}, \sigma_z \approx 0$$

Stress distribution



$\sigma_x, \sigma_y$  (Tensile stresses)

No shear stresses

**b**

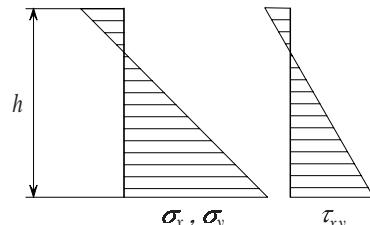
Assumptions

$$h/\min(l_x, l_y) < 0.1, \\ 0.2 < w/h < 5$$

Shear rigid

$$\varepsilon_z, \gamma_{xz}, \gamma_{yz} \approx 0$$

Stress distribution

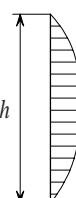


$\sigma_x, \sigma_y$   
 $\tau_{xy}$

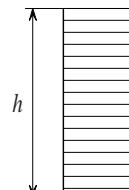
Shear deformable

$$\varepsilon_z \approx 0$$

$$\gamma_{xz}, \gamma_{yz} \approx \text{const}$$



Shear rigid  
model  
 $\tau_{xz}, \tau_{yz}$



Shear deformable  
model  
 $\tau_{xz}, \tau_{yz}$

Fig. 3. Membrane and von Kármán's plate models:

**a)** Membrane,

**b)** Shear rigid and deformable von Kármán models

1. *The hypothesis of a broken normal.* The plate theory is deduced using a layerwise description. The so-called partial layerwise plate theories assume layerwise expansions for the in-plane displacements only, the full layerwise theories use expansions of all three displacement components.
2. *The hypothesis of a mechanical equivalent single layer.* The plate theories are formulated for the entire layer package and not for separate layers.

Theories of multilayered plates have to take into account the inhomogeneous distribution of the mechanical properties over the plate thickness and the anisotropic response of any single layer and of the equivalent layer. For the analysis of local plate responses, e.g. delamination, or for sandwich and multilayered plates with great differences in the layer thicknesses and the mechanical layer properties, the layerwise theories should be used. The description of the cross-sectional deformations of each layer is also in the layerwise theory not correct, but the error is much less than the error of a equivalent single layer model. If the layer thicknesses and the layerwise elastic moduli vary not so much, the equivalent single layer plate models estimate the global response parameters, e.g. deflection, eigen-vibration, buckling, with a sufficient accuracy. An alternative approach if the layer thicknesses and the layerwise elastic moduli are significantly varying is demonstrated in [8]. In this case an improved determination of the shear correction can be useful and the global estimates show a good agreement with results based on improved theories.

In general, layered composite plates are slender structures and their displacements and in-plane stresses are obtained quite accurately by means of two-dimensional plate theories. These theories based on assumptions concerning the distribution of the in-plane displacements. Restricting the modelling on laminated plates with a great number of fibre reinforced layers, the most simple theories based on the equivalent single layer hypothesis assume linear distributions of the in-plane displacements. The general used models in engineering applications are the classical laminate theory (CLT) and the first-order-shear-deformation theory (FOSDT) 9.

$$\begin{aligned} u_1(x_1, x_2, x_3) &= u(x_1, x_2) + x_3 \psi_1(x_1, x_2), \\ u_2(x_1, x_2, x_3) &= v(x_1, x_2) + x_3 \psi_2(x_1, x_2), \\ u_3(x_1, x_2, x_3) &= w(x_1, x_2) \end{aligned} \quad (1)$$

In Eqs (1)  $u, v$  are the in-plane displacements in the middle surface of the plate and  $w$  is the out-of-plane displacement, i.e. the deflection. In the CLT we have  $\psi_\alpha = -\delta w / \delta x_\alpha$ ,  $\alpha = 1, 2$  and in the FOSDT the  $\psi_\alpha$

are independent kinematical functions. In contrast to the CLT or the FOSDT modelling of isotropic plates, multilayered plates with an unsymmetrical stacking sequence of the layers have a coupling of in-plane and out-of-plane response for transverse loading and the kinematical degree of freedom is 3 (CLT) or 5 (FOSDT). For plates with strong changes in geometry or folded plate structures it can be necessary to expand the FOSDT by including transverse shear deformations and thickness effects.

$$\begin{aligned} u_1(x_1, x_2, x_3) &= u(x_1, x_2) + x_3 \psi_1(x_1, x_2), \\ u_2(x_1, x_2, x_3) &= v(x_1, x_2) + x_3 \psi_2(x_1, x_2), \\ u_3(x_1, x_2, x_3) &= w(x_1, x_2) + x_3 \psi_3(x_1, x_2) \end{aligned} \quad (2)$$

In this extended sense the FOSDT-6 is characterised by 6 independent degrees of freedom, Eq. (2). Numerical tests demonstrate that for standard problems with a simple geometry the results are very similar for a modelling with 5 or 6 degrees of freedom and therefore mostly in engineering applications the FOSDT-5 version with 5 degrees of freedom is used [10]. The reason for such limitation is that the magnitude of the assumed drilling  $\psi_3$  of the normal is much smaller in comparison with the other two rotation, because the deformability of a thin-walled structure even in the case of moderate thickness is very small. Counter-example are presented, for example, in [11].

The Kirchhoff's plate theory is unable to describe the mechanical behaviour of structural elements for which the transverse shear strains are not negligible. Nevertheless the CLT is used in many engineering applications and enable a simple structural design and optimisation of laminate stacking, etc. The FOSDT proposed an extended kinematical model with additional degrees of freedom and included transverse shear deformations. But the FOSDT yields a linear distribution of the in-plane displacements and a constant distribution of the transverse shear stresses over the plate thickness which is incompatible with the real structural response. A simple way to improve the determination of the transverse shear stiffness can be the introduction of a shear correction factor [8, 12, 13].

Recently by several authors so-called high-order-shear deformation theories (HOSDT) [14, 15] are developed:

$$\begin{aligned} u_1(x_1, x_2, x_3) &= \sum_{i=0}^{\infty} a_i f_i(u_1, x_2) x_3 \\ u_2(x_1, x_2, x_3) &= \sum_{i=0}^{\infty} b_i g_i(x_1, x_2) x_3 \end{aligned} \quad (3)$$

$$u_2(x_1, x_2, x_3) = \sum_{i=0}^{\infty} b_i g_i(x_1, x_2) x_3$$

These series must be truncated so that the number of functional degrees of freedom is limited, e.g. FOSDT-5

$$\begin{aligned} a_0 &= b_0 = c_0; f_0 = u, g_0 = v, h_0 = w, \\ a_1 &= b_1 = 1; c_1 = 0, f_1 = \psi_p, g_1 = \psi_q, \\ a_i &= b_i = c_i = 0, i > 1 \end{aligned}$$

Higher order approximations lead warping in-plane displacements (Fig. 4) and also non-constant transverse displacements over the thickness. In [16] a special zig-zag-function is proposed for FOSDT-modelling that leads to improved in-plane responses and allows to include thickness effects as well as transverse shear and transverse normal stresses. The use of HOSDT increases the computational effort rapidly whereas the gain in accuracy is small. Thus higher order theories are of advantage from a mathematical research, but in structural analysis only within a relatively narrow band-width of problems. The FOSDT approach is sufficient for determining in-plane stresses even if the plate slenderness is not very high [17].

For isotropic plates the in-plane stresses are often fully sufficient in structural strength analysis. Multi-layered composite plates are however inhomogeneous and anisotropic and to specify delamination or other failure modes transverse shear stresses and normal out-of-plane stresses must be known too. Using local applications of equilibrium conditions and integrating the derivatives of the in-plane stresses over the plate thickness lead to a so-called extended two-dimensional theory and yield excellent results for transverse shear and normal stresses if a mechanical loading applied on laminated plates with cross-ply or angle-ply stacking [18, 19]. In some cases of non-linear temperature distribution higher order approximation theories or three-dimensional modelling should be used [20].

#### 4. Singularities and Plate Responses

In structure analysis of plates different kinds of singularities can greatly influence the local and global structure behaviour [21]. It is well-known that concentrated forces or moments and sharp notches or cracks yield singular stress fields. But there are some other problems in modelling plates with singularities:

- Concentrated forces acting upon a very thin plate with a membrane response or concentrated moments acting upon a Kirchhoff plate are quite improper models. In the first case the membrane has

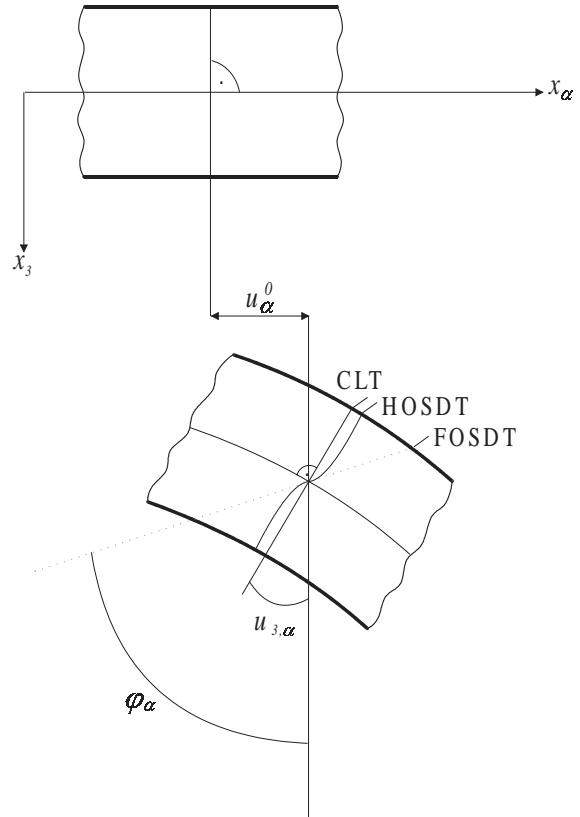


Fig. 4. Geometry of an undeformed lineal element.  
CLT: rotation  $u_{3,\alpha}$ , FOSDT: independent rotations  $\varphi_\alpha$ , HOSDT: independent rotations and warping

no resistance to a concentrated force and already the smallest concentrated force results in infinite deflection. Point supports to membranes of any shape will have for the reason of no resistance no influence to their vibration behaviour, i.e. they will not change the frequencies. In the second case a Kirchhoff plate has no rotational resistance to a concentrated moment and consequently influence coefficients or stiffness matrices according to the classical plate theory are meaningful for concentrated forces but meaning less for concentrated moments. Furthermore point constraints can not resist rotations, they are only capable of supplying transverse concentrated forces to constrain the displacement. The calculation of static deflections or bending moments, of buckling or vibration models of pointwise clamped plates became unacceptable.

- Interior sharp corners will produce infinite stresses, i.e. singularities in classical plate theories. The singularities can also have significant effects upon the global behaviour of the plate. Stress singulari-

ties in sharp corners can be represented exactly [22, 23]. For various types of corners are different sets of functions which satisfy the boundary conditions exactly. These are the so-called corner functions. Only if these corner functions are added to another global set of displacement functions, the corner stresses can be accounted properly. If the Ritz method is utilised e.g. for free vibration analysis of plates, mathematically complete sets of admissible displacement functions, which only satisfy geometric boundary conditions, yield upper bound approximations to the frequencies and the exact values may be approach as closely as desired if sufficient terms are taken. But if a set of corner functions will be added the convergence will be accelerated rapidly. The same situation is for finite element analysis.

- For a shear deformable plate, e.g. the Mindlin plate, already a concentrated force acting transverse to the middle surface results in infinitive deflection and so the Mindlin plate has a different response in comparison to the Kirchhoff plate, and it is a quite improper mathematical model for singular forces too. A real concentrated loading is distributed over a small area and the Mindlin plate model yields a correct modelling.

## 5. Solution Procedures

Analytical and numerical solution procedures for the different plate models are discussed and summarised in various monographies and textbooks, e.g. [1, 24, 25, 26, 27, 28, 29]. Analytical solutions are limited to plates with simple geometry, e.g. rectangular or circular plates, and plates with simple elastic response, e.g. isotropic, orthotropic or quasi-orthotropic, etc. In most cases analytical solutions can be formulated in terms of infinite series and the effect of truncating the series on the accuracy of the solution have to be estimated. The few closed analytical plate solutions are limited to very special problems.

The validity of approximate plate theories, i.e. of the displacement or the stress approximations can be assessed by comparing their predictions with analytical solutions of the three-dimensional equations of elasticity. This problem is discussed in various research papers, e.g. in [30] for the anisotropic equations.

Approximate plate solutions can be given as numerical solutions or approximate series solutions with sets of trial functions. The most general solution procedures are numerical methods, i.e. the finite element method and the boundary element method, based on variational or energy methods, on weak formulations of boundary problems or on the theory of singular integral equations.

Applying the finite element methods available in a great number of research and commercial finite element programs, all problems can be solved, but dependent on the selected plate theory the numerical effort can be increasing rapidly, especially for multi-layered or three-dimensional plate modelling. But for the simple Mindlin's plate model numerical problems may arise too. A first problem, termed as shear locking in finite element solutions, due to vanishing shear deformation terms in the variational displacement based formulation. A second problem of domain discretisation based on numerical methods is the increasing effort to find a suitable discretisation, i.e. a suitable element mesh which allows to represent the boundary-layer solution arising in the case of several types of boundary conditions. Various techniques are available to overcome these problems, e.g. [31], however, it is difficult to make general conclusions on the influence of the shear correction for different boundary conditions and loading types if only numerical results are given.

For plates with simple geometry, e.g. with straight line boundaries, the variational methods of Ritz and Galerkin can be recommended to construct accurate approximate solutions. In the last years it could be demonstrated that the variational iteration method, based on the Vlasov-Kantorovich approach, yields good approximate solutions for various plate theories and optimal one-term approximate analytical solutions for general boundary conditions [32, 33, 34, 35, 36].

## 6. Conclusions

Engineering plate theories got many impacts to improve the structure analysis of two-dimensional structures. The increasing importance of composite materials required refined theories for sandwich and laminate plates. Stress analysis and life-time predictions of thin-walled structures operating at elevated temperatures require to include the modelling of creep-damage behaviour and a generalisation of the solution procedures. The paper summarises some selected aspects of trends in engineering plate theories. Further ideas and overviews on relevant research paper are given, e.g., in [2, 37, 38, 39].

## 7. References

- [1] Altenbach H., Altenbach J., Naumenko K.: *Ebene Flächentragwerke*. Berlin et al., Springer-Verlag 1998.
- [2] Meenen J.: *Tragwerksmodelle für Verbund- und Sandwichstrukturen. Methodik und Bewertung der erweiterten Plattentheorien*. Diss. Universität Magdeburg 1999.
- [3] Meenen J., Altenbach H.: *A Consistent Deduction of von Kármán-type Plate Theories from Three-dimensional Nonlinear Continuum Mechanics*. Acta Mechanica 147 2001, 1-17.
- [4] Altenbach H.: *Modellierung des Deformationsverhaltens mehrschichtiger Flächentragwerke - ein Überblick zu Forschungsrichtungen und -tendenzen*. Wiss. Ztschr. TU Magdeburg 32 (4) 1988, 86-94.
- [5] Reddy J.N.: *A Refined Nonlinear Theory of Plates with Transverse Shear Deformations*. Int. J. Solids and Structures 20 (9/10) 1984, 881-896.
- [6] Altenbach J., Altenbach H., Naumenko K.: *Creep-Damage Analysis of von Kármán's Plates*. Lublin, Lubelskie Towarzystwo Naukowe 1998, 11-29.
- [7] Altenbach H.: *Theories for Laminated and Sandwich Plate. A Review*. Mechanics of Composite Materials 34 (3) 1998, 243-252.
- [8] Altenbach H.: *On the Determination of Transverse Shear Stiffnesses of Orthotropic Plates*. ZAMP 51 2000, 629-649.
- [9] Altenbach H., Altenbach J., Kissing W.: *Structural Analysis of Laminate and Sandwich Beams and Plates - An Introduction into the Mechanics of Composites*. Lublin, Lubelskie Towarzystwo Naukowe 2001.
- [10] Altenbach H., Altenbach J., Nast E.: *Modelling and Analysis of Multilayered Shells Based on a Timoshenko-Type Theory with six Degrees of Freedom*. Mechanics of Composite Materials 29 (4) 1993, 500-511.
- [11] Rikards R. Chate A.: *Ermittlung der Eigenschwingungen von Rotationsschalen mit der Methode der Finiten Elemente*. Techn. Mechanik 8 (3) 1987, 5-13.
- [12] Qi Y., Knight Jr. N.: *A Refined First-order Shear-deformation Theory and its Justification by Plane-strain Bending Problems of Laminated Plates*. Int. J. Solids and Structures 33 (1) 1996, 49-64.
- [13] Knight Jr. N., Qi Y.: *Restatement of First-order Shear-deformation Theory for Laminated Plates*. Int. J. Solids and Structures 34 (4) 1997, 481-492.
- [14] Know Y.W., Akin J.E.: *Analysis of Layered Composite Plates Using High-order Deformation Theory*. Comp. Struct. 27 1987, 619-623.
- [15] Reddy J.N.: *An Evaluation of Equivalent-single-layer and Layerwise Theories of Composite Laminates*. Comp. Struct. 25 1993, 21-35.
- [16] Murakami H.: *Laminated Composite Plate Theory with Improved In-plane-responses*. Trans. ASME. J. Appl. Mech. 53 1986, 661-666.
- [17] Rohwer K.: *Application of Higher-order-theories to the Bending Analysis of Layered Composite Plate*. Int. J. Solids and Structures 29 (1) 1992, 105-119.
- [18] Rolfes R., Rohwer K.: *Improved Transverse Shear Stresses in Composite Finite Elements Based on First-order Shear Deformation Theory*. Int. J. Numer. Meth. Engng. 40 1997, 51-60.
- [19] Rolfes R., Rohwer K., Ballerstaedt M.: *Efficient Linear Transverse Normal Stress Analysis of Layered Composite Plates*. Comp. Struct. 68 1998, 643-653.
- [20] Rohwer K., Rolfes R., Sparr H.: *Higher-order Theories for Thermal Stresses in Layered Plates*. Int. J. Solids and Structures 38 2001, 3673-3687.
- [21] Leissa A.W.: *Singularity Considerations in Membrane, Plate and Shell Behaviours*. Int. J. Solids and Structures 98 2001, 3341-3351.
- [22] Williams R.L.: *Surface Stress Singularities Resulting from Various Boundary Conditions in Angular Corners of Flat Plates under Bending*. Proc. 1st US Congress of Appl. Mechanics 1952.
- [23] Williams R.L.: *Stress Singularities Resulting from Various Boundary Conditions in Angular Corners of Plates in Extension* J. of Appl. Mech. 19 (4) 1952, 526-528.
- [24] Szilard R.: *Theory and Analysis of Plates*. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall 1974.
- [25] Panc V.: *Theories of Elastic Plates*. Leyden, Nordhoff Int. Publ. 1975.
- [26] Girkmann K.: *Flächentragwerke*. Wien, Springer-Verlag 1986.
- [27] Timoshenko S., Woinowsky-Krieger S.: *Theory and Analysis of Plates*. New York et al., McGraw Hill 1987.
- [28] Altenbach H., Altenbach J., Rikards R.: *Einführung in die Mechanik der Laminat- und Sandwichtragwerke*. Stuttgart, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1996.

- [29] Reddy J.N.: *Mechanics of Laminated Plates*. Theory and Analysis. Boca Raton et al., CRC Press 1997.
- [30] Vel S., Batra R.: *Analytical Solution for Rectangular Thick Laminated Plates Subjected to Arbitrary Boundary Conditions*. AIAA Journal 37 (11) 1999, 1464-1473.
- [31] Taylor M.W., Vasiliev V.V., Dillard D.A.: *On the Problem of Shear-locking in Finite Elements Based on Shear Deformable Plate Theory*. Int. J. Solids and Struct. 34 1997, 859-875.
- [32] Altenbach J., Naumenko K., Naumenko V.: *Analysis of Rectangular thin Plates and Plate Structures Basing on the Vlasov's Variational Procedure*. CAMES 5 1998, 115-128.
- [33] Si Y., Jin Y., Williams F.: *Bending Analysis of Mindlin Plates by Extended Kantorovich Method*. Trans. ASCE. J. Engng Mech. 124 1998, 1339-1345.
- [34] Naumenko K., Altenbach J., Altenbach H.: *Variationslösungen für schubstarre Platten*. Techn. Mechanik Teil I: 19 1999, 161-174, Teil II: 19 1999, 177-185.
- [35] Naumenko K., Altenbach J., Altenbach H.: *Closed and Approximate Analytical Solutions for Rectangular Mindlin Plates*. Acta Mechanica 147 2001, 153-172.
- [36] Altenbach J., Altenbach H., Naumenko K.: *Variational Iteration for Thin and Moderately Thick Plates*. Building Research Journal (in print).
- [37] Backhausen-Valkenier U.: *Untersuchung biegebeanspruchter Platten unter schockartiger Temperaturbelastung*. Diss. Universität Wuppertal 1993.
- [38] Naumenko K.: *Modellierung und Berechnung der Langzeitfestigkeit dünnwandiger Flächentragwerke unter Einbeziehung von Werkstoffkriechen und Schädigung*. Diss. Universität Magdeburg 1996.
- [39] Nast E.: *Zur numerischen und experimentellen Analyse von Flächentragwerken in Sandwich- und Laminatbauweise*. Diss. Universität der Bundeswehr Hamburg 1997.

---

**Prof. dr. - ing. habil. dr. h.c. Johannes Altenbach**

Förderstedter Str. 28  
D-39112 Magdeburg, Germany

**Prof. dr. - ing. habil. Holm Altenbach**

Lehrstuhl für Technische Mechanik  
Fachbereich Ingenieurwissenschaften  
Martin - Luther - Universität Halle - Wittenberg  
D-06099 Halle, Germany  
e-mail: holm.altenbach@iw.uni-halle.de

---

# WPŁYW WYBRANYCH PARAMETRÓW KONSTRUKCYJNYCH UKŁADÓW WIELOOSTRZOWYCH NA EFEKTYWNOŚĆ SKRAWANIA MATERIAŁÓW SKALNYCH

## MULTI-TOOL SETS CONSTRUCTIONAL PARAMETERS INFLUENCE ON ROCK MATERIALS CUTTING EFFICIENCY

*Artykuł przedstawia wyniki badań laboratoryjnych zmierzających do określenia wpływu wybranych parametrów konstrukcyjnych układów wielostrzowych na efektywność procesu skrawania materiałów kruchych pochodzenia naturalnego, takich jak wapień czy piaskowiec.*

*The paper presents some results of laboratory tests, which aim was to determine influence of multi-tool sets constructional parameters on final efficiency of rock materials cutting process.*

### 1. Wprowadzenie

Definiując proces obróbki skrawaniem określa się, że "... jest on częścią procesu wytwarzania elementów urządzeń technicznych, w trakcie którego przedmiot obrabiany uzyskuje wymagane kształty, wymiary i jakość powierzchni przez usuwanie warstw naddatku zamienianego na wióry" [16]. Definicja ta stanowi jednak pewne uogólnienie, w efekcie czego pomijane jest szerokie zastosowanie obróbki skrawaniem w szczególnych przypadkach, do jakich należy między innymi skrawanie materiałów kruchych. Analizując proces skrawania materiałów kruchych pochodzenia technicznego [16] oraz naturalnego możemy stwierdzić, że wciąż istnieje niedostatek odpowiednich opracowań dotyczących tego zagadnienia zarówno teoretycznych, jak i doświadczalnych. Istota procesu skrawania klasycznych materiałów, jakimi są metale znana jest w wielu aspektach, a jej powszechność nie podlega najmniejszej dyskusji. Zupełnie odmiennie jest w przypadku materiałów kruchych, gdzie przy pracach nad analizą procesu skrawania wciąż napotykamy na liczne trudności. Szczególnie ma to miejsce w przypadku analizy wpływu wybranych parametrów konstrukcyjnych układów wielonarzędziowych na efektywność procesu skrawania materiałów kruchych pochodzenia naturalnego.

### 1. Introduction

Cutting process can be defined, as "... part of technical devices production process, during which workpiece obtains required shapes, sizes and surface quality as a result of allowance removal, which is changed into chips" [16]. This definition can be considered as to be some generalization, in which some important applications of cutting process are neglected. It is especially related to the process applications for brittle materials cutting, such as technical and natural (rock materials). When analysing technical brittle [16] and natural materials cutting process we can notice some lack of elaborations of this kind of materials cutting process, both - from theoretical and practical point of view. The theory of classical materials cutting process, there is metals cutting is well known in several different aspects. It is completely different in the case of brittle materials, when we are faced by several problems during most analytical and empirical investigations. These problems appear especially when we try to analyse influence on multi-tool sets constructional parameters on efficiency of natural brittle materials cutting process.

## 2. Skrawanie skał głowicami wielostrzowymi w świetle rozważań literaturowych

Z przeprowadzonych dotychczas badań [m.in.: 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 15, 17, 18] zmierzających do określenia optymalnych wartości parametrów procesu skrawania skał w układach wielostrzowych wynika, że jest to zagadnienie złożone i nie poznane odpowiednio dokładnie. Otrzymywane wyniki badań w tym zakresie są dość rozbieżne. Może to być między innymi efektem różnicy geometrii narzędzi skrawających stosowanych w badaniach, jak i różnic na przykład kąta bocznego rozkruszenia wynikających ze zróżnicowanych właściwości badanych materiałów skalnych, kierunku skrawania oraz głębokości skrawania. Różnice te prawdopodobnie wynikają również z faktu analizowania procesu skrawania materiałów kruchych wyłącznie w układzie jednego ostrza, co stanowi istotne uproszczenie.

Z przeprowadzonej przez autora analizy dotychczasowego stanu wiedzy z zakresu badania procesu skrawania skał głowicami wielostrzowymi wynikają między innymi następujące wnioski:

- analizując parametry konstrukcyjne elementu roboczego, dotyczące skrawania skał w układzie wielostrzowym należy brać pod uwagę cechy konstrukcyjne głowicy skrawającej oraz rozmieszczenie noży, uwzględniając podziałkę poprzeczną  $t$  i podziałkę kątową  $t_\vartheta$ , liczbę linii skrawania oraz liczbę noży w jednej linii,
- podstawowym parametrem decydującym o wielkości sił występujących w procesie skrawania materiałów kruchych oraz wartości energii jednostkowej jest podziałka linii skrawania (podziałka poprzeczna),
- ze względu na pozyskiwany sortyment skrawanej skały należy dążyć do zapewnienia jak największej głębokości skrawania  $h_D$  (odpowiednio do właściwości skrawanego materiału), co można między innymi uzyskać redukując odpowiednio liczbę noży w linii skrawania,
- przy stałej głębokości skrawania opór rośnie wraz z powiększeniem podziałki poprzecznej,
- właściwy dobór podziałki poprzecznej i kątowej powinien nie tylko zapewniać odpowiedni układ skrawania w powiązaniu z głębokością skrawania, ale również umożliwiać osiągnięcie jak najniższej wartości energii urabiania,
- zbyt duża liczba noży na głowicach skrawających powoduje zbędne straty energii na procesy uboczne towarzyszące skrawaniu,

## 2. Rock cutting with multi-tool heads in literature

Several experimental and theoretical investigations, which aim was to determine optimal values of rock cutting parameters with the use of multi-tool sets prove, that this topic is complex and not well enough known [1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 15, 17, 18]. Results obtained from these investigations and researches are usually different and for several reasons cannot be compared. These differences in results obtained during experiments come from differences in geometry of cutting tools used in tests, differences of cut materials mechanical and physical properties, cutting direction or cutting depth. Another explanation of these differences is also typical way of process analysis. Most researchers analyse the process only from one, single cutting tool point of view. This way of analysis can be described as important simplification of real conditions, having huge influence on final results.

From author's literature studies on analysis and investigations of multi-pick cutting process parameters (especially in the case of natural brittle materials), follow such inferences as:

- When analysing constructional parameters of cutting head or another working element, in the case of rock materials cutting with the use of multi-tool sets, one have to take into consideration constructional properties of cutting heads together with rules of cutting tools placing on the head. It means, that from this point of view, among several parameters important for process final result and its efficiency there are: lateral scale between tools ( $t$ ), angular scale between tools ( $t_\vartheta$ ), number of cutting lines and number of cutting tools in each line.
- The basic parameter deciding about cutting forces value and value of unitary cutting energy during natural brittle materials cutting is the scale between cutting lines (lateral scale).
- For achieved cut rock material chip size one should try to make provision for the highest possible cutting depth ( $h_D$ ), what among other methods can be obtained as a result of reduced number of cutting tools in lines.
- If the cutting depth has constant value, the value of cutting resistance grows together with increasing value of lateral scale.
- Proper choice of lateral and angular scales values should provide not only correct cutting tools configuration in relation to cutting depth value, but also possibility to achieve the lowest values of energy consumed during rock materials cutting process.
- To highest number of cutting tools on multi-pick heads causes needless energy loss on additional processes, which appear during cutting.

- dla obniżenia wartości sił skrawania stanowiących podstawowy parametr decydujący o efektywności procesu skrawania, niezbędne jest dobranie podziałki linii skrawania (podziałki poprzecznej  $t$ ) w taki sposób, aby powiązać ze sobą parametry ruchowe i konstrukcyjne maszyny przy uwzględnieniu właściwości skrawanego materiału.

Ostatecznie stwierdzić można, że badania wpływu wybranych parametrów konstrukcyjnych głowicy wielostrzowej na proces skrawania materiałów kruchych pochodzenia naturalnego są jak najbardziej celowe. W świetle przedstawionej analizy literaturowej, określenie zależności wartości siły skrawania jako funkcji  $t_0$  i  $t/h_D$ , z technologicznego punktu widzenia jest w pełni wystarczające do poznania charakterystyki tego procesu w skali makro, i w dalszej kolejności do określania na przykład optymalnego rozmieszczenia noży skrawających na głowicy wielostrzowej.

### 3. Badania laboratoryjne zależności efektywności skrawania materiałów skalnych od wybranych parametrów konstrukcyjnych układów wielostrzowych

W celu dokonania pełnej analizy wpływu wybranych parametrów konstrukcyjnych układów wielostrzowych na efektywność skrawania materiałów skalnych przeprowadzono odpowiednie badania laboratoryjne [8, 11, 12, 13, 14]. W ich trakcie analizowano, w jaki sposób podziałka poprzeczna  $t$  rozmieszczenia noży, podziałka kątowa  $t_0$  oraz głębokość skrawania  $h_D$  wpływają na obciążenie poszczególnych narzędzi układu wielostrzowego. Celem tak prowadzonych prac było między innymi określenie, w jaki sposób należy rozmieszczać narzędzia na głowicy skrawającej, aby wykorzystując efekt ich grupowej pracy uzyskać maksymalną efektywność procesu skrawania. Ponadto wyniki prac pozwoliły na uzyskanie dodatkowych informacji o przebiegu procesu zarówno w skali mikro, jak i makro.

Dla przykładu, analizując w tym celu jeden z przebiegów wykresu obrazującego zależność wartości siły skrawania od głębokości skrawania przy różnych wartościach podziałki poprzecznej dla noża NKP-2w numer 1 (rys. 1 a) stwierdzono, że wartość siły skrawania rośnie wraz ze wzrostem głębokości w niemal identycznym stopniu dla wszystkich analizowanych wartości podziałki poprzecznej. Dla  $t_0=0^\circ$  nie widać znaczącego wpływu podziałki poprzecznej na wartość  $F_c$ . Podobnie, przy podziałce kątowej  $t_0=5^\circ$  (rys. 1b) charakter przebiegu krzywych oraz wartości sił skrawania są zbliżone. Jedynie kształt wykresu jest w tym przypadku bardziej paraboliczny, z mak-

- Cutting force value is the most important factor deciding about cutting process efficiency. To reduce value of cutting forces during natural brittle materials cutting, one have to select proper value of cutting lines scale (lateral scale  $t$ ) in such way, which ties together constructional and exploitation parameters of cutting head or the whole machine, taking into consideration properties of cut rock material.

Finally, we can certify that analytical and empirical investigation in the field of rock materials cutting process, especially related to multi-tool sets constructional parameters influence on the process efficiency are important and technologically needed. Basing on above presented results of literature studies we can be sure that proper determination of cutting forces values as a function of angular scale value ( $t_0$ ) and linear scale to cutting depth quotient value ( $t/h_D$ ), is quite enough to get knowledge of the process in macro scale, especially from the technological point of view. Such knowledge makes us able to determine optimal cutting tools arrangement on the head.

### 3. Laboratory experiments on rock cutting efficiency dependence of selected multi-tool sets constructional parameters

Laboratory experiments were carried out to make detailed analysis of selected multi-tool sets constructional parameters influence on rock materials cutting efficiency [8, 11, 12, 13, 14]. During the experiment and later experimental data analysis, it was analysed how the values of: lateral scale between cutting tools ( $t$ ), angular scale ( $t_0$ ) and cutting depth  $h_D$  result on cutting forces values measured on cutting tools group placed on the multi-pick head. The aim of such investigations was to determine how cutting tools should be arranged on the multi-tool heads to make possible use of their group work effect, and as a final result - to achieve maximal efficiency of the cutting process? In addition, results of these experiments gave us accessory knowledge about the process, both - in micro and macro scales.

For example, when analysing one the figures presenting cutting force value on the first tool of the set (NKP-2w type) as a function of cutting depth for different values of lateral scale (fig. 1 a), it was noticed that cutting force value grows together with increased cutting depth value for all analysed values of the lateral scale. For  $t_0=0^\circ$  important influence of the lateral scale on the cutting force doesn't appear. Similarly, when angular scale value was equal to  $5^\circ$  (fig. 1 b) function shape and cutting forces values are almost the same as in the previous case. Only function shape in this case is more parabolic, with the highest cutting force value stabilizing on the level equal to

symalną wartością siły skrawania stabilizującą się na poziomie  $F_c = 2.70 \text{ kN}$ . Bardzo ciekawą zależność zaobserwowano, gdy podziałka kątowa osiągnęła wartość  $t_0 = 10^\circ$  (rys. 1c). Odległość kątowa pomiędzy poszczególnymi nożami była w tym przypadku największa z dotychczas analizowanych. Krzywa opisująca zależność  $F_c = f(h_D)$  jest tutaj wyraźną parabolą, przy czym szybszy wzrost wartości siły skrawania ze wzrostem głębokości zaobserwowano przy podziałce  $t=45 \text{ mm}$  niż przy  $t=60 \text{ mm}$  i  $t=100 \text{ mm}$ . Omawiany przypadek dotyczy noża numer 1, a więc wyprzedzającego. Wyraźnie widać tutaj pewien wpływ podziałki poprzecznej, jak i kątowej na wartość mierzonych na tym nożu sił skrawania. We wszystkich analizowanych tutaj przypadkach (rys. 1a, 1b, 1c) wartość tej siły stabilizuje się na zbliżonym poziomie w obszarze  $h_D = 25 \text{ mm}$ .

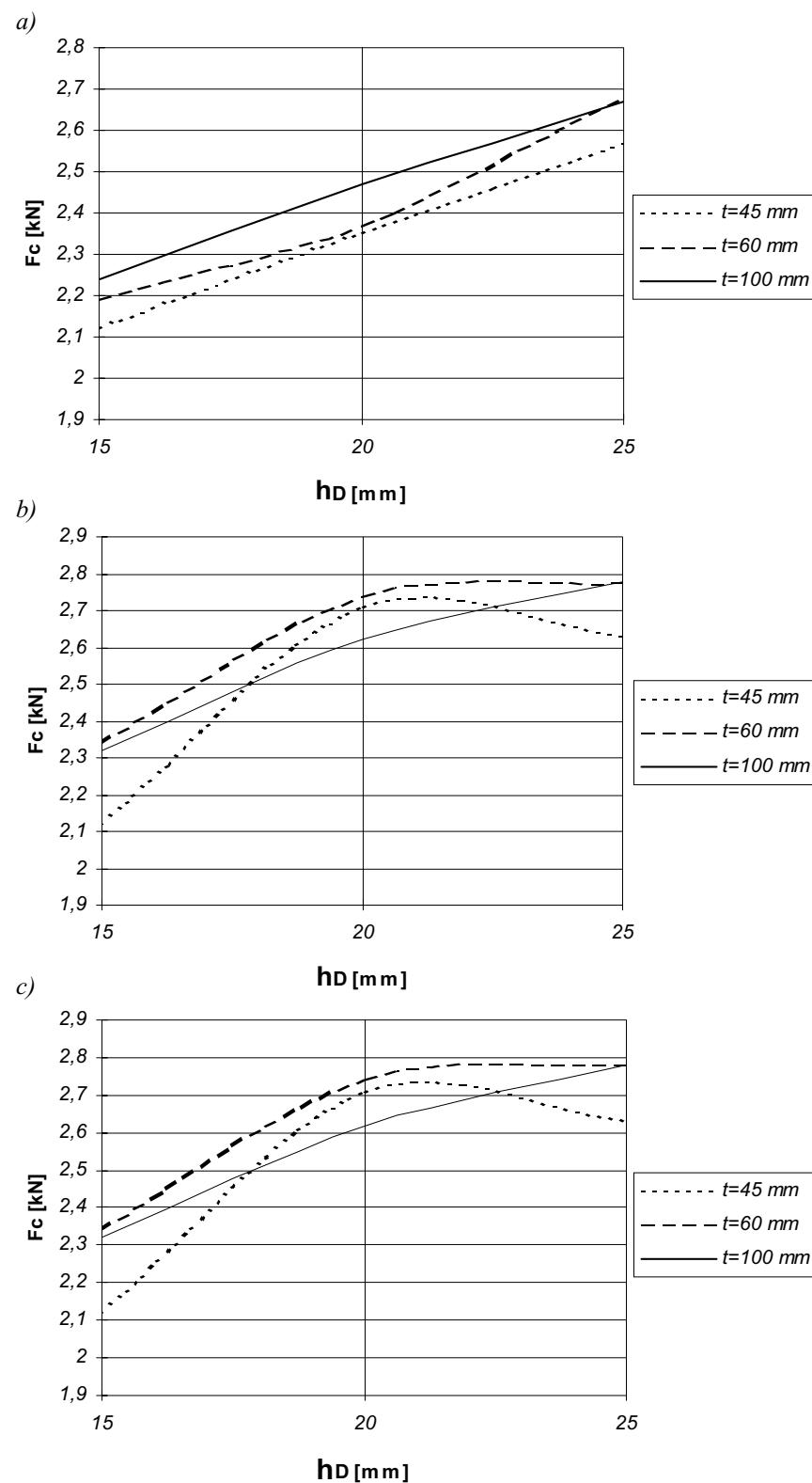
Na podstawie tak przeprowadzonych w warunkach laboratoryjnych badań skrawania skał w układzie wielostrzowym oraz uzupełniającym je analizom modeli teoretycznych [8, 11, 12, 13, 14], możliwe jest wyciągnięcie między innymi następujących wniosków:

- Uzyskanie optymalnej efektywności procesu skrawania skał głowicami wielostrzowymi w aspekcie minimalnych wartości sił skrawania możliwe jest poprzez odpowiedni dobór wartości parametrów konstrukcyjnych charakteryzujących głowice skrawające ( $h_D$ ,  $t$ ,  $t_0$ ).
- Projektując układ nożowy głowicy skrawającej należy tak dobrać jej parametry, aby zapewnić grupowe oddziaływanie noży unikając jednocześnie wykonywania skrawania wymagającego użycia sił skrawania o dużych wartościach. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że dla analizowanego zakresu głębokości skrawania przy pracy równoległej układu noży ich wzajemny na siebie wpływ występuje jedynie przy podziałce poprzecznej nie przekraczającej  $t=45 \text{ mm}$ . Przy przesunięciu kątowym noży obniżenie wartości sił skrawania możliwe jest przy zastosowaniu  $t$  z zakresu 40 do 60 mm. Powyżej  $t=60 \text{ mm}$  każdy z noży pracuje samodzielnie i nie podlega wpływowi noży sąsiednich.
- W analizach procesu skrawania materiałów krusznych, bazując na rozważaniach teoretycznych część autorów przyjmuje liniową, a część - potęgową zależność wartości siły skrawania od grubości warstwy skrawanej. Przeprowadzone badania wykazały, że analizując skrawanie wapienia nożami typu NKP-2w oraz Rapid 83, przy ich pracy równoległej zależność  $F_c = f(h_D)$  należy traktować jako funkcję liniową, natomiast przy rozstawionym układzie noży - jako potęgową.
- W efekcie analizy wyników badań laboratoryjnych stwierdzono, że w przypadku skrawania z niezerową podziałką kątową ma miejsce zwiększenie wartości

$F_c = 2.70 \text{ kN}$ . Very interesting relation was also noticed when the angular scale value reached  $t_0 = 10^\circ$  (fig. 1 c). Angular scale between cutting tools in that case had the highest value among all analysed before. The curve presenting relation  $F_c = f(h_D)$  was clearly parabolic, and the highest increase of cutting force occurring with increase of cutting depth value was noticed when lateral scale was equal to  $t=45 \text{ mm}$ , not when  $t=60 \text{ mm}$  or  $t=100 \text{ mm}$ . This case refers to the first tool in the multi-pick cutting set. In that case we can clearly notice some influence of both - lateral and angular scales values on cutting forces values measured on the tool. In all analysed cases (fig. 1 a, 1 b, 1 c) cutting force value reached stabilization level when  $h_D = 25 \text{ mm}$ .

Basing on described above laboratory experiments analysing rock cutting process with the use of multi-tool heads and additional analysis of theoretical models [8, 11, 12, 13, 14] we can come to conclusion that:

- It is possible to achieve optimal efficiency of rock cutting process with the use of multi-tool heads (in the aspect of minimal cutting forces values), as a result of proper cutting head constructional parameters characterized by cutting depth, lateral and angular scales between cutting tools and its lines.
- When designing tools set on the cutting head it is necessary to choose its geometrical parameters in the way, which makes possible to use effect of their work group, avoiding cutting, which requires use of high value cutting forces. As a results of laboratory experiments and further tests we can conclude, that for the parallel work of the tools, their group work effect appears only when lateral scale value doesn't exceed  $t=45 \text{ mm}$ . When angular scale is different than  $0^\circ$ , cutting forces reduction in analysed research object was possible only when lateral scale was equal to 40 to 60 mm. Above  $t=60 \text{ mm}$  each tool works separately and is not influenced by any other tool of the set.
- In the analysis of natural brittle materials cutting process, basing on theoretical investigations, some authors use linear, while others involution relation between cutting force value and cutting depth. Laboratory experiments on NKP-2w and Rapid-83 tools show, that when the tools work in a parallel system the function  $F_c = f(h_D)$  is linear. Otherwise the function has involution form.
- As a result of laboratory tests it was noticed, that when the angular scale was different than  $t_0 = 0^\circ$ , cutting force value measured on the first tool in



Rys. 1. Zależność wartości siły skrawania od głębokości skrawania przy różnych wartościach podziałki poprzecznej dla noża nr 1 (typu NKP-2w): a)  $t_0=0^\circ$ , b)  $t_0=5^\circ$ , c)  $t_0=10^\circ$

Fig. 1. Cutting force value in relation to cutting depth for different values of lateral scale (for the first NKP-2w type tool in the set): a)  $t_0=0^\circ$ , b)  $t_0=5^\circ$ , c)  $t_0=10^\circ$

- sił skrawania noża pracującego z wyprzedzeniem w stosunku do noży cofniętych średnio o około 25%.
- Skrawaniu głowicami wielostrzowymi towarzyszy ciągła zmiana wartości głębokości skrawania od zera do  $h_{Dmax}$ , powodująca jednocześnie chwilowe wzrosty wartości siły skrawania na poszczególnych nożach. Stwierdzono, że zastosowanie przesunięcia kątowego noży w zakresie 6 do 80 (noże NKP-2w) oraz około 50 (noże Rapid 83) powoduje wolniejszy wzrost wartości siły skrawania noży cofniętych oraz szybszą stabilizację jej wartości.
  - Na podstawie przeprowadzonych badań modelowych określono, że w przypadku układu nożowego pracującego z podziałką kątową  $t_o > 0$ , optymalna wartość ilorazu  $t/h_D$  dla noży typu NKP-2w wynosi około 2 do 4, natomiast w przypadku noży Rapid 83 mieści się w zakresie 3 do 5.
  - Stwierdzono, że z uwagi na kryterium efektywności skrawania oraz charakter pracy noża, korzystniej w porównaniu z nożem NKP-2w pracuje noż Rapid 83, szczególnie w zakresie głębokości skrawania do 20 mm i podziałek kątowych rozmieszczenia noży nie przekraczających wartości 50.
  - Celowe jest kontynuowanie badań laboratoryjnych o podobnym profilu, celem określenia wpływu wartości pozostałych parametrów charakteryzujących skrawanie materiałów kruchych na pracę układów wielostrzowych, szczególnie w aspekcie modyfikacji geometrii ostrza skrawającego.

## 4. Podsumowanie

Jak wynika z rozważań przeprowadzonych w niżejjszej pracy, określając parametry konstrukcyjne układu nożowego na głowicy skrawającej należy brać pod uwagę szereg różnych czynników, często wzajemnie się znoszących. Dlatego też projektując taki układ wielostrzowy należy dojść do kompromisu zapewniając optymalne parametry skrawania, oraz minimalne kruszenie materiału skalnego przy jak najmniejszym poborze mocy. Na tej podstawie można jednoznacznie stwierdzić, że ustalenie geometrii rozmieszczenia noży na głowicy skrawającej w aspekcie minimalnego, a tym samym optymalnego obciążenia narzędzi wymaga znalezienia odpowiedniego kompromisu pomiędzy parametrami istotnymi dla tego zagadnienia. Kompromisem są w tym przypadku właśnie odpowiednie wartości parametrów  $t/h_D$  i  $t_o$ , o wartościach z analizowanego obszaru rozwiązań. Nie można bowiem dobrać odpowiednich wartości parametrów konstrukcyjnych głowicy wielostrzowej, analizując je wybiórczo lub bez uwzględnienia ich wzajemnego na siebie wpływu.

the set was 25% higher than the same force measured on any other tool of the multi-tool cutting set.

- When we use cutting with multi-tool heads the cutting depth value changes from zero to  $h_{Dmax}$  causing temporary increase of cutting force value on the tools. It was noticed that for angular scale value from 6 to 80 (NKP-2w tools) and about 50 (Rapid 83 tools) causes slower increase of back tools cutting force value and its faster stabilization.
- Basing on described experiments it was noticed that for the cutting set working with angular scale  $t_o > 0^o$  optimal value of  $t/h_D$  for NKP-2w tools is equal to about 2 to 4. In the case of Rapid 83 is equal to 3 to 5.
- When comparing work efficiency and work character of both analysed tool types - NKP-2w and Rapid 83, especially for cutting depth not higher than 20 mm and angular scales between tools lower than 50, better results were obtained for the Rapid 83 toll than for NKP-2w.
- It is necessary to continue this kind of experiments and investigations aiming to determine another parameters (typical for rock materials cutting process) influence on multi-tool heads work results and efficiency, especially in the case of cutting tool geometry modification.

## 4. Final conclusions

From described above laboratory experiments it follows, that when determining constructional parameters of the multi-tool cutting heads, and especially parameters of the tools set - it is necessary to take into consideration several different parameters, which sometimes even drift each other. It means that design of such multi-tool set requires finding a kind of compromise, which assures optimal cutting process, for example technological parameters. This way we can be find that determination of cutting tools placing on the mullet-tool head in the aspect of minimal, there is optimal tools load, requires finding proper compromise between parameters important for this matter. Compromise in this case means proper values of such parameters as  $t/h_D$  and  $t_o$ , there is values from analysed solutions area. It is impossible to make proper choice of discussed multi-tool head constructional parameters analysing all off them separately, without taking into consideration their interdependence.

## 4. References

- [1] Chodura J. - *Podstawy dobioru układu noży na organach urabiających kombajnów ścianowych (cz. 1)*. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa. Nr 7/1994.
- [2] Chodura J. - *Podstawy dobioru układu noży na organach urabiających kombajnów ścianowych (cz. 2)*. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa. Nr 2/1996.
- [3] Krauze K. - *Wpływ wybranych parametrów konstrukcyjnych frezującego organu ślimakowego na obciążenie ścianowego kombajnu węglowego*. Wydawnictwa AGH. Kraków 1994.
- [4] Krauze K. - *Wyznaczanie obciążenia organu frezującego kombajnu ścianowego*. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa. Nr 6/1992.
- [5] Kruszecki L., Losiak S., Losiak H. - *Wpływ grubości i podziałki skrawów na opory skrawania*. Mechanizacja Górnictwa. Nr 8/1965.
- [6] Lebrun M. - *Analyse des facteurs influençant la marche d'une machine d'battage à pics*. Industrie Minerale - des Techniques. Mai 1983.
- [7] Losiak S. - *Ustalenie wpływu kąta wierzchołkowego i bocznego krawędzi tnącej noży wrębowych na opory urabiania węgli*. Praca doktorska. AGH. Kraków 1966.
- [8] Lutek K., Mazurkiewicz D. - *Methods and preliminary results of laboratory tests, in multi-pick system analysis, with the influence of geometrical elements on rock cutting process*. The International Conference "New trends in mechanical engineering on the threshold of the third millennium". TU Kosice (Slovak Republic), 1997.
- [9] Matyja S. - *Badania nad doborem układu noży na organie urabiającym kombajnu*. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa. Nr 7/1975.
- [10] Mazurkiewicz D. - *Computer Aided Modeling and Simulations in Rock Cutting Process Analysis*. Maintenance and Reliability - Journal of the Polish Academy of Sciences and the Polish Maintenance Society. Nr. 6, 2000, pp.: 27-40
- [11] Mazurkiewicz D. - *Empiric peace and analitic peace modeli processa rzezania gornych porod*. Fiziko-Tehnickeskie Problemy Razrabotki Poleznyh Iskopajemyh, Rossijskaja Akademija Nauk, (Journal of the Soviet Academy of Science published in Russian language), No. 5/2000, pp.: 75-81.
- [12] Mazurkiewicz D. - *Empirical and analytical models of cutting process of rocks*. Journal of Mining Science by Kluwer Academic/Plenum Publishers, Vol. 36, No. 5. 2000, pp.: 481-486.
- [13] Mazurkiewicz D. - *Typical rock cutting tools geometry influence on their group work*. The 2nd International Conference "Development of Metal Cutting in Czech Republic, Hungary, Poland and Slovakia, RTO-DMC'98". TU Kosice (Slovak Republic), 1998
- [14] Mazurkiewicz D., Lutek K. - *Multi-pick head geometrical parameters influence on cutting process*. The Second International Congress "Mechanical Engineering Technology '99". Sofia (Bulgaria), 1999.
- [15] Nishimatsu Y. - *The mechanics of rock cutting*. Int. J. Rock. Mech. Min. Sci. Vol. 9, Pergamon Press 1972.
- [16] Ocoś E.K. - *Kształtowanie ceramicznych materiałów technicznych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej. Rzeszów 1996.
- [17] Sedlaczek J. - *Wpływ konstrukcji kombajnu ścianowego oraz parametrów jego urabiania na poziom zapylenia*. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa. Nr 6/1991.
- [18] Staroń T., Mazurkiewicz D. - *Comparison of some rock cutting forces' methods calculations using conical tool with laboratory test results*. ZN AGH Serii Górnictwo. Rok 18. Zeszyt 1/1994

\*\*\*\*\*

*Praca powstała w ramach realizacji  
projektu badawczego finansowanego przez Komitet Badań Naukowych  
PB-1505/T12/99/16*

\*\*\*\*\*

---

**Dr inż. Dariusz Mazurkiewicz**

*Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji*

*Politechnika Lubelska*

*ul. Nadbystrzycka 36*

*e-mail: dar\_maz@archimedes.pol.lublin.pl*

---

*Anna Bajuk  
Krzysztof Głuch  
Leszek Michalak*

# **LASEROWA JONIZACJA PRÓBKI WSPOMAGANA MATRYCĄ**

## **MATRIX ASSISTED LASER DESORPTION/IONIZATION**

*Laserowa jonizacja próbki wspomagana matrycą (MALDI - Matrix Assisted Laser Desorption/Ionization) jest nową metodą stosowaną w spektrometrii masowej od połowy lat osiemdziesiątych w badaniach ciężkich biomolekuł. Wykorzystuje ona stałą matrycę, która pełni kluczową rolę w ich procesach jonizacyjnych. Procesy te (desorpcja, jonizacja) inicjuje tutaj krótkotrwały (kilka nanosekund) impuls światła laserowego. Dzięki tzw. "miękkiej" jonizacji w metodzie MALDI znajduje ona zastosowanie w badaniach ciężkich biomolekuł takich jak peptydy, białka, kwasy karboksylowe i wiele innych. W artykule zawarte są podstawy dotyczące spektrometrii masowej związków biologicznych, a także informacje na temat procesu jonizacji za pomocą desorpcji laserowej. Ponadto zaprezentowane są wyniki najnowszych badań przeprowadzonych metodą MALDI w Zakładzie Fizyki Stosowanej Instytutu Fizyki Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie.*

*MALDI (Matrix Assisted Laser Desorption and Ionization) is a quite new method used in the mass spectrometry since the middle of eighties in studies of heavy biomolecules. It uses a solid matrix that is crucial in the ionization processes of macromolecular substances. These processes (desorption and ionization) are initiated by a few nanoseconds laser pulse. Because of its "softness", MALDI has the application in the analysis of biomolecules such as peptides, proteins, carbohydrates, oligonucleotides and others. This article presents basics of the biomolecule mass spectrometry first of all, but also some general pieces of information about sample ionization processes by MALDI. Some of the results obtained by using TOF spectrometer, in the Division of Applied Physics, Institute of Physics, Marie Curie-Sklodowska University, are also presented.*

### **1. Wstęp**

Laserowa jonizacja próbki wspomagana matrycą (MALDI - Matrix Assisted Laser Desorption/Ionization) jest nową metodą stosowaną w spektrometrii masowej od połowy lat osiemdziesiątych. W metodzie tej jony powstają w wyniku procesów oddziaływanego pulsującej wiązki laserowej z tzw. matrycą, w której znajdują się molekuły badanej substancji [1,2]. Matryca - zwykle kwas aromatyczny - pochłania energię promieniowania lasera, a przez to zapewnia desorpcję i jonizację zawartych w niej molekuł. Wytwarzane w tym procesie jony są następnie kierowane do analizatora mas, którym jest zwykle spektrometr mas działający na zasadzie pomiaru czasu przelotu jonów (TOF-MS - Time Of Flight Mass Spectrometer) [3,4].

### **1. Introduction**

MALDI (Matrix Assisted Laser Desorption and Ionization) is a quite new method used in the mass spectrometry since the middle of eighties. It uses a solid matrix and the laser light. Ions are formed as a result of directing a pulsed laser beam onto a sample holder with a sample dissolved in a matrix [1,2]. The matrix - usually an aromatic acid - absorbs the laser light energy and causes desorption and ionization of sample molecules. Created in such a way ions are directed into the mass analyzer, usually Time Of Flight Mass Spectrometer (TOF-MS) [3,4].

Dzięki tzw. "miękkiej" jonizacji MALDI jest dobrą metodą do badań nad związkami "wielkocząsteczkowymi" takimi jak peptydy, białka, węglowodany i inne [5,6,7,8].

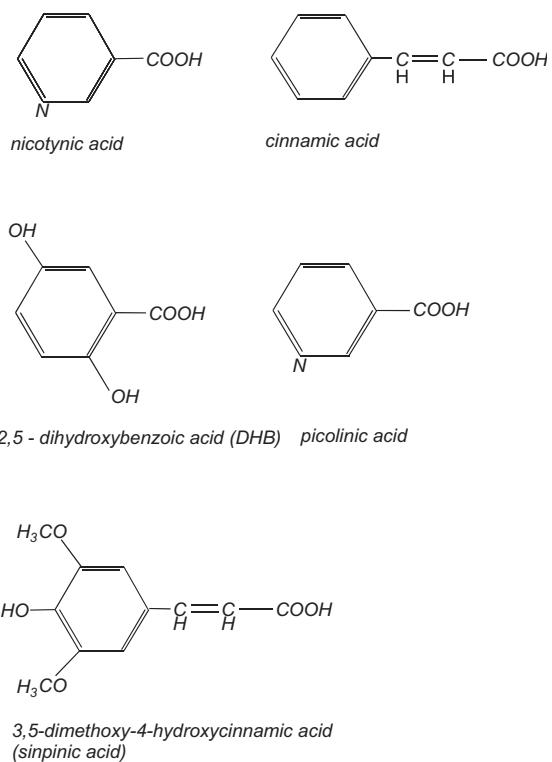
W artykule zawarte są przede wszystkim podstawy dotyczące spektrometrii masowej związków biologicznych, ale również informacje na temat procesu jonizacji za pomocą desorpcji laserowej. Ponadto zaprezentowane są wyniki najnowszych badań przeprowadzonych metodą MALDI w Zakładzie Fizyki Stosowanej Instytutu Fizyki Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie.

## 2. Jonizacja próbki za pomocą metody MALDI

Jonizacja próbki za pomocą metody MALDI przebiega dzięki matrycy, która pośredniczy w procesach przenoszenia energii do badanej substancji i następnie jej jonizacji. Dzięki niej możliwe jest badanie związków nietrwałych i "wielkocząsteczkowych". Właściwie wybrana matryca powinna:

- dobrze absorbować promieniowanie z zakresu długości fali użytego lasera,
- łatwo sublimować,
- po desorpcji dostarczać dużej ilości jonów niezbędnych do jonizacji molekuł próbki.

Rys. 1 przedstawia struktury chemiczne najczęściej stosowanych matryc.



Rys. 1. Struktury związków chemicznych najczęściej używanych jako matryce w metodzie MALDI  
Fig. 1. Chemical structures of compounds often used as matrixes in MALDI method

Owing to its "softness" matrix-assisted laser desorption and ionization is a good method for the mass spectrometry of macromolecular compounds, mainly biomolecules such as peptides, proteins, carbohydrates, oligonucleotides and others [5,6,7,8].

This article presents basics of the biomolecule mass spectrometry first of all, but also some general pieces of information about sample ionization processes by MALDI. Some of the results obtained by using TOF spectrometer, in the Division of Applied Physics, Institute of Physics, Marie Curie-Skłodowska University, are also presented.

## 2. Sample ionization by MALDI method

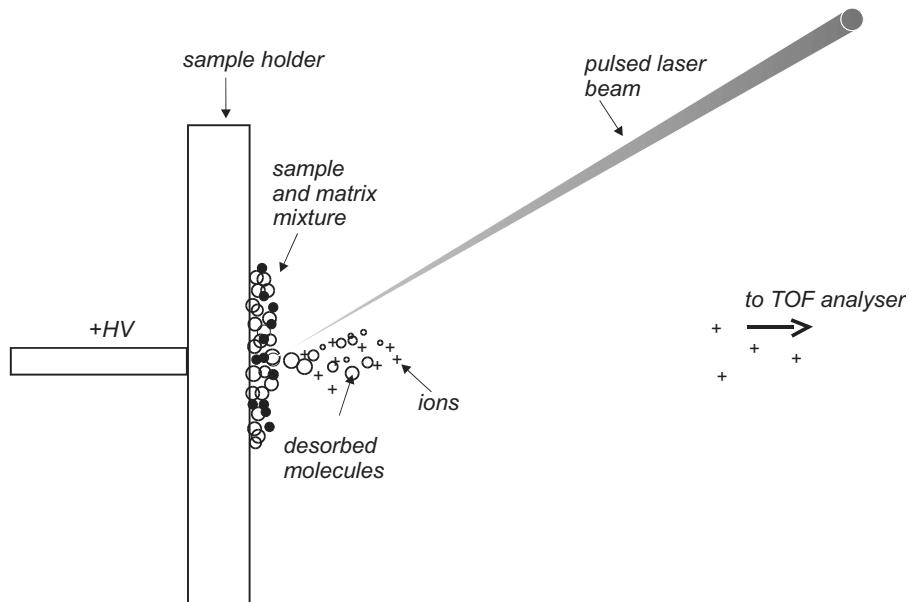
Sample ionization by MALDI proceeds with the help of the matrix that intermediates in energy transfer to the studied substance, makes the sample ionization easier and enables studies of nonvolatile and macromolecular substances. A proper choice of the matrix is very important. It should:

- absorb radiation from the wave length range of a used laser well,
- sublimate easily,
- after desorption, give large quantity of ions necessary to sample molecules ionization.

The structures of most often used matrixes are shown in Fig. 1

W pierwszym etapie rozpuszcza się badaną próbę w lotnym rozpuszczalniku (woda, acetonitryle, metanol). Następnie roztwór ten miesza się z roztworem matrycy, tak aby zawartość próbki była dużo mniejsza (1:10000) w stosunku do matrycy. Około 1 µl tak sporzązonej mieszaniny umieszcza się na stoliku desorpcyjnym (rys. 2) i suszy strumieniem chłodnego powietrza aż do całkowitego wyparowania rozpuszczalnika. Wszystko to ma na celu uzyskanie jednorodnej warstwy zestalonej mieszaniny próbki i matrycy. Proces przygotowywania tej mieszaniny ma decydujący wpływ na desorpcję i jonizację molekułu próbki.

In the beginning of measurements, the studied substance should be solved in any volatile solvent (distilled water, methanol, acetonitrile). Next the sample solution is mixed with the matrix solution. The amount of the first one should be smaller (1:10000) in comparison with the second one. Then, one should put about 1 µl of this mixture on the sample holder (Fig. 2) and let the solvent vaporize in the air stream. The aim of this is getting uniform crystallization of the studied substance and the matrix mixture. This is very important stage because the quality of the mass spectrum depends on the sample desorption and ionization in the matrix material.



Rys. 2. Stolik desorpcyjny w źródle MALDI

Fig. 2. Laser desorption sample holder in MALDI source

Po dokładnym osuszeniu stolik umieszczany jest wewnątrz komory analizatora, zwykle spektrometru masowego. W spektrometrach mas z pomiarem czasu przelotu jonów najczęściej używa się impulsowego lasera azotowego generującego promieniowanie o długości fali  $\lambda = 337$  nm. Zogniskowana na powierzchni stołka wiązka lasera oświetla obszar o średnicy około 100 µm. Impuls lasera o czasie trwania rzędu kilku nanosekund, wywołuje serię następujących procesów [9,10]:

- absorpcję promieniowania głównie przez materiał matrycy,
- odparowanie mieszaniny matrycy i próbki na głębokość około 0,5-1 µm,
- termiczną dysocjacje molekułów matrycy i ich jonizację,
- reakcję jonów matrycy z molekułami badanej substancji i ostatecznie wytworzenie jonów próbki (kationów bądź anionów).

After precise drying, the sample holder is put into the analyzer of the mass spectrometer usually. In the case of TOF-MS a pulsed nitrogen laser is used ( $\lambda = 337$  nm). A laser beam is directed onto the probe and focused on the area of diameter of about 100 µm. Laser pulse lasting several nanoseconds causes series of following processes [9,10]:

- absorption of radiation mainly by the matrix material,
- sample evaporation to a depth of 0,5-1 µm,
- thermal dissociation of the matrix molecules and their ionization,
- matrix ions reactions with the studied substance and finally sample ions (cations or anions) formation.

Wytwarzanie jonów z neutralnej cząsteczki może odbywać się na drodze: termicznej dysocjacji, której towarzyszy powstanie pary kation - anion, oderwania bądź przyłączenia elektronu, przyłączenia bądź oderwania protonu lub przyłączenia kationu.

Wskutek oderwania elektronu powstaje dodatnio naładowany jon  $M^+$  (1), podczas gdy przyłączenie elektronu owocuje kreacją ujemnego jonu  $M^-$  (2)

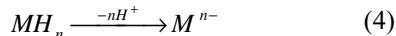


W rezultacie przyłączenia  $n$  - protonów utworzony zostaje dodatnio  $n$ -krotnie naładowany ją  $M^{n+}$  (3)



gdzie:  $n$  - liczba przyłączonych protonów.

W wyniku oderwania  $n$  protonów otrzymujemy  $n$ -krotnie naładowany ujemny ją  $M^{n-}$  (4)



gdzie:  $n$  - liczba oderwanych protonów.

Jony niektórych związków, powstałe na drodze przyłączenia protonu, mogą okazać się niestabilne ze względu na kovalentną naturę protonu, dlatego bardziej prawdopodobnym jest dla nich proces przyłączenia kationu (5)



Wytwarzane jony są następnie przyśpieszane w polu elektrycznym i kierowane poprzez analizator do detektora. Procesy prowadzące do ich formowania nie trwają dłużej niż kilka nanosekund, dlatego aby przebiegały efektywnie, wymagana jest duża jednorodność mieszaniny próbki z matrycą. Jej przygotowanie powinno uwzględnić: wybór właściwej matrycy i rozpuszczalnika, sposób ich mieszania oraz nakładania na stolik.

Bardzo krótkie impulsy laserowe o dużej gęstości energii, w warunkach wysokiej próżni ( $10^{-6}\text{--}10^{-8}$  Tr), powodują raczej odparowanie molekuł aniżeli ich rozpad [10]. Taka sytuacja ma miejsce w przypadku związków charakteryzujących się dużymi masami atomowymi np. białek, podczas gdy substancje o masach atomowych nie przekraczających 1000 Da ulegają często w tych samych warunkach fragmentacji. Wyjaśnienie tego procesu jest następujące. Zaabsorbowana przez dużą cząsteczkę energia ulega rozproszeniu na większą liczbę jej stopni swobody. W przypadku mniej złożonych cząsteczek proces absorpcji prowadzi do rozrywania wiązań chemicznych [11].

During ions creation particularly the following processes may take place: thermal dissociation with creation of the cation-anion pair, electron ejection, electron capture, protonation or deprotonation, cationization.

As a result of the electron ejection a positive charge of  $M^+$  is produced (1), on the contrary to the electron capture where a negative charge of  $M^-$  is achieved (2)

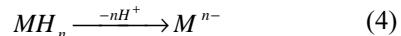


Protonation is the addition of  $n$  protons to a molecule to create a " $n$ " charged, positive  $M^{n+}$  ion (3)



where  $n$  is a number of protons added to a molecule.

Deprotonation means the ejection of  $n$  protons and, as result of this, getting a " $n$ " charged, negative  $M^{n-}$  ion (4)



where  $n$  is a number of protons ejected from a molecule.

Because many compounds do not form stable molecular ions when they are protonated, the other reaction is needed. Cationization results in creation of a charged complex and involves the noncovalent addition of a positively charged ion, different from a proton, to a neutral molecule (5). It produces a stable molecular cation on the contrary to protonation, where, because of the covalent nature of a proton, a cation achieved may undergo fragmentation



Ions created in this way are accelerated in an electrical field and directed through the analyzer to a detector. The total time of mentioned above processes does not exceed few nanoseconds. So, if we want them to proceed efficiently, it is necessary to have a very homogenous probe. That is why its preparation method before a measurement (choice of a proper matrix and a solvent, a way of mixing them and putting on a sample holder) is very important.

Very short laser pulses of the great energy density directed onto a sample, placed in high vacuum conditions ( $10^{-6}\text{--}10^{-8}$  Tr), cause rather its evaporation than decomposition [10]. It is true in the case of such sensitive materials as proteins of great molecular masses, while substances of  $M < 1000$  Da undergo fragmentation in the same conditions very often. Explanation of this process is, that big molecules have many steps of freedom, so that the absorbed energy is dispersed without tearing chemical bounds [11].

### 3. Niektóre aspekty metody MALDI

W metodzie MALDI istnieją pewne zasady, których należy przestrzegać aby prawidłowo przeprowadzić analizę badanej próbki [11]. Próbka powinna być analizowana zaraz po jej spreparowaniu, tak aby zmimimalizować stopień jej zanieczyszczenia.

Sposób jonizacji cząsteczek zależy od tego, jaką grupę funkcyjonalną reprezentuje badany związek. Łatwiej jest zjonizować aminy, kwasy czy amidy aniżeli grupy hydroksylowe, estry, ketony bądź aldehydy. Ponieważ peptydy zawierają grupy amidowe i aminowe, dlatego korzystniej jest zjonizować je poprzez przyłączenie protonu lub też jego oderwanie - w przypadku gdy zawierają w swej strukturze wiązania kwasowe.

Kwasy karboksylowe zwykle formują jony na drodze przyłączenia dodatnich jonów  $\text{Na}^+$  lub  $\text{K}^+$ , co prowadzi do utworzenia kompleksów  $\text{A}+\text{Na}^+$  lub  $\text{A}+\text{K}^+$ . Te, które zawierają grupy amidowe, ulegają jonizacji poprzez przyłączenie protonu.

Znaczący wpływ na jakość uzyskanego widma masowego ma ilość użytej próbki w stosunku do matrycy. Zbyt mała spowoduje niemożność jej wykrycia, natomiast nadmiar może doprowadzić do stłumienia sygnału pochodzącego od próbki sygnałem matrycy.

Otrzymanie właściwego widma masowego badanej substancji uwarunkowane jest także jej rozpuszczalnością w rozpuszczalniku matrycy. W przypadku złego dopasowania rozpuszczalnika nie zajdzie jej odparowanie i ostatecznie szanse na uzyskanie jakiegokolwiek sygnału będą znacznie małe.

Kolejnym ważnym czynnikiem jest czystość i jednorodność mieszaniny próbki z matrycją. Jakiekolwiek zanieczyszczenia mogą spowodować "zaśmiecenie" widma masowego sygnałami pochodzącymi od tych zanieczyszczeń [12]. Z tego względu zalecane są pewne procedury oczyszczania, których należy przestrzegać aby widmo masowe było pozbawione zbędnych, a trudnych w interpretacji pików. Procedury te zostaną omówione po krótce w dalszej części artykułu.

Czasami otrzymanie właściwych danych może okazać się trudne nawet jeśli mieszanina próbki z matrycją jest czysta. Przyczyna może tkwić w miejscowym "wypaleniu" desorbowanej warstwy przez kolejne, zbyt częste impulsy lasera, lub w niejednorodności tej warstwy. W takiej sytuacji należy zmienić miejsce desorpcji lub przemiatać powierzchnię zestalonej mieszaniny próbki z matrycją za pomocą jonizującej wiązki laserowej.

Kluczową rolę w technice MALDI odgrywa matryca. Jej wybór i przygotowanie (patrz wyżej) bardzo często determinują jakość otrzymanego widma masowego [11].

Innym ważnym czynnikiem jest zawartość różnych soli w materiale próbki. Ogólnie, im mniej zawiera ich próbka tym lepsza jest jakość otrzymanego widma. Oczyszczanie z soli można przeprowadzić za pomocą metod chromatograficznych.

### 3. Some aspects of MALDI method

There are some rules, that one should follow in order to get good mass data [11]. Just after a sample is prepared it should be analyzed, so that the possibility of degradation is reduced.

Depending on the type of a functional group on the studied molecule, different ionization mechanisms are preferable. It is easier to ionize amines, acids and amides than hydroxyl groups, esters, ketones and aldehydes. Because peptides contain amide and amine groups, it's readily to ionize them through protonation or deprotonation - when acid bonds are present in the peptides structure.

Usually carbohydrates form ions via cationization through the addition  $\text{Na}^+$  or  $\text{K}^+$ , forming  $\text{A}+\text{Na}^+$  or  $\text{A}+\text{K}^+$  ions. Some of them contain an amide bond. Then they are ionized through accepting a proton.

The amount of a used sample has a meaningful influence on the quality of a mass spectrum. Detection will not be possible if there is too little of it. On the other hand, too much may cause signal suppression.

Obtaining good mass data depends on sample's solubility in the solvent or matrix solution. Vaporization will not proceed if the compound is not soluble in the matrix or solvent. Finally, there would be a small chance of getting any signal from the sample.

The next thing one should remember about is purity and homogeneity of it. Any impurities may cause the spectrum to be full of "rubbish" - signals from substances that actually we are not interested in and that are quite difficult to interpret [12]. This is why there are some purification procedures one should follow if wants to obtain clean and accurate data. These techniques are closely associated with sample preparation techniques, which are going to be described in the next part of this article.

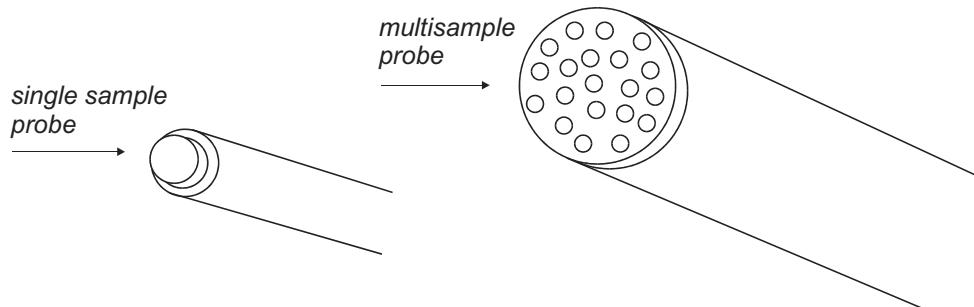
Sometimes it may be difficult to get good signal although the probe is clean. Quite often the reason of it is burning of desorbed layer by too often laser pulses or inhomogeneity of this layer. In such situation, moving of the laser beam around the probe helps. Also creation of the uniform matrix material coating onto the surface of the MALDI's probe makes it less necessary to hunt for the signal.

The matrix plays a key role in MALDI. The choice and preparation of it (see above) determines the quality of the mass data very often [11].

Istnieje wiele procedur przygotowywania mieszanin próbki z matrycą w oparciu o powyższe czynniki. Każdy badacz zajmujący się analizą substancji za pomocą MALDI ma swoją własną technologię, podobnie jak wiele jest sposobów nakładania tej mieszaniny na stolik desorpcyjny. Zawsze jednakże warto jest, przed przystąpieniem do pokrywania jego powierzchni roztworem badanego związku, przemyć ją roztworem matrycy w celu usunięcia ewentualnych nieczystości.

#### **4. Analiza biomolekuł za pomocą MALDI**

Dzięki swoim zaletom MALDI jest bardzo przydatną metodą w analizie masowej ciężkich biomolekułów takich jak peptydy, białka, kwasy karboksylowe i wiele innych [5,6,7,8]. Metoda ta daje dobre rezultaty w połączeniu ze spektrometrem mas z pomiarzem czasu przelotu jonów [1,2]. Stosuje się tutaj zarówno stoliki jedno jak i wielopróbkowe (rys. 3). Ten drugi sposób jest o tyle wygodny, że daje możliwość jednoczesnego założenia wielu próbek i tym samym umożliwia szybsze wykonanie pomiarów.



Rys. 3. Jeden i wielopróbkowy stolik desorpcyjny używany w metodzie MALDI

Fig. 3. The single and multisample probe used in MALDI

Przy badaniu peptydów metodą MALDI procesy jonizacyjne mogą zachodzić nawet w obecności soli. Powstają wówczas kompleksy:  $A+H^+$ ,  $A+Na^+$ ,  $A+K^+$ , ( $A\dots$ ). Najlepszą matrycą dla peptydów jest kwas 2,5-dihydroksybenzoëowy, który w porównaniu z innymi nie daje dużego tła w niskim zakresie mas (200-1000 Da). Przykład widma uzyskanego w oparciu o tę matrycę w Zakładzie Fizyki Stosowanej Instytutu Fizyki UMCS w Lublinie przedstawiony jest na rys. 4. Jest to widmo insuliny (Insulin From Bovine Panreas,  $M = 5734$  Da) otrzymane jako średnia z 256 strzałów lasera.

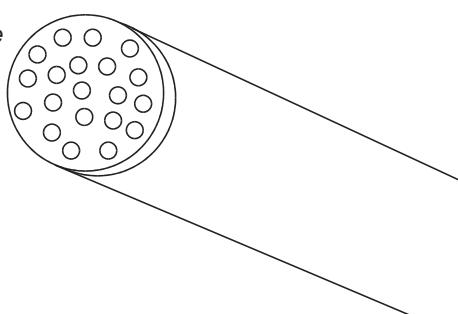
Ionizacja protein zachodzi na skutek przyłączenia jednego, dwóch lub trzech protonów. Ponieważ są to związki o bardzo dużych masach atomowych (przykładowo masa bovine serum wynosi 66431 Da), detekcja jest tutaj znacznie mniej wydajna aniżeli w przypadku peptydów. Oprócz informacji struktu-

The less salts the sample contains, the higher sensitivity is and finally the better spectrum we obtain. It can be achieved via using some purification methods such as liquid chromatography.

There are many recipes saying how to prepare good probe. Matrix and sample proportions are not fixed. Every one has got his own and such, there are many ways of putting the mixture onto the sample holder. It is worth washing its surface with the matrix solution to remove impurities.

#### **4. Biomolecules analysis by MALDI**

Thanks to its many advantages MALDI is very useful for the mass analysis of macromolecular substances such as peptides, proteins, carbohydrates and many others [5,6,7,8]. It gives good results in connection with time of flight mass spectrometer [1,2]. Sample holders may be single or multisample (Fig. 3). The second one is comfortable, because it ensures preparing many samples simultaneously.

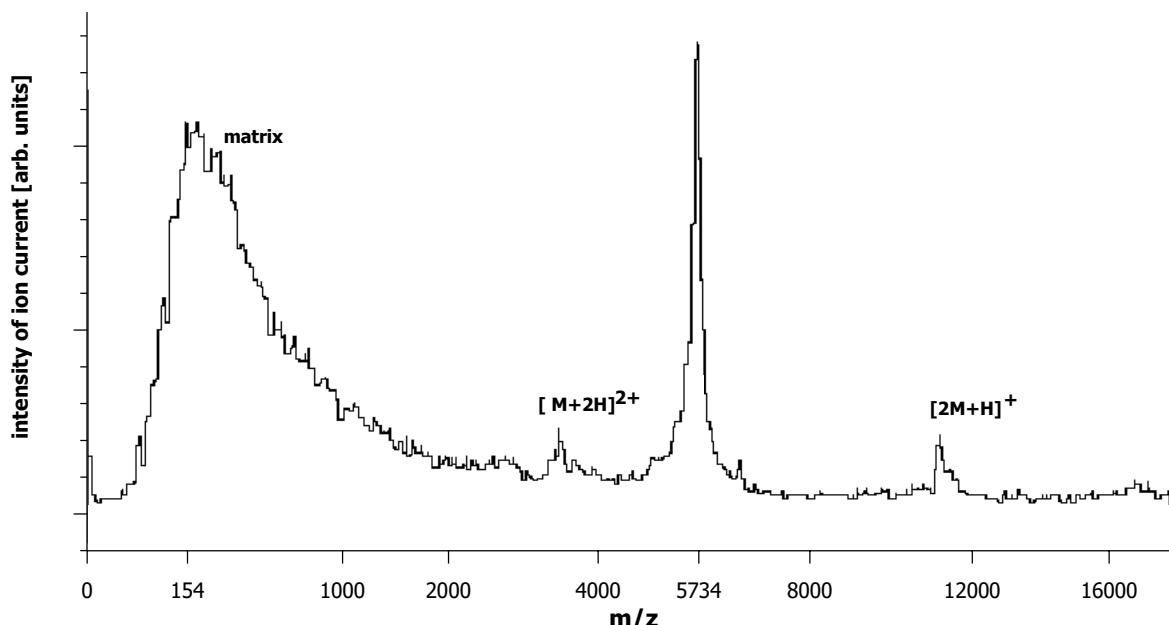


Rys. 3. Jeden i wielopróbkowy stolik desorpcyjny używany w metodzie MALDI

Fig. 3. The single and multisample probe used in MALDI

As a result of peptide ionization there may be formed: a protonated molecular ion  $A+H^+$  first of all or  $A+Na^+$ ,  $A+K^+$  adducts as well. Therefore MALDI may proceed here even in the presence of salts and is able to measure such complex mixtures as those adducts. The best matrix for peptides is 2,5-dihydroxybenzoic acid (DHB). Compared to others it doesn't give big background in low mass range (200-1000 Da). The example of a mass spectrum obtained owing to this matrix in the Division of Applied Physics, Institute of Physics, Marie Curie-Sklodowska University is presented in Fig.4. It is the spectrum of insulin ( $M = 5734$  Da) received as the average of 256 laser shots.

Proteins ionization occurs owing to the addition of one, two or three protons. Because they have much greater masses than peptides (the mass of bovine serum albumin is 66 431 Da), the ion



Rys. 4. Widmo masowe jonów dodatnich, uzyskane za pomocą metody MALDI z mieszaniny kwasu 2,5-dihydroksybenzoesowego (154 Da) oraz Insulin From Bovine Pancreas ( $M=5734$  Da).

Fig. 4. Positive ion mass spectrum of insulin from bovine pancreas ( $M=5734$  Da) with a matrix of 2,5-dihydroxybenzoic acid (154 Da).

ralnych badanych molekuł metoda MALDI daje również możliwość odtworzenia kolejności np. aminokwasów w łańcuchach białkowych [8].

Inne zastosowanie tej metody to badania kwasów karboksylowych (DNA, RNA) i innych odgrywających ważną rolę w procesach biologicznych [7]. Związki te najczęściej ulegają jonizacji poprzez odłączenie protonu bądź też przyłączenie kationu. Przyłączenie protonu prowadzi tutaj zazwyczaj do powstania niestabilnych jonów. Najczęściej stosowaną do analizy białek czy oligonukleotydów matrycą jest kwas nikotynowy. Najbardziej popularna matryca, jaką jest 2,5-dihydroksybenzoesowy (DHB) daje znacznie lepsze efekty w przypadku związków tworzących aniony aniżeli kationy.

## 5. Wnioski

MALDI jest stosunkowo nową techniką znajdującą coraz szersze zastosowanie w masowo-spektrymetrycznych badaniach ciężkich biomolekuł. Wykorzystuje ona stałą matrycę, która pełni kluczową rolę w ich procesach jonizacyjnych. Procesy te (desorpja, jonizacja) inicjuje tutaj krótkotrwały (kilka nanosekund) impuls światła laserowego. W wyniku oddziaływania wzbudzonych molekuł matrycy i jej jonów z molekułami badanej substancji może dojść do: przyłączenia kationu, przyłączenia lub oderwania elektronu, przyłączenia bądź odłączenia protonu.

detection is less efficient than in the case of peptides. MALDI, except structural information, enables also determination of peptide or proteins sequence [8].

Except proteins and peptides, MALDI works well with carbohydrates (DNA, RNA) and oligonucleotides (cyclic glucans) that are extremely important in biological processes [7]. Ionization proceeds here through deprotonation and cationization, because while protonation unstable ions are formed usually. For the analysis of negative ions of oligonucleotides or proteins picolinic or 3-hydroxypicolinic acid is used quite often. Despite its many advantages, 2,5-dihydroxybenzoic acid (DHB) is effective rather in a positive ionization mode.

## 5. Conclusion

MALDI is a new mass spectrometry technology that makes study of biomolecules routine. It uses a solid matrix that is crucial in the ionization processes of macromolecular substances. These processes (desorption and ionization) are initiated by lasting few nanoseconds laser pulse. Reactions of excited matrix molecules and its ions with sample molecules result in: protonation, cationization, electron ejection or electron capture. Achieved in such a way ions are analyzed via Time Of Flight Mass Spectrometer (TOF-MS).

Otrzymane w ten sposób (impulsowy) jony są analizowane zwykle przy użyciu spektrometru mas z pomiarem czasu ich przelotu (TOF-MS).

Uzyskanie prawidłowego widma masowego wymaga spełnienia pewnych warunków takich jak np. użycie odpowiedniej ilości próbki oraz zastosowanie właściwej matrycy i rozpuszczalników.

Metoda MALDI jest wykorzystywana między innymi do badań w następujących dziedzinach:

- biochemii - do pomiaru mas cząsteczkowych peptydów, białek, oligosacharydów, oligonukleotydów, lipidów i innych; MALDI daje możliwość prześledzenia procesu fragmentacji jonu molekularnego oraz odtworzenia sekwencji aminokwasów w łańcuchach DNA,
- chemii polimerów - do prześledzenia profilu składu mas cząsteczkowych; dzięki MALDI możliwe jest wykonanie pełnej statystyki tworzącej między innymi wyznaczenie współczynnika polidispersji.

Dzięki tzw. "miękkiej" jonizacji w metodzie MALDI znajduje ona zastosowanie w badaniach ciężkich biomolekuł takich jak peptydy, białka, kwasy karboksylowe i wiele innych [5,6,7,8]. Jest to metoda, która może dostarczać danych zarówno o strukturze jak i masach badanych molekułów. Pozwala również na odtworzenie przebiegów reakcji zachodzących w łańcuchach np. białkowych.

Obtaining good mass data requires meeting of some preparative procedures such as right amount of the sample, proper choice of a matrix and solvents.

Domains, that MALDI finds the application in are:

- biochemistry - to measure molecular masses of peptides, proteins, oligosaccharides, oligonucleotides and lipids; MALDI serves the possibility of tracing molecular ion fragmentation process and learning about aminoacids sequences this is useful for the proteins structural research, especially concerning DNA sequence,
- polymers chemistry - to trace molecular masses decomposition; thanks to MALDI it is possible to make a complete materials statistic such as determining of polydispersion coefficient.

Because of its "softness", MALDI has the application in the biomolecules analysis such as peptides, proteins, carbohydrates, oligonucleotides and others [5,6,7,8]. It gives structural (qualitative) information as well as quantitative one. Besides, it provides with total sequence data.

### References

- [1] L. Michalak, K. J. Fisher, D. S. Alderdice, D. R. Jardine: G. D. Willet, *C<sub>60</sub>-Assisted Laser Desorption/Ionization Mass Spectrometry*, Organic Mass Spectrometry, 29 (1994) 512.
- [2] F. G. Hopwood, L. Michalak, D. S. Alderdice, K. J. Fisher, G. D. Willet: *C<sub>60</sub> - Assisted Laser Desorption/Ionization Mass Spectrometry in the Analysis of Phosphotungstic Acid*, Rapid Commun. Mass Spectrom., 8 (1994) 881.
- [3] B. A. Mamyrin: *Laser assisted reflectron time-of-flight mass spectrometry*, Int. J. Mass Spectrom. Ion Processes, 131 (1994) 1.
- [4] R. J. J. M. Steenvoorden, T. L. Weeding, P. G. Kistemaker, J. J. Boon: *Laser Desorption and Laser Post-Ionization Time of Flight Mass Spectrometry*, in Methods and Mechanisms for Producing Ions from Large Molecules, Edited by K. G. Standing and W. Ens, Plenum Press, New York, 1991.
- [5] I. K. Perera, S. Kantartzoglou, P. E. Dyer: *Some characteristics of matrix-assisted UV laser desorption/ionization mass spectrometric analysis of large proteins*, Int. J. Mass Spectrom. Ion Processes, 156 (1996) 151.
- [6] K. Dreisewerd, M. Schürenberg, M. Karas, F. Hillenkamp: *Matrix-assisted laser desorption / ionization with nitrogen lasers of different pulse widths*, Int. J. Mass Spectrom. Ion Processes, 154 (1996) 171.
- [7] D. J. Harvey, A. P. Hunter, R. H. Bateman, J. Brown, G. Critchley: *Relationship between in-source and post-source fragment ions in the matrix-assisted laser desorption (ionization) mass spectra of carbohydrates recorded with time-of-flight mass spectrometers*, Int. J. Mass Spectrom. Ion Processes, 188 (1999) 131.
- [8] P. A. Demirev, Yen-Peng Ho, V. Ryzkov, C. Fenselau: *Microorganism Identification by Mass Spectrometry and Protein Database Searches*, Anal. Chem., 71 (1999) 2732.
- [9] K. Riahi, G. Bolbach, A. Brunot, F. Breton, M. Spiro, J. C. Blais: *Influence of Laser Focusing in Matrix-assisted Laser Desorption / Ionization*, Rapid Commun. Mass Spectrom., 8 (1994) 242.
- [10] P. Demirev, A. Westman, C. T. Reimann, P. Hakansson, D. Borofsky, B. U. R. Sundqvist: *Matrix-assisted*

- Laser Desorption with Ultra-shot Laser Pulses*, Rapid Commun. Mass Spectrom., 6 (1992) 187.
- [11] G. Siuzdak: *Mass spectrometry for biotechnology*, Academic Press, San Diego, 1996.
- [12] T. A. Shaler, J. N. Wickham, K. A. Sannes, Kuang Jen Wu, C. H. Becker: *Effect of impurities on the Matrix-Assisted Laser Desorption Mass Spectra of Single-Stranded Oligodeoxynucleotides*, Anal. Chem., 68 (1996) 576.

---

**Mgr Anna Bajuk  
Mgr Krzysztof Głuch  
Prof. dr hab. Leszek Michalak**

*Zakład Fizyki Stosowanej  
Instytut Fizyki UMCS  
Pl. Marii Curie-Skłodowskiej 1  
20-031 Lublin  
e-mail: kgluch@tytan.umcs.lublin.pl*

---

*Zdzisław Chłopek  
Leszek Piaseczny*

## **UWAGI O MODELOWANIU W BADANIACH NAUKOWYCH**

### **REMARKS ABOUT THE MODELLING IN SCIENCE RESEARCHES**

*W pracy przedstawiono krytyczne podejście autorów do modelowania w badaniach naukowych. Zaproponowano systematykę pojęć związanych z modelowaniem oraz ich klasyfikację. Rozważania zilustrowano przykładem modelowania układu słonecznego.*

*The paper presents authors' critical approach to modelling in science researches. Systematic of notions concerning modelling and their classification are proposed. Considerations are illustrated with an example of the system modelling.*

Nadużywanie określenia "modelowanie" bardzo się rozpowszechniło w ostatnich czasach. To, co można by nazwać "oceną", "badaniem", "wyznaczeniem", poznawaniem" itp. nazywa się niekiedy niepotrzebnie "modelowaniem" [1 - 3, 13]. Po pierwsze dlatego, że używanie większej liczby nazw, spełniających zadanie zbliżone do synonimów, urozmaica tekst i stanowi wartość - jak gdyby - literacką. Po drugie: jest to właśnie modne. Wbrew pozorem nauka, choć powszechnie przypisuje się jej pewne znamiona konserwatywności w zakresie formy, jest - tak, jak i inne dziedziny aktywności twórczej - szczególnie łasa na pokusy, jakie są zawarte w modzie: wszak forma może w łatwy sposób zastąpić mozoł tworzenia nowych treści.

Na tle nauk ścisłych, w tym technicznych i przyrodniczych, gdzie jednak - choćby częściowo - jest wymagana lub przynajmniej przychylnie oceniana dokładność i jednoznaczność wyrażania myśli, nauki humanistyczne i społeczne przodują w szkodliwym ograniczaniu skuteczności przekazywania treści, szczególnie aktywnie wtedy, gdy tych treści faktycznie brakuje.

Badanie modelowania jako znaczącego elementu procesu poznawczego wydaje się być z oczywistych względów w gestii filozofów. W pracach filozoficznych na temat modelowania zauważa się niestety wszystkie wady, o których wspomniano powyżej [11, 12]. Wynika to z kilku podstawowych powodów, dotyczących samego przedmiotu rozważań, jak również wykształcenia i predyspozycji ludzi zajmujących się tym zawodowo, a zatem najaktywniej zaznaczających w społeczeństwie swą pozycję w tym zakresie.

Overuse qualifications as "modelling" increased very much in last times. Assessment, research, determining, recognising etc. is often unnecessarily called of a "modelling" [1 - 3, 13]. Firstly: because, usage greater numbers of names, realising close meaning to synonyms, diversifies text and create a value - as if - literary. Secondly: this is just fashionable. Against appearances, science even commonly recognised as conservative in a form in fact is - as other fields of human creative activity - especially sensitive on temptations of fashion: in easy way, the form can take a place of creation a new contents.

Taking into account, technical and natural sciences, where - even if partly - is required or at least favourable evaluated exactitude and unequivocal of expression of thought, humanities and social science are leading in harmful limitation of efficiencies of delivering contents, especially actively when in fact there are not any contents.

Modelling researches, as a significant element of a cognition process appears to be clearly in philo-sopher's regards. In philosophical works on the theme of modelling, many defects mentioned above can be noticed [11, 12]. This is result of a few basic reasons, relating to the object of considerations, and also education and predisposition of people interesting this professionally, so the most actively marking in society his own position on their field.

Na wstępie należy zwrócić uwagę, że pojęcie zawodu filozofa w ścisłym tego słowa znaczeniu nie istnieje. Być filozofem oznacza zajmować pewną postawę intelektualną. Uczelnie kształcą co najwyżej specjalistów problemów filozoficznych, historyków filozofii, literatów filozoficznych itd. W przypadku tych specjalistów o profilu humanistycznym przygotowanie formalne jest zazwyczaj niezadowalające, a ścisłość wyrażania myśli nie może być tolerowana w nauce. Nie bez powodu ten fakt zawsze wzbudzał protesty, jak np. odmowa traktowania metafizyki jako nauki przez Kanta [6, 7]. Podstawowym wymaganiem, aby rozważania będące przedmiotem badań mogły być traktowane jako nauka jest możliwość ścisłego komunikowania się. W tym celu nauka musi mieć swój język zdefiniowanych pojęć, wywodzących się hierarchicznie z systemu pojęć podstawowych przyjętych jako aksjomaty. Jest konieczna oczywiście jednoznaczność stosowanych określeń. W pracach zawodowych filozofów oraz tzw. osób "uprawiających filozofię", jakże często nawet o wykształceniu ścisłym, najczęściej zauważa się duże niedoskonałości w stronie formalnej. Często uniemożliwia to wręcz prowadzenia badań nad treściami zawartymi w tych pracach. Prace takie charakteryzują się zatem w większej mierze walorami estetycznymi niż naukowymi.

Drugi powód trudności bogatszego korzystania z dorobku pisarzy filozoficznych wynika z ideologicznych więzów typowych dla tej grupy twórców. Od zarania ludzkości droga do władzy nad ciałami prowadzi przez władzę nad umysłami, stąd masowość kształcenia zinstytucjonalizowanych specjalistów przewidzianych do działalności intelektualnej na wysokich poziomach ogólności, oddanych ideologii. W ten sposób przez bez mała dwa tysiąclecia została zmonopolizowana filozofia kręgu kulturowego Europy przez chrześcijaństwo, podobnie jak przez kilkadziesiąt lat XX w. produkowano masowo specjalistów od filozofii marksistowskiej w Związku Radzieckim. Obecnie masowo rozwija się w świecie kultury zachodniej liberalna ideologia niemocy. Niezależnie od wysokiej oceny myśli filozoficznych, uprawianych przez niektórych przedstawicieli tych grup twórców, należy jednak zwrócić uwagę, że masowość produkcji specjalistów filozofii zazwyczaj prowadzi do obniżenia poziomu ogólnego, do tworzenia niespójnych i nie-wyróżnionych systemów, do braku indywidualności. Jeszcze większe ograniczenia wynikają z więzów ideologicznych. W tym przypadku trudno jest wręcz oczekwać oryginalności myśli, skoro musi ona mieć znamiona pracy nakładczej.

First of all we should remember, that an occupation of philosopher in precise meaning of this word does not exist. To be a philosopher means to have a certain intellectual attitude. Colleges educate only specialists of philosophical problems, historians of philosophy, philosophical writer's etc. In a case of specialists with a humanistic preparation, the formal education is often not satisfying, and unequivocal expressions of thought cannot be tolerated in science. Not without reason this fact always aroused protests, e.g. refusal of treatment of metaphysics as a science by Kant [6, 7]. The basic requirement, that the considerations could be called as science, is possibility of precise communications. In this of aim the science has to have its own language of defined notions, hierarchically derived from basic notions accepted as axioms. Unequivocal of definitions is of course essential.

In works of professional philosophers and so-called, of persons "cultivating philosophy", with scientific education, large imperfections in the formal side can be seen very often. It often makes impossible to do researches over real contents of this works. Such works have more often esthetic than scientific value.

The second reason of difficulty in exploring of philosophical writer's results comes from typical fetters for these groups of creators. From the dawn of mankind the way to power over bodies leads through the power over minds, so the massive education of formal specialists for intellectual activities on high levels of generality, devoted ideology. In this manner through almost two millenniums, Christianity monopolised European culture, similarly how by tens of year's XX century in Soviet Union masses specialists of Marxism were produced. At present in the western culture liberal ideology of faintness is being developed. Regardless of high estimation of philosophical thought, created by some representatives of these groups of creators, we should pay an attention, that massive production of specialists of philosophy usually leads to lowering of general level, to creations of incoherent and unclear systems, and to lack of individuality. The greater limitations result from ideological tights. In this case it is hard to expect originalities of thought, if it has to have marks of compulsory work.

Wszystkie wymienione ograniczenia skuteczności prowadzenia działalności naukowej przez pisarzy filozoficznych nasiąają się szczególnie w przypadku takiego przedmiotu badań, jakim jest modelowanie. Pierwszym powodem jest fakt, że modelowanie stanowi element procesu poznawczego, i jako takie dotyczy zagadnień naukowych o najwyższym poziomie ogólności. Choć ten fakt powinien przemawiać na korzyść tzw. zawodowego uprawiania filozofii, to jednak jednocześnie naraża badaczy na ograniczenia ideologiczne. Drugi powód jest konkretny i znacznie poważniejszy, mianowicie modelowanie ma swoje zastosowania w naukach ścisłych, gdzie jednoznacznie jest weryfikowana skuteczność tej metody badań. Wymaga to zatem rzetelnej wiedzy merytorycznej i formalnej, aby uniknąć niebezpieczeństw trywialności czy wręcz ignorancji.

Powyższe ograniczenia w traktowaniu tematu modelowania skłoniły autorów do przedstawienia w rozprawie w zasadzie wyłącznie własnych przemyśleń i praktycznie zaniechania dyskusji nad rozważaniami innych specjalistów, nie jest bowiem celem autorów dawanie świadectwa swej ewentualnej erudycji w rozważanych tematach. Wynika to w znacznej mierze z faktu, że autorzy reprezentują specjalność naukową w zakresie nauk ścisłych, a ponieważ większość rozważań nad modelowaniem jako elementem procesu poznawczego ma charakter ogólny z przewagą znamion literackich, możliwości komunikowania się nie zapewniają - zdaniem autorów - wystarczająco dużej skuteczności, jaka jest wymagana w pracach naukowych. W celu zapewnienia dostatecznie wysokiego poziomu komunikatywności przedstawianych rozważań autorzy starają się czynić je *more geometrico*, posługując się w miarę możliwości przykładami.

Rozważania ograniczono do modelowania wykorzystywanego w procesie poznania. Nie zajmowano się zatem modelami, stosowanymi w innych dziedzinach działalności człowieka, związanych m.in. z nauczaniem, wychowywaniem, kształtowaniem osobowości ideologicznej czy dostarczaniem doznań estetycznych. Są to tematy, choć fascynujące, zasadniczo odległe od roli, jaką modelowanie spełnia w procesie poznawczym. Na tle tych rozważań, zazwyczaj wzboagaonych metafizycznymi ozdobnikami, lśnią siłą prawdy i pragmatyki, jak oszlifowane kamienie szlachetne, modelowanie zastosowane w procesie poznania, szczególnie w zakresie nauk ścisłych [1, 4, 5, 8 - 10, 13].

Do dalszych rozważań jest przyjmowana gnoseologiczna definicja modelu [2, 3]: model jest to twór uczyniony jako odwzorowanie przedmiotu poznania zgodnie z przyjętymi kryteriami odwzorowania, którego to tworzą badania umożliwiają sformułowanie sądów odnoszących się do tegoż przedmiotu poznania.

All mentioned above limitations in efficiency of scientific activity by philosophical writers grow more in tense especially in case of researches like modelling. The first reason is a fact, that modelling is an element of cognition process, and as such refers to high level of generality scientific problems. Even that this fact should speak on advantage so-called professional of tilling of philosophy, it simultaneously exposes of explorers on ideological limitations. Second reason is more solid and more serious; namely modelling has its own uses in sciences, where efficiency of research methods is unequivocally verified. So, it demands of solid and formal knowledge, in order to avoid of triteness or even ignorance.

All abovementioned limitations in the theme of modelling induced authors to introduce in the paper mainly own considerations and in fact relinquish of discussion over considerations of other specialists - is not the aim of authors giving certificate of potential erudition in these themes. Because of the fact that authors represent scientific specially in area of exact sciences, and because most of considerations over modelling as a cognition process has a general character with domination of literary marks, possibilities of communication do not assure - by authors - necessary efficiencies, which is required in scientific works. To assure enough high level of communication introduced considerations, authors try to make them *more geometric*, giving examples were possible.

Considerations are limited to modelling used in a cognition process. Models used in other man's activity like an education; formation of ideological individuality or delivery of esthetical experiences had not been taken into account. These are topics, even fascinating, fundamentally far away from the role that modelling realises in a cognitive process. On this background, usually enriched by metaphysical ornaments, sparkles with full power of truth and pragmatic, as polished precious stones, modelling used in a cognitive process, especially in the science area [1, 4, 5, 8 - 10, 13].

For further considerations the gnoseological definition of the model has been adopted [2, 3]: model is a creature, made as an image of cognition object in accordance with adopted image criterions; researches of this creature make possible expression of judgement referring to this object.

W ścisłym sensie definicja ta ma charakter zarówno ontologiczny, wynikający z określenia sposobu tworzenia modelu, jak i gnoseologiczny - celu jego tworzenia i zastosowania. Z tego powodu, że w zastosowaniach aspekt gnoseologiczny ma wymierne znaczenie praktyczne, tylko on jest zaakcentowany w opisie definicji. Do praktycznego aspektu modelowania autorzy będą się zresztą odwoływać w tych rozważaniach wielokrotnie.

W definicji tej pojęcia tworu, przedmiotu poznania, odwzorowania, kryteriów i formułowanych sądów mają znaczenie powszechnie stosowane i nie wymagają wcześniejszej predefinicji.

Kryteriami odwzorowania przy tworzeniu modelu są przede wszystkim ze względu na praktyczne cele modelowania kryteria:

- podobieństwa formy (in. strukturalnego lub morfologicznego),
- podobieństwa funkcjonalnego.

Właściwość modelu, wywodząca się z zastosowania do jego tworzenia kryteriów podobieństwa strukturalnego, nazywa się izomorfizmem (niekiedy: homomorfizmem), natomiast właściwość, wywodzącą się z zastosowania kryteriów podobieństwa funkcjonalnego - izofunkcjonalizmem [12].

W konsekwencji dotychczasowych rozważań modelowanie można określić jako tworzenie i badanie modelu.

W dalszej części rozważań jest rozwijana myśl, że modelowanie jest niezbędnym elementem poznania, nawet na poziomie powstawania wyobrażenia, choć najczęściej podmioty poznania nie zdają sobie z tego sprawy. Można zatem stwierdzić wręcz, że o zaistnieniu modelowania decyduje świadomość tego faktu!

Ze względu na poznanie systematyczna klasyfikacja bytów sprowadza się do podziału na podmiot i przedmiot poznania. W poznaniu przedmiotu inspirujące znaczenie ma doświadczenie: zarówno zmysłowe, jak i umysłowe.

W wyniku doświadczenia zmysłowego na podstawie wrażeń, będących reakcją zmysłów na oddziaływanie rzeczywistości, tworzone są w podmiocie poznania wyobrażenia. Na tym etapie następują organiczne odwzorowania, stanowiące - zazwyczaj nieświadome - modelowanie. O tym, że proces ten spełnia warunki modelowania świadczy możliwość powstawania jakościowo znaczco różnych wyobrażeń na podstawie tych samych wrażeń. Istnieje możliwość empirycznej weryfikacji prawdziwości tego stwierdzenia, jeśli tylko przyjmie się kryteria, na których podstawie można sformułować sąd, że wyobrażenia są jakościowo znacząco różne.

In precise sense this definition has ontological character, resulting from manner of creation a model, and also as a gnoseological aspect - the aim of creation and applying. For this reason, that in applying the cognition aspect has measurable practical meaning, only it is stressed in the description of definition. To the practical aspect of modelling, authors will recall considerations many times.

In this definition, the notions of creature, the object of cognition, images, criterions and expression of judgement have commonly used meaning and will not demand earlier predefinition.

Criterions of image at creation of model are first of all that from regard on practical aims of modelling:

- similarity of form (structural or morphological),
- functional similarity.

Characteristic of model, coming from applying to its creation, criterions of structural resemblance, is called isomorphism (sometimes: homomorphism), and characteristic, coming from applying functional resemblance criterions is called - (isofunctionalism) [12].

As a consequence of above-mentioned considerations modelling can be qualified as creation and research of model.

In further parts of considerations is unrolled thought, that modelling is indispensable element of cognition, even on level of idea formation, although most often subjects of cognition are not aware of this matter. So we can declare that about existence of modelling, awareness of this fact is decisive!

From regard on cognition, the systematically classification of beings is reduced to partition on subject and object of the cognition. In the cognition of object inspiring meaning has experience: both sensual and intellectual.

In a result of sensual experience on the ground of impressions, being reaction of senses on influences of reality, in the subject of cognition ideas are created. On this stage the follow organic images, determining - usually unaware - modelling. That this process realises modelling conditions testifies possibility of formation qualitatively significantly different ideas on the ground of these same impressions. There is possibility of empirical verification the truth of this statement, if only we will take criterions, on the base of which, judgement that ideas are qualitatively significantly different, can be formulated.

W wyniku doświadczenia umysłowego mogą powstawać zarówno wyobrażenia, jak i byty abstrakcyjne. I w tym przypadku istnieje i jest wręcz konieczna dowolność odwzorowania, w czym spełniony jest warunek modelowania. Zatem już u podstaw warunkujących zaistnienie procesu poznania znajduje zastosowanie modelowanie.

Na zwrócenie szczególnej uwagi zasługuję w procesie poznania fakt konieczności dokonania intuicyjnego wyboru przedmiotu poznania jako obiektu doświadczenia. Ta rola czynnika irracjonalnego w procesie poznania jest zazwyczaj pomijana - zupełnie niesłusznie - wszak może on mieć decydujące znaczenie dla osiągniętych wyników. Akt wyboru jest niewątpliwie aktem twórczym i jako taki ma sens kreowania rzeczywistości. Jest w tym również element modelowania, jako że wybór obiektu doświadczenia już jest pewnym odwzorowaniem doświadczanej rzeczywistości.

Na podstawie wrażeń i wyobrażeń syntezowanych w doświadczeniach zmysłowych i umysłowych powstają spostrzeżenia. Są one źródłem wiedzy i punktem wyjścia do działań, mających na celu rozwijanie procesu poznania.

Często ze względu na świadomość podmiotu poznania jego angażowania się w czyn doświadczania przedmiotu przyjmuje się jako graniczne kategorie: postrzeganie i eksperyment (niekiedy utożsamiany w ogóle z doświadczeniem). Przez postrzeganie pojmuję się działanie nastawione na praktyczne zachowanie się w odróżnieniu od eksperymentu, który jest znamiennej świadomym zaangażowaniem umysłowym. Różnica ta, gdyby ją sprowadzić tylko do udziału aktywności umysłowej w procesie poznania, jest w zasadzie umowna, jedynie świadomość aktywności umysłowej rozróżnia te elementy procesu poznawczego.

W poznaniu naukowym rzeczywistości, czego by ono nie dotyczyło, warunkującą ten proces rolę odgrywają kategorie abstrakcyjne, które są przedmiotem oceny. Są to wielkości: w naukach ścisłych zwane wielkościami fizycznymi, jako że w czystym przyrodoznawstwie nauki przyrodnicze mogą być w ostateczności sprowadzone do fizyki.

Pierwszym systematycznym działaniem w procesie poznania w naukach ścisłych jest dobór układu fizycznego przedmiotu poznania. Układem fizycznym jest zbiór wielkości fizycznych opisujących spostrzeżenia związane z przedmiotem poznania.

Kolejnym elementem modelowania w procesie poznania jest tworzenie modelu fizycznego przedmiotu poznania. Modelem fizycznym jest zbiór elementów o wzajemnych zależnościach, który może być opisany wielkościami fizycznymi, przyjętymi jako

As a result of intellectual experience both images and abstract beings can arise. Also in this case exists and is outright necessary free choice of image, in which condition of modelling is fulfilled. Therefore at the base conditioning creation of cognition process, the modelling is applicable.

In the process of cognition, special attention should be paid on necessity of making an intuitive choice of cognition object of experience. The role of irrational factor in the cognition process is usually skipped - completely incorrectly - thus it can have decisive meaning for reached results. Act of choice is doubtless creative act and as such has sense of creating realities. There is also in it element of modelling, as the choice of experience's object already is certain image experienced realities.

On the base of impressions and ideas synthesised in sensual and intellectual experiences, observations are created. They are source of knowledge and the beginning point to activities, having in view unrolling the cognition process.

From regard on awareness of subject of cognition, its engaging in experiencing of the object it is often assumed following limiting categories: perception and experiment (sometimes identified with experience). Perception is understood as activity directed on practical behaviour in distinction from experiment, which is meaningful conscious intellectual engagement. Such a difference, if to bring it only to participation of intellectual activity in the process of cognition, is in fact agreed upon, only consciousness of intellectual activity differentiates these elements of cognition process.

In scientific recognition of realities, whatever it would refer abstract categories play conditioning role they are subjects of estimation. This are quantities, called in natural sciences physical quantities, as in pure nature, natural science can be brought to physics.

First systematically activity in the cognition process in sciences is selection of physical system of the cognition object. Physical system is a system of physical quantities describing observations connected with cognition object.

The following element of modelling in the cognition process is creation of physical model of cognition object. Physical model is a system of elements having properties and mutual dependencies, which can be described directly or (and) indirectly by physical quantities, accepted as a physical sys-

układ fizyczny przedmiotu poznania. Na etapie tworzenia modelu fizycznego wykorzystuje się kryteria podobieństwa do przedmiotu poznania. Kryteriami tymi są, jak wspomniano wcześniej podobieństwa formy lub (oraz) funkcjonowania. Często niektóre kryteria, szczególnie podobieństwa formy, mogą mieć charakter postulatu, gdy nie jest możliwa empiryczna weryfikacja przyjętego modelu fizycznego. W wielu przypadkach ta weryfikacja musi odbywać się w sposób pośredni: na podstawie stosownych badań formułuje się hipotezę o strukturze przedmiotu poznania i kryterium podobieństwa dotyczy wówczas formy modelu fizycznego i tejże hipotetycznej struktury.

Modele fizyczne tworzone zgodnie jedynie z kryterium podobieństwa funkcjonowania z przedmiotem poznania można nazwać modelami behawiorystycznymi (często używane jest również określenie "czarnej skrzynki").

Następnym elementem modelowania w procesie poznania jest tworzenie modelu matematycznego. Model matematyczny jest opisem modelu fizycznego za pomocą aparatu matematycznego. Są to zatem opisane z zastosowaniem aparatu matematycznego związki wielkości fizycznych, opisujących model fizyczny.

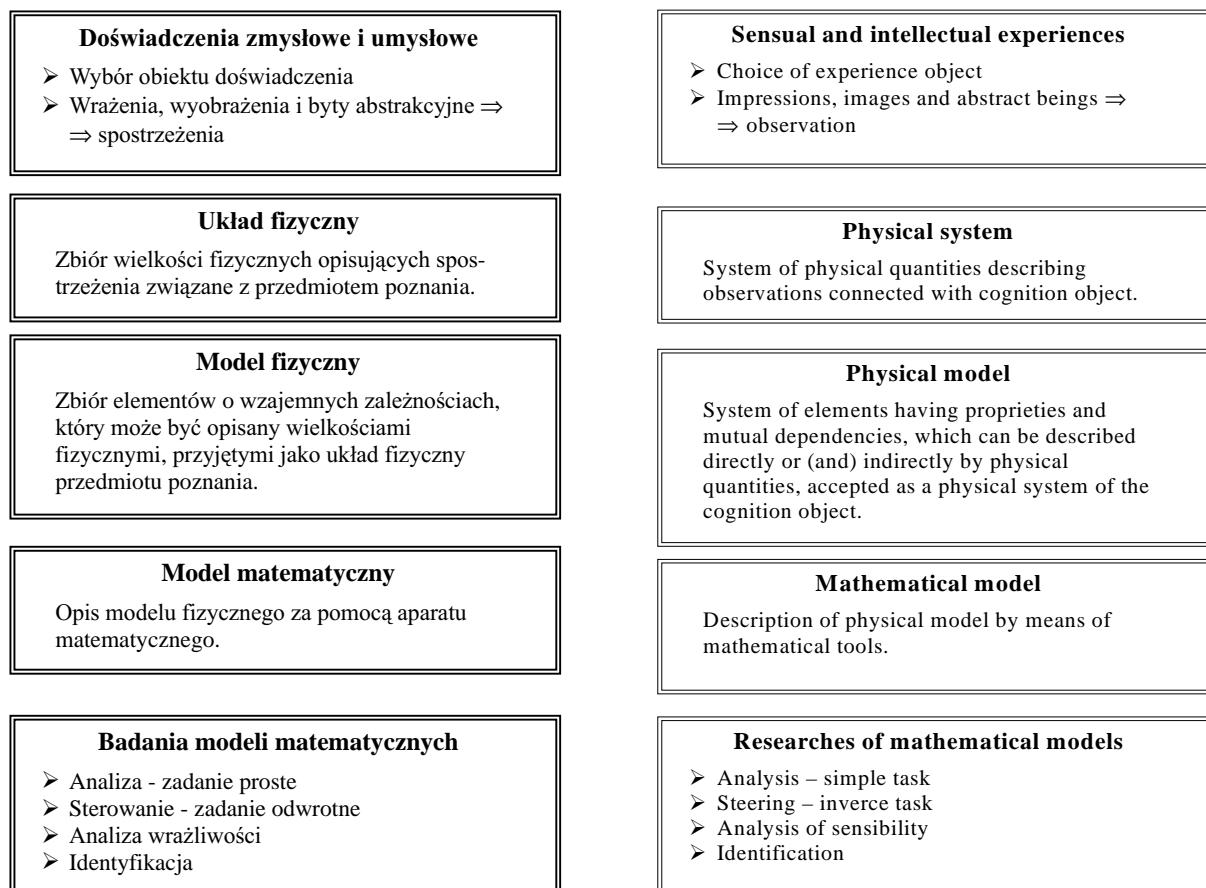
Sposób modelowania przedmiotu poznania można prześledzić na klasycznym przykładzie Układu Słonecznego. Spostrzeżenia, które od lat towarzyszyły obserwatorom bezchmurnego nieba, sprowadzały się do następujących stwierdzeń: spośród świecących obiektów niektóre zachowywały się w miarę upływu czasu obserwacji inaczej niż inne. Były to: Słońce, Księżyc oraz planety - obiekty, które wzięły swą nazwę od sposobu zachowania się "*planásthai*" (greckie "błądzić"). Układ fizyczny opisujący te odróżniające się obiekty stanowiły współrzędne kątowe określające położenie tych obiektów na sferze niebieskiej oraz czas, przyjęty jako zmienna niezależna. Spośród wielu możliwych do utworzenia modeli fizycznych do historii przeszły dwa: Ptolemeusza i Kopernika. Pierwszy jest zwany Systemem Geocentrycznym, drugi Systemem Heliocentrycznym. Nazwy te biorą się od zastosowanych przez autorów kryteriów podobieństwa formy. Konsekwencją przyjętych modeli fizycznych są różne modele matematyczne badanego układu. W przypadku modelu fizycznego Kopernika model matematyczny jest prostszy, a praktyka badań modelu potwierdziła, że okazał się on bardziej skuteczny niż model Ptolemeusza. Powszechnie stosowaną trywializacją problemu jest jednak stwierdzanie, który model jest prawdziwy, nie ma bowiem w scisłym tego słowa znaczeniu pojęcia prawdziwości modelu: na podstawie badań modelu są formułowane jedynie sądy, o których postuluje się, że odnoszą się one do przedmiotu poznania.

tem of the cognition object. In the phase of creation physical model criterions of resemblance to the object of recognition are used. These criterions are, as one mentioned earlier resemblance's of form or (and) of functioning. Some criterions often, especially resemblance's in form, can have character of postulate, when there is not possible empirical verification of accepted physical model. In many cases such verification has to take place in indirect way: on the ground of suitable researches hypothesis about structure of the object is formulated and similarities criterion refers to form of physical model and this hypothetical structure.

Physical models created only on the base of functioning resemblance's criterion to the cognition object can be called behaviour models (qualification "the black box" is often used).

The next step of modelling in a cognition process is creation of mathematical model. Mathematical model is a description of physical model by means of mathematical tools. These are relations of physical quantities describing physical model using mathematical tools.

The way of cognition model modelling can be traced on classical example of the Solar System. Observations, which for many years accompanied to observers of cloudless skies, were limited to the following ascertainment: among shining objects some behaved in outflow of time of observation otherwise than others. They were: Sun, Moon and planets - objects, which took own names from the manner of behaviour "*planasthai*" (Greek - "behave different"). Physical system describing these differing objects determined angle co-ordinates qualifying position of these objects on celestial sphere and the time, accepted as independent variable. Among many physical models to the history came two: Ptolemy and Copernican. The first one is called Geocentric System, and the second one is called Heliocentric System. Names of these systems come from form criterions of resemblance applied by authors. The consequences of accepted physical models are different mathematical models of system examined. In case of Copernican physical model, the mathematical model is of more simple, and researches of model confirmed, that is more efficient than Ptolemy model. However, commonly trivialization of the problem is acceptation, which model is real, in a precise meaning of this word there is no notion of truth model: on the ground of model's researches only opinions are formulated, about which is postulated, that they refer to the object of cognition.



Rys. 1. Stopnie poznania naukowego

Sposoby klasyfikowania modeli matematycznych wywodzą się z matematyki i z fizyki oraz nauk pochodnych od nich.

Ważna klasyfikacja zależy od wielkości fizycznych występujących w modelu. Jedną z wyróżnionych wielkości fizycznych jest czas. Zazwyczaj przyjmuje się tę wielkość jako niezależną od innych wielkości (ale nie zawsze). Jeśli wszystkie wielkości fizyczne występujące w modelu matematycznym nie są jawnie zależne od czasu, to model ten jest statyczny. W każdym innym przypadku model nazywamy dynamicznym.

Jeśli charakterystyki procesów opisywanych w modelu, w szczególności wartość oczekiwana i funkcje korelacji własne i wzajemnej, są niezależne od czasu, to model nazywa się stacjonarnym. Jeśli w przypadku co najmniej jednego procesu ten warunek nie jest spełniony, to model jest niestacjonarny. Jako proces jest rozumiana wielkość, która jest funkcją czasu lub innej wielkości, będącej rosnącą funkcją czasu (najczęściej liniową, np. droga uogólniona w przypadku stałej prędkości uogólnionej).

Fig. 1. Stages of cognition process

Ways of classifying mathematical models come from mathematic, physic and of sciences derivative from them.

An important classification depends on physical quantities existing in model. One of distinguished physical quantities is time. Usually it is accepted as an independent from others quantities (but not always). If all physical quantities appearing in the mathematical model are not openly dependent from time, then model is static. In any other case the model is called dynamic.

If characteristics of processes described in model, especially expected value and functions of own and mutual correlation, are independent from time, then model is called stationary. If in least one of these processes such condition is not realised then model is called non-stationary. As a process is understood quantity, which is function of the time or other quantity, of being a growing function of the time (most often linear, e.g. way generalised in case of constant generalised speed).

<b>Spostrzeżenia</b> Spośród świecących obiektów na sferze niebieskiej niektóre zachowują się w miarę upływu czasu obserwacji inaczej niż inne: Słońce, Księżyc oraz planety.	<b>Observations</b> Among shining objects some behaved in outflow of time of observation otherwise than others: Sun, Moon and planets.
<b>Układ fizyczny</b> Współrzędne kątowe określające położenie obiektów na sferze niebieskiej oraz czas.	<b>Physical system</b> Angle co-ordinates qualifying position of these objects on celestial sphere and the time.
<b>Modele fizyczne</b> ➤ Modele behavioryczne ➤ System Geocentryczny – Ptolemeusza ➤ System Heliocentryczny – Kopernika	<b>Physical models</b> ➤ Behaviour models ➤ Geocentric System - Ptolemy ➤ Heliocentric System - Copernican
<b>Modele matematyczne</b> M.in. prawa Keplera	<b>Mathematical models</b> E.g. Kepler laws

Rys. 2. Modelowanie Układu Słonecznego

Ze względu na uwzględnianie zjawisk relatywistycznych modele dzieli się na relatywistyczne i nie-relatywistyczne. W tych drugich czas, wymiary przestrzeni i masa są niezależne od prędkości obserwatora.

Ważna klasyfikacja dotyczy sposobu traktowania modelowanych zjawisk ze względu na ich określoność, wynikającą z obowiązywania związku przyczynowo-skutkowego. Modele, w których między wszystkimi wielkościami fizycznymi mogą zachodzić jedynie związki przyczynowo-skutkowe nazywamy modelami przyczynowymi (inaczej: zdeterminowanymi). Jeśli w modelu występuje między wielkościami fizycznymi przynajmniej jeden związek nie będący związkiem przyczynowo-skutkowym, to model nazywa się przypadkowym (inaczej: losowym, niekiedy probabilistycznym, stochastycznym, statystycznym). O sposobie traktowania modelu jako przyczynowego lub przypadkowego decyduje na etapie tworzenia układu fizycznego lub modelu fizycznego akt wyboru badacza.

Ze względu na rodzaj zależności występujących w modelu matematycznym można wyróżnić modele opisane funkcjami lub operatorami. Formalne rozwijanie klasyfikacji modeli matematycznych przekracza możliwości niniejszej publikacji. Obowiązują w tym przypadku reguły powszechnie przyjęte w matematyce. Jedną z charakterystycznych klasyfikacji modeli matematycznych jest podział na modele liniowe i nieliniowe. Inna ważna klasyfikacja dotyczy liczby stopni swobody modeli: modele o skończonej liczbie stopni swobody (dyskretnie) i o nieskończonej (ciągłe). Szczególną kategorią są modele o jednym stopniu swobody.

Fig. 2. Modelling of the Solar System

Taking into account relativistic occurrences the models can be divided on relativistic and non-relativistic. In non-relativistic the time, space dimension and mass are independent from the speeds of observer.

An important classification refers to manner of treatment-modelled occurrences from regard on there determinate, resulting from necessity of cause-effect relations. Models, in which between all physical quantities, the only cause-effect relationships can happen we call causal models (otherwise: determined models). If in the model, between physical quantities exists at least one relation not being cause-effect; this model is called accidental (otherwise: random, sometimes probabilistic, stochastic or statistic). The way of treatment the model as causal or accidental, on the stage of physical system or physical model creation, decides the act of choice of explorer.

From regard on the type of dependencies existing in mathematical model, models described with functions or operators can be formulated. Formal developing of the mathematical model classification exceeds framework of this publication. Common rules universally accepted in mathematic are obligatory. One of typical classification of mathematical models is division on linear and non-linear models. Other important classification refers to numbers of freedom degrees of the models: models with complete number of freedom degrees are called discreet and with infinite are called continuous. The special category is models with only one degree of freedoms.

Istnieje jeszcze wiele możliwości klasyfikowania modeli ze względu na przyjęte kryteria i cele stawiane w procesie poznania.

Często są prowadzone rozważania na temat m.in. prawdziwości, dokładności oraz najczęściej pojmowanych wymiennie: adekwatności, odpowiedniości, zgodności, niesprzeczności czy trafności. Zazwyczaj w literaturze brak jest dostatecznie formalnych określeń tych właściwości modeli. Na temat prawdziwości modelu poglądy autorów zostały już przedstawione wcześniej, natomiast pojęcia dokładności i zgodności wymagają zastosowania opisu matematycznego. W poglądowy sposób kryterium dokładności modelu można opisać odległością charakterystyk, będących związkami wielkości: układu fizycznego i modelu matematycznego. Kryterium zgodności jest związane z tendencjami relacji tych charakterystyk. Szczegółowe rozważania na te tematy przekraczają możliwości zakresu tej pracy.

Obiektywnymi kryteriami oceny modeli są ponadto ich użyteczność i skuteczność. Użyteczność modelu charakteryzuje jego praktyczne zastosowanie, natomiast skuteczność - relację skutków badania modelu do nakładów, związanych z jego używaniem.

W literaturze specjalistycznej istnieje zwyczaj przypisywania atrybutów modeli układom. W ścisłym tego słowa znaczeniu jest to niesłuszne. Używa się określeń np. układ dynamiczny czy nieliniowy, choć te właściwości występują dopiero na poziomie modelu matematycznego. Wydaje się, że należy jednak z pewną wyrozumiałością potraktować tę nieformalność, a - być może - nawet przyjąć taki sposób opisu jako metodę, której celem jest poprawienie jakości komunikowania się w skomplikowanych procesach modelowania.

Podstawowymi rodzajami badań modeli matematycznych są:

- analiza, czyli zadanie proste,
- sterowanie, czyli zadanie odwrotne,
- analiza wrażliwości,
- identyfikacja.

W modelu matematycznym wielkości można traktować jako:

- wejściowe,
- wyjściowe,
- charakteryzujące model.

Związki między wielkościami charakteryzującymi model oraz ich zależności od wielkości wejściowych i wyjściowych stanowią jego charakterystykę. Charakterystyka modelu jest określona przez jego strukturę i parametry.

Analiza modelu polega na wyznaczeniu wielkości wyjściowych przy znajomości charakterystyki modelu i wielkości wejściowych. Zadanie odwrotne, czyli sterowanie oznacza taki dobór wielkości wej-

There are yet many possibilities for model classification depending on regard accepted criterions and aims of the cognition process.

There are many often considerations on the theme e.g. of truths, exactitudes and most often comprehended interchangeably: adequate, suitability, compatibility, not discrepancies or accuracy. In literature, there is usually lack of enough formal qualifications these proprieties of models. Author's opinions concerning the truth of model were already introduced, but the ideas of exactitude and compatibility demand uses of mathematical description. In simple way, the criterion of model exactitude can be described by distance of characteristics, being in relations of quantities: physical system and mathematical model. Agreement criterion is connected with relation's tendencies of these characteristics. Detailed considerations on these themes exceed the range of this paper.

Objective criterions of model estimation are also their usefulness and effectiveness. Usefulness of the model is characterised by its practical use, and effectiveness by account of outcome relations of model researches to outlays, connected with its usage.

In a professional literature exists custom of ascribing attributes of models to systems. In exact meaning this word it is unjustified. For example, uses of qualifications e.g. dynamic system, or non-linear, even these proprieties step out only on the level of mathematical model. However, we should treat this informality with same leniency, and - maybe - even to accept such way of description as method, of which the aim is improvement of communication quality in complicated modelling process.

Basic types of researches of mathematical models are:

- analysis, if task is simple,
- steering, if task is inverse,
- analysis of sensibility,
- identification.

In the mathematical model quantities can be treated as:

- entrance,
- exit,
- characterising the model.

Relationships between quantities characterising model and their dependencies from entrance and exit quantities are its characteristic. Characteristic of the model is definite by its structure and parameters.

Model analysis relies on delimitation of exit quantities at acquaintances of model characteristic and entrance quantities. Inverse task, that is steering means such selection of entrance quantities, so at well-known model characteristic receive required exit quantities.

ściowych, aby przy znanej charakterystyce modelu otrzymać wymagane wielkości wyjściowe. Analiza wrażliwości (inaczej czułości) zajmuje się badaniem wpływu parametrów modelu na wielkości wyjściowe. Identyfikacja modelu jest zadaniem wyznaczania charakterystyki modelu na podstawie znajomości wielkości wejściowych i wyjściowych. Identyfikacja może dotyczyć struktury modelu - jest to identyfikacja strukturalna lub parametrów - identyfikacja parametryczna.

Istnieje wiele dotychczas niedostatecznie usystematyzowanych problemów związanych z modelowaniem, traktowanym jako element procesu poznania. W szczególności w celu zmniejszenia niejednoznaczności rozważań na temat modelowania jest konieczne zastosowanie do tego celu matematycznych sposobów opisu kryteriów tworzenia, klasyfikowania i badania modeli. Konwencja przystępnego przedstawiania poglądów, przyjęta przez autorów w niniejszej pracy, uniemożliwia realizację tego celu w ramach wykonywanego zadania, autorzy są jednak świadomi zasadności podjęcia takich działań, rolą modelowania w procesie poznania jest bowiem dońska, choć często badacze są tego nieświadomi.

Sformalizowanie modelowania w procesie poznania przedmiotu umożliwia potraktowanie wyznaczania właściwości przedmiotu poznania jako tworzenie takiego modelu, którego identyfikacja jest rozwiąza niem tego zadania. Zatem w ścisłym tego słowa znaczeniu poznanie przedmiotu jest zadaniem identyfikacji jego modelu. Jest to, co prawda, wiedza na temat modelu przedmiotu, a nie na temat samego przedmiotu, ale potwierdza to tylko fakt słuszności negatywnej odpowiedzi, którą Kant udzielił na sformułowane przez siebie fundamentalne pytanie: "jak na podstawie przedstawień możemy wiedzieć cokolwiek o rzeczach?" [6].

W wyniku rozważań przedstawionych w niniejszej pracy dowiedzono tezę, że modelowanie jest fundamentalnym i koniecznym elementem procesu poznania. Świadomość tej prawdy umożliwia poprawę skuteczności procesu poznania dzięki racjonalizacji działań podejmowanych w tym celu.

### References

- [1] Chłopek Z.: *Identyfikacja nieliniowego układu dynamicznego z zastosowaniem równania Fokkera-Plancka-Kolmogorowa oraz funkcji modulujących*. Rozprawa doktorska. Warszawa 1982 (praca nie publikowana).
- [2] Chłopek Z., Piaseczny L.: *Prolegomena do rozważań o roli modelowania w procesie poznania*. Konferencja "Humanizacja techniki". Wilno 2001.
- [3] Chłopek Z., Piaseczny L.: *O roli modelowania w badaniach naukowych*. Zeszyty Naukowe Akademii Marynarki Wojennej, No 2/2001.
- [4] Dietrich M.: *O modelowaniu w budowie maszyn*. Mechanika Teoretyczna i Stosowana 1983, nr 21 - 4.
- [5] Hume D.: *Badania dotyczące rozumu ludzkiego*. Lwów 1919.

Sensibility analysis (otherwise tenderness) makes researches of influence of model parameters on exit quantities. The model identification is an assignment of determining a model characteristic on the base of entrance and exit quantities. Identification can refer to structure of model - it is structural identification, or of parameters - it is parametric identification.

There are many, till now insufficiently systematised problems connected to modelling, treated as element of cognition process. Especially in the aim to reduce a number of unequivocal of considerations concerning modelling it is necessary use to a mathematical ways of description of criterion creation, classifying and researching the models. The principle of introducing in a accessible way the opinions, accepted by authors in this paper, makes impossible realisation of this aim in the frame of executed assignments, however authors are conscious of legitimise of such activities, the role of modelling in the cognition process is important, even very often the explorers are not aware of this.

The formalising the modelling in the cognition process of the object makes possible treatment of determining proprieties of the cognition object as a creation such a model, which identification is the solution of this task. So in a precise meaning of this words, cognition of an object is the task of identification its model. In fact, it is a knowledge on theme of object's model, but not of the model itself, nevertheless it confirms the fact of rightness negative answer, given by Kant on formulated by himself one of the fundamental question: "how on the ground of representations we can know anything about things?" [6].

As a result of considerations introduced in this paper it has been proved thesis, that modelling is fundamental and necessary element of a cognition process. Consciousness of this truth makes possible improvement in cognition's process efficiency, through rationalisation of activities undertaken to achieve this aim.

## NAUKA I TECHNIKA

---

- [6] Kant I.: *Krytyka czystego rozumu*. PWN. Warszawa 1957.
- [7] Kant I.: *Prolegomena do wszelkiej przyszłej metafizyki, która będzie mogła wystąpić jako nauka*. PWN. Warszawa 1993.
- [8] Orkisz M.: *Modelowanie systemów rzeczywistych*. Wyższa Szkoła Oficerska Sił Powietrznych. Dęblin 1999.
- [9] Poincaré H.: *Wartość nauki*. Warszawa 1908.
- [10] Rosenbluth A., Wiener N: *The Role of Models in Science*. Phil. Sci. 1945, Vol. 12, No 4.
- [11] Schaff A.: *Główne zagadnienia i kierunki filozofii*. Cz. I. Teorie poznania. PWN. Warszawa 1965.
- [12] Sztoff W.: *Modelowanie i filozofia*. PWN. Warszawa 1972.
- [13] Thomson W.: *Baltimore Lectures on Molecular Dynamics and Wave Theory of Light*. London 1904.

---

**Dr hab. inż. Zdzisław Chłopek**

*Politechnika Warszawska  
Instytut Pojazdów  
ul. Narbutta 84  
02-524 Warszawa*

**Kmdr. dr hab. inż. Leszek Piaseczny prof. AMW**

*Akademia Marynarki Wojennej  
Instytut Technicznej Eksploatacji Okrętów  
ul. J. Śmidowicza 51  
81-919 Gdynia*

---

# AKTUALNOŚCI PN-TTE

Rafał Wodzicki

## II OGÓLNOPOLSKIE SEMINARIUM "KOLEJ LOKALNA W POLSCE"

W dniach 1-3 października 2001 odbyło się w Ząciszku k. Klonowa nad Brdą II Ogólnopolskie Seminarium "Kolej Lokalna w Polsce" zorganizowane przez Ogólnopolskie Stowarzyszenie Samorządów na Rzecz Kolei Lokalnych reprezentowane przez prezesa - wiceprezesa żywieckiego Stanisława Lacha oraz Targi Pomorskie "Romex". Patronat nad seminarium objęli, podkreślając tym samym ważność poruszanego problemu, Minister Transportu i Gospodarki Morskiej, Marszałek Województwa Kujawsko-Pomorskiego, prezydent miasta Bydgoszczy oraz przewodniczący komisji transportu Związku Powiatów Polskich.

Głównym tematem seminarium była analiza pierwszego roku funkcjonowania ustawy o komercjalizacji, restrukturyzacji i prywatyzacji PKP i występujących w tym procesie szans oraz zagrożeń. Restrukturyzacja PKP przebiegająca nie bez wstrząsów i błędów spowodowanych zaszłościami historycznymi tak w infrastrukturze, jak i w psychikach wielu ludzi, spowodowała zawieszenie wielu lokalnych linii kolejowych, takich jak ta przebiegająca obok miejsca seminarium (linia Złotów - Pruszcza Bagienica - Terespol). Obecnie właśnie gminy usiłują przejąć takie linie i zmienić warunki ich eksploatacji tworząc lokalne koleje samorządowe.

Doświadczenia w dziedzinie regionalizacji innych kolei państwowych przedstawił pan Bernard Chantemesse wieloletni pracownik kolei francuskich SNCF, oraz dr inż. Andrzej Kamiński - prezes zarządu i dyrektor generalny firmy "Rail Consult". Ocenę funkcjonowania samorządowych przewozów regionalnych w ciągu roku pierwszego funkcjonowania ustawy przedstawił prof. dr hab. Jan Engelhardt. Jak wynikało z relacji Bogdana Tofilskiego z Przedsiębiorstwa Transportu Kolejowego i Gospodarki Kamieniem SA z Rybnika, będącego pierwszym przedsiębiorstwem, które uzyskało koncesję na przewozy kolejowe po PKP, przy tego rodzaju działalności spotyka się ono ciągle z problemami wynikającymi z form działania PKP.

Uruchomienie opłacalnego ruchu na liniach skazanych na kasację wymaga przede wszystkim właściwego rozpoznania parametrów eksploatacyjnych linii i doboru właściwego taboru, który najczęściej nie musi spełniać norm Międzynarodowego Związku Kolei (UIC). Przedstawione na seminarium analizy linii przeprowadzonych przez gminy i czynniki społeczne na liniach Kwidzyn-Prabuty, Nysa-Głuchołazy, czy też w okolicach Wadowic, wykazały, że eksplotatorzy kolejowi lokalnych często nie wiedzą jak i jakie parametry eksploatacyjne należy mierzyć. Przewodzi to do formułowania całkowicie błędnych wniosków co do efektywności linii, a przez to do ich późniejszego upadku wynikającego przeważnie niedostosowania oferty przewozowej do oczekiwania pasażerów. Podobnie jest w dużych miastach takich jak Warszawa, gdzie kolej w ogóle nie istnieje w świadomości mieszkańców za sprawą np. zupełnego braku informacji o przebiegających w ramach miasta liniach kolejowych oraz braku porozumienia między miastem i PKP w sprawie wspólnego biletu.

W czasie sympozjum odbyła się także prezentacja oferty kilku firm produkujących autobusy szynowe, przydatne przy eksploatacji linii lokalnych. Wspominano też o problemach kolej miejskich w Gdyni, Warszawie i Wrocławiu, gdzie na efektywność kolej lokalnych wpływają inne czynniki niż w przypadku linii pozamiejskich. Wszystkie te problemy mogą doprowadzić do likwidacji wielu linii tylko z powodu braku dostatecznego energicznego działania lub braku odpowiednich przepisów uwzględniających działanie czasu. Bogumił Gierałtowski z Centralnego Biura Projektowo-Badawczego "Kolprojekt" zwrócił uwagę na skutki likwidacji dworca Warszawa Główna i sprzedaży działki przez PKP w celu budowy hipermarketu, co znacznie skomplikuje zakończenie linii radomskiej oraz legionowskiej w centrum miasta.

Parametry ekonomiczne sytuacji kolej lokalnych zreferował prof. dr hab. Wojciech Paprocki - kierownik Zakładu Ekonomiki Przedsiębiorstw Transporto-

## AKTUALNOŚCI PN-TTE

---

wych Szkoły Głównej Handlowej w Warszawie zwracając uwagę na możliwość polepszenia efektywności linii lokalnych przez obsługę pojedynczych wagonów towarowych obok ruchu pasażerskiego, co polepszy także dostępność kolejowego transportu towarów.

Odnootować należy, że obecność na seminarium honorowego przewodniczącego UIC (Międzynarodowego Związku Kolei) dr Andrzeja Wielądka, przedstawicieli Głównego Inspektoratu Kolei z dyrektorem generalnym Lidią Ostrowską oraz licznych działaczy gminnych, pozwalają mieć nadzieję, że kolejne lokalne będą właściwie wykorzystane dzięki racjonalizacji ich systemów eksplotacyjnych, w czym Polskie Naukowo-Techniczne Towarzystwo Eksplotacyjne deklaruje swój udział we współpracy ze Stowarzyszeniem Sympatyków Komunikacji Szynowej. Oferta obejmująca zarówno tabor, zarządzanie, infrastrukturę oraz przepisy została przedstawiona w ulotce przygotowanej wspólnie ze Stowarzyszeniem Sympatyków Komunikacji Szynowej z Warszawy.

Warto podkreślić, że wiele trudności kolei w ogóle, a lokalnych w szczególności wynika z nieprzestrzegania prostych zasad eksplotacyjnych. Między innymi sam kształt polskiej sieci kolejowej o różnej gęstości sieci w każdym z dawnych zaborów, wskazuje na brak analizy efektywności eksplotowanej sieci przez cały okres powojenny. Z drugiej strony bardzo dobrze zaprojektowany przed pierwszą wojną światową węzeł warszawski - jeden z najlepszych w Europie - nie jest wykorzystywany w ruchu miejskim w warunkach blokowania transportu samochodowego. Swoje istnienie Szybka Kolej Miejska w Trójmieście (dziś już osobna spółka) zawdzięcza

właściwie przypadkowi: przypadkowo wyładowano tu zamiast w Kaliningradzie wagony kolejki miejskiej z Berlina przejęte w ramach reparacji wojennych.

Na symposium wskazano, że koszty obecnego stanu są ogromne. Mimo wielu już prób, nie udało się doprowadzić do internalizacji kosztów zewnętrznych transportu, co całkowicie deformuje rozliczanie jego kosztów społecznych i skazuje kolej na nierówną walkę z lobby samochodowym. Lekceważące wypowiedzi na temat kolej możliwości spotkać nawet w publikatorach wbrew oczywistym faktom eksplotacyjnym. Dotacje, jakie otrzymuje kolej zastępują właściwe rozliczenia, powodując np. częste twierdzenia, że to samochodzicarze utrzymują kolej, podczas gdy współpraca obu środków transportu jest niezbędna dla wykorzystania ich zalet. Przykładowo warto wspomnieć, że Instytut Rozwoju i Promocji Kolei wygrał dopiero przetarg na uzgodnienie rozkładów jazdy kolej i autobusów w województwie opolskim, co okazało się względnie łatwe na poziomie województwa lecz komplikuje się wobec konieczności przekraczania jego granic przez pojazdy.

Jak więc widać obszar gminno-kolejowy jest naturalnym terenem potencjalnych prac Polskiego Naukowo-Technicznego Towarzystwa Eksplotacyjnego. Małe i średnie przedsiębiorstwa, które będą obsługiwać linie także będą potrzebować naszej współpracy. Efektem będzie polepszenie wszystkich parametrów eksplotacyjnych oraz wynikłe z tego znaczne oszczędności.

---

**Inż. Rafał Wodzicki**

*Rzecznik PNTTE*

e-mail: [wodzicki@eksploatacja.waw.pl](mailto:wodzicki@eksploatacja.waw.pl)

---

# **INFORMACJE O PROGRAMACH UNII EUROPEJSKIEJ**

*Andrzej Stępniewski*

## **"WSPARCIE INTEGRACJI KRAJÓW KANDYDUJĄCYCH Z EUROPEJSKĄ PRZESTRZENIĄ BADAWCZĄ" - NOWA OFERTA KE**

Przystępując do 5 Programu Ramowego Polska wpłaciła składkę do jego budżetu. Pomimo korzystnych dla nas ustaleń określających wysokość składki na "ulgowych warunkach" oraz pozwalających na pokrycie jej części z funduszy PHARE, jak do tej pory nie udało się odzyskać wpłaconych pieniędzy. Taka sytuacja z oczywistych względów jest dla nas krzywdząca i stała się powodem usilnych zabiegów KBN i Krajowego Punktu Kontaktowego mających na celu wsparcie naszego uczestnictwa w 5 PR. Trwające ponad pół roku negocjacje zaowocowały rozpisaniem we wrześniu br. konkursów skierowanych wyłącznie do zespołów z krajów kandydujących (przedakcesyjnych). Polska wśród tych krajów jest największa i posiada największy potencjał naukowy. Stąd też oczekuje się, że zdecydowana większość wniosków grantowych nadjejdzie z naszego kraju. Co więcej z dotychczasowej praktyki wynika, że i ilość wniosków zwieńczonych sukcesem będzie pochodziła od nas. Tym bardziej, że tym razem konkurencja będzie o wiele słabsza - odpadają uczestnicy z krajów piętnastki. Warto więc poświęcić trochę czasu na zapoznanie się z ofertą i przygotować wniosek.

### **Centra Doskonałości**

Pierwszy konkurs na Centra Doskonałości miał miejsce w 1999 r. W jego wyniku utworzonych zostało w Polsce 9 Centrów z budżetem wynoszącym średnio ok. 1 mln euro. Obecnie KE planuje powołanie ok. 200 Centrów w 12 krajach kandydujących. Za sukces należałoby uznać przyznanie nam ok. 50 z tej puli.

Celem konkursu jest pomoc wyróżniającym się centrom naukowym krajów kandydujących w lepszym dostosowaniu swojego potencjału badawczego społecznym i gospodarczym potrzebom kraju oraz rozwijaniu związków z innymi europejskimi ośrodkami

naukowymi. Każde pozytywnie ocenione centrum będzie mogło sfinansować zaproszenie z wykładami wybitnych specjalistów z określonej dziedziny, wymianę naukową, publikację broszur i informatorów, organizację konferencji i innych imprez mających na celu wymianę doświadczeń i prezentację własnych dokonań, zakup drobnego sprzętu niezbędnego do prowadzenia prezentacji.

Oceniający wnioski w pierwszej kolejności będą brali pod uwagę jakość naukową centrum oraz jego strukturę i zarządzanie, a dopiero w dalszej kolejności wartość zaplanowanych do wykonania zadań. Należy podkreślić, że Centrum Doskonałości może być powołane w obrębie jednostki o wydzielonej strukturze organizacyjnej i administracyjnej, z własnym programem badawczym, która działa w ramach jednej instytucji. Stąd też centrum może być np. katedra bądź zakład funkcjonujący na uniwersytecie (może być kilka centrów w tej samej uczelni), z nie ma możliwości powołania Centrum przez jednostki organizacyjne funkcjonujące na różnych uczelniach.

Na złożenie wniosku jest czas do stycznia 2002 r, a wszelkie dokumenty potrzebne do przygotowania wniosku (wraz z przykładowym wnioskiem opracowanym przez dyrektora KPK dr A. Siemaszkę) znajdują się w internecie na stronie: [http://www.npk.gov.pl/centra\\_dosk/index.html](http://www.npk.gov.pl/centra_dosk/index.html)

### **Dołączanie do projektów będących w fazie realizacji**

Nastecną ofertą, która może zwiększyć nasz udział w 5 PR jest konkurs na dołączanie do projektów będących w fazie realizacji. Od początku funkcjonowania programu polskie zespoły badawcze miały problemy ze znalezieniem odpowiedniego konsorcjum. Wiele z konsorcjów tworzonych było w wyniku wcześniejszej realizowanych grantów (np. w 4 PR), w których

## **INFORMACJE O PROGRAMACH UNII EUROPEJSKIEJ**

---

polscy uczeni nie mogli brać udziału. Wynikiem tego był wysoki procent wniosków z naszym udziałem odrzuconych w czasie oceny. Widoczny tu był brak doświadczenia i przypadkowo dobrany skład konsorcjum.

Konkurs, który jest w mocy do połowy grudnia zakłada możliwość dołączania nowych partnerów do właśnie realizowanych grantów. Aby dołączyć się należy odszukać odpowiedni projekt i skontaktować się z jego koordynatorem przedstawiając swoje dokonania i możliwości. Po uzyskaniu zgody koordynatora można przystąpić do wypełniania dokumentów, które składane są do KE za jego pośrednictwem. Należy tu podkreślić szczególną wagę jaką przykłada się do dołączania do tzw. "sieci tematycznych". Wejście do takiej sieci nie powinno stanowić problemu, a korzyści z tego faktu mogą być znaczne - szczególnie w aspekcie zbliżającego się 6 PR z planowanymi "mega projektami". Kontakty nawiązane w sieci będą nieocenione przy tworzeniu przyszłych konsorcjów.

Aby odszukać odpowiedni grant lub funkcjonujące sieci tematyczne należy przejrzeć odpowiednie bazy danych, które znajdują się w internecie pod adresem:  
<http://www.npk.gov.pl/eoi/index.html>

### **Stypendia dla doświadczonych naukowców**

Dotychczas schemat stypendiów Marii Curie pozwalał polskim naukowcom jedynie na wyjazdy do instytucji w krajach UE. Obecnie rozszerzono stypendium o tzw.: drugą fazę (reestablishment phase). Polega ona na tym, że po zakończeniu pobytu za granicą (pierwsza faza stypendium) stypendysta może ubiegać się o dofinansowanie (do 100 tys. euro) swojego powrotu na uczelnię i wznowienie pracy naukowej. Pieniądze można przeznaczyć na zakup sprzętu, aparatury, bądź zatrudnienie doktoranta.

Oferta ta skierowana jest do doświadczonych badaczy, tj. mających doktorat i 10-letni staż pracy naukowej, bądź 14-letni staż pracy naukowej.Więcej informacji oraz oficjalne dokumenty konkursu znajdują się na stronie:  
[http://www.npk.gov.pl/prog\\_hor\\_1/A1-stypendia.htm](http://www.npk.gov.pl/prog_hor_1/A1-stypendia.htm)

5 PR kończy się w połowie przeszłego roku. Jest jeszcze trochę czasu na decyzję o udziale w którymś z konkursów. Udział taki może się przyczynić nie tylko do podniesienia jakości prowadzonych badań ale będzie miał swój wymiar finansowy. Co wobec niskich zarobków sfery budżetowej jest - jak się wydaje - poważnym argumentem za zainteresowaniem się "ofertą europejską".

---

### **Dr inż. Andrzej Stępniewski**

*Regionalny Punkt Kontaktowy 5 PR  
Instytut Agrofizyki PAN  
ul. Doświadczalna 4  
20-290 Lublin  
tel. 744-50-61  
fax. 744-50-61  
e-mail: astep@demeter.ipan.lublin.pl*

---

# OŚRODKI NAUKOWE I PRZEMYSŁOWE

A.J. Klijn



## MAINTENANCE A European Perspective

### Dear friends in Maintenance

It is an honor to be able to address you through this magazine and communicate with you the ideas in the European Maintenance World on the present and the future of Maintenance.

I will address three questions:

1. What is EFNMS , so what are its objectives,
2. What does EFNMS do, so what are its activities,
3. What role can and will EFNMS play in the European Maintenance Theatre?

Maintenance in its original form was a matter of fixing whatever was broken down. Be it the roof of the hut, the point of the arrow or the string of the bow. When it broke, it was either repaired or replaced. Basically that lasted into the 1940-ies. Of course, some realised that you should replace the oil in your car, but mostly that was done by refilling when the oilbin was (almost) empty: Preventive Maintenance!

World War II gave us the development of operation research. There aspects of reliability and dependability were analysed and incorporated in the maintenance strategy. Logistic research became an actual subject. In that development maintenance as it was practised was no longer acceptable: when you think in terms of reliability, you can not accept that you wait for something to fail before you act!

Maintenance became a science. Colleges and universities, triggered to do so by the military, started not only thinking about maintenance, they also started teaching the subject. But they needed feed-back from the field. Why? Because maintenance as a science is a mixture of theoretical analysis and practical experience. To get that necessary feed-back, initiatives were taken to create platforms where experienced professionals could discuss their practices with the scholars from Academia. That lead to the creation of National Maintenance Societies: groups of Maintenance Professionals that would come together to discuss general or specific maintenance related problems. More often than not with representatives of the College or the University

present. Members of the Societies are in the first place Companies who have benefit from the discussion and the learning process connected with it. Lets be fair: it is good for the economy of the company and after all their goal is to earn money! Most Societies also have personal members. Persons who can contribute to the science and the further development of it. National Maintenance Societies not only create this platform for Peer discussions. They also organise training courses, symposiums, conferences and exhibitions.

What has been the contribution of these National Maintenance Societies? In the interaction between the maintenance practitioners and the scientists, equipment for condition monitoring has been developed: vibration of rotating equipment, oil contamination to analyse the condition of bearings. Systems for on-line monitoring of operational equipment were developed and tested, for instance for aircraft jet-engines using RCM, Reliability Centered Maintenance, were created and developed in such interaction. And many more.

But also management matters. TPM, the Total Productive Maintenance, developed in Japan and slowly getting accepted in Europe. A number of computer assist programs, commercial mostly, found their basis in discussions within the National Maintenance Societies.

It was inevitable that at some point in time somebody would have the initiative to expand this approach to a European scale. That happened in 1970.

EFNMS was formed in 1970 by 5 European countries: France, England, Norway, Sweden and The Netherlands. This action was taken at the close of a symposium organized by UNIDO, which centered on the theme:

It is not sufficient to deliver to developing countries plant, production systems and equipment. What also should be done is to deliver information, know-how, instructions and expertise to **install, operate and maintain** this plant and equipment properly. This in such a way that the user is able to understand the functioning

of the plant properly, to operate it safely and under optimum conditions and to follow proper procedures to maintain the afore mentioned conditions.

In other words: **it is not sufficient to sell the equipment, we also have to deliver education!**

Still other words: **do not sell fish, teach how to fish!**

In the aftermath of this symposium a number of the participants realized that in a few years time maintenance would be looked upon not as a mere cost element, but as a topic of the utmost strategic importance to our industry and to the development of not only the so called "industrialized world", but also, if not more so, to the "developing world". To prepare for this situation, they decided to establish a European organization where experience could be exchanged and knowledge developed for later transfer to developing countries.

This led to the organization of the EUROPEAN FEDERATION OF NATIONAL MAINTENANCE SOCIETIES (EFNMS). In this Federation each European country can be represented by only one, non commercial, organization that is considered to speak on behalf of Maintenance in that country. This was done in order to avoid domestic discussions within EFNMS between representatives of the same country.

The official objectives of EFNMS have been formulated as follows:

The EFNMS is a non-profit organization whose objective is to improve maintenance for the sake and benefit of the people in Europe, since maintenance is of great importance to trade and industry, to the environment, and to public welfare and safety.

EFNMS is governed by a Constitution that says that the principal body of the Federation is the Council. In that Council each member has one representative and an option for an observer. Only the official representative has the right to vote. The Council elects a Chairman, who does not represent his country and who has no vote. Apart from preparing and chairing the Council-meetings, he is also the business-manager of the Federation. The Constitution also knows a President (an honorary function), and an Executive Committee. Members of this EXCOMM are elected personally for their experience and expertise and act as a consulting and advising body to the Chairman and the Council.

An early decision of the Council was to organize a EUROPEAN MAINTENANCE CONFERENCE every other year, the first one to be in Wiesbaden in 1972. The format adopted there was that of a three day conference with two half days of plenary meetings and four half days of parallel sessions on specific subjects. This proved to be so successful that it still is the format for the conference to this day.

Presently, however, the economic situation makes it difficult for maintenance leaders to participate in a conference only. Therefore, since 1988 in Helsinki, the conference also features an exhibition. This exhibition, unfortunately, tends to be of local or national importance only. We are trying a new ap-

proach again: the last conference, in March of the year 2000 in Sweden, in Göteborg, was organized jointly with the internationally renowned Underhall-exhibition. This way we try to make it attractive for visitors to come and participate by offering them not only a conference with high quality papers, but also an exhibition of more than local importance only. An exhibition that is aimed at export incentives. An exhibition on a true European scale.

On the initiative of Past-President Stefano Salvetti in 1990, EFNMS has created an award, the EUROMAINTENANCE AWARD. This award is presented to an individual or an organization that has significantly contributed to the art of maintenance on a significantly more than local scale. The award consists of a certificate and a sum of money of 1000 EURO, funded through the Salvetti-foundation. Starting in 2000 EFNMS also presents a "Master Thesis Award" for a student graduating in the field of Maintenance. This is a Swedish initiative and the first presentation was be during the EUROMAINTENANCE conference in Göteborg

But first and of the utmost importance EFNMS is to be a platform where you meet colleagues with whom you can discuss your problems and who are willing to discuss their problems with you. Open and candidly. Where you help them with your experience and they help you with theirs. The conference is important, the quality of the papers is checked very carefully. The absence of commercial interests is an absolute must. But the contact with the other participants is what makes the EFNMS tick! Discussion, lunches, an official dinner, coffee-breaks. The same things that make you decide after any meeting whether or not it was a success.

There are 16 countries in EFNMS now:

The Scandinavian countries Norway, Sweden, Denmark and Finland

The North-West European countries England, Ireland, Holland, Belgium

The Central European countries France, Germany, Switzerland

The Southern European countries Croatia, Italy, Slovenia, Spain, Portugal

The real question of course is: what is this "good maintenance"? We have all seen quite a development in maintenance during the past few years. Did not we all start off with Corrective (or break down) Maintenance? Don't do a thing until the equipment has broken down. That developed into Preventive Maintenance, and presently we see Condition Based Maintenance. Maintenance in most industries no longer is a self-supporting department or division. Maintenance is an integrated function in the Production Department. Maintenance no longer is only a cost factor, it is, as was foreseen at the creation of EFNMS, a function of strategic importance to the overall result of the company. Maintenance people are no longer interchangeable parts, they are valuable resources that are

# OŚRODKI NAUKOWE I PRZEMYSŁOWE

---

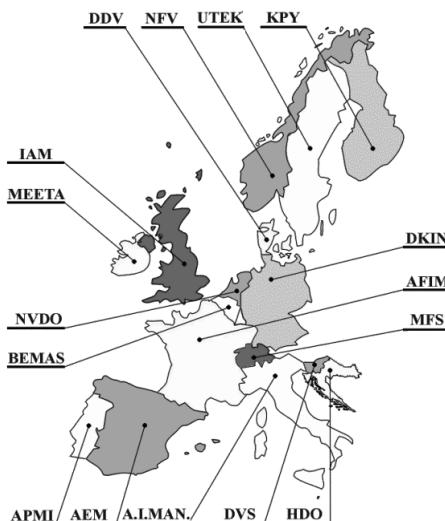
urged, like other key-personnel, to use their knowledge and experience to the benefit of themselves and of the Company.

EFNMS tries to better equip the maintenance managers with the tools to perform their new tasks.

- \* Condition monitoring as a tool for maintenance is widely accepted and is further developed by industrial companies.
- \* EFNMS is supporting the introduction of TPM (Total Productive Maintenance), the integration of the Maintenance function into the Production function. Operational in Japan, it gradually becomes accepted in Europe.
- \* RCM (Reliability Centered Maintenance) is also subject of EFNMS study and promotion.
- \* So is outsourcing of maintenance, with the advantages of cost reduction, but also with the disadvantage of the risk of losing actual information on the condition of the equipment.
- \* Two projects operate on a distinct European scale: Training and Certification.
  - EFNMS develops a maintenance training framework to make the various national training programs compatible with each other.
  - EFNMS organizes examinations for maintenance managers and technicians to obtain a European Maintenance Certificate, proving the capabilities of the holder based on an inter-national standard.
- \* Also to further its goals, EFNMS is participating in the work of the European Standardization Committee TC319, Maintenance, and in a number of EUREKA projects.

To maintain also no longer means to keep the equipment running, it means to keep the equipment in top notch condition. So the equipment, and the Company, can and will meet the severe conditions imposed upon us for regulatory and environmental reasons.

## Member Countries of EFNMS and the names of their National Maintenance Associations



Ultimately EFNMS strives to introduce LCMS (Life Cycle Management System) as the tool for investment decisions. LCMS incorporates in the decision process not only the investment, but also the cost of operating the equipment, the cost of maintaining it and, last but not least, the cost of dismantling and scrapping. Including environmental consequences!

To play its role in this spectrum of developments, EFNMS is active in a number of projects, designed to better equip its members and the maintenance personnel associated with them, to perform in this time and in the future. Projects not only in the EFNMS context, but also on

a European scale and in close co-operation with the EUREKA-foundation. There is a European Benchmarking project, aimed at defining key-figures for maintenance in the European Industry. We are preparing for a project in the field of "E-Maintenance", where we will provide maintenance information on the Internet. Of course also on a European scale.

All these programs are being developed by the Member Societies, not only for the benefit of their members, but for the whole of the European Industry. And for the benefit of non-European industries. Close cooperation with Universities and Colleges is promoted and maintained.

A chain is not stronger than its weakest link. Presently EFNMS is strong. We have to strive to remain strong. By giving our support to our fellow-members. By participating in the platform, in the open exchange of information. By being really and truly interested in what others are doing and helping them to do better by sharing your experience with them. Then they will share their experience with you. For the better of everybody involved. For me, for you, for everybody!

---

ir. A.J. Klijn (02-02-36), College of Amsterdam (1956), University of Delft (1964). Formerly manager of operation and maintenance of Compressorstations with N.V. Nederlands Gasunie, project manager for the design and construction of Gasunie's corporate headquarters. Past Chairman and honorary member of NVDO (Dutch National Maintenance Society). Past President of EFNMS (1993-1995). Chairman of EFNMS (1995- ).

---

## EFNMS Chairman Arjo Klijn

Zeemanweg 1  
9752 NZ HAREN  
NETHERLANDS  
e-mail: [hetnet.nl](mailto:hetnet.nl)

---