

MODELING OF MACHINE'S SAFETY ON THE STAGE OF CONCEPTION AS A TOOL OF ERGONOMICS AND WORK SAFETY DEVELOPMENT

Summary

Ergonomics and work safety can be developed by influence on all elements taking part in working process. Respecting the technical object (machine) as an element of working process, person can influence on the safety in every stage of its life cycle. However, the safety of machine can and should be developed on the stages of designing and producing. The most proper and effective ones are preactivities, therefore machine's designing stage is very important. During designing there is defining the most important features of machine and methods of its exploitation (developing of potential features which are important regarding the safety). On the stage of producing the activities are continuing by realization of the decisions and verification of machine's features (material conferment of supposed features). On the stage of exploitation of machine, the safety is controlled by such an influence on the process of its exploitation and operating, to not to exceed the proper risk level, created by the machine.

The author maintains that the process of developing of machine's safety should begin before the designing, producing and researches. It will have the most gainful technical as well as economical effect.

In the elaboration the theoretical basis of machine's safety modeling are formulated on the stage of laboring the conception. There are showed the principles of building and analysis of general model of machine's safety and defined:

- terminology; - potential, important hazards, concerning the machine's exploitation; - principles of risk assessment and decreasing; - sources of requirements concerning the safety and ergonomics of regarding the safety and ergonomics of machine's exploitation; - principles of choice of machine's features, the most important regarding the safety and ergonomics of future real machine's exploitation; - principles of using the means of safety which should be provided on the stage of designing; - criteria of accepting the machines as safe.

Model of safety of the machine, used in the next stage of creating the machine (in the stage of designing and building the prototype) should be the basis of such a designing and producing the particular units and all the machine, to make maximum possible the decreasing of a risk concerning the future exploitation of the real machine.

MODELOWANIE BEZPIECZEŃSTWA MASZYN NA ETAPIE KONCEPCJI JAKO NARZĘDZIE KSZTAŁTOWANIA ERGONOMII I BEZPIECZEŃSTWA PRACY

Streszczenie

Ergonomię i bezpieczeństwo pracy można kształtować przez oddziaływanie na wszystkie elementy uczestniczące w procesie pracy. W odniesieniu do obiektu technicznego (maszyny), jako elementu procesu pracy, człowiek może oddziaływać na bezpieczeństwo we wszystkich fazach jego cyklu życia. Jednak kształtować bezpieczeństwo maszyny można i należy w fazach projektowania i wytwarzania. Najbardziej właściwe i efektywne są działania wyprzedzające, a więc faza projektowania maszyny ma podstawowe znaczenie. Podczas projektowania określa się najistotniejsze własności maszyny i sposoby jej eksploatacji (kształtowanie potencjalnych własności, istotnych ze względu na bezpieczeństwo). W fazie wytwarzania kontynuują się działania przez realizację tych decyzji i weryfikację własności maszyny (materialne nadanie założonych własności). W fazie eksploatacji maszyny steruje się już tylko bezpieczeństwem poprzez takie wpływanie na proces jej użytkowania i obsługi, aby nie przekroczyć odpowiedniego poziomu ryzyka stwarzanego przez maszynę.

Autor twierdzi, że proces kształtowania bezpieczeństwa maszyny powinien być istotnie zapoczątkowany wyprzedzająco w stosunku do prac projektowych, wykonawczych i badawczych. Da to najkorzystniejszy efekt zarówno techniczny, jak i ekonomiczny.

W opracowaniu sformułowano teoretyczne podstawy modelowania bezpieczeństwa maszyny, na etapie opracowania jej koncepcji. Przedstawiono zasady budowy i analizy ogólnego modelu bezpieczeństwa maszyny oraz określono: terminologię; potencjalne, istotne zagrożenia, związane z eksploatacją maszyny, które należy wziąć pod uwagę podczas jej projektowania; zasady oceny i zmniejszania ryzyka; źródła wymagań, dotyczących bezpieczeństwa i ergonomii maszyny; zasady wyboru cech maszyny, najistotniejszych ze względu na bezpieczeństwo i ergonomię przyszłej maszyny rzeczywistej; zasady stosowania środków bezpieczeństwa, które należy przewidzieć na etapie projektowania; kryteria uznania maszyny za bezpieczną.

Model bezpieczeństwa maszyny, wykorzystany w następnej fazie tworzenia maszyny (w fazie projektowania i budowy prototypu), powinien być podstawą takiego zaprojektowania i wykonania poszczególnych zespołów i całej maszyny, aby w sposób maksymalnie możliwy ograniczone zostało ryzyko, związane z późniejszą eksploatacją maszyny rzeczywistej.

1. Wstęp

Praktyką producentów przy budowie nowej maszyny jest najczęściej sformułowanie koncepcji konstrukcyjnej i funkcjonalnej, a następnie opracowanie dokumentacji konstrukcyjnej, budowa prototypu, poddanie go próbom funkcjonalnym, wprowadzenie ewentualnych poprawek, a następnie uruchomienie produkcji. Ergonomia i bezpieczeństwo eksploatacji maszyny rozpatrywane są z reguły w momencie, gdy wytworzony został już prototyp lub cała seria. Niekiedy zdarza się, że bodźcem do zainteresowania się producenta aspektem bezpieczeństwa jest obligatoryjność certyfikacji niektórych maszyn przez jednostkę notyfikowaną lub dopiero interwencja organów nadzoru rynku, działających w oparciu o ustawę o systemie oceny zgodności [5]. Stwierdzone na tym etapie wady maszyny stanowią rzeczywiste zagrożenia dla użytkowników i są kosztowne do usunięcia (nieraz wiąże się to z koniecznością poważnych zmian konstrukcyjnych, niejednokrotnie jest to trudne technicznie). Skutki mogą być dolegliwe zarówno dla użytkownika maszyny (wypadki przy pracy – utrata zdrowia lub życia), jak i dla producenta (duże koszty modernizacji, koszty ustawowego postępowania karnego w stosunku do producenta wprowadzającego na rynek lub do użytkowania wyrób niebezpieczny, ewentualne koszty odszkodowań, utrata dobrego wizerunku).

Człowiek teoretycznie może oddziaływać na bezpieczeństwo maszyny, jako obiektu technicznego, we wszystkich fazach jej cyklu życia. Twierdzi się, że bezpieczeństwo obiektu można i należy kształtować w fazach projektowania i wytwarzania [1]:

- w fazie projektowania - poprzez odpowiednie określenie własności obiektu i sposobu jego eksploatacji (kształtowanie potencjalnych własności obiektu, istotnych ze względu na bezpieczeństwo),
- w fazie wytwarzania - przez realizację tych decyzji i weryfikację własności obiektu (materialne nadanie obiektowi założonych własności).

Uznaje się [1, 2], że faza projektowania ma tu podstawowe znaczenie. Należy nadmienić, że norma PN-EN 1070:2003 do projektowania zalicza działania obejmujące:

- opracowanie koncepcji maszyny z uwzględnieniem wszystkich faz jej życia (budowy, transportu i przekazywania do eksploatacji, użytkowania wraz z obsługiwaniem oraz wycofania z eksploatacji z demontażem i pozbyciem się maszyny),
- opracowanie instrukcji dotyczących wszystkich wyżej wymienionych faz życia maszyny, oprócz budowy.

W fazie eksploatacji steruje się już tylko bezpieczeństwem poprzez takie wpływanie na proces użytkowania i obsługiwanego obiektu, aby nie przekroczyć odpowiedniego poziomu ryzyka stwarzanego przez obiekt.

Modelowanie bezpieczeństwa maszyny na etapie prac koncepcyjnych, tj. budowa teoretycznego modelu bezpieczeństwa maszyny, wyprzedzająco w stosunku do dalszych prac badawczych i projektowych, pozwala na najbardziej racjonalne kształtowanie ergonomii i bezpieczeństwa. Celem takiego modelowania bezpieczeństwa maszyny powinno być:

- określenie potencjalnych, istotnych zagrożeń, związanych z eksploatacją maszyny oraz wstępna ocena ryzyka,
- określenie wymagań, dotyczących bezpieczeństwa i ergonomii maszyny,

- wyznaczenie cech maszyny, istotnych ze względu na bezpieczeństwo i ergonomię przyszłej maszyny rzeczywistej,
- określenie niezbędnych środków bezpieczeństwa, które należy przewidzieć na etapie projektowania, w celu ich zastosowania w maszynie.

Wyniki analizy tak pojmowanego modelu bezpieczeństwa maszyny, wykorzystane w następnej fazie tworzenia wyrobu (w fazie projektowania i budowy prototypu), będą podstawą takiego zaprojektowania i wykonania poszczególnych zespołów i całej maszyny, aby w sposób maksymalnie możliwy ograniczone zostało ryzyko, związane z późniejszą eksploatacją maszyny rzeczywistej. Możliwe będzie uwzględnienie w projekcie właściwych rozwiązań oraz dokonanie niezbędnych korekt zakładanych parametrów maszyny jeszcze przed budową prototypu.

2. Teoretyczne podstawy modelowania bezpieczeństwa maszyny

2.1. Terminologia

Maszyna „bezpieczna” – maszyna zdolna do wykonywania swojej funkcji oraz przystosowana do transportowania, instalowania, regulowania, konserwowania, demontowania i złomowania, bez powodowania urazów lub pogorszenia stanu zdrowia, w warunkach zgodnych z przeznaczeniem, określonych w dokumentacji techniczno-ruchowej (instrukcji obsługi) [PN-EN 1070:2003].

Zagrożenie – źródło możliwego urazu ciała lub pogorszenia stanu zdrowia. Termin „zagrożenie” jest stosowany na ogół w połączeniu z innymi terminami, określającymi pochodzenie lub rodzaj spodziewanego urazu lub pogorszenia stanu zdrowia, np. zagrożenie porażeniem elektrycznym, zagrożenie zgnieciem, zagrożenie obciążeniem, zagrożenie zatruciem [PN-EN 1070:2003].

Ryzyko – kombinacja prawdopodobieństwa wystąpienia urazu lub pogorszenia stanu zdrowia i stopnia ich ciężkości w sytuacji zagrożenia [PN-EN 1070:2003].

Ocena ryzyka – kompleksowe oszacowanie prawdopodobieństwa wystąpienia urazu ciała lub pogorszenia stanu zdrowia i stopnia ich ciężkości w sytuacji zagrożenia, wykonywane w celu wyboru właściwych środków bezpieczeństwa [PN-EN 1070:2003].

Użytkowanie maszyny zgodne z przeznaczeniem – użytkowanie maszyny do celów określonych przez producenta lub takich, które ze względu na jej konstrukcję, budowę i funkcje uważa się za właściwe. Do zgodnego z przeznaczeniem użytkowania maszyny zalicza się ponadto przestrzeganie wskazań technicznych podanych w dokumentacji techniczno-ruchowej (instrukcji obsługi), wskazujących na przewidywalne niewłaściwe użytkowanie maszyny [PN-EN 1070:2003].

Ograniczenia dotyczące maszyny – etap przedprojektowy maszyny, który polega na sformułowaniu jej ograniczeń:

- zakresów użytkowania:
 - użytkowania maszyny zgodnego z przeznaczeniem, z uwzględnieniem różnych rodzajów pracy, faz użytkowania i różnych sposobów ingerencji operatorów,
 - nieprawidłowego użytkowania maszyny, dającego się przewidzieć w rozsądny sposób,
- ograniczeń przestrzennych (np. zakres ruchu, wymagania dotyczące przestrzeni do zainstalowania i

utrzymania maszyny w ruchu, interfejs operator-maszyna i interfejs maszyna-zasilanie),

- ograniczeń czasowych: przewidywany „czas życia” maszyny i/lub jej niektórych elementów (np. narzędzia, części zużywające się, elementy elektryczne) z uwzględnieniem ich użytkowania zgodnego z przeznaczeniem [PN-EN ISO 12100-1:2005 p.5.2].

Środek bezpieczeństwa – środek stosowany w celu eliminowania zagrożenia lub zmniejszania ryzyka [PN-EN 1070:2003]. Zamiennie stosowany jest termin **środek ochronny** [PN-EN ISO 12100-1:2005].

Ryzyko resztkowe – ryzyko pozostające po zastosowaniu środków bezpieczeństwa [PN-EN 1070:2003].

Rozwiązanie konstrukcyjne bezpieczne samo w sobie – środek ochronny, który albo eliminuje zagrożenia, albo zmniejsza ryzyko związane z zagrożeniami, zmieniając właściwości konstrukcyjne lub eksploatacyjne maszyny bez użycia osłon lub innych urządzeń ochronnych [PN-EN ISO 12100-1:2005].

Zmniejszanie ryzyka za pomocą rozwiązań konstrukcyjnych – środki bezpieczeństwa, polegające na:

- eliminowaniu lub zmniejszaniu, dzięki odpowiedniemu doborowi cech konstrukcyjnych, tak wielu zagrożeń, jak jest to tylko możliwe, oraz
- ograniczaniu narażenia na zagrożenia, których nie można wyeliminować lub wystarczająco zmniejszyć; osiąga się to np. poprzez ograniczanie udziału czynności wykonywanych w strefach zagrożenia [PN-EN 1070:2003].

Techniczny środek bezpieczeństwa (ochronny) – osłony i urządzenia zabezpieczające (ochronne), stosowane w celu ochrony osób przed zagrożeniami nie dającymi się wyeliminować lub w wystarczającym stopniu zmniejszyć za pomocą rozwiązań konstrukcyjnych [PN-EN 1070:2003, PN-EN ISO 12100-1:2005].

Oslona – część maszyny przeznaczona specjalnie do zapewnienia ochrony za pomocą bariery fizycznej. W zależności od budowy osłona nazywa się obudową, pokrywą, ekranem, drzwiami, osłoną pełną, osłoną ruchomą, siatką itp. [PN-EN 1070:2003].

Urządzenie zabezpieczające (ochronne) – urządzenie inne niż osłona, które samo, bądź w połączeniu z osłoną, eliminuje lub zmniejsza ryzyko, np. urządzenie blokujące, urządzenie sterujące podtrzymywane, urządzenie sterujące oburęczne, czułe wyposażenie ochronne [PN-EN 1070:2003, PN-EN ISO 12100-1:2005].

Informacje dotyczące użytkowania – środki bezpieczeństwa (ochronne), składające się z elementów służących porozumiewaniu się, takich jak teksty, słowa, znaki, sygnały, symbole lub wykresy, stosowane oddzielnie lub w kombinacjach po to, aby przekazać użytkownikowi informację. Są one ukierunkowane na użytkowników profesjonalnych i/lub nieprofesjonalnych [PN-EN 1070:2003].

Uzupełniający środek ochronny – środek ochronny, który nie jest ani rozwiązaniem konstrukcyjnym bezpiecznym samym w sobie, ani technicznym środkiem ochronnym (osłoną lub urządzeniem ochronnym), ani też informacją dotyczącą użytkowania; np. elementy zatrzymania awaryjnego, środki do uwalniania i ratowania osób uwięzionych, środki do odłączania i rozpraszania energii, środki bezpiecznego dostępu do maszyny [PN-EN ISO 12100-2:2005 p. 5].

Model bezpieczeństwa maszyny – teoretyczny model maszyny, obejmujący identyfikację istotnych potencjalnych zagrożeń, określenie wymagań dotyczących bezpieczeństwa i ergonomii, wyznaczenie cech maszyny, istotnych ze względu na bezpieczeństwo i ergonomię użytkownika przyszłej maszyny rzeczywistej oraz określenie niezbędnych środków bezpieczeństwa, które należy przewidzieć na etapie projektowania, w celu ich zastosowania w maszynie (definicja własna).

2.2. Metody i materiały wyjściowe do modelowania bezpieczeństwa

Modelowanie przeprowadzać można z wykorzystaniem generalnie dwóch metod badawczych:

- a) analizy (koncepcji konstrukcyjnej i funkcjonalnej maszyny, wymagań norm europejskich, międzynarodowych i polskich oraz przepisów prawnych, dotyczących bezpieczeństwa i ergonomii, rodzaju najczęściej występujących w podobnych maszynach niezgodności z wymaganiami dotyczącymi bezpieczeństwa i ergonomii, przyczyn zagrożeń występujących w rolnictwie), z zastosowaniem np. metody przeglądu bezpieczeństwa PB [4], wstępnej analizy zagrożeń PHA [3, PN-EN 1050:1999] lub listy kontrolnej CL [3, 4];
- b) syntezy – dla sformułowania wniosków.

W toku modelowania wykorzystywać należy wiele materiałów źródłowych, wśród których można wymienić:

- a) opis koncepcji i założenia projektowe maszyny,
- b) literaturę z zakresu ogólnych zagadnień, związanych z bezpieczeństwem maszyn,
- c) literaturę szczegółowo związaną z dziedziną bezpieczeństwa pracy w danej branży,
- d) materiały empiryczne, w tym:
 - opracowania statystyczne, sprawozdania roczne itp. źródła danych o zagrożeniach, wypadkach przy pracy i ich przyczynach w danej branży lub z podobnymi maszynami,
 - sprawozdania z badań ergonomii i bezpieczeństwa podobnych maszyn – jako źródło danych o najczęściej występujących niezgodnościach z wymaganiami,
 - obserwacje i badania własne,
- e) normy i przepisy prawne, dotyczące bezpieczeństwa maszyn – jako źródła wymagań.

2.3. Identyfikacja istotnych zagrożeń

Przy opracowaniu koncepcji maszyny należy wziąć pod uwagę wszystkie zagrożenia, które mogą wystąpić – zarówno te, które może stwarzać sama maszyna, jak i te związane z otoczeniem, w którym przewidywane jest użytkowanie maszyny. Zagrożenia te muszą być zidentyfikowane (przed zastosowaniem środków ochronnych), by odpowiednio przeanalizować je (ich rodzaj, istotność i prawdopodobieństwo) i zastosować właściwe środki ochronne (zmniejszyć ryzyko).

Zagrożenia ogólnie dzielą się na następujące:

- mechaniczne (zgnieceniem, cięciem lub odcięciem, wplątaniem, pochyceniem, uderzeniem itp.),
- elektryczne,
- termiczne,
- spowodowane hałasem,
- spowodowane drganiami,

- powodowane promieniowaniem,
- powodowane materiałami i substancjami,
- powodowane nieprzebraniem zasad ergonomii w projektowaniu maszyny,
- kombinacja zagrożeń,
- nieoczekiwane uruchomienie, obrót lub nadmierna prędkość,
- brak możliwości zatrzymania maszyny w optymalny sposób,
- zmiany prędkości obrotowej narzędzi,
- przerwa w zasilaniu energią,
- uszkodzenie w układzie sterowania,
- wadliwy montaż,
- rozerwanie się podczas pracy,
- spadające lub wyrzucane przedmioty lub wytrysk płynów,
- utrata stateczności, przewrócenie maszyny,
- poślizgnięcie, potknięcie i upadek człowieka,
- związane z przemieszczaniem się maszyny,
- związane ze stanowiskiem pracy na maszynie,
- związane z układem sterowania,
- związane ze źródłami energii i przenoszeniem napędu,
- powodowane przez osoby trzecie/zagrożenia osób trzecich,
- niewystarczający instruktaż dla kierowcy/operatora,
- związane z podnoszeniem,
- powodowane pracami podziemnymi,
- powodowane podnoszeniem lub przemieszczaniem osób.

Przy analizie zagrożeń pomocny jest szczegółowy wykaz możliwych zagrożeń i sytuacji zagrożenia, który dla maszyn ogólnie podany jest w normie PN-EN 1050:1999, natomiast dla konkretnej maszyny lub grupy maszyn – w normach typu C. Należy również korzystać z wiedzy o planowanej maszynie (konstrukcji, ograniczeniach, przewidywanym użytkowniku), o zagrożeniach związanych z podobnymi maszynami (np. w oparciu o statystyki wypadkowe) itp.

W dalszych analizach i projektowaniu można już pominąć zagrożenia nie istotne lub bardzo mało prawdopodobne (ale świadomie i z uzasadnieniem).

2.4. Zasady oceny i zmniejszania ryzyka

Zgodnie z PN-EN ISO 12100-1:2005 zawsze należy założyć, że istniejące w maszynie zagrożenie prędzej lub później spowoduje powstanie szkody.

Środki bezpieczeństwa (ochronne) są kombinacją środków zastosowanych przez projektanta i środków zastosowanych przez użytkownika (p. 2.5). Środki, które można zastosować w fazie projektowania są uprzywilejowane i najczęściej bardziej skuteczne od środków wprowadzonych do stosowania przez użytkownika.

Tok postępowania przy modelowaniu maszyny powinien obejmować następujące działania, w podanej kolejności:

- określenie ograniczeń i użytkownika maszyny zgodnego z przeznaczeniem,
- zidentyfikowanie zagrożeń i związanych sytuacji zagrożenia,
- oszacowanie ryzyka dla każdego zidentyfikowanego zagrożenia i sytuacji zagrożenia,
- ocenę ryzyka i podjęcie decyzji, czy jest potrzebne jego zmniejszenie,

- wyeliminowanie zagrożenia lub zmniejszenie ryzyka związanego z zagrożeniem, poprzez zastosowanie środków bezpieczeństwa.

W przeprowadzaniu tego procesu konieczne jest uwzględnianie różnych aspektów w następującej kolejności:

- bezpieczeństwo maszyny we wszystkich fazach jej życia,
- zdolność maszyny do realizacji swej funkcji,
- użyteczność maszyny,
- koszty wykonania, eksploatacji i demontażu maszyny.

Proces zmniejszania ryzyka jest iteracyjny i, w celu umożliwienia najlepszego wykorzystania dostępnych technik lub w zależności od fazy życia maszyny, mogą być konieczne kolejne jego powtórzenia (np. zbyt mała skuteczność zmniejszenia ryzyka, konieczność oceny projektu i następnie prototypu, modernizacja maszyny).

2.5. Zasady stosowania środków bezpieczeństwa (środków ochronnych)

Środki bezpieczeństwa (ochronne) dzielą się na:

- stosowane przez projektanta,
 - stosowane przez użytkownika.
- Środki bezpieczeństwa (ochronne) stosowane przez projektanta obejmują:
- rozwiązania konstrukcyjne bezpieczne same w sobie,
 - techniczne środki bezpieczeństwa (ochronne), tj. osłony i urządzenia zabezpieczające (ochronne),
 - uzupełniające środki ochronne,
 - informacje dotyczące użytkownika.

Środki bezpieczeństwa (ochronne) stosowane przez użytkownika obejmują:

- organizację pracy (sposoby bezpiecznej pracy, nadzór, systemy pozwoleń na przystąpienie do pracy lub specjalnych uprawnień),
- stosowanie dodatkowych technicznych środków ochronnych,
- używanie środków ochrony indywidualnej,
- szkolenia.

Wszystkie środki bezpieczeństwa (ochronne) stosowane podczas projektowania maszyny, zgodnie z PN-EN ISO 12100-1:2005, należy stosować w następującej kolejności (nazywanej „metodą 3 kroków”):

- konstrukcja bezpieczna sama w sobie,
- stosowanie technicznych środków ochronnych i ewentualnie uzupełniających środków ochronnych,
- informacje dotyczące użytkownika (w tym poinformowanie użytkownika o ryzyku resztkowym, tj. o ryzyku, którego nie można było wyeliminować lub zmniejszyć przez zastosowanie wymienionych wyżej środków).

2.6. Zasady uznania maszyny za bezpieczną

Maszynę uznaje się za bezpieczną (patrz definicja p. 2.1), gdy wyczerpane zostały wszystkie możliwe do zastosowania środki bezpieczeństwa (ochronne), a w wyniku procesu zmniejszania ryzyka (patrz p.2.4) uzyskano stan, w którym ryzyko resztkowe uznano za akceptowalne.

W świetle postanowień ustawy o systemie oceny zgodności [5] i dyrektyw właściwych dla maszyny, poziom bezpieczeństwa maszyny uznaje się za akceptowalny, jeżeli spełnia ona wszystkie wymagania zasadnicze tych

dyrektyw (dyrektywy), które są obligatoryjne. Ponieważ wymagania zasadnicze w dyrektywach formułowane są ogólnie i w sposób niewymierny, zalecane jest posługiwanie się przy ocenie bezpieczeństwa normami zharmonizowanymi z daną dyrektywą (normy typu A, B i C). Normy te formułują wymagania w sposób bardziej szczegółowy, często wymierny, określają też niezbędne dla danej maszyny środki bezpieczeństwa, metody badań i kryteria uznania. Dobrowolne posłużenie się normami zharmonizowanymi ułatwia projektowanie oraz udowodnienie zgodności maszyny z zasadniczymi wymaganiami bezpieczeństwa - na podstawie zasady domniemania zgodności. Warunkiem zastosowania tej zasady jest dobranie norm w sposób jak najbardziej wyczerpujący i kompletny.

3. Zasady budowy i analizy modelu bezpieczeństwa maszyny

3.1. Modelowanie bezpieczeństwa maszyny

Proces modelowania maszyny na etapie koncepcji przedstawiono na rys. 1.

Rozpoczynając proces modelowania bezpieczeństwa maszyny, na podstawie szczegółowych informacji o koncepcji i założeniach projektowych maszyny, należy sformułować jej o g r a n i c z e n i a , z których wynikają istotne dane o zagrożeniach i ryzyku:

- zakres użytkowania, w tym m.in.:
 - a) użytkowanie maszyny zgodnie z przeznaczeniem - należy określić minimum: przeznaczenie maszyny, niezbędne cechy materiału obrabianego, wymagania dotyczące profesjonalizmu operatora/konieczność przeszkolenia, rodzaj i wymagane parametry źródła zasilania, tryby pracy i sterowania, urządzenia współpracujące, sposób transportu/przemieszczania, rodzaj i wymagane parametry pojazdu ciągnącego,
 - b) nieprawidłowe użytkowanie maszyny, dające się przewidzieć w rozsądny sposób - należy określić minimum: zakazy przewidywalnego nieprawidłowego zastosowania i użytkowania (przykłady),

- ograniczenia przestrzenne - należy określić minimum:
 - a) rodzaj przestrzeni pracy,
 - b) przestrzeń minimalną, wymaganą do zainstalowania,
 - c) wymagania dotyczące podłoża,
 - d) dopuszczalne warunki atmosferyczne podczas pracy,
 - e) rodzaj dróg i dopuszczalną prędkość jazdy;
- ograniczenia czasowe - należy określić minimum przewidywany „czas życia” niektórych elementów maszyny (np. części szybko zużywające się, elementy elektryczne, węże ciśnieniowe).

Pomocnym środkiem modelowania jest także opracowanie graficzne tzw. „mapy zagrożeń” (dla każdej fazy eksploatacji maszyny) – przykład przedstawiono na rys. 2.

3.2. Identyfikacja zagrożeń, związanych z eksploatacją maszyny oraz ocena ryzyka

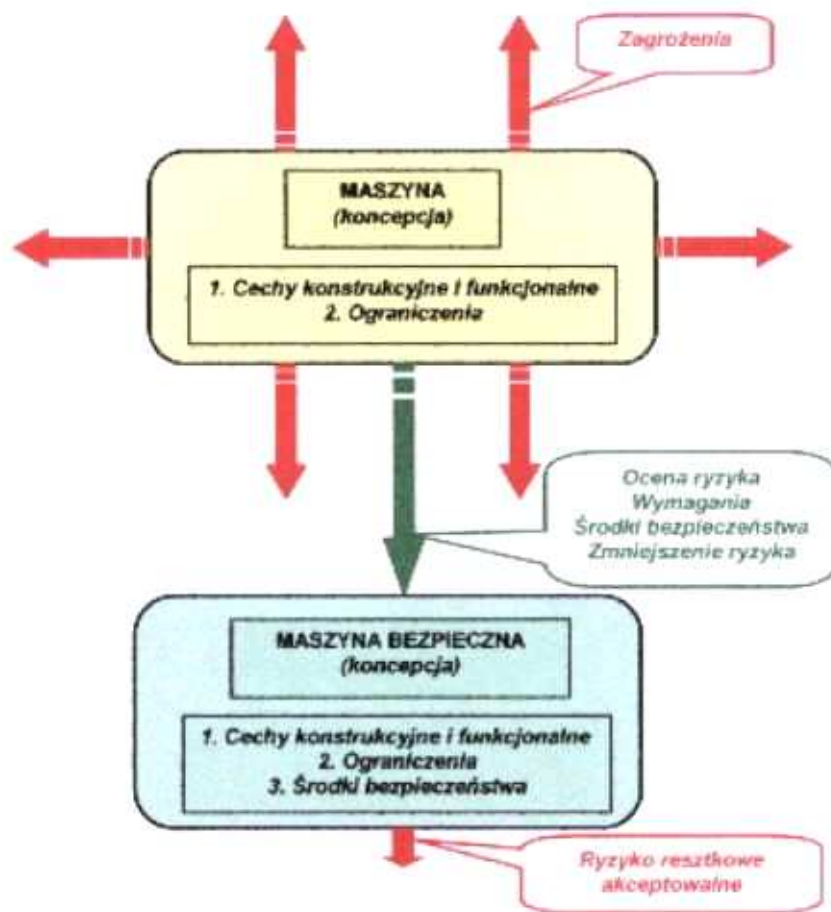
Na podstawie przeprowadzonej analizy:

- wykazu wszystkich potencjalnych zagrożeń, które mogą wystąpić w maszynach (wg załącznika A normy PN-EN 1050:1999 i wg właściwej normy typu C, jeśli taka istnieje),
- przewidywanej budowy maszyny i sposobu jej użytkowania (wraz z ograniczeniami) oraz
- najczęściej występujących przyczyn wypadków przy pracy z podobnymi maszynami, i po uwzględnieniu prawdopodobieństwa ryzyka oraz ciężkości ewentualnego urazu, określa się istotne zagrożenia, mogące wystąpić podczas eksploatacji maszyny oraz szacuje się wstępnie ryzyko z nimi związane.

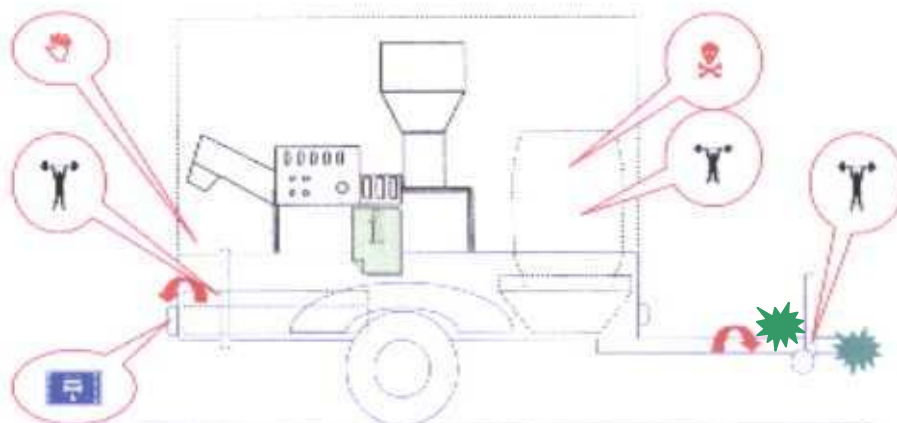
Zagrożenia te, wraz z ich wszystkimi lokalizacjami w maszynie, przedstawić można np. tabelarycznie (przykład dla maszyny rolniczej - tab. 1). Jednocześnie wygodnie jest w tym samym zestawieniu podać wyniki wstępnej oceny ryzyka (pozwoli to skoncentrować się na działaniach eliminujących lub minimalizujących dane ryzyko) oraz przewidzieć miejsce na podanie źródeł wymagań. Ważne jest, by w analizie zostały uwzględnione wszystkie fazy eksploatacji maszyny (różne zagrożenia). Istotne jest również to, by na tym etapie (koncepcji) przy identyfikacji kolejnych zagro-








Tab. 1. Wykaz istotnych zagrożeń i wyniki oceny ryzyka dla koncepcji maszyny (przykład - fragmenty)
Table 1. List of essential hazards and results of risk assessment for machine's conception (example-fragments)

Lp	Zagrożenia wg PN-EN 1050	Lokalizacja zagrożenia w maszynie	Ryzyko	Źródło wymagań		
				PN-EN ISO 12100-1	PN-EN ISO 12100-2	PN-EN ISO 4254-1
1.1	zgnieceniem	dyszel przyczepy w przypadku opadnięcia	istotne	4.2.1	4.2.1, 5.1-5.3	4.8, 4.14, 5.2, 6.2.3
		przestrzeń pomiędzy dźwigniami sterującymi	istotne	4.2.1	4.2.1, 5.1-5.3	4.3.3, 5.1.4
2	elektryczne	-	nie występuje	4.3	4.9, 5.5.4	
18	utruty stateczności	maszyna w pozycji roboczej	bardzo istotne	4.2.2	4.6, 5.2.6, 5.2.7	6.2



Rys. 1. Przebieg procesu modelowania bezpieczeństwa maszyny
 Fig. 1. Course of machine's safety modeling process



	Zagrożenia związane z agregowaniem
	Zagrożenia związane z ruchem drogowym
	Zagrożenie utraty stateczności
	Zagrożenia wynikające z niewłaściwego rozwiązania ergonomicznego – nadmierny wysiłek fizyczny
	Zagrożenia wynikające z niewłaściwego rozwiązania ergonomicznego – trudny dostęp
	Zagrożenie substancją szkodliwą (zatruciem i skażeniem)
	Zagrożenia wynikające z braku wystarczającej informacji

Rys. 2. Mapa zagrożeń podczas przemieszczania i transportu przykładowej maszyny (fragment)
 Fig. 2. Map of hazards during moving and transporting a demonstration machine (fragment)

Tab. 2. Cechy maszyny, istotne ze względu na bezpieczeństwo i ergonomię oraz niezbędne do zastosowania środków bezpieczeństwa (fragment)

Table 2. Features of machine essential on safety, ergonomics and indispensable safety means (fragment)

Lp	Cecha	Wymagane środki bezpieczeństwa
1	2	3
1.	Zabezpieczenie przed przypadkowym dostępem do ruchomych elementów układu napędowego	<p>Przede wszystkim stałe elementy konstrukcji maszyny (konstrukcja bezpieczna sama w sobie, tj. ruchome elementy zabudowane konstrukcją maszyny), np. przekładnie i wały napędowe w obudowach zamkniętych.</p> <p>Osłony i urządzenia zabezpieczające – w miejscach, gdzie jest niemożliwe zastosowanie konstrukcji bezpiecznej samej w sobie, np. osłony stałe przekładni, które nie posiadają obudów zamkniętych:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) osłony stałe i ruchome powinny spełniać wymagania PN-EN 953:1999, 2) osłony stałe być pewnie zamocowane w swoim położeniu, za pomocą łączników zabezpieczonych przed odpadnięciem po rozłączeniu, oraz powinno się je mocować i ustalać za pomocą narzędzi, 3) jeśli osłony muszą być zdejmowane, powinno się je zdejmować i wymieniać bez demontowania innych części; osłony te powinny być tak zaprojektowane, aby nie pozostawały w położeniu zamkniętym, jeśli nie są przymocowane, 4) osłona może być ażurowa (kratka lub siatka) – powinna być zgodna z PN-EN 294:1994 w zakresie minimalnych odległości bezpiecznych od części ruchomej, 5) przekładnie, obracające się wały, sprzęgła, łańcuchy rolkowe i koła do łańcuchów rolkowych, koła pasowe oraz wszystkie pozostałe elementy transmisyjne przenośników powinny być zabezpieczone osłonami stałymi
2.	Stateczność	Powinna być zapewniona dla przewidywanego rodzaju i nachylenia terenu oraz warunków użytkowania przez:
2.1	Stateczność w położeniu roboczym	<ol style="list-style-type: none"> 1) zastosowanie przyczepy wyposażonej min. w 1 podporę przednią oraz 2 podpory tylne, 2) stabilny rozkład mas poszczególnych zespołów (z uwzględnieniem masy nasion) i/lub zastosowanie w ich budowie odpowiednio wytrzymałych podpór lub wsporników <p>.....</p>
2.2	Stateczność w położeniu postojowym (np. podczas postoju, przechowywania, konserwacji, obsługi)	<p>Powinna być zapewniona na pochyleniu min. 8,5° w dowolnym kierunku, przez:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) zastosowanie przyczepy wyposażonej min. w 1 podporę przednią oraz 2 podpory tylne, 2) stabilny rozkład mas poszczególnych zespołów złożonych w przyczepie (z uwzględnieniem wytrzymałości ww. podpór i wsporników) <p>Podpory i ich elementy powinny być trwale mocowane do maszyny. Podpory mechaniczne powinny wytrzymywać obciążenie 1,5 x większe niż maks. obciążenie</p>
2.3	Stateczność w transporcie (w czasie jazdy i przemieszczania)	<p>Powinna być zapewniona przez:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) stabilny rozkład mas poszczególnych zespołów i części złożonych w przyczepie, 2) elementy mocujące te zespoły i części do przyczepy (zabezpieczenie przed przemieszczaniem w czasie jazdy), 3) właściwy (ze względu na obciążenia, kategorię pojazdu ciągnącego i prędkość) dobór zaczepu oraz ogumienia przyczepy
3.	Dostosowanie do fizycznych możliwości człowieka (dostęp)	<p>Usytuowanie stref i miejsc obsługi i regulacji na wysokości i w odległości umożliwiającej bezpieczny i wygodny dostęp z poziomu podłoża, zgodnie z wymiarami antropometrycznymi przeciętnej populacji ludzi, w tym:</p> <ul style="list-style-type: none"> - zasięg chwytu przedniego maks. 820 mm (odległość pozioma do dźwigni lub uchwytu), - zasięg chwytu do góry maks. 2105 mm, - przestrzeń dla ręki obejmującej uchwyt (dłoń w rękawicy ochronnej) powinna mieć szerokość min. 107 mm i wysokość min. 50 mm. <p>W przeciwnym przypadku będą konieczne środki dostępu wykonane zgodnie z normami serii PN-EN 14122</p>

zeń nie uwzględniać żadnych środków bezpieczeństwa (należy traktować maszynę tak, jakby nie miała żadnych osłon, zabezpieczeń itp.).

3.3. Określenie wymagań dotyczących bezpieczeństwa i ergonomii maszyny

Maszyna, będąca przedmiotem modelowania, charakteryzować się powinna parametrami i cechami, dotyczącymi bezpieczeństwa i ergonomii, odpowiadającymi standardom europejskim i międzynarodowym, w tym również dyrektywom Unii Europejskiej i prawnym przepisom krajowym. Maszyna – w zależności od swojego rodzaju, konstrukcji, sposobu zasilania oraz rodzaju zagrożeń, których może być źródłem – powinna spełnić całkowicie wymagania bezpieczeństwa m.in.:

- dyrektywy maszynowej UE 98/37/WE, wdrożonej do prawa polskiego rozporządzeniem Ministra Gospodarki Dz.U. nr 259 z 2005 r., poz. 2170;
- innych, mających zastosowanie do danej maszyny dyrektyw UE, np.: dyrektywy niskonapięciowej 73/23/EWG, wdrożonej do prawa polskiego rozporządzeniem Ministra Gospodarki Dz.U. nr 259 z 2005 r., poz. 2172; dyrektywy EMC 89/336/EWG, wdrożonej do prawa polskiego rozporządzeniem Ministra Transportu i Budownictwa Dz. U. Nr 265 z 2005 r., poz. 2227, dyrektywy hałasowej 2000/14/WE, wdrożonej do prawa polskiego rozporządzeniem Ministra Gospodarki Dz.U. nr 263/2005 poz.2202),
- norm zharmonizowanych z w.w. dyrektywami (w tym PN-EN ISO 12100-1:2005, PN-EN ISO 12100-2:2005, PN-EN 294:1994 itd.),
- innych norm, w tym europejskich i międzynarodowych:
- krajowych przepisów prawnych, dotyczących bezpieczeństwa i higieny pracy, ruchu drogowego, ochrony środowiska itp.

Właściwy i kompletny dobór źródeł wymagań oraz zastosowanie właściwych dla danej maszyny wymagań z tych źródeł wymaga dużej wiedzy i profesjonalności. Szczegółowe (już odpowiednio dobrane) źródła wymagań wygodnie jest zidentyfikować w zestawieniu zagrożeń (patrz wyżej tabl.1).

3.4. Określenie cech maszyny, istotnych ze względu na bezpieczeństwo i ergonomię oraz niezbędne do zastosowania środki bezpieczeństwa

Na podstawie przeprowadzonej analizy:

- przewidywanej budowy maszyny i sposobu jej użytkowania,
 - istotnych potencjalnych zagrożeń, które mogą wystąpić w maszynie oraz oceny ryzyka,
 - treści wymagań norm i przepisów mających zastosowanie,
 - najczęściej występujących niezgodności podobnych maszyn z wymaganiami bezpieczeństwa,
- ustalić należy najistotniejsze cechy, na które należy szczególnie zwrócić uwagę przy projektowaniu i wykonaniu prototypu maszyny.

Cechom tym następnie należy przypisać odpowiednie, wymagane środki bezpieczeństwa (ochronne), które z kolei należy przewidzieć na etapie projektowania, w celu ich zastosowania w maszynie, ze względu na stwierdzone ryzyko, związane z zagrożeniami.

Wyniki analizy i ustaleń przedstawić można np. tabelarycznie (przykład dla maszyny rolniczej - tab. 2).

4. Podsumowanie i wnioski

W opracowaniu niniejszym sformułowano teoretyczne podstawy modelowania bezpieczeństwa maszyny na etapie koncepcji, a następnie przedstawiono praktyczne zasady budowy i analizy modelu bezpieczeństwa.

Określono:

- ogólne kategorie potencjalnych zagrożeń, związanych z eksploatacją maszyny, sposób identyfikacji szczególnych zagrożeń oraz przeprowadzania wstępnej oceny ryzyka i zasady jego zmniejszania,
- źródła wymagań, dotyczących ergonomii i bezpieczeństwa eksploatacji maszyny i sposób korzystania z tych źródeł,
- zasady wyboru cech maszyny, istotnych ze względu na ergonomię i bezpieczeństwo eksploatacji przyszłej maszyny rzeczywistej,
- zasady stosowania niezbędnych środków bezpieczeństwa.

Model bezpieczeństwa maszyny, wykorzystany powinien być w następnej fazie tworzenia wyrobu (w fazie projektowania i budowy prototypu). Będzie on podstawą takiego zaprojektowania i wykonania poszczególnych zespołów i całej maszyny, aby w sposób maksymalnie możliwy ograniczone zostało ryzyko, związane z późniejszą eksploatacją maszyny rzeczywistej (możliwe będzie uwzględnienie w projekcie właściwych rozwiązań oraz dokonanie niezbędnych korekt zakładanych parametrów maszyny jeszcze przed budową prototypu).

Model bezpieczeństwa maszyny, przedstawiony w niniejszym opracowaniu oraz skuteczność jego wdrożenia w projekcie i prototypie maszyny, powinny być zweryfikowane poprzez badania zgodności z wymaganiami bezpieczeństwa ergonomii, przeprowadzone na modelu rzeczywistym maszyny (prototypie) wraz z ponowną oceną ryzyka.

5. Literatura

- [1] Brandowski A.: Koncepcja nauki o bezpieczeństwie. Zagadnienia Eksploatacji Maszyn nr 4 (93). PWN, Warszawa, 1993
- [2] Dąbrowski Z., Radkowski S.: Zagadnienia bezpieczeństwa w konstruowaniu. Materiały Seminarium Naukowego nt. Bezpieczeństwa Systemów, Kiekrz 17 - 20.V.1994, tom 1, s. 93 - 100
- [3] Maleszka A.: Statystyczne sterowanie jakością - część II. ABC Jakości. Akredytacja - Badania - Certyfikacja. Quality Review nr 4 (16). PCBC, Warszawa, 1998, s. 52 - 58
- [4] Pietrzak L.: Przegląd wybranych metod analizy ryzyka. Bezpieczeństwo Pracy nr 11/98, Centralny Instytut Ochrony Pracy, Warszawa, 1998, s. 7 - 10
- [5] Dz.U. nr 166/2002 poz.1360 Ustawa z dnia 30 sierpnia 2002 r. o systemie oceny zgodności, zmieniona ustawą Dz. U. nr 170/2003 poz.1652
- [6] Dz.U. nr 259/2005 poz.2170 Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 20 grudnia 2005 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla maszyn i elementów bezpieczeństwa
- [7] Dz.U. nr 259/2005 poz.2172 Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 15 grudnia 2005r w sprawie zasadniczych wymagań dla sprzętu elektrycznego

- [8] Dz.U. nr 263/2005 poz.2202 Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21 grudnia 2005r. w sprawie zasadniczych wymagań dla urządzeń używanych na zewnątrz pomieszczeń w zakresie emisji hałasu do środowiska, zmienione rozporządzeniem Dz.U. nr 32/2006 poz.223
- [9] Dz. U. Nr 265/2005 poz. 2227 Rozporządzenie Ministra Transportu i Budownictwa z dnia 27 grudnia 2005 r., w sprawie dokonywania oceny zgodności aparatury z zasadniczymi wymaganiami dotyczącymi kompatybilności elektromagnetycznej oraz sposobu jej oznakowania
- [10] 98/37/WE Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 22 czerwca 1998 r. w sprawie zbliżenia praw państw członkowskich, dotyczących maszyn, zmieniona dyrektywą 98/79/WE (dyrektywa „maszynowa”)
- [11] 73/23/EWG Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 19 lutego 1973 r. w sprawie ujednoczenia przepisów prawnych państw członkowskich, dotyczących urządzeń elektrycznych przeznaczonych do użycia w określonych przedziałach napięć, zmieniona dyrektywą 93/68/EWG (dyrektywa „niskonapięciowa”)
- [12] 89/336/EWG Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 3 maja 1989 r., w sprawie dostosowania przepisów państw członkowskich odnośnie kompatybilności elektromagnetycznej, zmieniona dyrektywami 91/263/EWG, 92/31/EWG i 93/68/EWG (dyrektywa „EMC”)
- [13] 2000/14/WE Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 8 maja 2000 r. o zbliżeniu przepisów prawnych Państw Członkowskich dotyczących emisji hałasu do otoczenia przez urządzenia używane na zewnątrz pomieszczeń, zmieniona dyrektywą 2005/88/WE (dyrektywa „hałasowa”)
- [14] PN-EN 294:1994 Safety of machinery – Safety distances to prevent danger zones being reached by the upper limbs
- [15] PN-EN 1050:1999 Safety of machinery – Principles for risk assessment
- [16] PN-EN 1070:2003 Safety of machinery – Terminology
- [17] PN-EN ISO 12100-1: 2005 Safety of machinery – Basic concepts, general principles for dressing – Part 1: Basic terminology, methodology
- [18] PN-EN ISO 12100-2: 2005 Safety of machinery – Basic concepts, general principles for dressing – Part 2: Technical principles
- [19] PN-EN ISO 4254-1:2006(U) Agricultural machinery – Safety - Part 1: General requirements.