

## TRENDY ROZWOJU UTRZYMANIA RUCHU URZĄDZEŃ I MASZYN

### DEVELOPMENT TRENDS IN MACHINES OPERATION MAINTENANCE

*W pracy przedstawiono trendy rozwojowe utrzymania ruchu urządzeń i maszyn. Scharakteryzowano trzy okresy i trzy sposoby podejścia do utrzymania ruchu urządzeń i maszyn. Wśród koncepcji, które się pojawiły najważniejsze to: RCM (Reliability Centered Maintenance) – utrzymanie ruchu skierowane na niezawodność (strategia wg niezawodności) i TPM (Total Productive Maintenance) – całościowe utrzymanie ruchu zorientowane na produktywność (lub w wolnym przekładzie – utrzymanie ruchu zintegrowane z produkcją). Inne współczesne koncepcje utrzymania ruchu maszyn, takie jak 5S i samodzielne przeglądy techniczne zostały również zaprezentowane. W końcowej części pracy pokazano zależność jakości utrzymania ruchu maszyn technologicznych i jakości wyrobów.*

**Słowa kluczowe:** eksploatacja maszyn, utrzymanie ruchu maszyn, RCM, TPM.

*The trends in machines operation maintenance have been presented in the paper. Three methods and three periods of machines operation maintenance have been characterized. Among the concepts which have appeared, the most important ones are RCM (Reliability Centred Maintenance) – reliability oriented operation maintenance and TPM (Total Productive Maintenance) - general productivity oriented operation maintenance or operation maintenance integrated with production. Other contemporary concepts of operation maintenance as the 5S method and operator's own technical inspection have been presented too. At the end of the paper interrelationship of the quality of technological machines operation maintenance and the quality of products has been shown.*

**Keywords:** machines operation, maintenance, RCM, TPM.

#### 1. Rozwój koncepcji utrzymania ruchu urządzeń i maszyn, idea systematycznego i systemowego podejścia do utrzymania ruchu

Wzrastający udział bezpośrednich kosztów utrzymania ruchu w kosztach zmiennych przedsiębiorstwa, jak również sytuacja konkurencyjna, w jakiej znajdują się obecnie przedsiębiorstwa, zmuszają do intensywnego poszukiwania możliwości ich zmniejszenia. Wiele wskaźników pokazuje, że – co zresztą wiadomo już od wielu lat – rośnie nie tylko znaczenie samego utrzymania urządzeń w sprawności eksploatacyjnej, ale rosną także, absolutnie i relatywnie, koszty utrzymania tej sprawności. Stosunek kosztów utrzymania ruchu do obrotu kształtuje się na poziomie 4 – 13% (w zależności od branży) [6].

Analiza sposobów podejścia do utrzymania ruchu urządzeń i maszyn, dokonywana w perspektywie czasowej, pozwala na wyróżnienie trzech okresów [1, 3, 5], które ewolucyjnie przechodzą jeden w drugi (rys. 1):

- I. Okres reaktywnego utrzymania ruchu (reactive maintenance) – remonty po pojawieniu się uszkodzenia.
- II. Okres prewencyjnego utrzymania ruchu (preventive maintenance) – planowo - zapobiegawcze remonty.
- III. Okres prognostycznego (proaktywnego) utrzymania ruchu (predictive (proactive) maintenance) – inspekcje zapobiegawcze, monitorowanie stanu technicznego, udział operatorów urządzeń i maszyn w utrzymaniu ruchu, RCM, TPM, 5S, samodzielne przeglądy.

Okres pierwszy, trwający od zarania stosowania urządzeń i maszyn do mniej więcej początku drugiej wojny światowej, charakteryzował się doraźnym reagowaniem na wystąpienie uszkodzeń – dominowało więc reaktywne podejście do utrzymania ruchu (reactive maintenance). W tym czasie, z uwagi na stosunkowo niski poziom mechanizacji, wystąpienie awarii nie miało dużego wpływu na ciągłość produkcji. Dlatego, upraszcza-

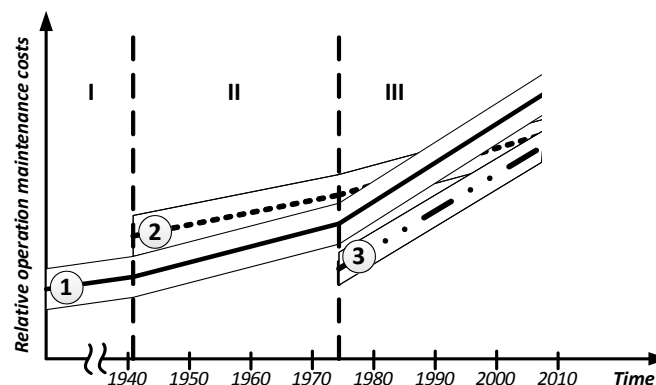
#### 1. Concept development, the idea of systematic and systemic approach to operation maintenance

The increasing contribution of direct operation maintenance costs to the variable costs of an enterprise, as well as competition, necessitate intensive search for the possibility to reduce those costs. Many indices show that not only the importance of machine operation maintenance increases, but so do the absolute and relative costs of that maintenance (it has been known for many years). The ratio of the operation maintenance costs to the turnover, depending on the branch, is 4 – 13 % [6].

An analysis of the approaches to operation maintenance in time perspective allows for the distinction of three periods [1, 3, 5] which evolve one into another (Fig. 1):

- I. The period of reactive maintenance – repairs when a failure appears,
- II. The period of preventive maintenance – planned and preventive repairs,
- III. The period of predictive-proactive maintenance – preventive inspections, technical condition monitoring, participation of the machine operators in the operation maintenance, RCM, TPM, 5S, operator's own inspections.

The first period, from the beginning of the use of machines and devices to approximately the beginning of the Second World War, was characterized by immediate reactions to failures, i.e. reactive operation maintenance dominated. At that time, due to relatively low level of mechanization, failures had not significant influence on production continuity. Therefore, with some simplification, it can be stated that preventive actions were not necessary except cleaning and lubrication. Machines and devices were simple in their design and the service of them did not require high qualifications. Major service actions, such as machine overhaul, units' repairs or regeneration



Rys. 1. Trzy okresy rozwoju (I, II, III) i trzy sposoby (1, 2, 3) zapewniania ruchu urządzeń i maszyn: I), 1) - reaktywne utrzymanie ruchu (reactive maintenance) – remonty po pojawieniu się uszkodzenia; II), 2) - prewencyjne utrzymanie ruchu (preventive maintenance) – planowo - zapobiegawcze remonty; III), 3) - prognostyczne (proaktywne) utrzymanie ruchu [predictive (proactive) maintenance] – inspekcje zapobiegawcze, monitorowanie stanu technicznego, udział operatorów urządzeń i maszyn w utrzymaniu ruchu, RCM, TPM, 5S, samodzielne przeglądy

Fig. 1. Three periods of development (I, II, III) and three methods (1, 2, 3) of machines operation maintenance: I) - reaktywne utrzymanie ruchu (reactive maintenance) – remonty po pojawieniu się uszkodzenia; II), 2) - prewencyjne utrzymanie ruchu (preventive maintenance) – planowo - zapobiegawcze remonty; III), 3) - prognostyczne (proaktywne) utrzymanie ruchu [predictive (proactive) maintenance] – inspekcje zapobiegawcze, monitorowanie stanu technicznego, udział operatorów urządzeń i maszyn w utrzymaniu ruchu, RCM, TPM, 5S, samodzielne przeglądy

jąc nieco zagadnienie, można powiedzieć, że nie było potrzeby wykonywania działań zapobiegawczych z wyjątkiem czyszczenia i smarowania. Urządzenia i maszyny były proste w konstrukcji i łatwe w utrzymaniu, a obsługa ich nie wymagała wysokich kwalifikacji. Ważniejsze czynności obsługowe, takie jak remont maszyn, naprawa zespołów czy regeneracja części, wykonywane były jako reakcja na pojawianie się uszkodzeń. Przedsiębiorstwa zorientowane były przede wszystkim na produkt i produkcję, uznając utrzymanie ruchu jedynie jako działalność pomocniczą, niedającą się zaplanować i której koszt jest trudny do przewidzenia. Pogląd ten był konsekwencją przekonania, że intensywność uszkodzeń obiektów technicznych zależy od ich wieku i związana jest z fizycznym starzeniem się.

Podczas II wojny światowej nastąpiło zmniejszenie dostępności siły roboczej, a jednocześnie wystąpił wzrost zapotrzebowania na wyroby przemysłowe, zwłaszcza dla wojska, co wywołało zwiększenie stopnia mechanizacji parku maszynowego. Od lat pięćdziesiątych wiele typów maszyn technologicznych było już sterowanych numerycznie, a ich konstrukcja stawała się coraz bardziej złożona. Wpływ znaczenia niesprawnego urządzenia na utrzymanie ciągłości produkcji znacznie wzrósł. Istotne były wówczas pytania, czy można przeciwdziałać wystąpieniu uszkodzenia i w jaki sposób powinno się to czynić. Pojawiła się wtedy koncepcja systemu planowo-zapobiegawczych remontów, którego istotą jest podejmowanie czynności obsługowych w ustalonych odstępach czasu lub po wykonaniu określonej ilości pracy (strategia według resursu).

Charakterystycznymi cechami tego przełomu w myśleniu na temat utrzymania ruchu w tamtym czasie było:

- powstanie koncepcji zapobiegania uszkodzeniom (prewencyjne utrzymanie ruchu), spowodowane zwiększeniem zależności procesów wytwarzania od stanu urządzeń i maszyn oraz zmiana poglądów na intensywność uszkodzeń,
- wzrost znaczenia systemów planowania i sterowania utrzymaniem ruchu spowodowany wzrostem kosztów utrzymania ruchu w porównaniu do innych kosztów operacyjnych,

of parts were performed as a reaction to failures. Enterprises were oriented for the product and manufacturing, considering operation maintenance as an auxiliary activity, which cannot be planned, and the cost of which is hardly predictable. That opinion was a consequence of the conviction that the intensity of failures of technical objects depends on their age and is related to their growing physically old.

During the Second World War the availability of labour decreased while the demand for industrial products, particularly those for the military forces, grew. This necessitated a higher level of mechanization of the stock of machines. Since the fifties many technological machine types were already numerically controlled and their design was increasingly complicated. The influence of a failing device on the production continuity has also grown. The question whether a failure can be prevented and how this should be effected have become important. The concept of a system of planned preventive repairs has appeared. Its essence is servicing machines and devices at predetermined time intervals or after a predetermined work is performed (strategy acc. to operational potential).

At that time, the change in thinking about operation maintenance has resulted in:

- the concept of failure prevention (preventive operation maintenance), because the manufacturing processes have become more dependent on the condition of machines and devices and the opinion on the failure intensity has changed,
- increase of the importance of the systems of planning and control of operation maintenance due to the increase of operation maintenance costs as compared to other operation costs,
- interest of enterprise management in the extension of technical object life due to the increase of the capital engaged in the machines and devices.

- zainteresowanie zarządu przedsiębiorstwa wydłużeniem czasu eksploatacji obiektów technicznych spowodowane wzrostem wartości kapitału zaangażowanego w urządzenia i maszyny.

Zastosowanie strategii wg resursu (systemu planowo-zapobiegawczych remontów) to początek myślenia w kategoriach systemu, jeżeli chodzi o utrzymanie ruchu. Od tego momentu można mówić o systemach utrzymania ruchu urządzeń i maszyn.

Strategia prewencyjnego utrzymania ruchu nie sprawdza się w przypadkach występowania znaczącej liczby uszkodzeń we wczesnej fazie użytkowania. Ten fakt oraz dalszy intensywny rozwój produkcji przemysłowej (zwiększenie liczby eksploatowanych urządzeń i maszyn o coraz większej wartości) zmieniły spojrzenie na sposoby utrzymania ruchu. Wg [3] połowa lat siedemdziesiątych XX. wieku to początek nowego podejścia do utrzymania ruchu (początek III okresu rozwoju metod utrzymania ruchu – por. rys. 1), którego kluczowym elementem było zapewnienie bezuszkodzeniowej pracy urządzeń i maszyn w całym okresie ich użytkowania. W tym czasie charakterystycznymi cechami produkcji przemysłowej rzutującymi na sposób myślenia o utrzymaniu ruchu były [1]:

- intensywne zmiany w przemyśle polegające na wzroście ilości, różnorodności i stopnia skomplikowania obiektów technicznych oraz automatyzacji i robotyzacji procesów wytwarzania,
- nowe możliwości wykonania prac w zakresie utrzymania ruchu spowodowane rozwojem narzędzi diagnostyki technicznej,
- nowe koncepcje organizacji i zarządzania przedsiębiorstwem, szczególnie ogólnosiątkowe dążenie do zarządzania zapasami w duchu koncepcji Just In Time (JIT) oraz doskonalenie jakości wyrobów metodą Total Quality Management (TQM),
- wzrost kosztów utrzymania ruchu, w niektórych gałęziach przemysłu; jest to najwyższy lub drugi z kolei element kosztów operacyjnych. W rezultacie w ciągu 30 lat koszty utrzymania ruchu stały się priorytetem w zakresie kontroli kosztów,
- stałe podwyższanie standardów bezpieczeństwa i higieny pracy oraz kwestie ochrony środowiska naturalnego. Z roku na rok rośnie liczba wymagań prawnych, które należy przestrzegać i dostarczać obiektywnych dowodów ich stosowania,
- nowe poglądy na związek pomiędzy fizycznym starzeniem się maszyn i urządzeń a intensywnością uszkodzeń.

Konsekwencją wymienionych zmian było powstanie nowych koncepcji utrzymania ruchu maszyn i urządzeń. Klasyczne podejścia podkreślały znaczenie przeglądów i remontów, nowe obejmują również:

- narzędzia do wspierania decyzji: ocena ryzyka, modele intensywności uszkodzeń i analiza ich efektów oraz systemy ekspertowe,
- nowe techniki utrzymania ruchu, np. monitorowanie stanu,
- zmiany w myśleniu o organizacji prowadzące do współuczestnictwa (partycypacji) i pracy zespołowej.

Wśród koncepcji, które się wtedy pojawiły najważniejsze to RCM (Reliability Centered Maintenance) – utrzymanie ruchu skierowane na niezawodność (strategia wg niezawodności) i TPM (Total Productive Maintenance) – całościowe utrzymanie ruchu zorientowane na produktywność (lub w wolnym przekładzie – utrzymanie ruchu zintegrowane z produkcją).

The application of the strategy acc. to operational potential (the system of planned and preventive repairs) is a start of new thinking in terms of a system as regards operation maintenance. From that moment one can speak about systems of operation maintenance of machines and devices.

The strategy of preventive operation maintenance is not successful when a significant number of failures occur at an early stage of utilization. This fact and the further development of industrial production (increasing number of utilized machines and devices of growing value have changed the attitude to the methods of operation maintenance. According to Moubray [3] in the middle of the nineteen seventies the new approach to the operation maintenance has begun (beginning of the III period of the development of operation maintenance methods – compare Fig. 1), the most important element of which was the assurance of trouble free operation of machines and devices in the whole period of their exploitation. At that time, the characteristic features of industrial production, influencing the way of thinking of operation maintenance were [1]:

- significant changes in industry – increase of the number, variety and complexity of technical objects as well as automation and robot utilization in manufacturing processes;
- new possibilities of performing operation maintenance works resulting from the development of technical diagnostic tools;
- new concepts of enterprise organisation and management, particularly the world-wide tendency to manage the inventories according to the Just-In-Time principle (JIT) and improvement of product quality by the method of Total Quality Management (TQM);
- increase of the operation maintenance costs; in some branches of industry it is the highest or the second highest element of operation costs and, as a result, in 30 years operation maintenance costs have become a priority in the cost control;
- constant raising of the standards of industrial safety and the questions of environment protection: the number of legal requirements to be observed with proofs of the observance;
- new understanding of the relationship between the physical age of machines and devices and the intensity of failures.

A consequence of the above changes was new concepts of operation maintenance of machines and devices. In the classical approaches, the importance of inspections was emphasized, in the new ones the attention has also been drawn to:

- auxiliary tools for decision making, such as: risk assessment, models of failure intensity and analysis of failure results, expert systems,
- new techniques of operation maintenance, e.g. condition monitoring,
- modified understanding of organisation leading to participation and team work.

Among the concepts which have appeared then, the most important ones are RCM (Reliability Centered Maintenance – reliability oriented operation maintenance (strategy according to reliability) and TPM (Total Productive Maintenance) - general productivity oriented operation maintenance or operation maintenance integrated with production).

## 2. Utrzymanie ruchu zorientowane na niezawodność (RCM)

Opublikowanie koncepcji RCM na przełomie lat siedemdziesiątych i osiemdziesiątych ubiegłego wieku było pod wieloma względami milowym krokiem na drodze doskonalenia metod utrzymania ruchu. RCM to według [3] procedura polegająca na określaniu niezbędnych działań utrzymania w sprawności eksploatacyjnej urządzenia lub maszyny z uwzględnieniem warunków użytkowania. Pod uwagę brane jest ich znaczenie dla przebiegu procesu produkcyjnego i jakości wyrobu. Uwzględniana jest także kwestia warunków pracy, stanu technicznego oraz historia eksploatacji maszyny. Utrzymanie ruchu zorientowane na niezawodność jest szczególnie polecane w przypadku zagrożenie zdrowia i bezpieczeństwa publicznego.

Istotę podejścia RCM ilustruje siedem podstawowych pytań sformułowanych w 1999 roku przez International Society of Automotive Engineers [wg 1]:

1. Jakie funkcje spełnia obiekt techniczny i jakie odpowiadają im standardy osiągnięć (np. wydajności, klasy jakości produktu, kosztu eksploatacji, bezpieczeństwa) w kontekście bieżących zadań produkcyjnych?
2. W jaki sposób obiekt może zawieść w spełnianiu funkcji (w jaki sposób powstają uszkodzenia)?
3. Co może być przyczyną każdego z uszkodzeń funkcjonalnych?
4. Jakie mogą być skutki każdego z tych uszkodzeń (co się dzieje, kiedy występuje uszkodzenie)?
5. Jakie znaczenie ma każdy ze skutków tych uszkodzeń?
6. Co można zrobić, aby przewidzieć lub zapobiec każdemu z uszkodzeń?
7. Co powinno być zrobione, gdy nie można znaleźć odpowiedniego działania „proaktywnego” – zapobiegawczego?

Kluczowe w omawianej koncepcji jest pojęcie uszkodzenia (awarii). Rozróżnia się tzw. **awarię funkcjonalną**, która stanowi niemożność całego uszkodzenia albo jej zespołu lub części do wykonywania funkcji czyli do spełniania określonych warunków bądź standardów działania oraz **awarię potencjalną** – przez co rozumie się fizycznie dające się zidentyfikować oznaki, że nastąpi awaria funkcjonalna. RCM w dużym stopniu wykorzystuje monitorowanie w celu przewidywania punktu potencjalnej awarii. Umożliwia to sytuację, w której każda część może zrealizować swój pełen okres eksploatacji, a dzięki pomiarom obniżania się odporności na uszkodzenia oraz obrazowanie tendencji w wynikach tych pomiarów można przewidzieć punkt awarii.

RCM jest wykorzystywane do stworzenia systemu utrzymania ruchu od podstaw. Harmonogram prac jest zdecydowanie mniejszy niż ten powstający dzięki metodom tradycyjnym. Mniej pracy rutynowej oznacza, że pozostałe zadania można wykonać lepiej. Wraz z eliminacją nieproduktywnych zadań prowadzi to w konsekwencji do bardziej efektywnego utrzymania ruchu. Ogólny schemat metody RCM przedstawiono na rysunku 2.

Poprawne zrozumienie kroków wdrażania RCM przyczynia się w sposób zdecydowany do poprawy efektywności utrzymania ruchu. Sukces jednakże odnosi się tylko w przypadku, gdy wiele uwagi poświęcone jest planowaniu, temu jak i kto wykonuje analizy, audytom i pracy zespołowej.

Szczególne znaczenie, podczas wdrażania RCM, przypisuje się pracy zespołowej. W praktyce bowiem, specjaliści utrzyma-

## 2. Reliability oriented operation maintenance

Publishing of the RCM concept at the turn of the nineteen seventies and eighties was, in many aspects, a milestone in the way of improving the operation maintenance methods. According to Moubray [3] RCM is a procedure of determining the actions necessary to maintain machine's or device's efficiency considering the conditions of utilization. Their importance for the production process and for the product quality is taken into consideration. Furthermore, consideration is also given to the working conditions, technical condition and the history of the machine utilization. Reliability oriented operation maintenance is particularly recommended in the cases of public health and safety hazard.

The essence of the RCM approach is illustrated by the seven basic questions formulated by the International Society of Automotive Engineers [acc. to 1]:

1. What functions does the technical object fulfil and what performance standards correspond to it (e.g. productivity, product quality class, service cost, safety) as related to the current production assignments?
2. In what way can the object fail to fulfil its functions (in what way do failures arise)?
3. What can be the reason of each functional failure?
4. What can be the results of each of those failures (what happens when a failure occurs)?
5. What is the significance of each of the failure results?
6. What can be done in order to predict or prevent each of the failures?
7. What should be done if an adequate “proactive – preventive” action cannot be found?

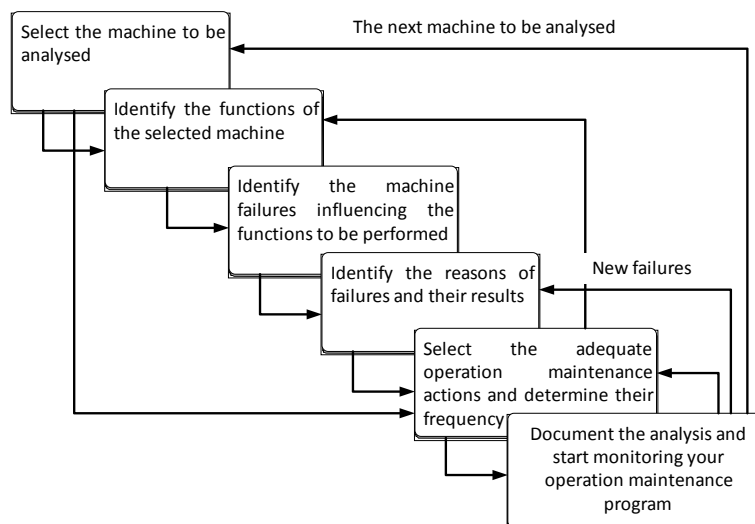
The key notion in the concept under discussion is failure. Two kinds of failures can be distinguished: a so-called **functional failure** is inability of the whole machine or its unit to perform its function, i.e. to meet the predetermined conditions or standards of operation; a **potential failure** is understood as physically identifiable symptoms indicating that a functional failure is about to take place.

In the RCM procedure, monitoring is largely used for the prediction of potential failure points. Due to that each part can realize its whole service period. The measurements of failure resistance decrease and illustration of the tendency in their results allow for the prediction of the point of failure.

The RCM procedure is used for the creation of the system of operation maintenance. The working schedule is significantly shorter than in the traditional methods. Less routine work means that the other tasks can be performed better. Combined with the elimination of unproductive tasks, this leads to more effective operation maintenance. A general layout of the RCM method can be seen in Fig. 2.

Correct understanding of the RCM implementation steps contributes to the improvement of operation maintenance effectiveness. Success, however, is reached only if much attention is devoted to planning, to the determination of how and who performs the analyses, to audits and team work.

In the implementation of the RCM, special importance is attributed to team work. This is because, in practice, the operation maintenance specialists cannot answer the seven RCM questions on their own, particularly when the questions concerning the functions, their fulfilment, effects and results of failures. That is why the requirements concerning operation mainte-



Rys. 2. Ogólny schemat postępowania w metodzie RCM [wg 1]

Fig. 2. General layout of the procedure in the RCM method [acc. to 1]

nia ruchu nie są w stanie samodzielnie udzielić odpowiedzi na podstawowe siedem pytań RCM. Dotyczy to szczególnie pytań związanych z funkcjami, ich realizacją, efektami i konsekwencjami awarii. Z tego powodu przegląd wymagań dotyczących utrzymania ruchu powinien być wykonywany przez małe zespoły, których członkami są operatorzy urządzeń i maszyn. Praca w zespole umożliwia nie tylko uzyskanie dostępu do wiedzy i opinii każdego z uczestników, ale również umożliwia zdobycie rozległej wiedzy dotyczącej działania urządzeń i maszyn.

### 3. Całościowe utrzymanie ruchu zorientowane na produktywność (utrzymanie ruchu zintegrowane z produkcją) TPM

TPM jest koncepcją znaną dla trzeciego okresu rozwoju idei utrzymania ruchu. Według S. Nakajimy [4] utrzymanie ruchu maszyn i urządzeń to zapewnienie im właściwej „kondycji zdrowotnej”. Definiuje on TPM, jako działanie realizowane przez każdego pracownika będącego członkiem niewielkiego zespołu w celu zapewnienia wzrostu produktywności urządzeń i maszyn.

Koncepcja TPM obejmuje swoim zakresem utrzymanie ruchu w całym przedsiębiorstwie, a jego wdrożenie związane jest między innymi z:

- zidentyfikowaniem i wyeliminowaniem podstawowych strat występujących na stanowisku pracy: strat dostępności (awarie maszyn i urządzeń, regulację i wymianę narzędzi), strat osiągnięć (bezczynność, zmniejszona prędkość operacji) i strat jakości (braki i przeróbki, straty na partie próbne),
- przygotowaniem programu zapewniającego autonomiczną realizację prac utrzymania ruchu,
- zaplanowaniem działań dla komórki organizacyjnej odpowiedzialnej za prowadzenie prac utrzymania ruchu
- podniesieniem umiejętności pracowników odpowiedzialnych za utrzymanie ruchu,
- przygotowaniem programu ukierunkowanego na optymalizację pracy nowych maszyn i urządzeń.

Istotną cechą TPM jest wprowadzenie autonomicznego utrzymania urządzeń i maszyn przez operatorów, czyli zintegro-

nance should be checked by small teams, the members of which are operators of the machines and devices. Team work allows one to learn the knowledge and opinions of each member, but also to acquire vast knowledge concerning the functioning of machines and devices.

### 3. General productivity oriented operation maintenance (operation maintenance integrated with production)

The TPM concept is characteristic of the third period of operation maintenance development. According to Nakajima [4] operation maintenance of machines and devices is keeping them in proper “health condition”. He defines TPM as an action performed by each employee, being a member of a small team, in order to ensure increase of the productivity of machines and devices.

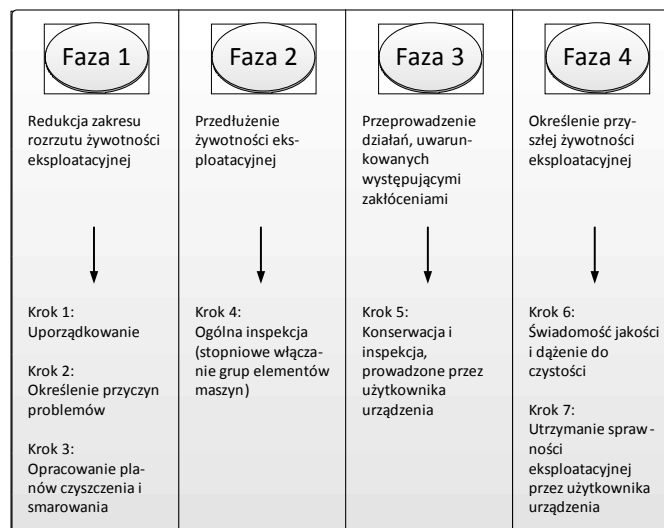
The TPM concept includes operation maintenance in the whole enterprise and its implementation involves, among others:

- identification and elimination of the basic losses occurring on the work stand: loss of availability (machine failures, adjustment and tool exchange), losses of performance (idling, decreased operation speed) and quality loss (rejects and modifications, losses due to test batches),
- preparation of a program ensuring autonomous realisation of the operation maintenance works,
- planning of the activity for the organization unit responsible for the operation maintenance works,
- improvement of the skills of the staff responsible for operation maintenance,
- preparation of a program oriented for optimization of the work of new machines and devices.

An important feature of the TPM is the introduction of autonomous keeping of machines and devices by their operators, i.e. integration of many basic service actions with the produc-

wanie wielu podstawowych czynności obsługowych z procesem produkcyjnym. Włączenie operatorów w prace na rzecz utrzymania ruchu oraz przekazanie im odpowiedzialności i uprawnień, pozwala lepiej wykorzystać posiadaną przez nich wiedzę na temat urządzeń i maszyn, wzmacnia poczucie własnej wartości u operatorów i umożliwia im świadomy udział w realizacji celów przedsiębiorstwa.

Japoński model TPM zakłada cztery fazy i siedem kroków (rys. 3) tego systemu.



Rys. 3. Kroki i fazy TPM [6]

Fig. 3. TPM steps and phases [6]

Zrealizowanie kroku siódmego – docelowego stwarza sytuację, w której operator urządzenia lub maszyny podejmuje:

- konserwację;
- czynności inspekcyjne polegające początkowo przede wszystkim na „zajrzeniu” bez narzędzi i „posłuchaniu”; należy dążyć do możliwości stosowania narzędzi pomiarowych i w tym celu odpowiednio przeszkolić użytkownika urządzenia;
- proste prace naprawcze, jak wymiana zużytych części. Poza tym, operator urządzenia lub maszyny współdziała ze służbą utrzymania ruchu podczas przestoju urządzenia.

Koncepcja TPM nie jest uniwersalnym rozwiązaniem dla wszystkich przedsiębiorstw. Jak podaje S. Nakajima [4]: „Tryb i szczegóły wykorzystania systemu TPM w celu maksymalnego zwiększenia efektywności urządzeń i maszyn należy dostosować w praktyce do indywidualnych możliwości przedsiębiorstwa. Każda firma musi opracować własny plan działania, uwzględniający wymagania i problemy charakterystyczne dla specyfiki przedsiębiorstwa, branży, metod produkcji i stanu posiadanych urządzeń i maszyn”.

Zastosowanie wspólnej koncepcji TPM i RCM przyczynia się do powstania efektu synergii w obszarze utrzymania ruchu [1]. Efekt ten jest możliwy dzięki temu, że połączone zostają praca inżynierów utrzymania ruchu (RCM) i operatorów urządzeń i maszyn (TPM). Odnotowano przykład skutecznego wdrożenia obu tych koncepcji w przedsiębiorstwie branży motoryzacyjnej. Dzięki umiejętnemu połączeniu TPM i RCM w przedsiębiorstwie tym zidentyfikowano obszary, w których operatorzy mogą unikać, zapobiegać lub dostatecznie wcześnie wykrywać awarie. Doprowadziło to do ograniczenia czynności naprawczych i umożliwiło zaangażowanie pracowników służby utrzymania ruchu w problemy wymagające specjalistycznej wiedzy. W wyniku podjętych działań dostępność obiektów technicznych wzrosła aż o 50%.

tion process. The incorporation of the operators in the works for operation maintenance and the transfer of responsibility to them allows for a better utilization of the knowledge they possess, reinforces their sense of their own value and makes them aware of their participation in the achievement of the enterprise's objectives.

In the Japanese model of the TPM, four phases and seven steps of the system are assumed (Fig. 3).

When the seventh – final - step is executed, the machine or device operator takes over:

- conservation;
- inspection activities meaning initially “having a look” without tools and “listening” – the user should be adequately trained to enable him to apply measurement tools;
- simple repairs, such as exchange of worn parts, the operator also co-operates with the operation maintenance staff during the machine shutdown.

The TPM concept is not a universal solution for all enterprises. Nakajima [4] says: “The mode and details of the TPM system utilization for maximum increase of the effectivity of machines should be adapted in practice to the individual possibilities of each enterprise. Each company must elaborate its own plan of activity considering the specific requirements characteristic of the plant, branch, production methods and the condition of the machines and devices in its possession”.

When combined TPM and RCM concepts are applied, synergistic effect arises in operation maintenance [1]. The effect is possible due to the fact that the work of operation maintenance engineers (RCM) and that of machine and device operators (TPM) is combined. An example of successful implementation of both those concepts has been recorded in an automotive enterprise. Due to skilful combination of TPM and RCM, the enterprise has found the areas, in which the operators could avoid failures, prevent them or detect them sufficiently early. This has resulted in reduction of repairs and made it possible to engage the operation maintenance staff in problems requiring expert knowledge. As a result of the undertaken actions the availability of the technical objects has risen by as much as 50%.

#### 4. Inne współczesne koncepcje związane z utrzymaniem ruchu

TPM wykorzystuje niektóre elementy innych wcześniej sformułowanych pomysłów organizacji stanowiska pracy oraz obserwacji urządzeń i maszyn w trakcie wykonywania ich normalnych zadań.

Jedną z takich koncepcji jest **metoda 5S** nazywana też praktykami 5S, której założeniem jest dbałość o dyscyplinę, porządek i skrupulatne gospodarowanie. Nazwa 5S pochodzi od japońskich słów:

- seiri – selekcja (pozbądź się rzeczy niepotrzebnych),
- seiso – sprzątanie (posprzątaj miejsce pracy)
- seiton - systematyka (miejsce na wszystko i wszystko na swoim miejscu),
- seiketsu – schludność (ustalaj standardy),
- shitseke – samodyscyplina (utrzymuj standardy).

Praktyki 5S to zorganizowany program angażujący wszystkich zatrudnionych do utrzymania czystych, uporządkowanych i bezpiecznych stanowisk roboczych. Jest to jedna z dróg ku pełnemu zaangażowaniu pracowników na rzecz jakości i niezawodności maszyn. Chociaż często określane jako „gospodarność”, prawdziwe znaczenie 5S zawiera w sobie znacznie więcej, niż to, co się ogólnie rozumie pod pojęciem gospodarności. Jest to metoda systematycznego wpajania dyscypliny, standaryzacji i dążenia do perfekcji.

5S stwarza środowisko, które ma istotne znaczenie podczas wdrażania innych tzw. *najlepszych praktyk*:

- 5S jest pierwszym krokiem do tworzenia u operatorów poczucia własności i dumy w stosunku do miejsca pracy,
- 5S jest istotnym krokiem do zwiększenia dbałości o urządzenia i ich konserwację przez działania prewencyjne i wczesne wykrywanie usterek,
- 5S umożliwia skracanie czasu przygotowania i przebrojenia maszyn dzięki redukcji czasu zużywanego na poszukiwanie odpowiednich części i narzędzi,
- 5S ułatwia rozwiązywanie problemów przez ujawnianie nieprawidłowości,
- 5S wspomaga kontrolę jakości przez eliminowanie zanieczyszczonych produktów i błędów operatora.

**Samodzielne przeglądy techniczne (SP)** to procedura opracowana na podstawie tych samych założeń, co TPM [2]. Początkowo wszelkie obserwacje funkcjonowania urządzeń i maszyn dokonywane są przez operatorów w trakcie ich normalnych zadań, jak np. obserwacja oprzyrządowania lub sprawdzanie określonych elementów z dnia na dzień, z wykorzystaniem efektów fizycznych takich jak zapach, odgłosy, drgania, temperatura, obserwacja wzrokowa, zmiany wyglądu, konieczność zastosowania siły itp., by następnie, po odbyciu szkolenia wykonywać samodzielnie inspekcje i brać na siebie pełną odpowiedzialność za przeglądy, konserwację, czyszczenie, regulację i drobne naprawy oraz dążyć stale do udoskonaleń.

Różnica pomiędzy zasadami 5S a samodzielnymi przeglądami jest często opisywana w sposób następujący - (tabl. 1): 5S dotyczy miejsca pracy, a samodzielne przeglądy – urządzeń i maszyn.

Samodzielne przeglądy to tzw. *najlepsza praktyka* stosowana przez operatorów, którzy podejmują odpowiedzialność za opiekę i podstawową konserwację urządzeń przez ich poprawną obsługę, utrzymanie w czystym stanie, smarowanie oraz regularną kontrolę. Jeżeli w wyniku przeprowadzonej inspekcji urządzenia wykryty zostanie problem, operator sam wykonuje

#### 4. Other contemporary concepts of operation maintenance

In the TPM system, some elements of other, previously formulated concepts of work stand organization and observation of machines when performing their normal work have been used. One of them is the **5S method** known also as the 5S practices, assuming good discipline, order and careful management. The name of 5S comes from Japanese words:

- seiri – selection (get rid of unnecessary things),
- seiso – tidying (tidy your working place),
- seiton – systematics (a place for everything and everything in its place),
- seiketsu – neatness (establish standards),
- shitseke – self-discipline (keep the standards).

The 5S practice is an organized program engaging all the employees in keeping clean, tidy and safe working stands. This is one of the ways leading to full engagement of the employees in the quality and reliability of machines. Although the practice is often defined as “thriftiness”, the true meaning of 5S is much broader than what is generally understood under thriftiness. It is a method of systematic teaching discipline, standardization and attempting at perfection.

The 5S method allows for creation of an environment that is of significant importance during implementation of other so called best practices:

- it is the first step towards the sense of property and pride of the place of work,
- it is an important step towards better care for the devices and their maintenance by preventive actions and early detection of defects,
- it allows for shortening of machine preparation due to reduction of time necessary to find adequate parts and tools,
- it facilitates problem solution by showing incorrectness,
- it boosts quality control by eliminating contaminated products and operator mistakes.

**Operator’s own technical inspections (OTI)** are procedure based on the same assumptions as TPM [2]. Initially, all the observations of machine and device functioning are performed by the operators during their normal works as, for example, watching the instrumentation, or day-to-day checking of predetermined elements with the use of physical effects such as smell, sounds, vibration, temperature, sight observation, changes of appearance, necessity to apply force etc. Then, after training, the operators perform inspections on their own, take full responsibility for the inspections, maintenance, cleaning, adjustments and small repairs; they also permanently attempt at improvements.

The difference between the 5S principles and the operator’s own inspections are often described in the following way (tab. 1): 5S concern the place of work, but operator’s own inspections – machines and devices.

Operator’s own inspections are the so called **best practice** used by operators who take the responsibility for the equipment and the basic maintenance by their correct service, keeping clean, lubrication and regular checks. If a problem is detected as a result of inspection, the operator performs small repairs himself and notifies the servicing staff about serious failures. Advantages of operator’s own inspections are as follows:

- lower machine failure frequency,
- higher machine efficiency,

Tab. 1. Porównanie samodzielnych przeglądów i 5S [2]  
 Tab. 1. A comparison of operator's own technical inspections and the 5S [2]

<i>Samodzielne przeglądy / Operator's own technical inspections</i>	<i>5S</i>
<i>Etap 1. Wstępne czyszczenie Stage 1. Initial cleaning</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Sortowanie – akcja związana z usunięciem niepotrzebnych przedmiotów / sorting – action related to removal of unnecessary objects</i></li> <li>• <i>Czyszczenie – wstępne czyszczenie / cleaning – initial cleaning</i></li> </ul>
<i>Etap 2. Eliminacja źródeł zanieczyszczeń oraz obszarów niedostępnych Stage 2. Elimination of contamination sources and inaccessible areas</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Czyszczenie – ułatwienie czyszczenia / cleaning – facilitation of cleaning</i></li> </ul>
<i>Etap 3. Ustalenie standardów czyszczenia, smarowania i sprawdzania Stage 3. Establishment of cleaning, lubrication and checking standards</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Czyszczenie / cleaning</i></li> <li>• <i>Standaryzacja / standardization</i></li> </ul>
<i>Etap 4. Ogólna inspekcja urządzenia Stage 4. General inspection of the device</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>„Czyszczenie i myślenie” / “cleaning and thinking”</i></li> </ul>
<i>Etap 5. Samodzielna inspekcja Stage 5. Operator's own inspection</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>„Czyszczenie i myślenie” / “cleaning and thinking”</i></li> <li>• <i>Standaryzacja / standardization</i></li> </ul>
<i>Etap 6: Kontrola i zarządzanie miejscem pracy Stage 6. Working stand control and management</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Organizacja z wykorzystaniem pomocy wizualnych / organization with the use of visual aids</i></li> <li>• <i>Standaryzacja / standardization</i></li> </ul>
<i>Etap 7. W pełni autonomiczne przeglądy Stage 7. Fully autonomous inspections</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Utrzymywanie dyscypliny / keeping discipline</i></li> </ul>

drobne naprawy, a poważniejsze awarie zgłasza mechanikom.

Korzyści z samodzielnych przeglądów to:

- mniejsza awaryjność maszyn,
- większa efektywność maszyn,
- dłuższy okres użytkowania maszyn,
- większe poczucie własności i odpowiedzialności,
- pracownicy działu utrzymania ruchu mają większą ilość czasu na bardziej zaawansowane utrzymanie ruchu i analizę przyczyn awarii
- lepsze wykorzystanie potencjalnych umiejętności operatorów,
- utrzymanie ruchu zajmuje mniej czasu.

### 5. Podsumowanie

Sposób utrzymania ruchu określonych urządzeń i maszyn zależy od ich charakterystyki konstrukcyjnej i roli, jaką spełniają w procesie produkcyjnym. Urządzenia skomplikowane, kosztowne i pracujące w zautomatyzowanych liniach technologicznych powinny być utrzymywane bardzo starannie. Ich awaria powoduje, bowiem przestój całej linii. Strategię eksploatacyjną należy, więc dostosować do konkretnych urządzeń i maszyn oraz warunków ich eksploatacji. Można zatem, w praktyce warsztatowej, spotkać się obecnie z zastosowaniem każdego z podejść pokazanych na rysunku 1.

Analizując natomiast współczesne koncepcje (z III okresu – rys. 1) utrzymania ruchu obiektów technicznych można zauważyć odmienną w identyfikowaniu i rozwiązywaniu problemów oraz postrzeganiu roli utrzymania ruchu w przedsiębiorstwie w stosunku do lat ubiegłych [1]. Nowe podejście do utrzymania ruchu charakteryzuje się przede wszystkim [1, 3]:

- unikaniem, redukowaniem lub eliminowaniem uszkodzeń, a nie tylko zapobieganiem,
- uwzględnieniem w ramach utrzymania ruchu bezpieczeństwa ludzi i ochrony środowiska naturalnego, jakości produktu i poziomu obsługi klientów, a nie tylko kosztów,
- odejściem od poglądu wiążącego wiek urządzeń i maszyn z intensywnością ich uszkodzeń,
- określeniem częstotliwości działań utrzymania ruchu na podstawie symptomów uszkodzeń, a nie na podstawie wskaźników awaryjności urządzeń i maszyn,

- longer machine utilization period,
- better sense of property and responsibility,
- the operation maintenance staff have more time for more advanced operation maintenance, and analysis of failure reasons,
- better utilization of the operator's potential skills,
- less time for operation maintenance.

### 5. Conclusions

The method of operation maintenance of specific machines and devices depends on their design characteristics and the role they play in the production process.

Complicated, expensive devices working in automated technological lines should be maintained very carefully as their failure causes shutdown of the whole line. Therefore, the exploitation strategy should be adapted to the specific machines and devices and to the working conditions. Consequently, in workshop practice, one can find each of the approaches shown in Fig. 1.

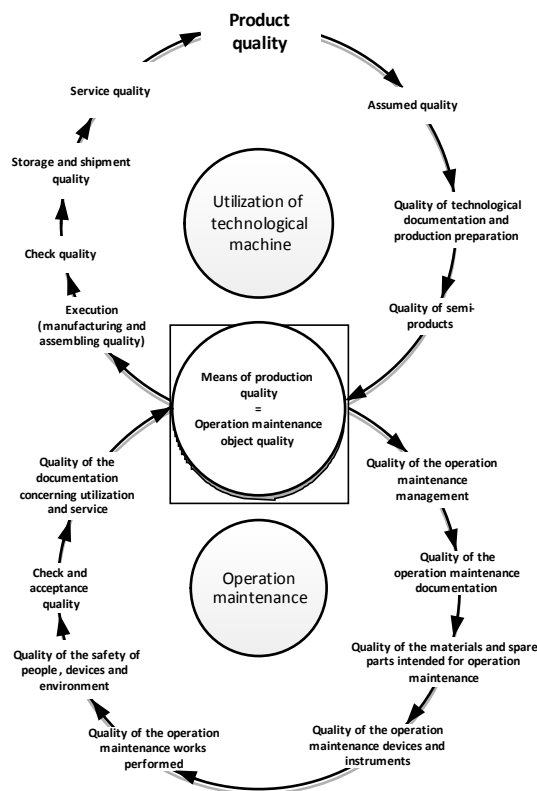
When analysing the contemporary concepts of operation maintenance (those of period III – Fig. 1) one can observe different identification and solution of problems and different perception of the role of operation maintenance in an enterprise as compared to periods I and II [1]. The new approach to operation maintenance is characterized by [1, 3]:

- avoidance, reduction or elimination of failures, not only preventing them;
- incorporation of people's safety and natural environment protection, product quality and the level of customer service, and not only costs, into the operation maintenance;
- abandoning of the opinion relating the age of the machines with the intensity of their failures;
- determination of the frequency of operation maintenance actions basing on failure symptoms, not on the failure frequency indices;



- opracowywaniem wspólnych metod utrzymania ruchu tylko dla maszyn identycznych, których zasady eksploatacji, funkcje i oczekiwane standardy realizacji są również identyczne,
- samodzielnym opracowywaniem programów utrzymania ruchu w przedsiębiorstwie przy rozsądnym uwzględnieniu zaleceń producenta, a nie traktowaniem producenta jako jedyne uprawnionego do ich opracowania,
- opracowaniem programów utrzymania ruchu przez służbę utrzymania ruchu i operatorów, a nie tylko przez służbę utrzymania ruchu,
- uznaniem zaangażowania pracowników (wszystkich poziomów zarządzania) w działania utrzymania ruchu jako kluczowego czynnika sukcesu, a nie tylko działań technicznych realizowanych przez służbę utrzymania ruchu,
- uznaniem utrzymania ruchu jako strategicznego obszaru przedsiębiorstwa, a nie tylko jako gospodarki pomocniczej.

Utrzymanie ruchu jest ze-  
spolone z wysiłkami przedsię-  
biorstwa produkcyjnego ma-  
jącymi na celu wytworzenie  
produktu o wysokiej jakości. Ja-  
kość środków produkcji (a więc  
urządzeń i maszyn) decydująca  
w dużej mierze o jakości wyro-  
bów, zależna jest, bowiem od  
jakości czynności utrzymania  
ruchu (rys. 4).



Rys. 4. Współzależność kręgu jakościowego produktu od kręgu jakościowego utrzymania ruchu [6]

Fig. 4. The dependence of the product quality circle on the operation maintenance circle [6]

- elaboration of common operation maintenance methods only for identical machines whose exploitation principles, functions and expected execution standards are identical
- elaboration of operation maintenance programs by the enterprise itself with reasonable consideration of the manufacturer's, not treating him as the only one authorized to elaborate recommendations;
- elaboration of programs of operation maintenance by the operation maintenance staff and the operators, not only by the operation maintenance staff;
- recognition of the engagement of the employees of all management levels, not only the technical actions of the operation maintenance staff as the key factor of success;
- recognition of operation maintenance as a strategic area of the enterprise, not only as an auxiliary service.

Operation maintenance is involved in the production enterprise's attempts at manufacturing high quality product. It is so because the quality of the means of production (i.e. machines and devices), to a large extent determining product quality, depends on the quality of operation maintenance (Fig. 4).

## 6. References

1. Jasiulewicz - Kaczmarek M., Współczesne koncepcje utrzymania ruchu infrastruktury technologicznej przedsiębiorstwa, w: Koncepcje zarządzania systemami wytwórczymi, Poznań: Wydawca Instytut Inżynierii Zarządzania Politechniki Poznańskiej, 2005: 127–134.
2. Materiały szkoleniowe firmy CCA, 2001.
3. Moubay J., Maintenance management – a new paradigm, Maintenance, 1996; 11: 1.
4. Nakajima S., Introduction to TPM, Portland, Productivity Press, 1988.
5. Piersiala S., Trzecieliński S., Systemy utrzymania ruchu, w: Koncepcje zarządzania systemami wytwórczymi, Poznań: Wydawca Instytut Inżynierii Zarządzania Politechniki Poznańskiej, 2005: 114–126.
6. Werner G.W., Praktyczny poradnik konserwacji maszyn i urządzeń, Warszawa: Wydawnictwo Alfa-Weka, 1998.

**Prof. dr hab. inż. Stanisław LEGUTKO**

Politechnika Poznańska

Instytut Technologii Mechanicznej

Ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań

tel.: + 48 61 665 25 77, fax: + 48 61 665 22 00

e-mail: stanislaw.legutko@put.poznan.pl