

**Teodor Winkler
Dariusz Michalak**



BADANIE TECHNOLOGICZNOŚCI MASZYN GÓRNICZYCH W ASPEKCIE ICH MONTAŻU

**Prace Naukowe - Monografie
CMG KOMAG**



Gliwice 2008

Teodor WINKLER
Dariusz MICHALAK

BADANIE TECHNOLOGICZNOŚCI MASZYN GÓRNICZYCH W ASPEKCIE ICH MONTAŻU

ISBN 978-83-60708-19-4

Wydawca:
Centrum Mechanizacji Górniczej KOMAG
ul. Próchnika 37, 44-101 Gliwice

Autorzy:

prof.dr hab.inż. Teodor Winkler – Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG
dr inż. Dariusz Michalak – Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG

Komitety redakcyjny:

prof. dr hab. inż. Adam Klich
prof. dr hab. inż. Zdzisław Kłeczek
prof. dr inż. Włodzimierz Sikora

Recenzenci:

prof.dr hab.inż. Józef Matuszek – Akademia Techniczno-Humanistyczna
– Bielsko-Biała
prof.dr hab.inż. Jerzy Świder – Politechnika Śląska

Sekretarz redakcji:

mgr inż. Romana Zając

Copyright by
Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG, Gliwice

**Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach
2005-2007, jako projekt badawczy nr 4T 12A 06529**

ISBN 978-83-60708-19-4

Wydawca:

*Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG
ul. Pszczyńska 37, 44-101 Gliwice*

SPIS TREŚCI

	str.
1. Wprowadzenie	1
1.1. Pojęcie technologiczności w aspekcie montażu	1
1.2. Technologiczność w aspekcie montażu w procesie projektowania	4
2. Operacje montażowe w cyklu życia maszyny górniczej	11
2.1. Czynniki wpływające na kształtowanie technologiczności	11
2.1.1. Czynniki naturalne wpływające na kształtowanie technologiczności	11
2.1.2. Czynniki organizacyjne wpływające na kształtowanie technologiczności	16
2.2. Operacje montażowe w wytwórni	20
2.3. Operacje montażowe w warunkach kopalnianych	24
3. Opis metody badania technologiczności montażu maszyn górniczych	29
3.1. Założenia metody badania technologiczności maszyn górniczych w aspekcie montażu	30
3.2. Badanie technologiczności w trybie partycypacyjnym ...	33
3.3. Wirtualne prototypowanie procesów montażu	38
3.3.1. Tworzenie wirtualnego środowiska pracy	38
3.3.1.1. Modele obiektów materialnych	38
3.3.1.2. Modele cech antropometrycznych	42
3.3.2. Kryteria stosowane w wirtualnym prototypowaniu operacji montażu i demontażu	44
4. Implementacja metody badania technologiczności montażu w środowisku internetowym	48
4.1. Opis narzędzi wspomagających badanie technologiczności montażu maszyn górniczych	48
4.1.1. Interaktywne symulacje montażu i demontażu	54

4.1.2. Aplikacja – Assembly Guideline	62
4.1.3. Aplikacja – Assembly Designer	64
4.1.4. Aplikacja – Assembly Participant	66
4.2. Udostępnianie na platformie internetowej narzędzi wspomagających badanie technologiczności montażu	69
4.2.1. Integracja na platformie internetowej narzędzi wspomagających badanie technologiczności montażu	69
4.2.2. Wpływ uwarunkowań i ograniczeń technologii internetowej na stosowanie partycypacyjnego trybu badania technologiczności	71
5. Weryfikacja metody badania technologiczności maszyn górnich w aspekcie montażu	73
5.1. Scenariusze kształtowania technologiczności w trybie partycypacyjnym	73
5.2. Przebieg weryfikacji metody	74
6. Wnioski	81
Literatura	83

1. Wprowadzenie

1.1. Pojęcie technologiczności w aspekcie montażu

Potrzeba badania technologiczności maszyn górniczych w aspekcie ich montażu wynika z przejścia w metodologii projektowania od doboru cech konstrukcyjnych pojedynczych elementów, do planowania ich cyklu życia. Zwraca to uwagę na procesy montażu poza wytwórnią.

W odniesieniu do maszyn górniczych potrzeba badań technologiczności maszyn w aspekcie ich montażu wynika z następujących faktów:

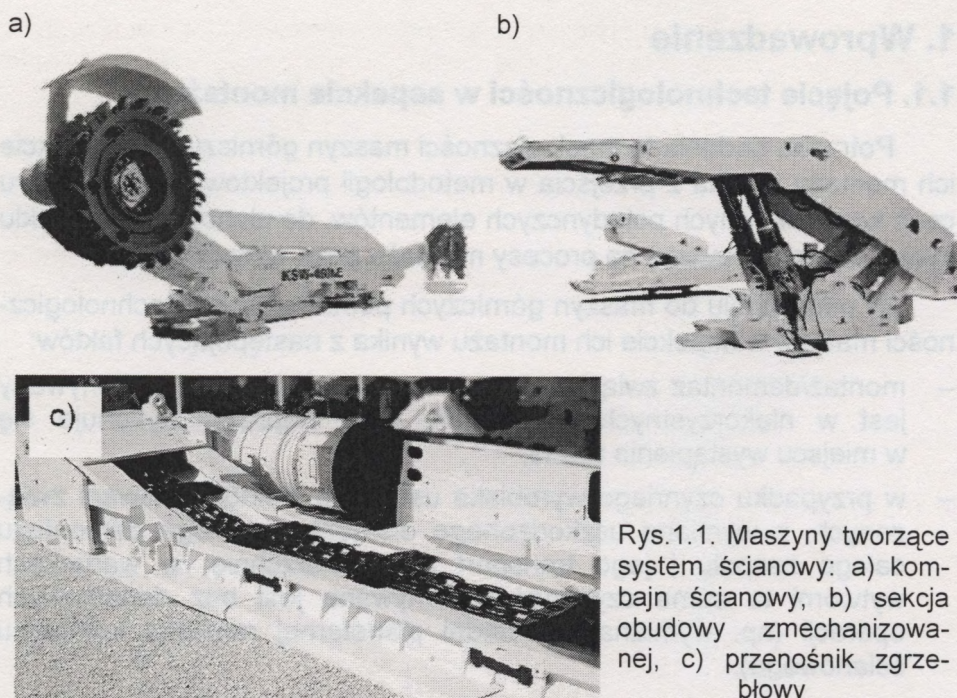
- montaż/demontaż związany z naprawami serwisowymi wykonywany jest w niekorzystnych warunkach, gdyż naprawy wykonuje się w miejscu wystąpienia awarii,
- w przypadku czynnego wyrobiska usunięcie niektórych awarii związanych, z wymianą uszkodzonego elementu, wymaga demontażu całego zespołu i jego transport na powierzchnię; w warunkach wytwórni ta sama czynność wykonywana jest bez dodatkowych operacji (np. wymiana przekładni planetarnej ramienia kombajnu ścianowego).

Obserwacje procesów montażowych przebiegających w wytwórniach i w kopalniach zwracają uwagę na zasadniczą odmiennąść tych dwóch procesów. Fakt ten nie jest dostatecznie uwzględniany w projektowaniu maszyn górniczych. Odzworowanie operacji montażowych w wirtualnym środowisku pracy pozwoli na uwzględnienie rzeczywistych warunków montażu już we wczesnych fazach projektowania.

Przedmiotem badań prowadzonych w pracy są górnicze systemy ścianowe. Maszyny tworzące system ścianowy pokazano na rysunku 1.1. Kombajn ścianowy w połączeniu z obudową zmechanizowaną tworzy podstawowy zespół kompleksu wydobywczego. We wszystkich ścianach wydobywczych stosowane są obudowy zmechanizowane, odpowiednio dobrane do warunków górniczo-geologicznych. Transport urobku odbywa się za pomocą przenośników zgrzebłowych oraz taśmowych.

Główne maszyny systemów ścianowych bezpośrednio kształtują środowisko pracy.

Specyfika maszyn górniczych wchodzących w skład systemu ścianowego, wynika z faktu, że ich montaż końcowy wykonywany jest pod ziemią. Ponadto ze względu na metody eksploatacji złóż węgla, maszyny te są okresowo demontowane i ponownie montowane, w miarę jak wyczerpywane są jedne pokłady i udostępniane są następne. Na rysunku 1.2 przedstawiono cykl życia maszyny górniczej.



Rys.1.1. Maszyny tworzące system ścianowy: a) kombajn ścianowy, b) sekcja obudowy zmechanizowanej, c) przenośnik zgrzeblowy



Rys.1.2. Fazy cyklu życia maszyny górniczej

Metoda opracowana w ramach pracy zostanie przedstawiona na przykładzie kombajnu ścianowego. Na wybór do badań szczegółowych kombajnu ścianowego miały wpływ następujące czynniki:

- jest to maszyna decydująca o wydobyciu węgla, stąd jej duży wpływ na uzyskiwane przez zakład górniczy wyniki ekonomiczne,
- sprawnie przeprowadzony montaż/demontaż skraca czasy przestoju w przypadku awarii i czas przygotowania frontu robót w przypadku zmiany wyrobiska,
- jest to maszyna o wysokim stopniu złożoności, wyrażającym się współdziałaniem 5 podsystemów, w związku z tym maszyna ta jest reprezentatywna z punktu widzenia zakresu wykonywanych operacji montażu/demontażu,
- kombajn ścianowy jest częścią systemu ścianowego, w skład którego wchodzi ponadto obudowa zmechanizowana i przenośnik zgrzeblowy; stąd też przestrzeń pracy, w której przebiegają operacje

montażu/demontażu utworzona jest przez górotwór i maszyny współpracujące z kombajnem ścianowym; wymusza to uwzględnienie w badaniach wszystkich maszyn współpracujących.

Montaż przeprowadzany w warunkach fabrycznych różni się znacznie od montażu pod ziemią. W wytwórni panują względnie stałe warunki dotyczące wymiarów dostępnej przestrzeni, temperatury, wilgotności, ciśnienia i oświetlenia. Czynności montażowe w wytwórni wspomagane są przez narzędzia specjalne, przyrządy i maszyny, a w szczególności dźwignice: wciągniki, suwnice, żurawie, wózki widłowe. Żaden z tych warunków nie jest dotrzymany w kopalni. Ciasne przestrzenie, nierówne i śliskie podłoże, słabe oświetlenie, wysoka temperatura i wymuszone prądy powietrza charakteryzują środowisko pracy w kopalni. Również wspomaganie prac montażowych jest ograniczone i są one wykonywane w przeważającej mierze ręcznie. Z uwagi na warunki górniczo-geologiczne ta sama maszyna w tej samej kopalni może być montowana i demontowana w różnych warunkach. W decydującym stopniu przyczyniają się do tego wielkość przestrzeni roboczej i nachylenie podłoża.

Technologiczność maszyny jest to własność nadawana podczas procesu konstrukcyjnego poprzez dobór cech konstrukcyjnych. Dobór cech konstrukcyjnych oparty jest na wiedzy projektowej i eksploatacyjnej. Technologiczność maszyn górniczych w aspekcie montażu w głównej mierze odnosi się do fazy eksploatacji, zaś kształtowana jest w fazie projektowej.

Te dwa rodzaje wiedzy są domeną dwóch grup specjalistów: konstruktorów (częściowo również technologów w wytwórni), użytkowników maszyny w kopalniach. Kształtowanie technologiczności należy zatem oprzeć na tych dwóch rodzajach wiedzy. Jest to możliwe poprzez zastosowanie partycypacyjnego trybu projektowania. Formą komunikacji pomiędzy projektantem i użytkownikiem jest wirtualne prototypowanie operacji montażu/demontażu w różnych fazach cyklu życia maszyn górniczych.

Technologiczność konstrukcji definiuje się jako właściwość konstrukcji zapewniającą uzyskanie, przy określonej wielkości produkcji, wymaganych właściwości wyrobu, przy minimalnych kosztach wytwarzania w danych określonych warunkach produkcji [28]. Technologiczność konstrukcji to miara przystosowania konstrukcji wyrobów do optymalnych, produkcyjno-technologicznych warunków jego wytwarzania [32]. Wyrób technologiczny to taki wyrób, który osiąga cechy powodujące, że proces wytwarzania jego elementów składowych i montażu w określonych warunkach przebiega w sposób ekonomiczny.

Technologiczność określa się także jako:

- podatność na procesy wytwarzania [10],
- możliwość wykonania środka technicznego w zidentyfikowanych warunkach wytwórczych oraz w pożądanym czasie [27],
- konstrukcję maszyny można nazwać technologiczną jeżeli spełniając podstawowe postulaty dotyczące pracy maszyny (wydajność, funkcjonalność, ekonomiczność pracy itp.), równocześnie spełnia wymagania dotyczące jej wykonania (łatwość i niski koszt wytwarzania przy ustalonej wielkości produkcji, dobór najodpowiedniejszych materiałów itp.) oraz jej użytkowania (niezawodność, trwałość, łatwa naprawialność, łatwa obsługa itp.) [32].

Jednym z kryteriów oceny konstrukcji maszyn jest technologiczność w odniesieniu do procesu montażu. Technologiczność maszyn w aspekcie montażu definiuje się jako technologiczność konstrukcji z punktu widzenia montażu [9]. W przypadku montażu wykonywanego w warunkach hali fabrycznej istotnym czynnikiem jest optymalizacja kolejności montażu, wpływa to na skrócenie czasu koniecznego do przeprowadzenia tych operacji [69, 70]. Z pojęciem technologiczności w aspekcie montażu blisko związane jest pojęcie naprawialności (ang. maintainability). Pojęcie *Maintainability* definiuje się jako: właściwość charakteryzująca przystosowanie do wykonywania napraw w określonych warunkach eksploatacji, z wykorzystaniem odpowiednich metod, procedur i narzędzi [37]. W literaturze fachowej zagadnienia montażu/demontażu często rozpatrywane są na tle pojęcia naprawialności.

1.2. Technologiczność w aspekcie montażu w procesie projektowania

W źródłach literaturowych znajdujemy szereg wytycznych i uwag z zakresu technologiczności [32, 9, 22, 28]:

- konstrukcji odlewów,
- konstrukcji elementów obrabianych plastycznie,
- konstrukcji elementów łączonych nierozłącznie,
- części otrzymywanych metodami skrawania,
- części z tworzyw sztucznych,
- części obrabianych cieplnie,
- konstrukcji maszyn z punktu widzenia montażu,
- konstrukcji maszyn ze względu na ich eksploatację.

W literaturze fachowej można znaleźć szczegółowe wytyczne dotyczące właściwego kształtowania środków technicznych. Podstawowe zasady technologiczności montażu dotyczą:

- zespołowości,
- unifikacji elementów konstrukcyjnych,
- minimalizacji liczby części,
- baz montażowych,
- samonastawności,
- eliminowania odkształceń elementów przy ich montażu/demontażu,
- eliminowania możliwości błędnego montażu.

Zasada zespołowości – zastosowanie zasady zespołowości umożliwia równoległy i niezależny montaż zespołów maszyny, co upraszcza montaż końcowy, przyspiesza doprowadzenie maszyny do pełnej sprawności, ułatwia wykorzystanie w nowych maszynach konstrukcji, które zostały sprawdzone w użytkowaniu. Poza tym czynności remontowe ulegają znacznemu uproszczeniu, gdy możliwa jest wymiana całych uszkodzonych zespołów na nowe. W przypadku maszyn górniczych ma to szczególne znaczenie, zarówno z uwagi na możliwość szybkiego usunięcia awarii, poprzez wymianę uszkodzonego zespołu maszyny, ale także z uwagi na szczególne warunki pracy panujące w podziemiach kopalń. Wymiana lub naprawa drobnych elementów wymagająca zachowania z jednej strony wymogów czystości i dostępności do specjalistycznych narzędzi, z drugiej zaś strony miejsce wykonywania czynności obwarowane jest szeregiem zakazów i nakazów, są charakterystyczne dla prac prowadzonych pod ziemią.

Unifikacja elementów konstrukcyjnych – należy starać się w jak największym stopniu unifikować części maszyn. Jest to szczególnie ważne w przypadku elementów pracochłonnych i wielokrotnie powtarzających się (koła zębate, sprzęgła, ogniwa łańcuchów itp.) [11]. Stosowanie elementów powtarzalnych jest uzasadnione z punktu widzenia przygotowania produkcji, wykonanie większych serii zmniejsza koszty przygotowania. Unifikacji podlegają także wymiary: połączeń osadczych, gwintów, połączeń wielowypustowych, elementy złączne. Celowe jest zmniejszenie asortymentu materiałów, unifikowanie klas chropowatości powierzchni, rodzajów spawania, kształtów spoiny i innych. Zagadnienia montażu analizowane są także w aspekcie organizacji produkcji [35]. Obecnie obserwuje się jednak w przypadku maszyn o szczególnym przeznaczeniu, takich jak maszyny górnicze, zmodyfikowane podejście do tego zagadnienia. Stosuje bowiem tę zasadę lokalnie w ramach jednego zakładu wytwórczego. U podstaw takiego postępowania leży założenie, że w maszynie mogą być zastosowane elementy dostarczone tylko przez wytwórcę. Ma to na celu zagwarantowanie pełnej funkcjonalności maszyny, wiąże się jednak ze wzrostem kosztów obsługi.

Zasada minimalizacji liczby części – należy dążyć do jak największego uproszczenia konstrukcji i wyeliminowania elementów zbędnych. Efektem tego podejścia jest najczęściej uzyskanie konstrukcji bardziej zwartej. Zmniejszenie ilości elementów w połączeniu z zasadą zespołowości pozwala zmniejszyć pracochłonność wykonywanych operacji montażu/demontażu, co w przypadku operacji związanych z usuwaniem awarii ma bezpośredni wpływ na czas przestojów z tym związanych.

Zasada baz montażowych – położenie montowanych elementów powinno być jednoznacznie określone bazami montażowymi. Niedopuszczalne są wątpliwości, pozwalające monterowi na ustalenie części według swojego uznania. Aby uniknąć tego typu problemów stosuje się bazowanie na powierzchniach: walcowych (tzw. centrowanie na cylindrycznych elementach powierzchni), płaskich (należy unikać mocowania na powierzchniach kształtowych).

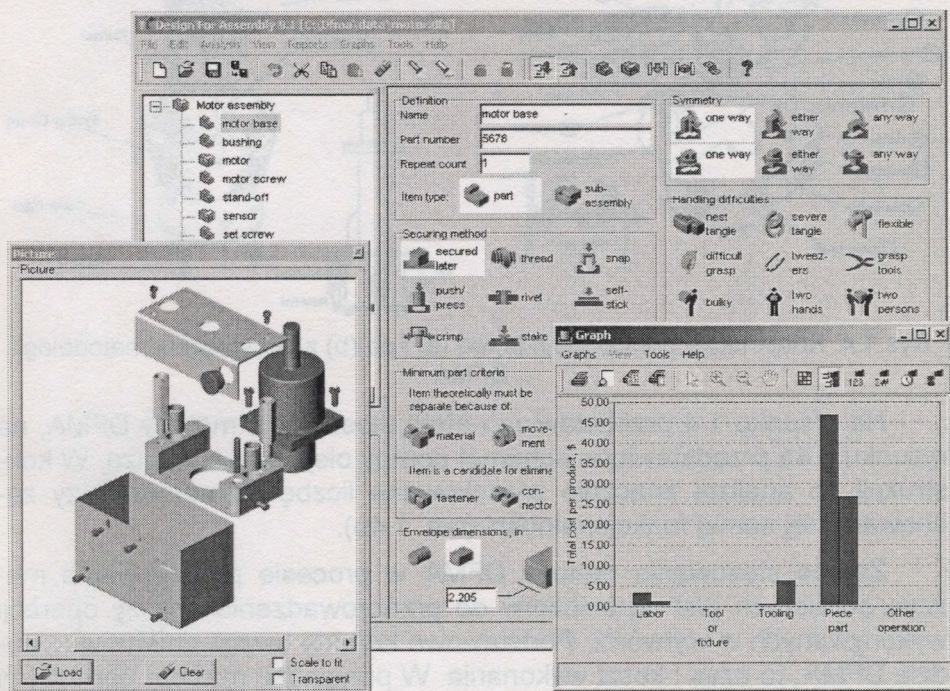
Zasada samonastawności – montaż może być znacznie ułatwiony przez zastosowanie samonastawnych połączeń ruchowych. Spełnianie tej zasady umożliwia prawidłową pracę elementów, mimo pewnych niedokładności ich wykonania i montażu. Zasada samonastawności jest powszechnie stosowana w przypadku konstrukcji łożysk wałów. Samoustawność jest szczególnie ważna w przypadku łożysk ślizgowych o dużym stosunku długości do średnicy, stosuje się wtedy panwie wahliwe osadzone w kulistych gniazdach.

Eliminowanie odkształceń elementów przy ich montażu/demontażu – na skutek błędnej konstrukcji niektóre elementy mogą odkształcać się przy ich napinaniu, powodując wadliwą pracę mechanizmów. Najczęściej dochodzi do odkształceń w przypadku różnego rodzaju pokryw ochronnych czy dociskowych łączonych za pomocą śrub. W uzasadnionych przypadkach celowo wywołuje się odkształcenia celem zwiększenia sztywności i trwałości zamocowania. Na zagadnienie naprężeń montażowych powinno się szczególnie zwrócić uwagę w przypadku maszyn górniczych o dużej masie i gabarytach. Przy mocowaniu elementów o znacznych gabarytach nieprawidłowe ukształtowanie konstrukcji może stanowić zagrożenie dla obsługi.

Eliminowanie możliwości błędnego montażu – montowane elementy powinny być tak skonstruowane, aby nie było możliwości złożenia ich w nieprawidłowy sposób. Nie należy tutaj polegać na instrukcjach, znakach umownych czy odpowiednich ostrzeżeniach. Części o kluczowym znaczeniu dla działania maszyny powinny bezwarunkowo spełniać to założenie. Staje się to ważne w przypadku, gdy czynności montażu wykonywane są w skrajnie do tego nie przystosowanych warunkach, jakimi są podziemia kopalń. W sytuacji awaryjnej, gdy osoba wykonująca czyn-

ności montażu, znajduje się pod presją czasu, często jedynym sposobem uniknięcia pomyłki jest fizyczne uniemożliwienie dokonania wadliwego montażu poprzez odpowiednie ukształtowanie konstrukcji.

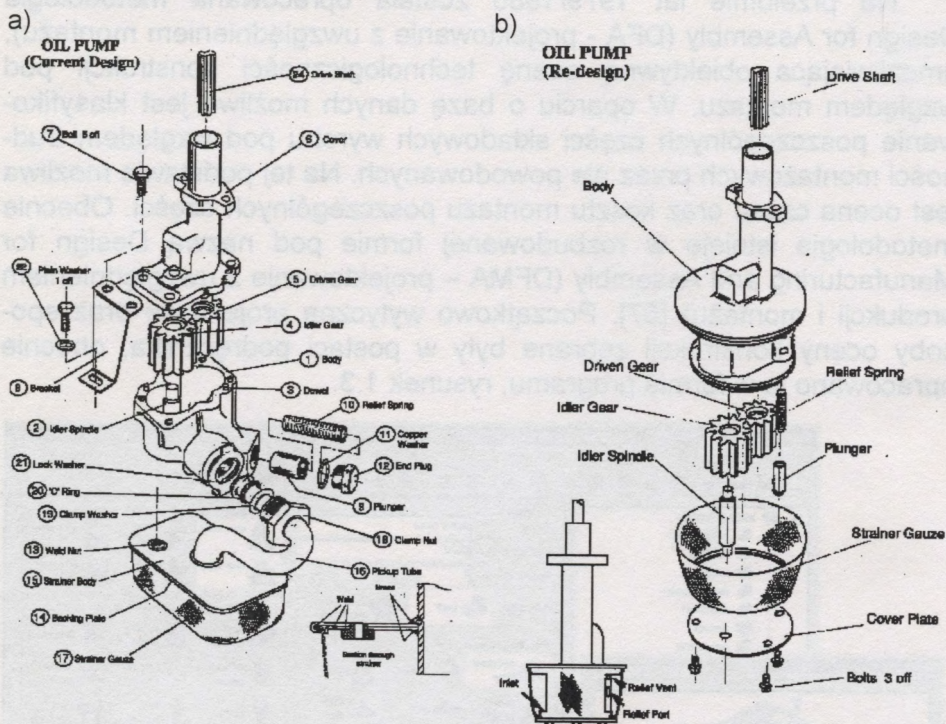
Na przełomie lat 1979/1980 została opracowana metodologia Design for Assembly (DFA - projektowanie z uwzględnieniem montażu), umożliwiającą obiektywną ocenę technologiczności konstrukcji pod względem montażu. W oparciu o bazę danych możliwe jest klasyfikowanie poszczególnych części składowych wyrobu pod względem trudności montażowych przez nie powodowanych. Na tej podstawie możliwa jest ocena czasu oraz kosztu montażu poszczególnych części. Obecnie metodologia istnieje w rozbudowanej formie pod nazwą Design for Manufacturing and Assembly (DFMA – projektowanie z uwzględnieniem produkcji i montażu) [57]. Początkowo wytyczne projektowe oraz sposoby oceny konstrukcji zebrane były w postaci podręcznika, obecnie opracowano je w formie programu, rysunek 1.3.



Rys.1.3. Ekran roboczy programu Design For Assembly 9.1

W programie *Design For Assembly* na podstawie dialogu prowadzonego z użytkownikiem – konstruktorem, określa się fazy procesu montażu/wytwarzania wymagające największego nakładu kosztów i czasu. Na tej podstawie projektant poprzez odpowiednie zmiany w ukształtowaniu zespołów maszyny i doborze środków montażu, wpływa na tech-

nologiczność w aspekcie montażu. Do wymiernych efektów stosowania metody należy najczęściej zmniejszenie liczby elementów składowych konstrukcji, (rys. 1.4), a przez to skrócenie czasu wytwarzania i montażu, oraz zmniejszenie kosztów.



Rys.1.4. Konstrukcja pompy oleju przed (a) i po (b) zastosowaniu metodologii DFMA

Na rysunku 1.4 przedstawiono efekt stosowania metody DFMA, na rysunku 1.4a przedstawiono schemat pompy oleju przed analizą. W konstrukcji po analizie znacznie zredukowano liczbę elementów przy zachowaniu tej samej funkcjonalności (rys. 1.4b).

Zakres stosowania metody DFMA w procesie projektowania maszyn górniczych jest ograniczony do przeprowadzenia analizy operacji wykonywanych w wytwórni. Podstawowe kryteria uwzględniane w metodzie DFMA, to czas i koszt wykonania. W przypadku maszyn górniczych należy uwzględnić również bezpieczeństwo pracy oraz awaryjność. Na ocenę poszczególnych parametrów funkcjonalnych maszyn wpływają nie tylko czynniki związane bezpośrednio z konstrukcją, ale także szereg wytycznych wynikających z uwarunkowań prawnych, związanych ze specyfiką pracy w atmosferach zagrożonych wybuchem, oraz ograniczenia związane z miejscem pracy (ograniczone możliwości kształtowania środowiska pracy na potrzeby montażu).

Jak już wspomniano górnicze maszyny wydobywcze są wielokrotnie w swoim cyklu życia montowane i demontowane. Pracochłonność tych operacji wpływa na czas przestoju maszyny. Ze względu na zmniejszenie pracochłonności montażu zdefiniowano następujące reguły [32, 28]:

- *eliminowanie dopasowania przez odpowiednie kształtowanie części* – dopasowywanie, szczególnie połączone z koniecznością wykonywania operacji obróbki, zmniejsza wydajność i uniemożliwia stosowanie zasady zamienności,
- *uwzględnienie w konstrukcji możliwości stosowania przyrządów i narzędzi montażowych* – w zależności od rodzaju montażu (maszynowy, ręczny) oraz przedmiotu montażu (elementy podłużne, ciężkie, wielkogabarytowe) stosuje się różnego rodzaju elementy pomocnicze. Ciężkie korpusy maszyn wały itd., należy zaopatrywać w czopty, nosy, otwory na haki. Rozmieszczenie punktów zawieszenia zależy od położenia środka ciężkości. Do montażu elementów montowanych na wcisk należy przewidzieć stosowanie odpowiednich przyrządów. Współczesne systemy CAD wspomagają analizy technologiczności projektowanych maszyn i ich części; na przykład analizę minimalnego promienia krzywizny obrabianej powierzchni, czy analizę pochyłości technologicznych ścian odlewu [33, 25]. W zakresie wspomagania ogólnie rozumianej technologiczności konstrukcji istnieją aplikacje specjalistyczne, a także moduły tematyczne, funkcjonujące w ramach złożonych systemów CAD. W tabeli 1.1 przedstawiono możliwości wybranych systemów CAD w zakresie kształtowania technologiczności.

Ciekawym rozwiązaniem w zakresie wspomagania konstruktora w analizie operacji montażu/demontażu jest oprogramowanie Atroid. Zbiór zasad i reguł zawartych w tym środowisku programowym dotyczy nie tylko samych operacji montażu/demontażu, ale także pozwala już na etapie projektowania uwzględniać ostatni etap życia maszyny, jakim jest utylizacja [39].

Przedstawione wytyczne kształtowania technologiczności w aspekcie montażu głównie odnoszą się do operacji montażu wykonywanych w wytwórniach, na odpowiednio przygotowanych stanowiskach.

W literaturze przedmiotu brak jest opracowań na temat kształtowania technologiczności maszyn górniczych z uwzględnieniem ich montażu i demontażu w podziemiach kopalń. Brak jest także metod kształtowania technologiczności, które pozwoliłyby na aktywną współpracę specjalistów z różnych faz życia maszyny. Zalecane wytyczne kształtowania technologiczności są wynikiem doświadczeń zebranych w trakcie montażu w wytwórniach. Nie były prowadzone systematyczne badania warunków, w jakich przebiega montaż w kopalniach.

Możliwości wspomagania kształtowania technologiczności konstrukcji w środowisku CAD

Tabela 1.1

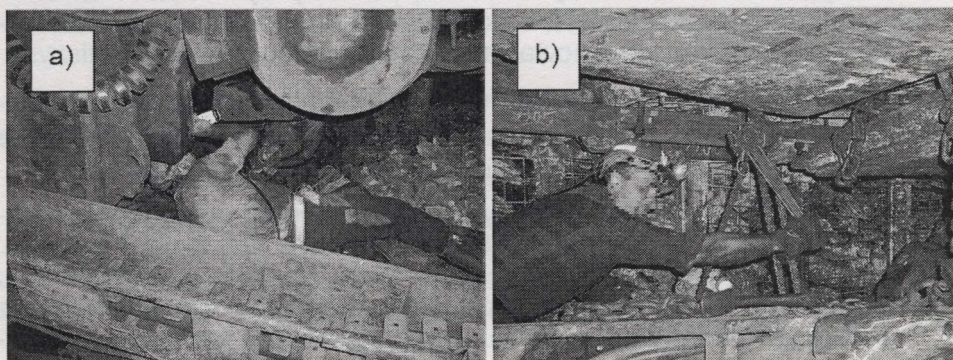
Nazwa	Technologiczność w aspekcie montażu	Technologiczność konstrukcji
SolidWorks [63]		Solid Edge Xpress Route (automatyzacja procesu modelowania instalacji hydraulicznych) Solid Edge Mold Tooling (dostęp do części znormalizowanych do dokładnego konstruowania matryc i stempli) Solid Edge Sheet Metal (zaawansowane możliwości rozwijania konstrukcji blaszanych)
Autodesk Inventor [62]		Przewody i instalacje rurowe (wykonywanie instalacji poprzez automatyczne wstawianie kształtek oraz rur wzdłuż wyznaczonej ścieżki) Kable i wiązki elektryczne (automatyczne wykonywanie wiązek elektrycznych między odpowiednio wcześniej zdefiniowanymi punktami konstrukcji) Konstrukcje blaszane (automatycznie określanie parametrów gięcia w oparciu o zdefiniowany materiał i grubość) Design Accelerator (poradnik inżyniera, kreatory obliczeń mechanicznych, generatory części maszynowych)
CATIA [67]	CATIA Assembly Design (ocena wykonalności montażu pod względem kolizyjności i podziału na podzespoły) CATIA Tolerance Analysis of Deformable Assembly (ocena wpływu wybranej technologii wytwarzania na tolerancje wymiarów części blaszanych)	CATIA Core and Cavity Design (kształtowanie elementów przeznaczonych do odlewania) CATIA Sheetmetal Design (weryfikacja wykonalności elementów blaszanych na podstawie dostępnych w programie technologii wytwarzania i obróbki) CATIA Plant Layout (rozmieszczanie elementów w środowisku pracy) DELMIA Machine Tool Path Simulation (pakiet modułów umożliwiający symulację obróbki mechanicznej)
I-DEAS [64]	I-DEAS Assembly (tworzenie złożów i manipulacja na nich) I-DEAS Tolerance Analysis (oszacowanie wartości tolerancji wymiarów zespołu, celem eliminacji kolizji elementów podczas montażu)	I-DEAS Part Adviser (konstruowanie form wtryskowych) I-DEAS Manufacturing (planowanie procesów obróbkowych)
<i>inne</i>	DFA (programowa aplikacja metody Design For Assembly)[57] Atroid (narzędzie do oceny demontażu z naciskiem na utylizację obiektu)[55]	

2. Operacje montażowe w cyklu życia maszyny górniczej

2.1. Czynniki wpływające na kształtowanie technologiczności

2.1.1. Czynniki naturalne wpływające na kształtowanie technologiczności

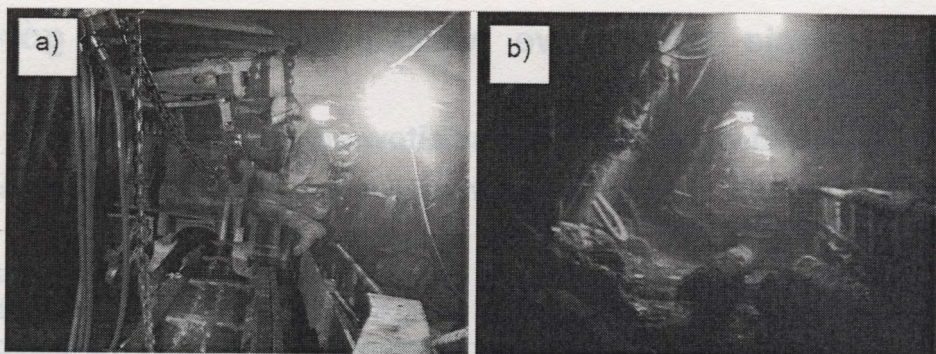
W procesie technologicznym budowy maszyn pierwszy montaż obiektu odbywa się w wytwórni, w specjalnie do tego przygotowanych warunkach. Warunki panujące w podziemiach kopalń różnią się znacznie od warunków panujących na powierzchni, co powoduje, że prace manualne wykonywane są w wymuszonych pozycjach ciała wynikających z ograniczonej przestrzeni pracy (rys. 2.1a i b).



Rys.2.1. Ograniczenia przestrzeni pracy

Czynniki wpływające na kształtowanie technologiczności dzielą się na dwie grupy: techniczne i naturalne. Czynniki technicznymi są:

- przestrzeń, w której wykonuje się operacje montażu/demontażu, ograniczenie to uwarunkowane jest grubością pokładu węgla,
- warunki klimatyczne: wysoka wilgotność i temperatura,
- pył węglowy,
- różny od powierzchniowego skład atmosfery stwarza zagrożenie dla zdrowia ludzi (tlenek węgla, tlenki azotu, związki siarki), może powodować powstawanie zagrożenia wybuchowego i wymusza stosowanie maszyn skonstruowanych z uwzględnieniem tych zagrożeń, a w czasie eksploatacji zachowanie założonych przez producenta parametrów, wpływających na bezpieczeństwo,
- praca pod ziemią przebiega zawsze przy braku światła naturalnego, co wywołuje potrzebę zastosowania odpowiednio intensywnych, a jednocześnie bezpiecznych i zabezpieczonych przed zniszczeniem źródeł światła (rys. 2.2a i b).



Rys.2.2. Oświetlenie rzeczywiste: a) komora do wykonywania operacji montażu, b) ściana wydobywcza

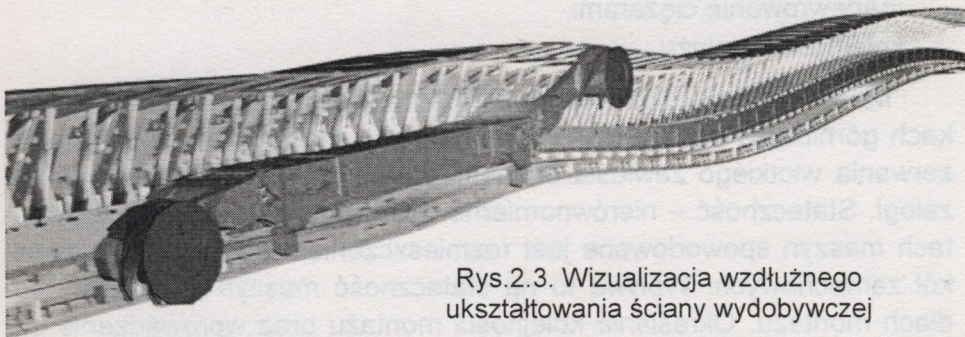
- narzędzia zastosowane pod ziemią powinny być dostosowane do ograniczonych przestrzeni, a ponadto wykonane zgodnie z przepisami, mającymi tam zastosowanie: prawem geologicznym i górnictwem.

Kolejną grupą czynników wpływających na środowisko pracy w podziemnych zakładach górniczych są zagrożenia naturalne występujące w kopalniach. Zagrożenia występujące w kopalniach dzielą się na:

- wybuchowe – toksyczne gazy mogą wydzielać się podczas eksploatacji złoża i stanowią niebezpieczeństwo dla życia i zdrowia; w kopalniach węgla wybuch metanu może zainicjować wybuch pyłu węglowego, w wyniku czego powstaje niszcząca fala uderzeniowa oraz duża ilość trującego tlenku węgla; możliwość wystąpienia atmosfery wybuchowej wymusza spełnienie wymagań opisanych w normach z rodziny ATEX; w przypadku narzędzi i pomocy stosowanych w montażu, ma to wpływ na ich masę i gabaryty,
- wyrzuty gazów i skał – nagłe wyniesienia rozdrobnionej masy skalnej z calizny do wyrobiska za pomocą gazu wydzielanego z tej calizny w procesie niszczenia jej struktury w wyniku nacisku górotworu,
- pożarowe – szczególnie dużym zagrożeniem dla załogi są pożary powstające w wyrobiskach ze świeżym prądem powietrza; pożary te rozwijają się bardzo szybko, zadymiając wszystkie wyrobiska znajdujące się na drodze do szybu wentylacyjnego,
- tapnięcia i zawały – w wyniku naruszenia pierwotnego stanu górotworu powstaje strefa wzmożonych naprężeń; wadliwie wykonana obudowa lub źle dobrane jej parametry powodują powstanie zawałów; tapnięcie zaś to zburzenie struktury skał pod wpływem ciśnienia przekraczającego ich wytrzymałość na ściskanie, a objawiająca się nagłym zruszeniem skał z równoczesnym przemieszczeniem ich do wyrobiska,
- wodne – woda pojawiająca się w wyrobisku zmękcza spąg, podmywa ociosy, niszczy obudowę wyrobiska, powoduje zawały i zaburzenia w sieci wentylacyjnej [36].

Dla każdego z wymienionych zagrożeń istnieją szczegółowe unormowania prawne opisujące sposób postępowania w przypadku zaistnienia zagrożenia oraz metody zapobiegania [29]. Z uwagi na swój charakter zagrożenia naturalne mogą być jedynie minimalizowane, a wymuszone przepisami zakazy i wymagania dotyczące odpowiednich środków ochrony bezpośrednio wpływają na sposób wykonywania prac.

Stosowanie środków zapobiegawczych w postaci dodatkowych elementów ochraniających np. przed odpryskami skał, czy obwałami elementów skalnych z niezabezpieczonego stropu, jest podstawą prawidłowego wykonywania prac manualnych związanych z montażem/demontażem, zwłaszcza w przypadku sytuacji awaryjnej, gdy miejsce przeprowadzania naprawy jest przypadkowe. W przypadku zagrożenia wybuchem nie ma możliwości stosowania narzędzi bez wymaganych zezwoleń, wpływa to bezpośrednio na sposób wykonywania pracy. W przypadku innych zagrożeń naturalnych o charakterze losowym, jedynie poprzez stosowanie przepisów BHP można minimalizować skutki ich wystąpienia. Występowanie omawianych zagrożeń wpływa na możliwość doprowadzenia mediów (elektryczność, sprężone powietrze), warunkuje konieczne do wykonania prace przygotowawcze (komory montażowe) oraz stosowane narzędzia i pomoce. Na rysunku 2.3 pokazano wizualizację ukształtowania ściany wydobywczej w przekroju wzdłużnym.

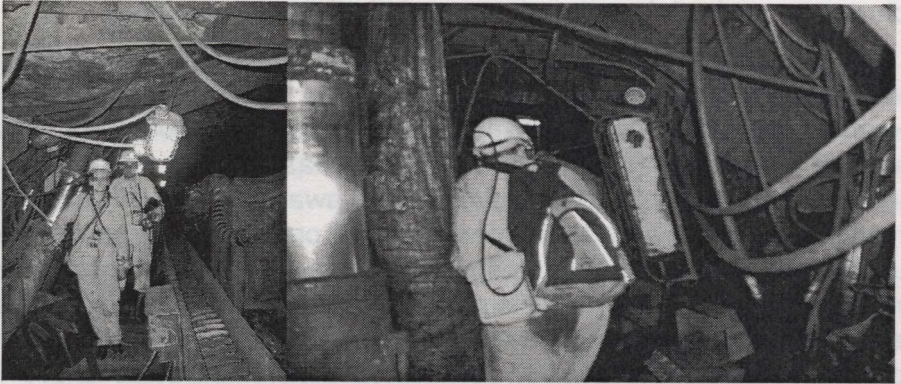


Rys.2.3. Wizualizacja wzdłużnego ukształtowania ściany wydobywczej

Czynniki techniczne wpływające na technologiczność w aspekcie montażu wynikają ze środowiska pracy oraz przyjętego systemu eksploatacji złoża. W polskim górnictwie węgla kamiennego stosuje się technologię eksploatacji pokładów węgla systemami ścianowymi, głównie z zawalem stropu. Stosowane obecnie systemy wydobywcze są całkowicie zmechanizowane.

Grubość warstwy węgla wpływa na wysokość wyrobiska, a co za tym idzie stosowane maszyny, warunkuje to w efekcie wielkość przejść dla załogi (rys. 2.4), oraz przestrzeni roboczej, jaka pozostaje na wykonanie czynności manualnych związanych z montażem i demontażem.

Maszyny stosowane w podziemnych zakładach górniczych nie tylko swoimi gabarytami wpływają na przestrzeń pracy, także wykonywane przez nie funkcje powodują, że dostęp do niektórych elementów maszyn jest zabroniony ze względów bezpieczeństwa oraz utrudniony z uwagi na ukształtowanie wyrobiska.



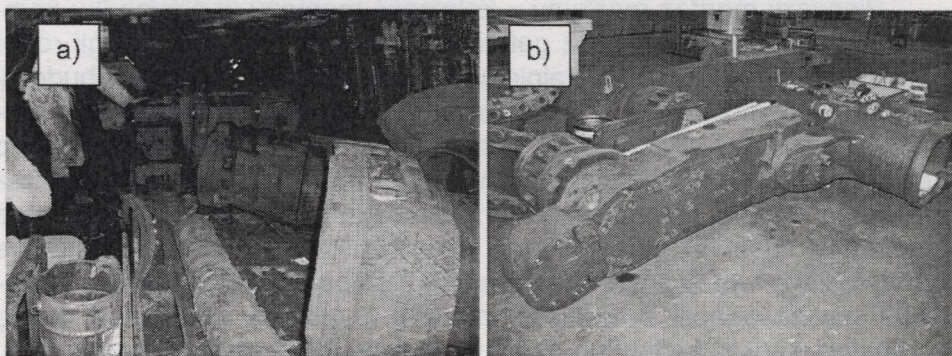
Rys.2.4. Przejście dla załogi pod obudową zmechanizowaną

Kolejna grupa czynników technicznych, wpływających na kształtowanie technologiczności montażu, wynika z ukształtowania maszyny. Szczególnej uwagi wymagają czynności, takie jak:

- manewrowanie ciężarami,
- kolejność montażu.

Manewrowanie ciężarami – elementy wielkogabarytowe w warunkach górniczych podwieszane są na linach i łańcuchach, w przypadku zerwania wiotkiego zawiesia element stanowi poważne zagrożenie dla załogi. Stateczność – nierównomierne rozmieszczenie masy w elementach maszyn spowodowane jest rozmieszczeniem silników, przekładni, kół zamachowych. Wpływa to na stateczność maszyn w różnych stadiach montażu. Określenie kolejności montażu oraz wprowadzenie dodatkowych elementów pomocniczych w postaci zabezpieczeń elementów montowanych, pozwala unikać sytuacji niebezpiecznych związanych z utratą stateczności. Kruszkarki instalowane na przenośniku odstawiającym urobek ze ściany wydobywczej posiadają konstrukcję modułową, podczas demontażu maszyny występuje etap, w którym stateczność maszyny jest zaburzona poprzez zainstalowane w maszynie koło zamachowe. Odłączenie elementów dodatkowych od kadłuba kruszarki powoduje, iż ma ona tendencję do przechylania się na stronę, po której znajduje się koło zamachowe, brak informacji o takim stanie rzeczy w instrukcji montażu/demontażu może być przyczyną wypadku [51].

Kolejność montażu – w przypadku maszyn górniczych z uwagi na duże masy podzespołów maszyn, konieczne jest już na etapie projektowania określenie technologii montażu z uwzględnieniem kolejności dostarczania poszczególnych elementów maszyny na miejsce montażu. W przypadku kompleksu ścianowego zaburzenie prawidłowej kolejności dostarczenia elementów może powodować długotrwałe przestoje związane z wyprowadzaniem elementów z wyrobiska i ponownym ich wprowadzaniem. Dodatkowo, przypadkowe rozmieszczenie elementów wielkogabarytowych przeznaczonych do montażu może w przypadku nieprawidłowo i pośpiesznie wykonywanego transportu powodować uszkodzenia drobnych elementów maszyn. W przypadku montażu wykonywanego w warunkach hali fabrycznej kolejność dostarczenia elementów na miejsce montażu nie ma znaczącego wpływu na montaż, z uwagi na dostępność środków transportu. Na rysunku 2.5 pokazano zestawienie elementów przygotowanych do montażu w warunkach rzeczywistych – a), oraz elementy przygotowane do montażu na hali produkcyjnej – b).



Rys.2.5. Rozmieszczenie zespołów kombajnu ścianowego do montażu: a) w warunkach rzeczywistych, b) w warunkach wytwórni

W wyrobisku ścianowym z uwagi na sąsiedztwo pozostałych elementów wyposażenia ściany, prawidłowe rozmieszczenie elementów zgodnie z kolejnością montażu, wpływa na czas wykonania operacji.

Na wydłużenie czasu wykonywania operacji związanych z montażem/demontażem wpływają następujące czynniki:

- ograniczone możliwości wywarcia sił i momentów w wymuszonych pozycjach ciała,
- ograniczone ruchy robocze podczas odkręcania/dokręcania śrub,
- ograniczona widoczność,
- wielokrotna zmiana miejsca podwieszenia wciągarek ręcznych,
- w przypadku nachylonego podłoża utrudnione jest wzajemne pasowanie elementów/podzespołów i zespołów,
- konieczność przerywania montażu w przypadku stwierdzenia zwiększonego stężenia metanu.

2.1.2. Czynniki organizacyjne wpływające na kształtowanie technologiczności

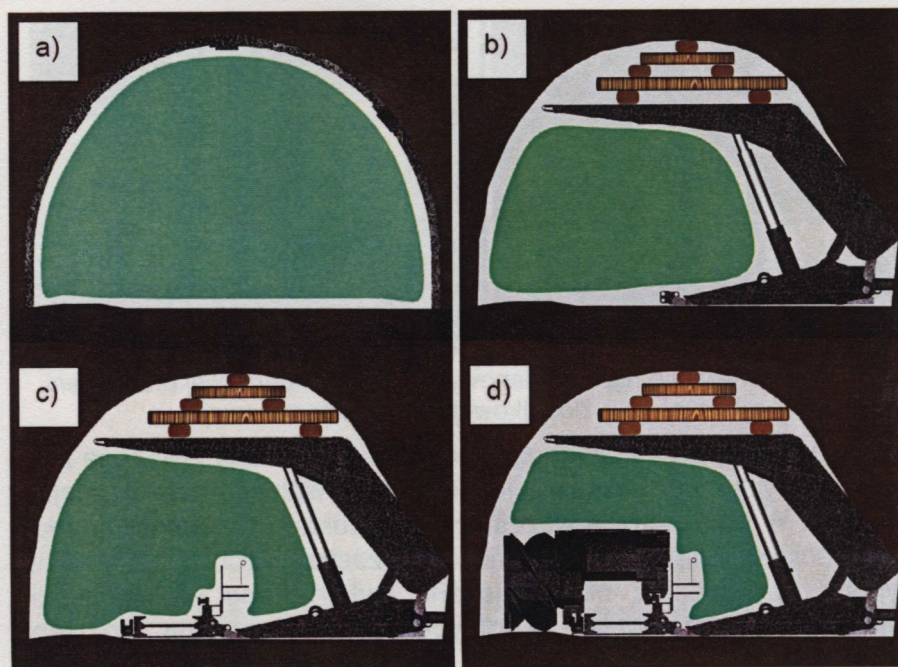
Warunki wykonywania czynności montażu/demontażu zmieniają się wraz z kolejnymi etapami cyklu eksploatacji maszyny. Eksploatację maszyny górniczej w aspekcie utrzymania ruchu można podzielić na: pierwszy montaż, naprawy planowe, naprawy awaryjne oraz dyslokacja maszyny do innego wyrobiska. Każdy z wymienionych etapów w specyficzny sposób kształtuje technologiczność w aspekcie montażu.

W procesie utrzymania ruchu maszyn górniczych wyróżniamy następujące etapy wpływające na kształtowanie technologiczności montażu:

- pierwszy montaż maszyny,
- naprawy planowe,
- naprawy awaryjne,
- dyslokacja maszyny do innego wyrobiska.

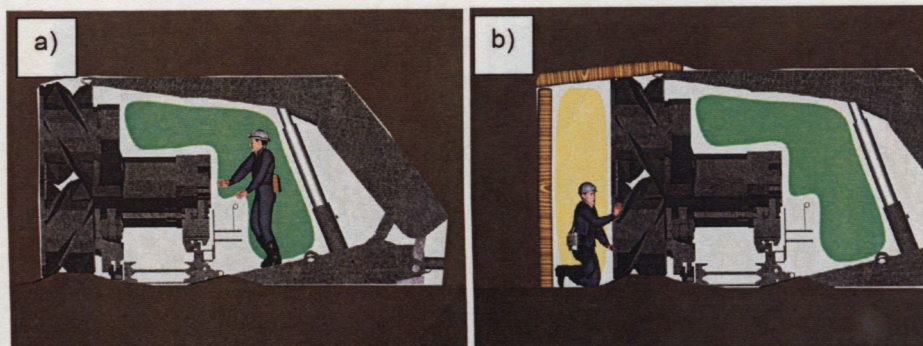
Pierwszy montaż maszyny – kolejność montażu w przypadku kompleksu ścianowego wynika z gabarytów maszyn oraz technologii robót górniczych. Do wyrobiska najpierw wprowadzane są sekcje obudowy ścianowej równocześnie z demontażem możliwych do odzyskania elementów obudowy chodnikowej osłaniającej strop. Po wprowadzeniu do ściany wszystkich przewidzianych sekcji obudów następuje montaż głównego koryta przenośnika zgrzeblowego oraz częściowy montaż elementów zastawki zgrzeblowego przenośnika ścianowego. Następnie do wyrobiska wprowadzane są zespoły kombajnu ścianowego w kolejności umożliwiającej prawidłowy montaż – głowica urabiająca, ramię kombajnu, kadłub (jeden lub dwa elementy w zależności od gabarytów), ramię kombajnu, głowica urabiająca. W następnej kolejności kombajn montowany jest na istniejącej części ścianowego przenośnika zgrzeblowego, pozbawionej zastawki. Po zakończeniu czynności mechanicznych związanych z montażem stacji zwrotnych przenośnika i napinaniem łańcucha przenośnika zgrzeblowego następuje etap końcowy, którego celem jest doprowadzenie wszystkich połączeń hydraulicznych i elektrycznych do pełnej funkcjonalności, umożliwiającej bezpieczne uruchomienie kompleksu ścianowego.

Na podstawie wymienionych etapów montażu można postawić następującą tezę: każdy kolejny etap montażu kompleksu ścianowego zmniejsza wielkość przestrzeni roboczej dostępnej na potrzeby dalszych prac. Na rysunku 2.6 przedstawiono kolejne etapy montażu kompleksu ścianowego. Warto zwrócić uwagę, iż będący przedmiotem niniejszej pracy kombajn ścianowy jest maszyną montowaną w ostatniej fazie zbrojenia kompleksu ścianowego – rysunek 2.6d, na tym etapie przestrzeń robocza ulega największemu ograniczeniu.



Rys.2.6. Montaż kompleksu ścianowego (przestrzeń roboczą oznaczono kolorem zielonym): a) początkowe wyrobisko chodnikowe, b) przestrzeń po wprowadzeniu sekcji obudowy zmechanizowanej, c) wprowadzenie przenośnika ścianowego, d) montaż kombajnu ścianowego

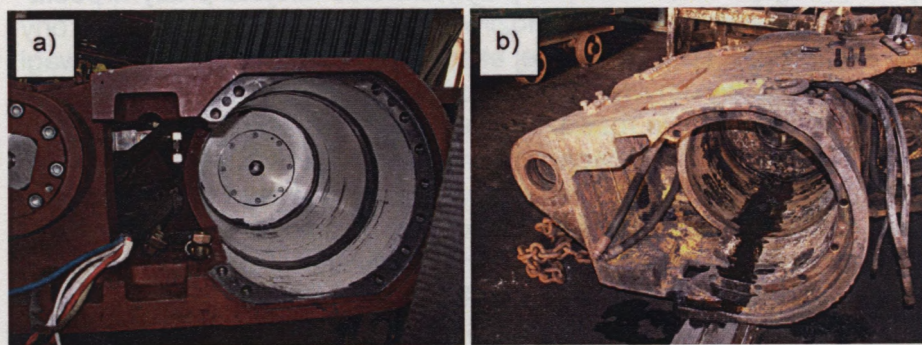
Naprawy planowe – naprawy planowe to wszelkiego rodzaju czynności, których czas i miejsce wystąpienia są przewidywane zgodnie z harmonogramem zawartym w instrukcji użytkowania obiektu. Do tej grupy czynności można też zaliczyć przeglądy okresowe, które dzielą się z zależności częstotliwości wykonywania. Na potrzeby napraw planowanych i przeglądów możliwe jest przygotowanie miejsca pracy w postaci komory montażowej, która umożliwia dostęp do maszyny od strony ociosu węglowego, co w normalnej eksploatacji jest zabronione. Z uwagi na częstotliwość wykonywania np. przeglądów codziennych, konieczne jest takie umiejscowienie rozważanych elementów, aby dostęp do wskaźników, pokryw itp. nie wymagał budowania dodatkowych zabezpieczeń, gdyż przy dużej częstotliwości wykonywania ogranicza to funkcjonalność maszyny, a przy niefachowej i pospiesznej obsłudze wpływa na bezpieczeństwo pracy. Na rysunku 2.7 przedstawiono strefy robocze, jakie występują przy wykonywaniu czynności montażu/demontażu w trakcie naprawy planowej – a) w specjalnie do tego przygotowanej komorze tymczasowej – b) kolorem zielonym oznaczono strefę bezpieczną, kolorem żółtym (rys. 2.7b) strefę osłoniętą potencjalnie bezpieczną, jednak z uwagi na bezpośrednie sąsiedztwo ociosu węglowego przebywanie w tej strefie powinno być ograniczone do minimum [45].



Rys.2.7. Wykonywanie napraw planowych: a) w standardowej przestrzeni roboczej, b) w dodatkowej komorze serwisowej

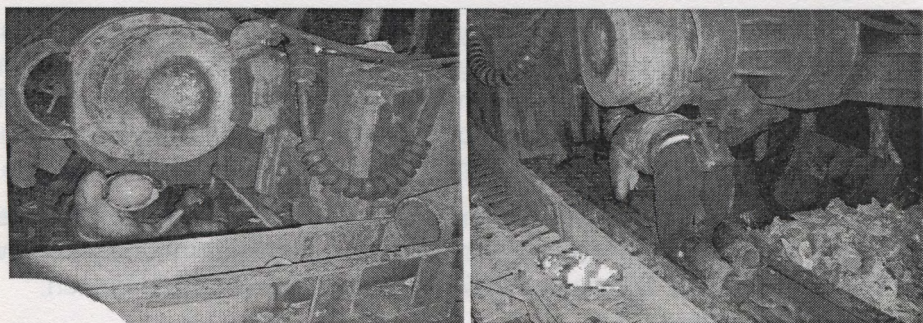
Naprawy awaryjne – czynności montażu/demontażu związane z naprawami awaryjnymi charakteryzuje nieprzewidywalność czasu i miejsca wystąpienia. W omówionych wcześniej przypadkach wykonywania można w ograniczony sposób wpływać na przestrzeń roboczą. Naprawy awaryjne i czynności z nimi związane wykonywane są najczęściej w miejscu ich wystąpienia, w przypadku, gdy zmiana położenia kombajnu w ścianie jest niemożliwa.

- Dyslokacja maszyny do innego wyrobiska – jest to cykl charakterystyczny dla maszyn górniczych, które po skończonej eksploatacji przenoszone są do nowych wyrobisk. Podczas demontażu związanego z przemieszczaniem maszyny napotyka się szereg problemów wynikających z trudnych warunków eksploatacji (zapikanie, zaciekanie połączeń) elementów maszyn wskutek niekorzystnego działania pyłu skalnego i węglowego. Na rysunku 2.8 przedstawiono zestawienie komory silnika napędowego w ramieniu: a) w warunkach hali u producenta, b) na stanowisku remontowym po zdemontowaniu ze ściany wydobywczej celem przeniesienia do innego wyrobiska.



Rys.2.8. Komora silnika napędowego w ramieniu: a) hali u producenta, b) na stanowisku remontowym po zakończonym cyklu wydobywczym (zbrojenie-likwidacja ściany)

Na rysunku 2.9 przedstawiono operację demontażu sworznia ustalającego przegubowo siłownik podnoszenia ramienia kombajnu ściano-wego. W skutek eksploatacji demontaż jest utrudniony, co wymusza stosowanie dodatkowych środków smarnych aplikowanych od wewnętrznej strony przegubu, ponieważ jest to element, którego demontaż warunkuje dalsze operacje przeprowadzane w celu demontażu ramienia, czynności wykonywane są pod zamocowanym organem, co w warunkach nachylenia i innych czynników ryzyka pojawiających się w eksploatacji podziemnej może powodować sytuacje wypadkowe. Demontaż siłownika podnoszenia ramienia w warunkach hali montażowej wykonywany jest od zewnętrznej strony kombajnu, bez konieczności wchodzenia pod maszynę znajdującą się na przenośniku. Zużycie zewnętrznych elementów maszyny, takich jak: obudowy, pokrywy, krawędzie znajdujące się od strony ociosu węglowego w dużej mierze zależy od kultury użytkowania maszyny przez obsługę. Z rozmów przeprowadzonych z pracownikami serwisu Zabrzeńskich Zakładów Mechanicznych S.A. wynika iż trudności w demontażu elementów kombajnu często są wynikiem niedbałego i niewłaściwego użytkowania maszyny, np.: uderzenia o sąsiadujące elementy (organ – stropnica sekcji obudowy zmechanizowanej), w przypadku bardzo niskich pokładów tarcie elementami obudowy maszyny o elementy stropnicy sekcji obudowy zmechanizowanej [19].



Rys.2.9. Demontaż maszyny po skończonym cyklu wydobywczym – demontaż sworznia siłownika podnoszenia ramienia

Brak aktywności po skończonej eksploatacji złoża w niektórych pokładach powoduje niekontrolowane obniżanie się stropu, lub wypiętrzanie podłoża, jest to zjawisko naturalne. Zmiany w stropie i podłożu powodują zaciskanie maszyn w wyrobisku, co znacznie utrudnia ich demontaż. Istotnym czynnikiem w tym przypadku jest czas konieczny do wykonania określonych operacji. Podstawowym czynnikiem wpływającym na kształtowanie technologiczności montażu maszyn górniczych jest środowisko pracy i ograniczenia w nim panujące, dlatego też konieczne jest pozyskiwanie wiedzy eksploatacyjnej od użytkowników ma-

szyn. Konieczne jest poznanie stosowanych w zakładach górniczych technologii montażu, opisywanych w instrukcjach uwzględniających specyfikę danej kopalni, wysokość pokładu nachylenie spągu, istniejące zagrożenia naturalne, zagrożenia wybuchem metanu oraz zagrożenia związane z warunkami górniczo-geologicznymi. Wymienione czynniki naturalne i techniczne nie były w sposób dostateczny brane pod uwagę podczas procesu projektowania.

W większości przypadków pierwsze wrażenie ekipy montującej nowe rozwiązania konstrukcyjne dostarczają bodźców do modyfikacji konstrukcji. Dlatego celowym wydaje się zaangażowanie do procesu projektowania użytkowników końcowych. Możliwość aktywnego uczestnictwa użytkowników (ślusarzy, górników – praktyków) w kształtowaniu technologiczności, pozwoli uwzględnić w konstrukcji wytyczne zanim produkt zostanie wytworzony.

2.2. Operacje montażowe w wytwórni

Procesy montażowe realizowane w wytwórni zostaną omówione na przykładzie kombajnu ścianowego KSW 460 NE produkowanego w Zabrzeńskich Zakładach Mechanicznych S.A. (ZZM S.A.). Operacje montażu rejestrowane były za pomocą kamery wideo.

Czynności montażowe wykonywane w wytwórni wykonywane są z wykorzystaniem wszystkich dostępnych narzędzi; są to m.in.: pełny zestaw kluczy, w tym kluczy dynamometrycznych, ściągacze, wkrętaki pneumatyczne. W zakresie transportu bliskiego i międzywydziałowego stosowane są wózki widłowe, platformy, suwnice, wciągarki elektryczne.

Montaż w wytwórni wykonywany jest na oddzielnej hali, gdzie przeprowadza się wszystkie operacje związane z montażem podzespołów kombajnu (rys. 2.10). Montaż w wytwórni przebiega w dwóch fazach:

- montaż zespołów,
- montaż kombajnu.

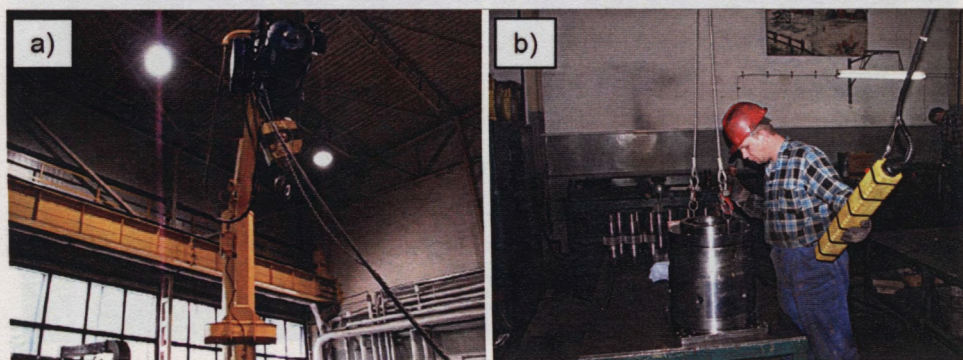
Montaż zespołów - elementy przekazywane z wcześniejszych etapów produkcyjnych, czyli po obróbce mechanicznej, cieplnej, spawaniu i malowaniu gromadzone są w specjalnie do tego przeznaczonych miejscach, gdzie zabezpieczone przed działaniem korozji i wilgoci oczekują na montaż.

Montaż kombajnu - wykonywany jest zgodnie z opracowaną technologią, za pomocą ściśle określonych narzędzi i z wykorzystaniem podanych przez konstruktorów i technologów materiałów eksploatacyjnych (smary, oleje, uszczelniające taśmy teflonowe, uszczelnienia).

Do wykonywania czynności montażu w początkowej fazie wykorzystuje się elektryczne wciągarki zamontowane na obrotowym wysięgniku, umożliwiające przemieszczanie elementów o masie nie przekraczającej 2000 kg (rys. 2.11a).



Rys.2.10. Widok hali, w której wykonywane są operacje montażu kombajnu ścianowego



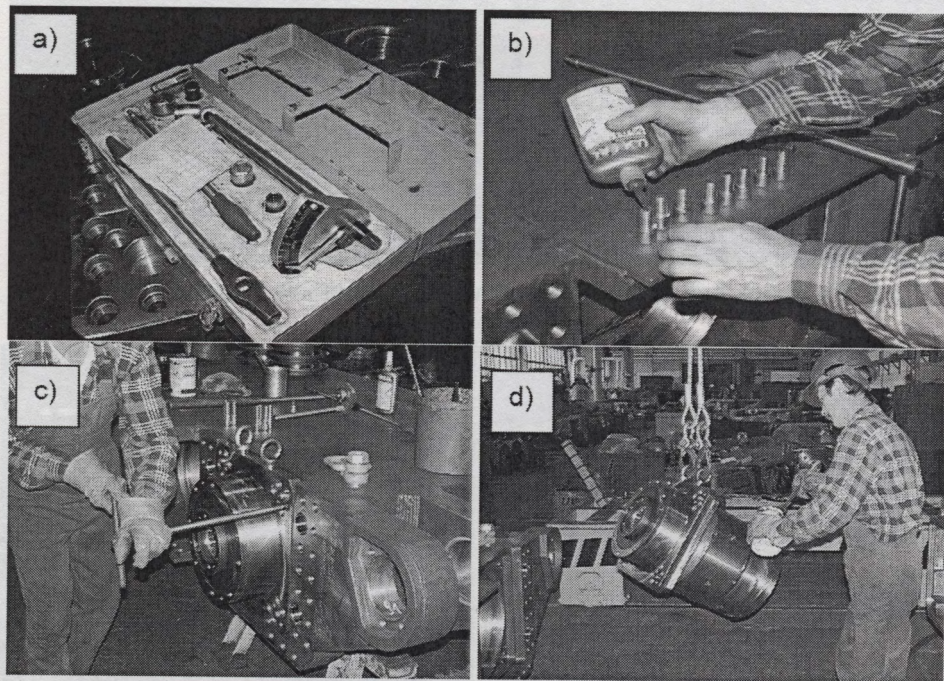
Rys.2.11. Środki transportu bliskiego stosowane w wytwórni w trakcie procesu montażu

Na rysunku 2.11b przedstawiono operację precyzyjnego montażu wykonywane za pomocą suwnicy. Montaż drobnych elementów mechanicznych, takich jak: śruby, pierścienie osadcze, podkładki i uszczel-

nienia wymaga zachowania szczególnej uwagi i czystości. W celu zachowania czystości oraz oczyszczania montowanych elementów z pozostałości obróbki mechanicznej, stosuje się lance wdmuchujące powietrze pod wysokim ciśnieniem z miejsc trudno dostępnych.

Kolejnym etapem procesów montażu jest zestawianie zmontowanych wcześniej podzespołów w zespoły, oraz osadzanie ich w kadłubie kombajnu. Wykorzystywane są do tego celu narzędzia i środki pomocnicze wymagane na danym etapie procesu montażu (rys. 2.12).

Montaż elementów wielkogabarytowych jest szczególnie kłopotliwy w przypadku konieczności precyzyjnego ustalenie elementów względem siebie oraz w przypadku wsuwania ciężkich elementów podłużnych do kadłuba. Działanie siły ciężkości powoduje naturalne ukosowanie się i blokowanie elementów. W warunkach hali montażowej wykorzystuje się dostępną przestrzeń hali do takiego ustawienia zestawianych elementów względem siebie, aby montowane elementy wsuwały się pionowo a nie poziomo.



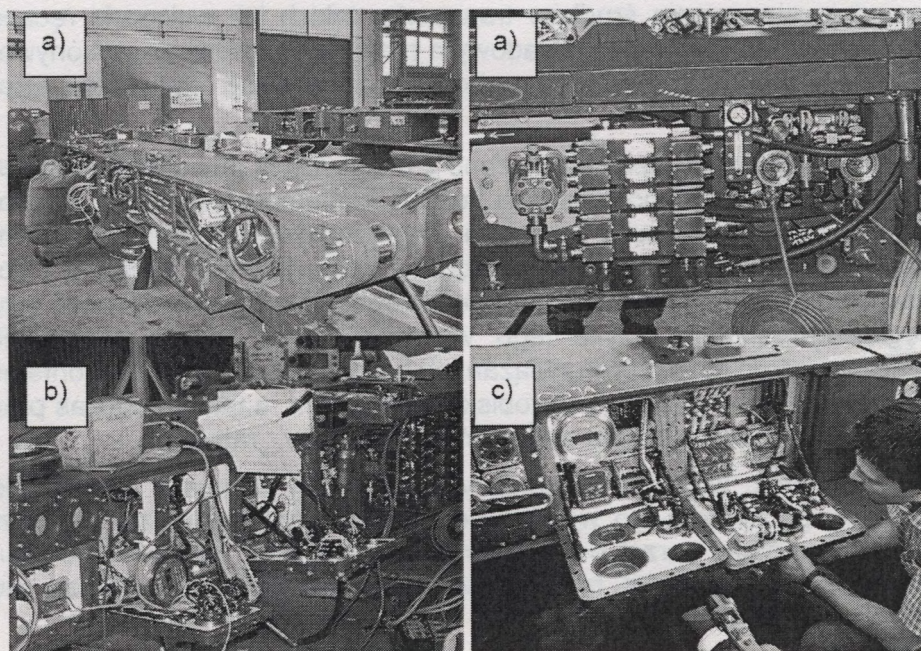
Rys.2.12. Pomoce stosowane podczas montażu w wytwórni: a) klucz dynamometryczny, b) kleje specjalistyczne, c) klucze specjalne, d) suwnice

Do montażu elementów trudnodostępnych, takich jak np. siłownik podnoszenia ramienia, znajdujący się na spodniej części kadłuba, odwraca się kadłub, tak aby ułatwić dostęp do miejsca montażu (rys. 2.13).



Rys.2.13. Miejsce mocowania siłownika podnoszenia ramienia

Po montażu zespołów mechanicznych i hydraulicznych montowane są zespoły elektryczne i elektroniczne. Montaż wykonywany jest na specjalnie do tego celu przygotowanym stanowisku, gdzie dostęp do specjalistycznego sprzętu oraz możliwość podłączenia wysokiego napięcia i cieczy hydraulicznej umożliwiają testowanie montowanych zespołów (rys. 2.14).



Rys.2.14. Stanowiska do montażu zespołów: a) hydraulicznych, b) elektrycznych i c) elektronicznych

Z uwagi na złożoność kombajnu ścianowego, operacje związane z montażem poszczególnych podsystemów przeplatają się nawzajem, np.: montaż silnika elektrycznego wymaga montażu przewodów elektrycznych oraz obwodów hydraulicznych. Wymaga to ciągłej współpracy specjalistów z różnych dziedzin.

2.3. Operacje montażowe w warunkach kopalnianych

Badanie procesów montażu kombajnu ścianowego przeprowadzono w następujących kopalniach:

- KWK „Anna–Rydułtowy” – rejestracja wideo-fotograficzna,
- KWK „Budryk” – obserwacja, brak możliwości rejestracji z uwagi na obecność metanu w atmosferze,
- KWK „Staszic” – obserwacja, brak możliwości rejestracji z uwagi na obecność metanu w atmosferze,
- KWK „Piast” – rejestracja wideo-fotograficzna.

Operacje montażu opisane są w dokumencie „Projekt zbrojenia przecinki ściany”. Dokument ten zawiera opis czynności związanych z wprowadzeniem sekcji obudowy zmechanizowanej, wprowadzeniem ścianowego przenośnika zgrzeblowego oraz wprowadzeniem kombajnu ścianowego do przecinki ścianowej. Informacje zawarte w technologii robót są jednak bardzo ogólnikowe, w większości przypadków sprowadzają się do cytowania przepisów BHP oraz wyliczenia zagrożeń, jakie powoduje stosowanie środków transportu, takich jak wciągarki ręczne oraz kołowroty. Elementem składowym projektu są instrukcje wykonywania operacji montażu maszyn wchodzących w skład kompleksu ścianowego.

Z uwagi na zagrożenia związane z możliwością powstawania atmosfery wybuchowej w podziemiach kopalń, konieczne jest ciągłe monitorowanie stężeń metanu w powietrzu. Zagrożenie związane z wybuchem metanu wymusza stosowanie narzędzi z odpowiednimi atestami i dopuszczeniami Wyższego Urzędu Górniczego. Z uwagi na obecność pyłu węglowego istnieje ryzyko jego wybuchu, które należy uwzględnić podczas wykonywania prac związanych z usuwaniem awarii, remontami, wykonywanymi w czynnym wyrobisku ścianowym, a także podczas prac związanych z demontażem urządzeń podczas tzw. „rabunku”.

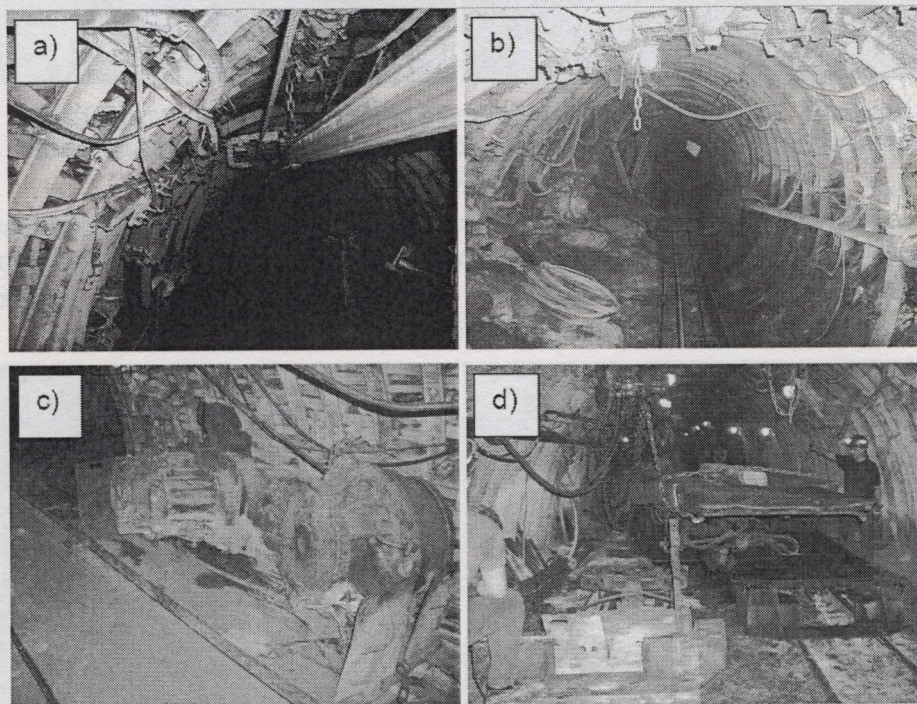
Możliwość wystąpienia opisanych zagrożeń wymusza stosowanie określonego sprzętu, co w praktyce oznacza, że stosuje się podczas operacji montażu sprzęt o jak najprostszej budowie, odpowiednio obudowany i wykonany z materiałów trudno iskrzących (wyklucza się stosowanie aluminium).

Producent dostarcza maszyny zmontowane częściowo. W przypadku kombajnu ścianowego KSW 460 NE są to dwa zespoły ramion, dwie głowice urabiające oraz korpus główny podzielony na dwie części. Ścianowy przenośnik zgrzeblowy składa się z szeregu powtarzalnych elementów oraz dwóch stacji zwrotnych, które również można transportować w postaci podzespołów. Obudowa zmechanizowana, w zależności od wymiarów i masy może być transportowana w całości jako

jeden integralny element, natomiast w przypadku sekcji obudów zmechanizowanych przeznaczonych do ścian wysokich 2,5÷4 m konieczny jest transport w postaci częściowo zmontowanych zespołów.

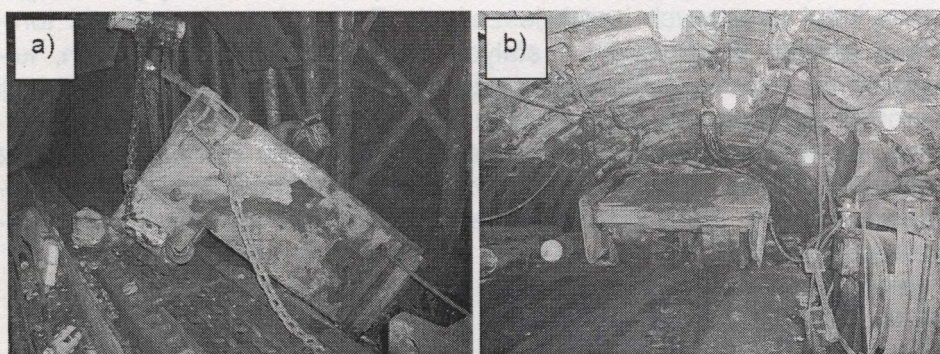
Pierwszym ogniwem transportu w warunkach kopalnianych jest transport maszyną wyciągową na poziom, gdzie maszyna będzie eksploatowana. Ograniczeniem tego środka transportu jest dopuszczalny ciężar pojedynczego transportowanego elementu oraz wymiary szybu. Wartości te mogą być różne w zależności od stosowanej maszyny wyciągowej: – maszyny wyciągowe jednolinowe ładunek użyteczny 6000 kg – 12500 kg, – wielolinowe ładunek użyteczny 10000 kg – 25000 kg [68].

Transport poziomy w podziemiach kopalń realizowany jest za pomocą kolei spagowych i podwieszanych. Z uwagi na dostępność torowiska jedynie w głównych - stałych chodnikach transportowych, konieczne są zmiany środka transportu. Na potrzeby zbrojenia i likwidacji wyrobisk ścianowych przygotowuje się dodatkowe systemy transportowe, są to spagowe kolejki linowe, linowe kolejki podwieszane oraz kołowroty linowe. Każdy z wymienionych systemów posiada ograniczenia i zalety, które warunkują jego stosowanie w określonych warunkach (rys. 2.15).



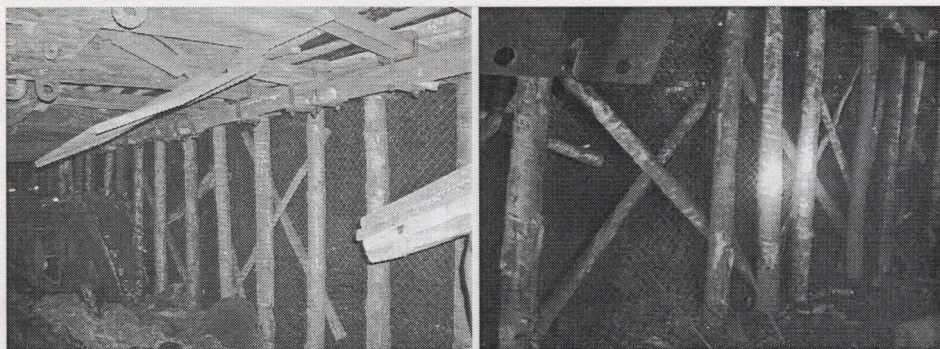
Rys.2.15. Systemy transportowe: a) kolej podwieszana linowa, b) kolej spagowa linowa, c) kolej spagowa – transport zespołu ramienia, d) wciągarki pneumatyczne – przeładunek sekcji obudowy zmechanizowanej

W głównych chodnikach transportowych zespoły maszyn transportowane są na specjalnych platformach, lub w przypadku kolejek podwieszanych, podwieszane są na zawiesiach. Dostarczenie elementów składowych do ściany wymaga stosowania na ostatnim etapie kołowrotów i wciągarek pneumatycznych i ręcznych. W tym przypadku zespoły maszyn są wleczone bezpośrednio po spagu lub na płaskich platformach (rys. 2.16). W przypadku transportu spagowego występuje zagrożenie utraty stateczności przy nieprawidłowym mocowaniu zespołów na platformie. Transport podwieszany wiąże się z ograniczonymi gabarytami transportowanych zespołów oraz koniecznością zapewnienia dodatkowych mocowań.



Rys.2.16. Transport zespołów maszyn za pomocą kołowrotu i wciągarek: a) transport zespołu ramienia po spagu, b) transport sekcji obudowy na płaskiej platformie

Pierwszy montaż maszyny w ścianie, jak i usuwanie awarii podczas pracy kompleksu ścianowego poprzedzane jest przygotowaniem środowiska pracy. Budowana jest tzw. komora montażowa, czyli zabezpieczona przestrzeń robocza (rys.2.17).

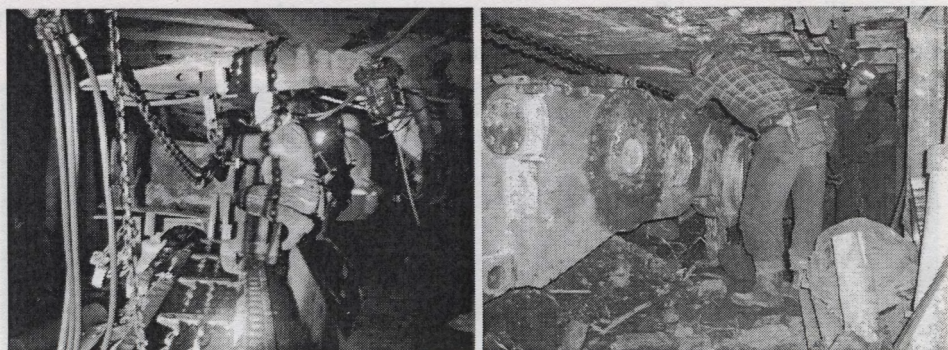


Rys.2.17. Komora montażowa przygotowana do operacji montażu kombajnu ścianowego

Wielkość komory montażowej jest uzależniona od wysokości pokładu. W przypadku pierwszego montażu oraz demontażu, możliwe jest przygotowanie przestrzeni nieznacznie większej, zaś w przypadku operacji montażu/demontażu związanych z usuwaniem awarii przestrzeń robocza jest określona maszynami współpracującymi oraz wysokością i nachyleniem ściany.

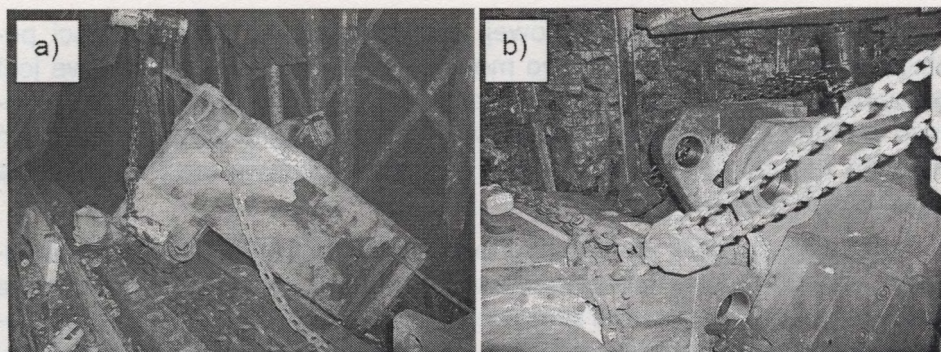
Zespoły maszyn wprowadzane są do przecinki ścianowej w kolejności, umożliwiającej ich prawidłowy montaż. Z uwagi na ograniczoną przestrzeń roboczą, nie ma możliwości zmiany tej kolejności. Ograniczone przestrzenie montaż/demontażu uniemożliwiają wykorzystanie pełnej mechanizacji prac (rys. 2.18).

Ograniczone oświetlenie utrudnia dokładne montowanie zespołów. W niektórych pokładach pojawia się dodatkowy element, jakim jest woda. Sącząca się z wyrobiska woda w połączeniu z nachylonym spągkiem, powoduje zagrożenie i wydłuża czas montażu.



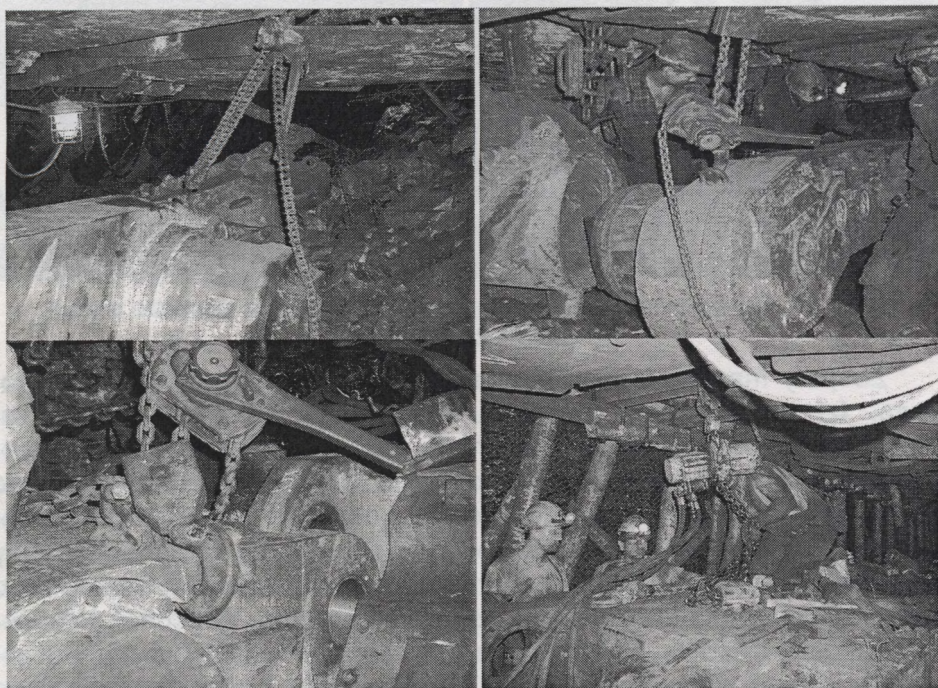
Rys.2.18. Ograniczenia przestrzenne podczas operacji montażu w podziemiach kopalń

Zespoły maszyn transportowane są w postaci częściowo zmontowanej, tzn. w przypadku kombajnu ścianowego KSW-460 zespoły ramion oraz części kadłuba są zamknięte pokrywami, na zewnątrz wyprowadzone są jedynie przewody elektryczne i hydrauliczne konieczne do zestawienia modułów w całość. Montaż kombajnu jest ostatnim z elementów budowy kompleksu ścianowego i odbywa się w momencie, gdy wszystkie sekcje obudowy zmechanizowanej oraz elementy ścianowego przenośnika zgrzebłowego są ze sobą zmontowane. Właściwe ustawienie modułów składowych kombajnu na przenośniku jest kwestią kluczową dla całego procesu montażu. Na rysunku 2.19a przedstawiono transport modułu napędowego kombajnu ścianowego do miejsca montażu. Transport odbywa się poprzez wleczenie elementów po zabudowanym przenośniku ścianowym. Na rysunku 2.19b przedstawiono montaż elementów kadłuba i ramienia kombajnu ścianowego za pomocą ręcznej wciągarki łańcuchowej.



Rys.2.19. Transport: a) za pomocą wciągarki pneumatycznej do miejsca montażu, b) zestawienie zespołów kombajnu na ścianowym przenośniku zgrzeblowym

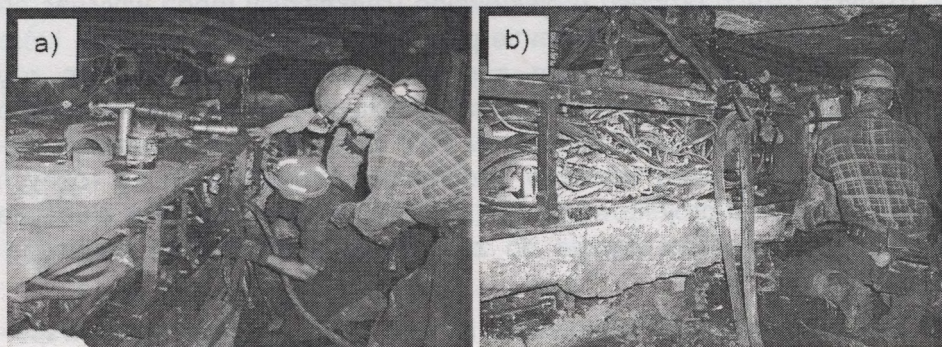
W końcowej fazie montażu jedynym środkiem wspomagającym jest wciągarka pneumatyczna lub ręczna. Ograniczona przestrzeń robocza uniemożliwia prawidłowe mocowanie elementów wspomagających montaż, co znacznie ogranicza ich funkcjonalność (rys. 2.20).



Rys.2.20. Wykorzystanie pomocy montażowych w ograniczonych przestrzeniach

Po zmontowaniu zespołów mechanicznych następuje montaż zespołów elektrycznych i zespołów hydrauliki siłowej. Ten etap montażu

wymaga wyspecjalizowanego personelu, tj. elektryków, elektroników i automatyków.



Rys.2.21. Montaż połączeń: a) hydraulicznych i b) elektrycznych

Na rysunku 2.21 pokazano montaż zespołów hydraulicznych i elektrycznych w komorze montażowej. Widoczny jest brak miejsca na rozłożenie wszystkich zespołów.

3. Opis metody badania technologiczności montażu maszyn górniczych

Maszyny górnicze są projektowane i wytwarzane dla warunków, jakie panują w zakładzie wydobywczym użytkownika. Użytkownik formułuje swoje wymagania w głównej mierze w odniesieniu do parametrów technicznych maszyny. Cechy opisujące środowisko pracy: wysokość ściany, nachylenie spągu, zagrożenia naturalne, wpływają na dobór cech konstrukcyjnych maszyny rozpatrywanej jako pewnie działająca całość. Rysunki złożeniowe systemów ścianowych pokazują rozmieszczenie maszyn w ścianie po ich zmontowaniu.

Uwzględnienie wpływu środowiska pracy na montaż maszyny wymaga ścisłej współpracy konstruktora i użytkowników maszyny. Proponowana metoda opiera się na wspólnej analizie warunków montażu z wykorzystaniem wirtualnego środowiska pracy. Środowisko to jest udostępniane na platformie internetowej i pozwala na jednoczesną pracę kilku specjalistów.

W metodologii projektowania takie ujęcie znane jest pod nazwą Partycypacyjnego Trybu Projektowania (PTP). Często mianem PTP mylnie określa się proces, w którym użytkownik – odbiorca, definiuje swoje wymagania i określa założenia projektowe. Tymczasem pojęcie PTP należy rozumieć szerzej. PTP to taki sposób projektowania, w któ-

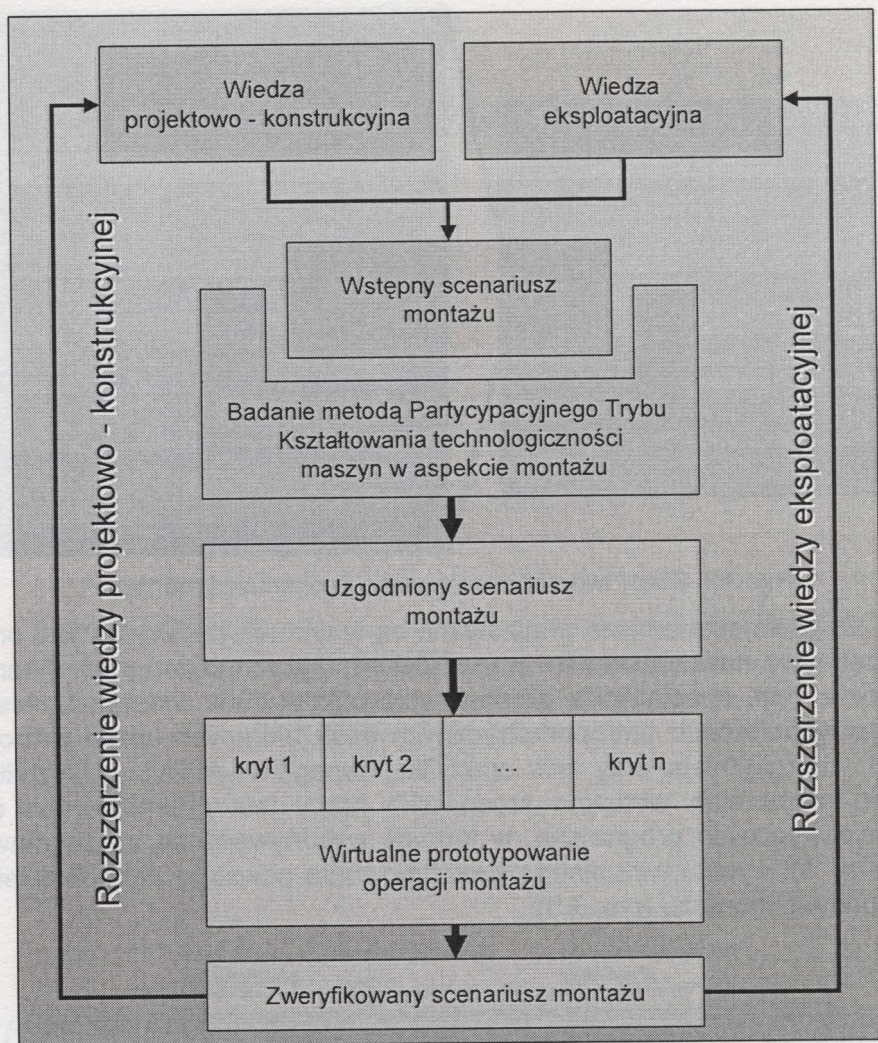
rym osoby zaangażowane w wytwarzanie i eksploatację biorą czynny udział w procesie projektowym. Biorąc udział w sesjach organizowanych w różnych fazach procesu projektowego użytkownicy mogą wpływać na efekt końcowy [17]. Projektowanie partycypacyjne jest procedurą, która osobom pracującym nad tym samym procesem produkcyjnym czy urządzeniem stwarza szansę brania udziału w procesie projektowania oraz wpływania na sam projekt. W PTP niektórzy, bądź wszyscy odbiorcy projektu, biorą udział w spotkaniach projektowych na różnych etapach procesu projektowania [21]. Możliwości organizacyjne określają formę, która możliwa będzie do zastosowania do działań partycypacyjnych [48].

W metodologii projektowania istnieje także Projektowanie współbieżne, według definicji podanej w monografii „Techniki komputerowe CAx w inżynierii produkcji” prof. Edwarda Chlebusea, jest to metoda projektowania stosowana podczas rozwoju produktu [3]. Nakierowana jest na równoległy rozwój produktu w obszarach: konstruowania oraz technologii i planowania procesu wytwarzania. Za pomocą tej metody uzyskuje się znaczące skrócenie cyklu produkcyjnego produktu, przez pełne wykorzystanie możliwości zakładu. Mumford w 1989 r. podał definicję projektowania partycypacyjnego jako procedury, w której udział biorą osoby zaangażowane w procesie produkcji i obsługi maszyny, dzięki temu mają one wpływ na wynik końcowy projektu [21]. W tej definicji nacisk położony jest na udział w procesie projektowania użytkowników końcowych maszyn, nawet pracujących na stanowiskach robotniczych. Obydwie definicje nie wykluczają rozszerzenia zespołu uczestników. Jakkolwiek obydwie definicje odnoszą się do podobnych sposobów pracy adresowane są do różnych grup użytkowników.

3.1. Założenia metody badania technologiczności maszyn górniczych w aspekcie montażu

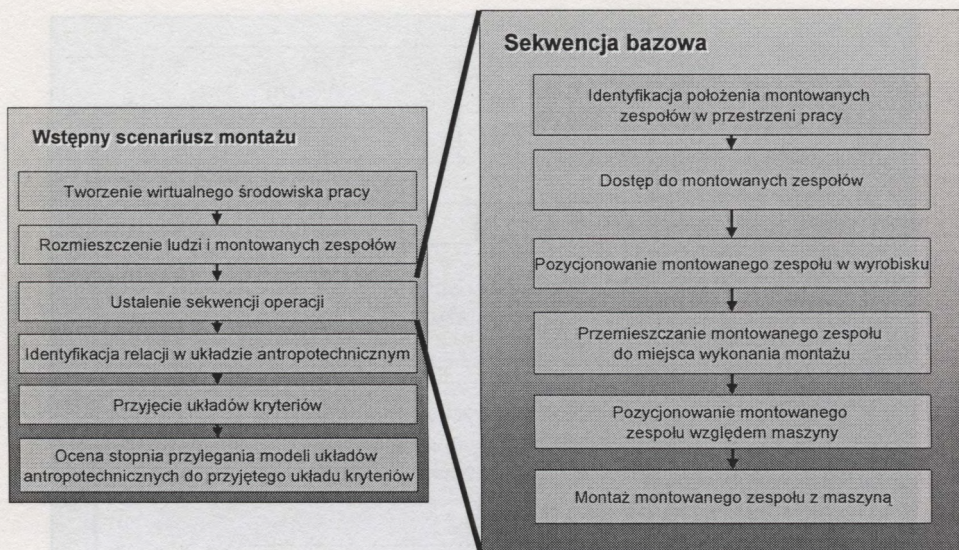
Istotę proponowanej metody objaśnia rysunek 3.1.

Konstruktor posługując się wiedzą projektową i eksploatacyjną tworzy wstępny scenariusz montażu projektowanej maszyny w warunkach kopalnianych. Istotę tych dwóch rodzajów wiedzy wyjaśniono w pracach [18, 34]. Z utworzeniem scenariusza wstępnego wiążą się następujące czynności: utworzenie wirtualnego środowiska pracy, ustalenie sekwencji operacji, identyfikacja relacji w układzie antropotechnicznym oraz przyjęcie układu kryteriów. Pomocą są rejestracje wideo operacji montażu/demontażu realizowanych pod ziemią w odniesieniu do już istniejących maszyn. Szczegółowo etapy tworzenia scenariusza wstępnego pokazano na rysunku 3.2.



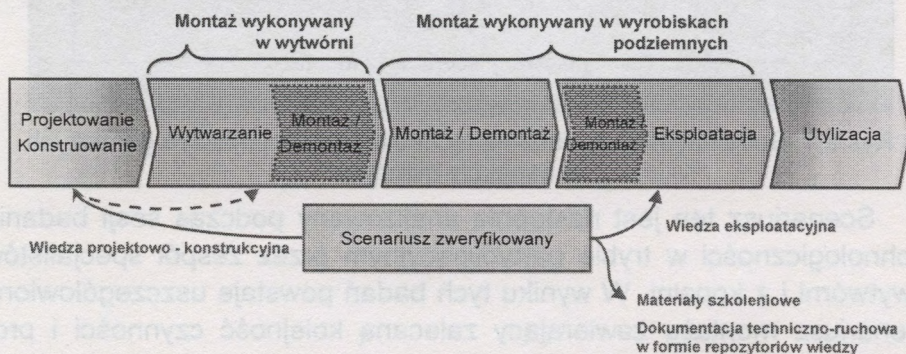
Rys.3.1. Schemat metody badania technologiczności maszyn górniczych w aspekcie montażu

Scenariusz ten jest następnie analizowany podczas sesji badania technologiczności w trybie partycypacyjnym przez zespół specjalistów z wytwórni i z kopalni. W wyniku tych badań powstaje uszczegółowiony scenariusz montażu zawierający zalecaną kolejność czynności i propozycję odnośnie cech konstrukcyjnych. Następnie według tego scenariusza prowadzone jest wirtualne prototypowanie operacji montażu w świetle obranego układu kryteriów. Wirtualne prototypowanie realizowane jest w wyspecjalizowanym środowisku programowym.



Rys.3.2. Etapy tworzenia wstępnego scenariusza montażu

Obydwa scenariusze realizowane są w wirtualnym środowisku pracy będącym odwzorowaniem warunków panujących pod ziemią. W środowisku tym, specjaliści z grona użytkowników obok maszyn umieszczają modele cech antropometrycznych osób biorących udział w montażu. Uwzględniają przy tym specyfikę danego wyrobiska. Ukształtowane przez nich wirtualne środowisko pracy jest przekazywane do specjalistycznych programów, w których wykonywane są szczegółowe analizy. W wyniku wirtualnego prototypowania powstaje zweryfikowany scenariusz montażu (rys. 3.3).



Rys.3.3. Zweryfikowany scenariusz montażu

Powstały po procesie wirtualnego prototypowania scenariusz zawiera wiedzę, która przekazywana jest do procesu projektowego celem wprowadzenia koniecznych zmian konstrukcyjnych, poszerza także wiedzę eksploatacyjną pod postacią wzorcowych procedur, które w postaci

materiałów szkoleniowych i informacyjnych dołączane są do zorganizowanej w postaci repozytoriów wiedzy dokumentacji techniczno-ruchowej maszyn.

3.2. Badanie technologiczności w trybie partycypacyjnym

Uczestnikami procesu badania technologiczności maszyn górniczych w aspekcie ich montażu są:

- konstruktor,
- technolog w wytwórni,
- użytkownik końcowy w kopalni.

Rola konstruktora polega na:

- doborze cech konstrukcyjnych,
- zapisie cech konstrukcyjnych w formie modeli geometrycznych.

W gestii technologa znajduje się znajomość:

- możliwości wytwórczych,
- technologii montażu,
- narzędzi i pomocy.

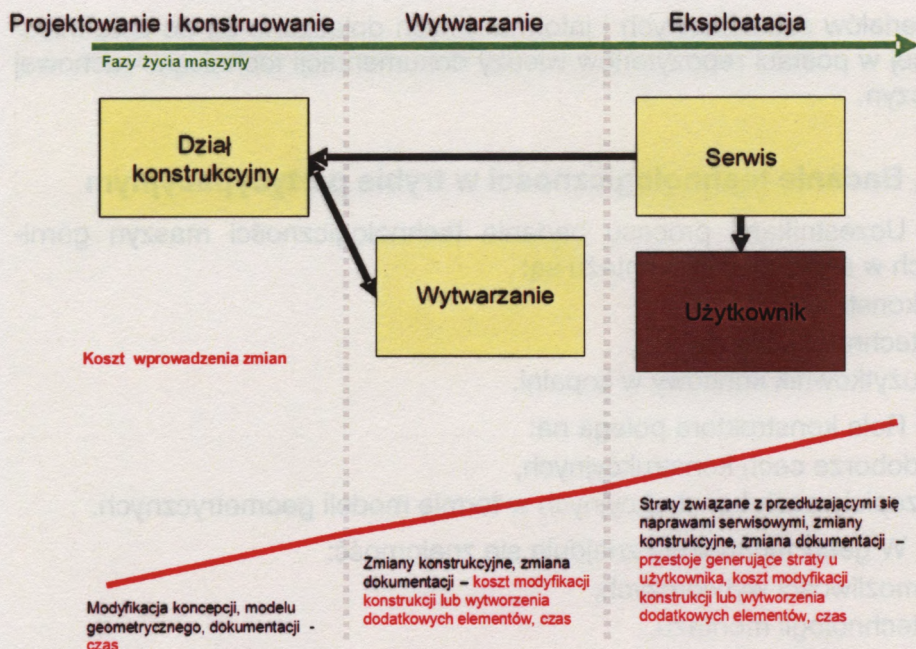
Udział użytkownika opiera się na znajomości:

- środowiska pracy (ograniczenia i zagrożenia),
- stosowanych technologii montażu w kopalni,
- dostępnych narzędzi i pomocy,
- przepisów górniczych.

Współpraca tych specjalistów w jednym miejscu i w tym samym czasie jest utrudniona. W skrajnym przypadku każdy z nich przebywa w innym miejscu: w biurze inżynierskim (ośrodku badawczo-rozwojowym), wytwórni, kopalni. Miejscem spotkania może być przestrzeń wirtualna (wirtualne środowisko pracy), zaś uczestnictwo we wspólnych badaniach można oprzeć na partycypacyjnym trybie projektowania.

Uczestnictwo technologa i użytkownika we wczesnych fazach projektowania uzasadnia rysunek 3.4. Przedstawiono na nim zależność kosztów przeprowadzenia zmian w projekcie/maszynie w zależności od fazy życia [3].

Ponieważ użytkownik zgłasza najwięcej uwag do użytkowanej maszyny, w fazie eksploatacji celowym jest zaproszenie go do procesu projektowania. Ze strony użytkownika maszyny do procesu projektowania powinni zostać zaproszeni przedstawiciele personelu inżynierskiego odpowiedzialni za planowanie pracy, oraz ślusarze bezpośrednio wykonujący czynności montażu/demontażu.



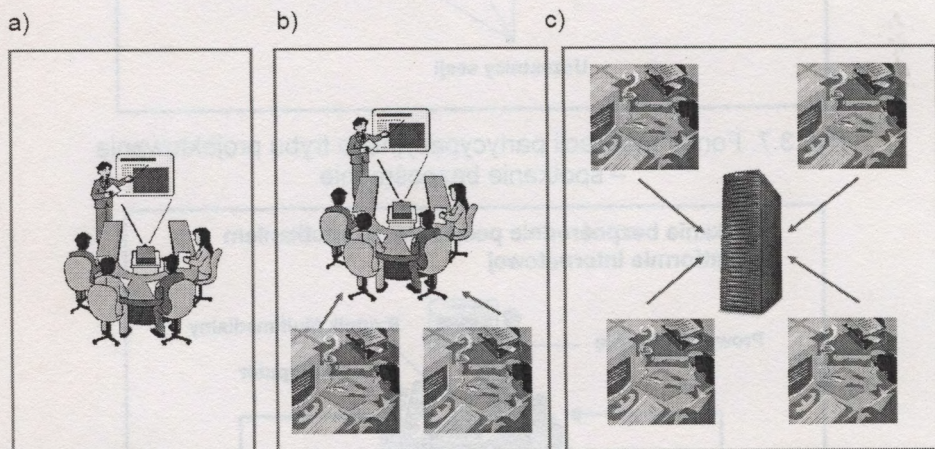
Rys.3.4. Koszty wprowadzenia zmian do projektu w odniesieniu do fazy cyklu życia maszyny

Na rysunku 3.5 przedstawiono różne poziomy partycypowania w projekcie: od poziomu, w którym główną rolę odgrywa projektant (tworzy projekt na podstawie danych wejściowych bez udziału użytkownika), do poziomu, gdzie rolę projektanta odgrywa użytkownik (użytkownik jest kluczowym aktorem procesu, a projektant jedynie wspomaga go w tworzeniu projektu) [15]. Poziom uczestnictwa przesuwają się w kierunku projektu zorientowanego na użytkownika, kiedy zastosuje się podejście zorientowane na uczestnictwo odbiorców [14]. Kolorem czerwonym oznaczono miejsce metody partycypacyjnego projektowania. W podejściu PTP zaangażowanie odbiorcy w projekt jest zrównoważone, w stopniu umożliwiającym jego znaczny wpływ na kształtowanie projektu bez konieczności poznawania szczegółów warsztatu projektowego, za które odpowiedzialny jest projektant i pozostali uczestnicy sesji. Zastosowanie metody projektowania partycypacyjnego wymaga wcześniejszego przygotowania wszystkich uczestników.

Forma realizacji sesji metody partycypacyjnego trybu projektowania może być różna, w zależności od dostępnej infrastruktury informatycznej oraz rzeczywistych odległości, jakie dzielą zainteresowane strony. Najprostszym sposobem realizacji metody badania technologiczności w aspekcie montażu jest zorganizowanie spotkania bezpośredniego z wykorzystaniem rzutnika multimedialnego (rys. 3.6).

Poziom partycypacji				
Zorientowane na projektanta	→	Wzrost udziału użytkownika	→	Zorientowane na użytkownika
<i>Bez udziału użytkownika</i>	konsultacje, szkolenia	<i>Przedstawiciel użytkownika w grupie projektowej</i>	PTP	<i>Użytkownik projektuje samodzielnie, z pomocą ekspertów</i>

Rys.3.5. Projektowanie – poziomy partycypacji

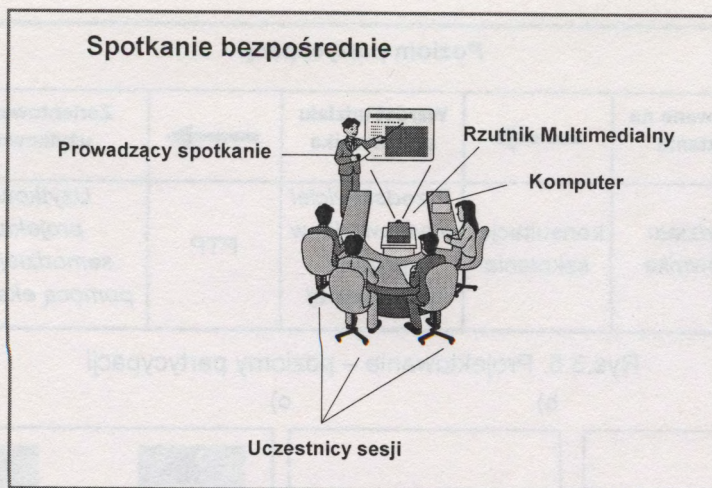


Rys.3.6. Formy realizacji partycypacyjnego trybu projektowania: a) spotkanie bezpośrednie, b) spotkanie bezpośrednie połączone z platformą internetową, c) spotkanie na platformie internetowej

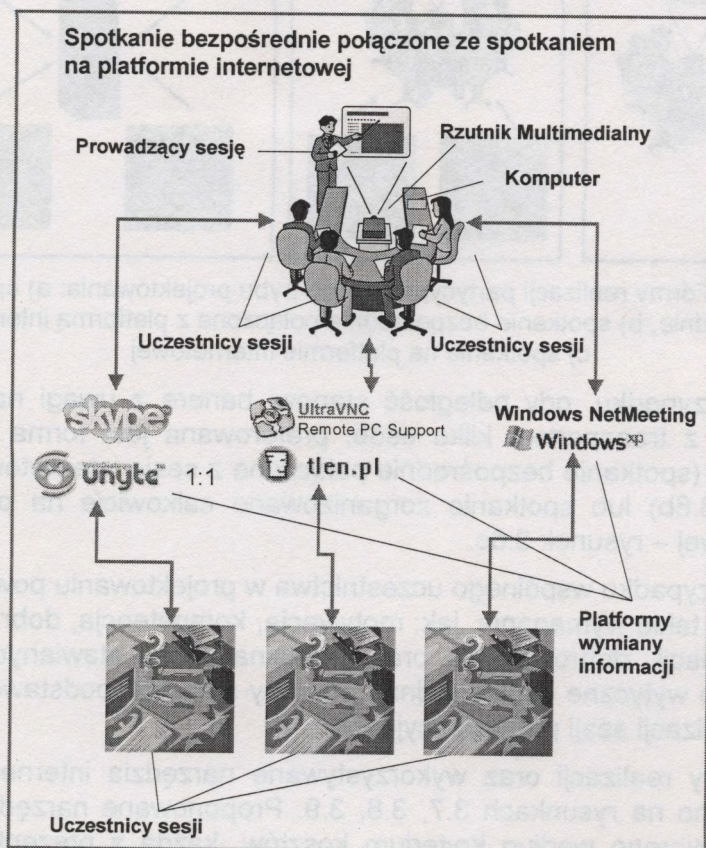
W przypadku, gdy odległość stanowi barierę z uwagi na koszty, związane z transportem kilku osób, preferowana jest forma kontaktu mieszana (spotkanie bezpośrednie połączone z sesją internetową, patrz rysunek 3.6b) lub spotkanie zorganizowane całkowicie na platformie internetowej – rysunek 3.6c.

W przypadku wspólnego uczestnictwa w projektowaniu powinny być spełnione takie wymagania, jak: motywacja, kompetencja, dobra wymiana informacji, dobrowolność oraz jednoznaczność stawianych celów [16], są to wytyczne ogólne jednak powinny stanowić podstawę wyboru formy realizacji sesji partycypacyjnych.

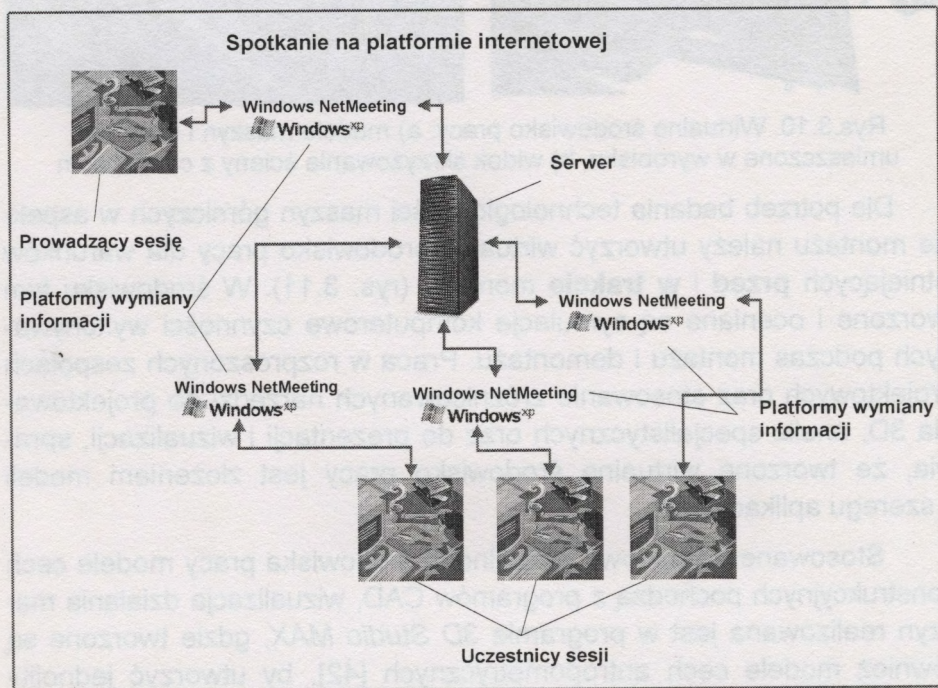
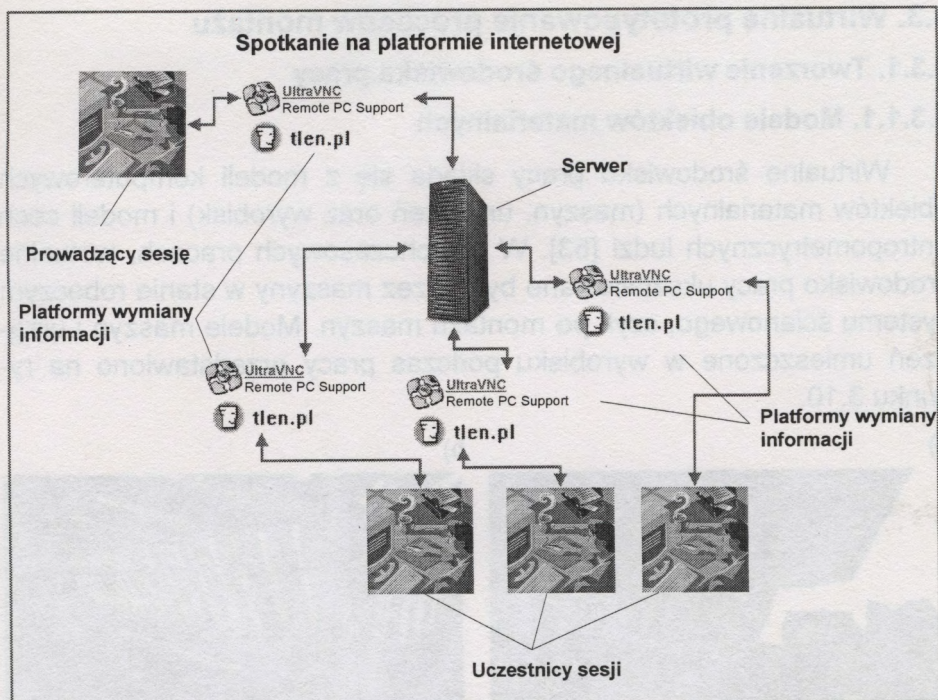
Formy realizacji oraz wykorzystywane narzędzia internetowe zamieszczono na rysunkach 3.7, 3.8, 3.9. Proponowane narzędzia internetowe wybrano według kryterium kosztów, każda z prezentowanych propozycji opiera się na aplikacjach darmowych lub dostępnych wraz z systemem operacyjnym.



Rys.3.7. Formy realizacji partycypacyjnego trybu projektowania – spotkanie bezpośrednie



Rys.3.8. Formy realizacji partycypacyjnego trybu projektowania – spotkanie łączone



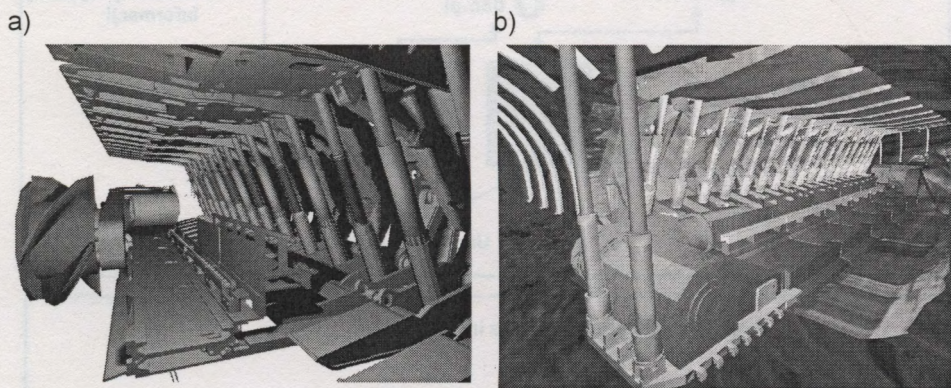
Rys.3.9. Formy realizacji partycypacyjnego trybu projektowania na platformie internetowej

3.3. Wirtualne prototypowanie procesów montażu

3.3.1. Tworzenie wirtualnego środowiska pracy

3.3.1.1. Modele obiektów materialnych

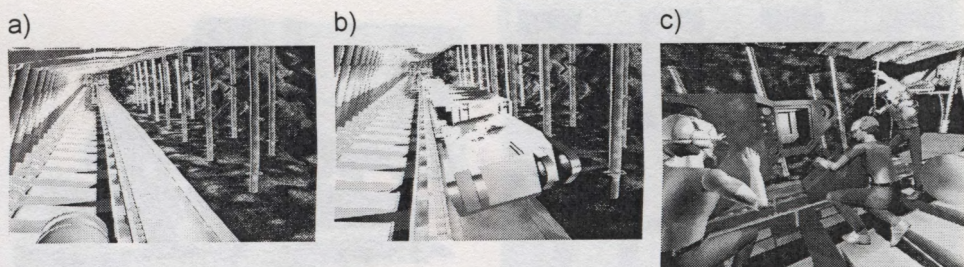
Wirtualne środowisko pracy składa się z modeli komputerowych obiektów materialnych (maszyn, urządzeń oraz wyrobisk) i modeli cech antropometrycznych ludzi [53]. W dotychczasowych pracach, wirtualne środowisko pracy ukształtowane było przez maszyny w stanie roboczym systemu ścianowego, czyli **po** montażu maszyn. Modele maszyn i urządzeń umieszczone w wyrobisku podczas pracy przedstawiono na rysunku 3.10.



Rys.3.10. Wirtualne środowisko pracy: a) modele maszyn i urządzeń umieszczone w wyrobisku, b) widok skrzyżowania ściany z chodnikiem

Dla potrzeb badania technologiczności maszyn górniczych w aspekcie montażu należy utworzyć wirtualne środowisko pracy dla warunków istniejących **przed** i **w trakcie** montażu (rys. 3.11). W środowisku tym tworzone i oceniane są symulacje komputerowe czynności wykonywanych podczas montażu i demontażu. Praca w rozproszonych zespołach projektowych oraz stosowanie zróżnicowanych narzędzi do projektowania 3D, analiz specjalistycznych oraz do prezentacji i wizualizacji, sprawia, że tworzone wirtualne środowisko pracy jest złożeniem modeli z szeregu aplikacji [5].

Stosowane do budowy wirtualnego środowiska pracy modele cech konstrukcyjnych pochodzą z programów CAD, wizualizacja działania maszyn realizowana jest w programie *3D Studio MAX*, gdzie tworzone są również modele cech antropometrycznych [42], by utworzyć jednolity model środowiska pracy należy wybrać platformę integrującą wszystkie modele.



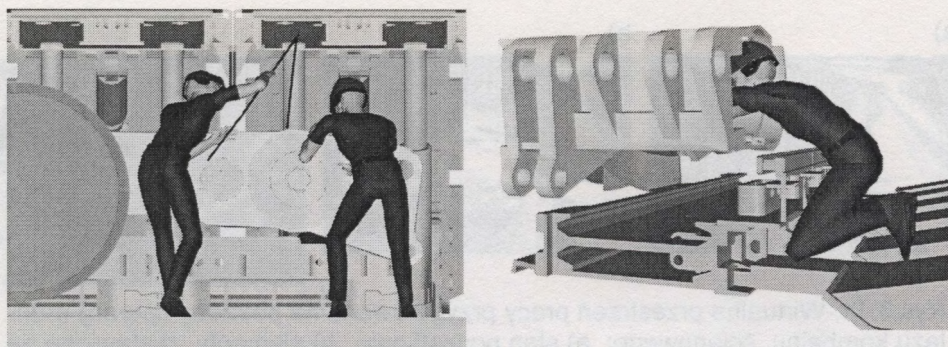
Rys.3.11. Wirtualna przestrzeń pracy przygotowana na potrzeby operacji montażu kombajnu ścianowego: a) stan początkowy, b) elementy zestawione na przenośniku zgrzeblowym, c) szczegółowe operacje montażu

Wizualizacje działania maszyn można wykonywać za pomocą odpowiednich modułów w systemach CAD. Jest jednak kilka istotnych zalet stosowania specjalistycznych programów do wizualizacji:

- możliwość integracji modeli wytworzonych różnymi technikami, np. Reverse Engineering,
- możliwości upraszczania elementów graficznych celem poprawy szybkości wyświetlania modeli; upraszczanie może obejmować zarówno usuwanie elementów zewnętrznych, jak i modyfikacje wewnętrznych cech geometrycznych nieistotnych z punktu widzenia wizualizacji,
- możliwość wizualizacji zjawisk towarzyszących działaniu maszyn, takich jak zapylenie, urabianie skał itd.

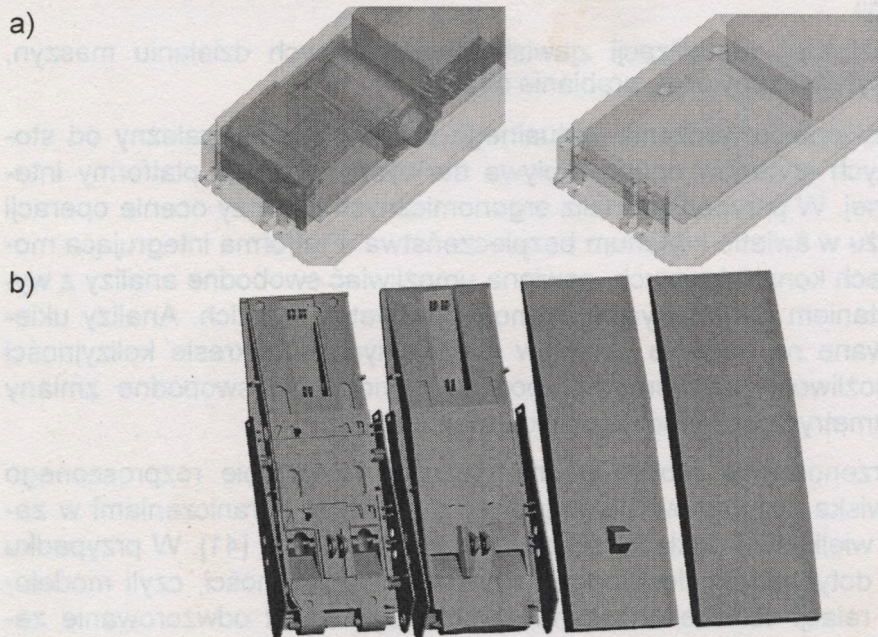
Cel przeprowadzania wirtualnego prototypowania, zależny od stosowanych kryteriów oceny, wpływa na wybór wspólnej platformy integracyjnej. W przypadku analiz ergonomicznych lub przy ocenie operacji montażu w świetle kryterium bezpieczeństwa. Platforma integrująca modele cech konstrukcyjnych, powinna umożliwiać swobodne analizy z wykorzystaniem parametrycznych modeli sylwetek ludzkich. Analizy ukierunkowane na badanie obiektów materialnych w zakresie kolizyjności czy możliwości wytwórczych, powinny umożliwiać swobodne zmiany w parametrycznym modelu obiektu materialnego.

Przenoszenie modeli geometrycznych w obrębie rozproszonego środowiska programowego wiąże się z pewnymi ograniczeniami w zakresie wielkości i dokładności odwzorowania obiektu [41]. W przypadku analiz dotyczących dostępności i zakresów widoczności, czyli modelowania relacji człowiek-maszyna, wystarczające jest odwzorowanie zewnętrznych gabarytów obiektu. Pozwala to przyspieszyć analizę, a uzyskany stopień uproszczenia wystarcza do modelowania kolizyjności, zasięgów i widoczności [41, 52]. Na rysunku 3.12 przedstawiono badanie zasięgów i dostępności do wybranych miejsc na maszynie.



Rys.3.12. Badanie zasięgów i dostępności do komory silnika elektrycznego w ramieniu kombajnu ścianowego

Celem modelowania wirtualnego środowiska pracy jest przeprowadzenie określonych analiz oraz badanie modelowanych obiektów w różnych aspektach. Zagadnienie to określane jest mianem budowy modeli kryterialnych. Modele kryterialne budowane na potrzeby wybranych badań zawierają te cechy, które wymagane są dla danej analizy. Na rysunku 3.13 przedstawiono sposoby upraszczania siatki i usuwania niewidocznych obiektów na przykładzie stropnicy obudowy zmechanizowanej i skrzyni napędowej kombajnu ścianowego [40].



Rys.3.13. Przykłady upraszczania cech geometrycznych obiektów wchodzących w skład wirtualnego środowiska pracy: a) upraszczanie cech wewnętrznych, b) upraszczanie zewnętrznych cech geometrycznych

Analizy montażu w obrębie dostępności do wybranych wewnętrznych elementów np. w aspekcie możliwości użycia określonych narzędzi, wymagają dokładnego odwzorowania budowy wewnętrznej analizowanego obiektu, w przypadku tego samego obiektu analiza możliwości wykonania montażu w aspekcie określenia kolizyjności względem elementów współpracujących wymaga szczegółowych cech geometrycznych zewnętrznych. Rozważania związane ze szczegółowością rozpatrywanego modelu są ważne w przypadku partycypacyjnego trybu projektowania, gdzie modele przekazywane są wielu osobom i stopień ich komplikacji ma duże znaczenie z uwagi na ochronę własności intelektualnej, przepustowość łączy internetowych czy konieczność posiadania zaawansowanego sprzętu komputerowego do przeglądania obiektów 3D. W przypadku analiz na etapie konstruowania możliwe jest przeprowadzenie wstępnego ustawienia maszyny w środowisku, w którym będzie ona pracować, pozwala to określić możliwości współpracy z innymi zespołami kompleksu ścianowego. Wymaga to integracji modeli z różnych systemów i wymusza stosowanie formatów wymiany danych właściwych dla danego systemu. Badanie technologiczności montażu wiąże się min. z analizą obiektu w aspekcie funkcji, jakie spełnia w systemie. Pomocną w tego rodzaju analizach jest technika odwzorowania wirtualnego środowiska za pomocą symulacji interaktywnej [50, 47]. Na rysunku 3.14 przedstawiono model wirtualnego środowiska pracy kombajnu ścianowego zrealizowany w środowisku programu *Blender 3D* [56]. Przygotowanie wirtualnego środowiska pracy za pomocą technik interaktywnych pozwala na modelowanie stanów maszyn wchodzących w skład środowiska pracy (stany pracy, stany awaryjne) [7, 8].

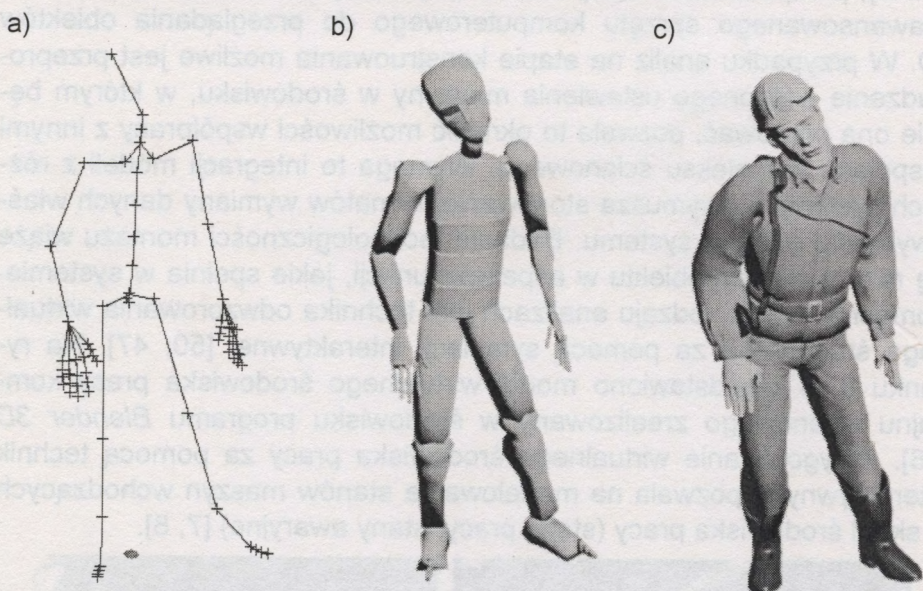


Rys.3.14. Wirtualne środowisko pracy kombajnu ścianowego, symulacja interaktywna

Środowisko pracy zbudowane z wykorzystaniem techniki interaktywnej symulacji, bazuje na modelach pozyskanych z procesu projektowania, rozbudowanych o możliwości poruszania i przemieszczania ich zgodnie, ze stanem rzeczywistym.

3.3.1.2. Modele cech antropometrycznych

W przypadku analiz antropotechnicznych konieczne jest symulowanie udziału człowieka w działaniach roboczych, serwisowych lub montażowych maszyny [20]. Cechy antropometryczne analizowane podczas badań współdziałania na linii człowiek – maszyna, powinny być modelowane za pomocą aplikacji uwzględniających, nie tylko zewnętrzne cechy budowy ciała ludzkiego, ale pozwalające także na analizy jakościowe i ilościowe [42]. Modele cech antropometrycznych obejmują: model łańcucha kinematycznego, model bryłowy segmentów ciała oraz model zewnętrznych cech antropometrycznych. Na rysunku 3.15 przedstawiono rodzaje możliwych do uzyskania modeli sylwetek ludzkich.



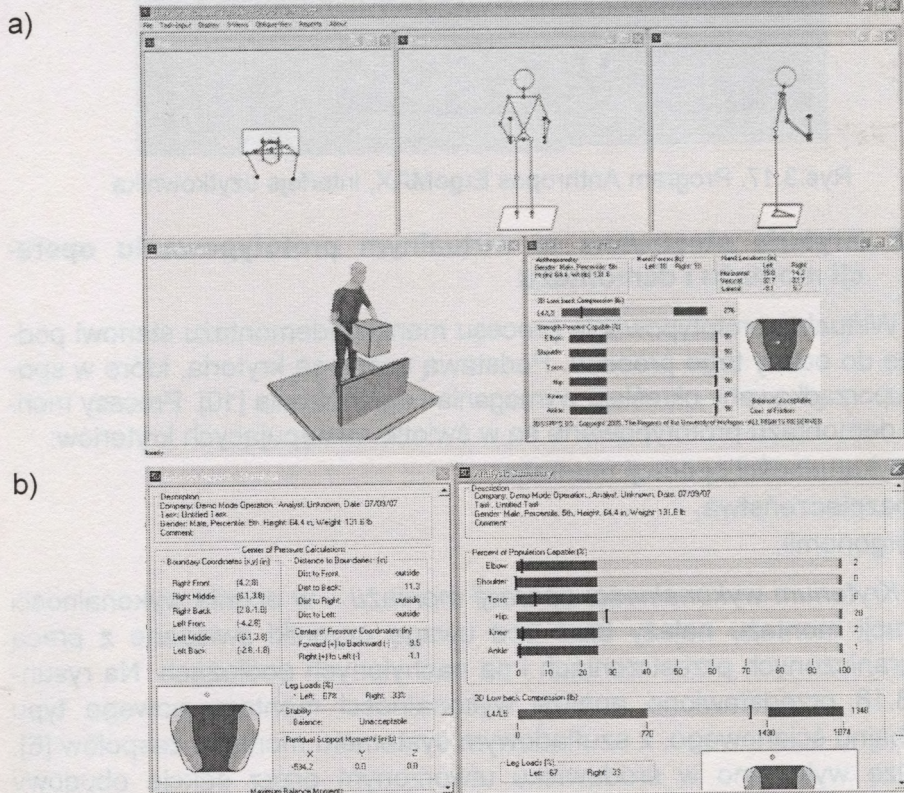
Rys.3.15. Modele cech antropometrycznych: a) model łańcucha kinematycznego, b) model bryłowy segmentów ciała, c) model zewnętrznych cech antropometrycznych

Analiza wykonalności operacji manualnych, wymaga uwzględnienia w modelu dodatkowych elementów wyposażenia, takich jak: kask, lampa wraz z akumulatorem noszonym na ramieniu, torba narzędziowa, aparat ucieczkowy. Modele wyposażenia dodatkowego integrowane są z modelami sylwetek ludzki i podczas analizy zachowują się tak, jak w rzeczywistości (przemieszczają się razem z poszczególnymi segmentami ciała). Każdy z tych elementów wpływa na zewnętrzne gabaryty, co jest istotnym czynnikiem podczas analizy przejść minimalnych.

Zastosowanie programu 3DSSPP [58] daje możliwość modelowania cech antropometrycznych na potrzeby analiz obciążenia układu kostno-

szkieletowego. Model 3D ciała ludzkiego, wykorzystywany w programie jako graficzny interfejs do wprowadzania danych wejściowych, pozwala na ustawianie kątów pomiędzy poszczególnymi segmentami ciała oraz określenie sił obciążających wybrane kończyny. Na rysunku 3.16 pokazano interfejs do wprowadzania danych wejściowych oraz otrzymane na tej podstawie wyniki.

Środowisko programu pozwala na precyzyjne badanie wyężenia poszczególnych segmentów ciała przy zadanych obciążeniach statycznych. Program nie pozwala na wczytywanie dodatkowych modeli, a analizy odbywają się jedynie w odniesieniu do modelu 3D człowieka.

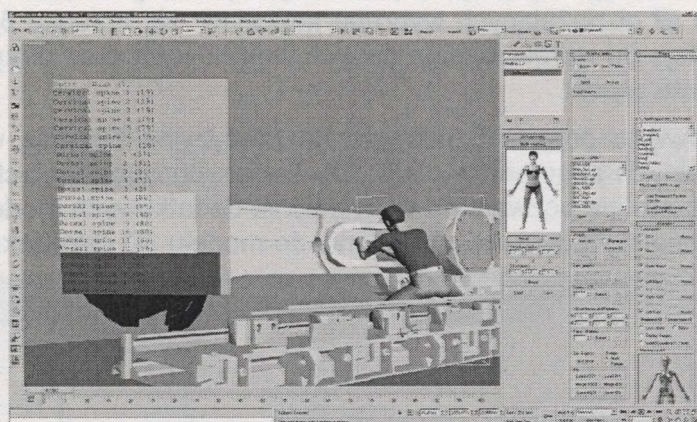


Rys.3.16. Program 3D SSPP: a) interfejs użytkownika, b) wyniki analiz

Oprogramowaniem bardziej zaawansowanym w zakresie współdziałania z otoczeniem jest program *Anthropos ErgoMAX*, który pracuje w środowisku *3D Studio MAX*. Program posiada możliwości analiz ergonomicznych, badania zasięgów oraz pól widzenia. Na rysunku 3.17 pokazano interfejs programu *Anthropos ErgoMAX*.

Połączenie funkcjonalności programu i możliwości środowiska *3D Studio MAX* pozwala na zaawansowane analizy relacji człowiek maszyna.

Możliwość tworzenia skryptów pozwala na wczytywanie danych z zewnętrznych aplikacji w postaci plików o odpowiednim formacie zapisu danych.



Rys.3.17. Program Anthropos ErgoMAX, interfejs użytkownika

3.3.2. Kryteria stosowane w wirtualnym prototypowaniu operacji montażu i demontażu

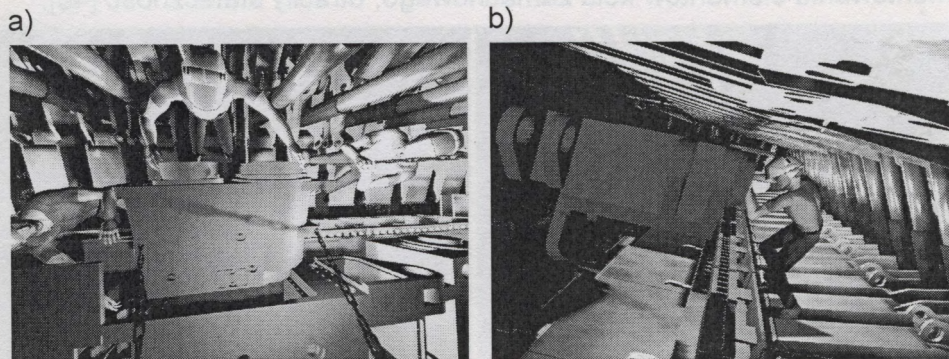
Wirtualne prototypowanie procesu montażu/demontażu stanowi podstawę do oceny tego procesu. Podstawą oceny są kryteria, które w sposób uporządkowany określają wymagania i ograniczenia [10]. Procesy montażu demontażu prototypowane są w świetle następujących kryteriów:

- wykonalności operacji montażu,
- bezpieczeństwa,
- ergonomii.

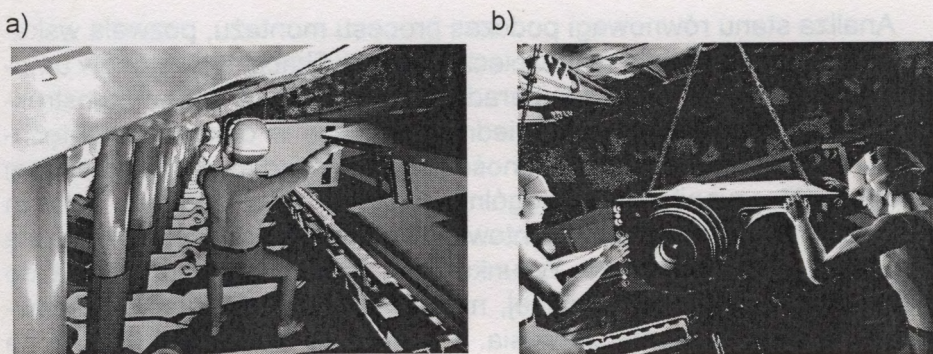
Kryterium wykonalności operacji montażu – w ocenie wykonalności operacji montażu należy brać pod uwagę czynniki związane z pracą w ograniczonych przestrzeniach i na nachylonych podłożach. Na rysunku 3.18 przedstawiono analizę wykonalności montażu nowego typu kombajnu ścianowego, z szufladowym systemem montażu zespołów [6]. Analizę wykonano w środowisku utworzonym przez sekcje obudowy zmechanizowanej, sekcje rynny przenośnika i caliznę węglową. Rozpatrywano montaż zespołu zasilającego w kadłubie kombajnu o masie około 1700 kg.

Praca w ograniczonych przestrzeniach wpływa na dostęp do istotnych elementów maszyny i możliwość manewrowania montowanymi elementami. Nachylone podłoże występuje w kopalni w różnym stopniu na każdej ścianie wydobywczej. W przypadku wykonywania operacji montażu na pochylonym podłożu, w wyniku działania siły grawitacji ele-

menty montowane w sposób naturalny ustawiają się skośnie względem korpusów osadzonych na podłożu. Skośne ustawianie się elementów podczas montażu na pochyłym podłożu pokazano na rysunku 3.19.



Rys.3.18. Analiza wykonalności operacji montażu w ograniczonej przestrzeni: a) rozmieszczenie zespołu montującego, b) montaż modułu w niskiej ścianie



Rys.3.19. Analiza wykonalności operacji montażu na nachylonym podłożu: a) nachylenie podłoża poprzeczne, b) nachylenie podłoża wzdłużne

Nachylone podłoże wymusza konieczność stosowania dodatkowego sprzętu wspomagającego, a co za tym idzie konieczność opracowania dodatkowych uchwytów pomocniczych i haków. Wymienione czynniki wpływają na możliwość wywarcia siły. Stosowane narzędzia pomocnicze w postaci kluczy dynamometrycznych czy innych narzędzi specjalnych wymagają określonej przestrzeni do prawidłowego mocowania i działania.

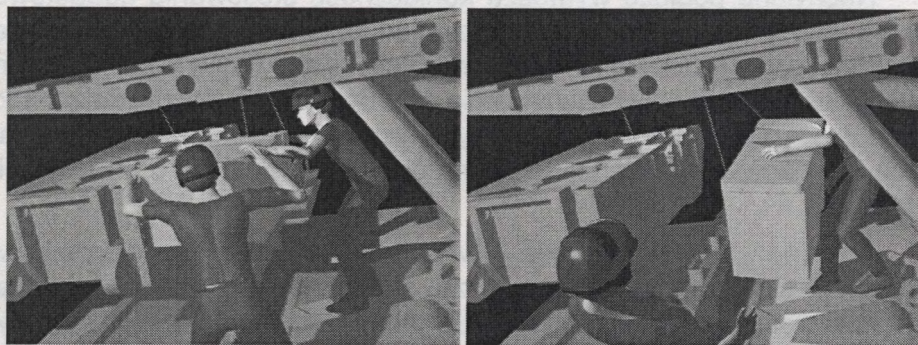
Kryterium bezpieczeństwa – w obrębie kryterium bezpieczeństwa mieszczą się czynniki związane ze statecznością maszyn podczas montażu i statecznością zespołów. Kryterium stateczności powinno być analizowane, nie tylko gdy maszyna jest kompletna i w pełni zmontowana, ale również w trakcie operacji montażu, gdy demontaż poszcze-

gólnych elementów może wpływać na stan równowagi obiektu. Na rysunku 3.20 przedstawiono kadry z wizualizacji wypadku, którego przyczyną było nagłe przemieszczenie się elementów kruszarki, które po zdemontowaniu elementów koła zamachowego, utraciły stateczność [46].



Rys.3.20. Wypadek spowodowany utratą stateczności przez częściowo zdemontowaną kruszarkę

Analiza stanu równowagi podczas procesu montażu, pozwala wskazać na etapy potencjalnie niebezpieczne. Identyfikacja tych stanów umożliwia zastosowanie środków zaradczych w postaci zmian konstrukcyjnych lub zastosowanie odpowiednich zapisów w dokumentacji techniczno-ruchowej obiektu. Stateczność zespołów będących przedmiotem montażu jest czynnikiem szczególnie istotnym przy badaniu maszyn wielkogabarytowych, gdzie montowane elementy charakteryzują się dużą masą i gabarytami. Na rysunku 3.21 pokazano przygnięcie do sekcji obudowy zmechanizowanej, nieprawidłowo ustawionego pracownika, w skutek zerwania zawiesia. Planowanie operacji montażu na etapie projektowania powinno uwzględniać takie rozmieszczenie elementów pomocniczych na obudowie podzespołów, aby konieczność ich wykorzystania nie powodowała zagrożenia dla obsługi.

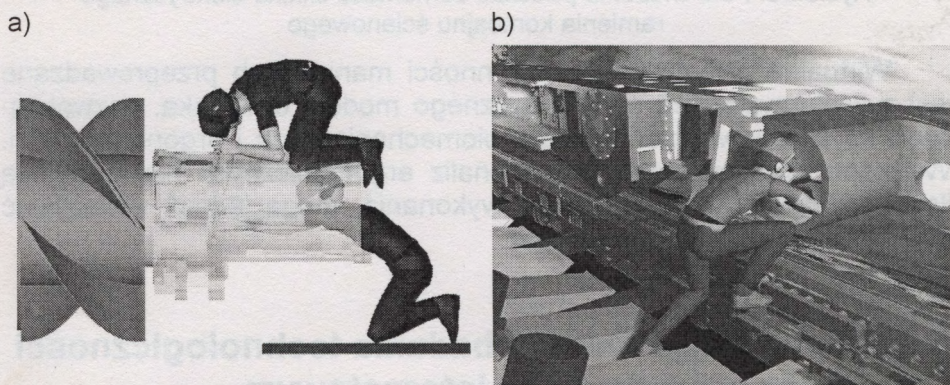


Rys.3.21. Zerwanie wiotkiego cięgna podczas montażu modułu napędowego kombajnu ścianowego

Spełnianie wymogów bezpieczeństwa dla maszyn stosowanych w warunkach atmosfery wybuchowej, jaka może wystąpić w warunkach górniczych jest warunkiem koniecznym do dopuszczenia maszyny do eksploatacji. Wiąże się z tym:

- a) *identyfikacja czynności potencjalnie niebezpiecznych* – analiza retrospektywna sytuacji wypadkowych związanych z wykonywaniem czynności o zbliżonym charakterze,
- b) *określenie możliwych do zastosowania środków zapobiegawczych* – w przypadku zidentyfikowanych czynników niebezpiecznych konieczna jest analiza norm i zapisów dopuszczających stosowanie ewentualnych środków zapobiegawczych.

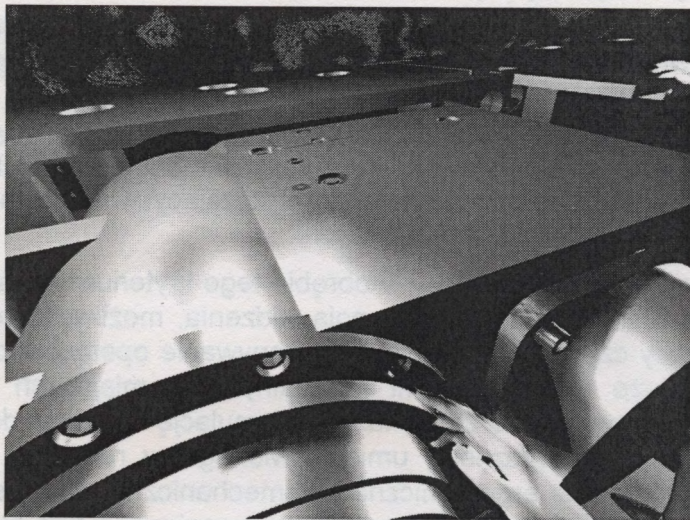
Kryterium ergonomiczne – w obrębie tego kryterium mieści się rozpatrywanie takich czynników, jak pola widzenia, możliwość oświetlenia miejsca pracy czy zasięgi kończyn. Wykonywanie operacji montażu demontażu wiąże się z pracami manualnymi w miejscach trudnodostępnych. Na rysunku 3.22 pokazano symulację dostępu do wnętrza komory silnika elektrycznego umiejscowionego w ramieniu kombajnu ścianowego. Analiza ergonomiczna i biomechaniczna, daje pełen obraz możliwych do zastosowania narzędzi oraz ograniczeń z tym związanych.



Rys.3.22. Analizy ergonomiczne przy wykonywaniu operacji montażu w obrębie komory silnika elektrycznego umieszczonego w ramieniu kombajnu ścianowego: a) analiza zasięgów, b) możliwość oświetlenia miejsca pracy

Utrudniony dostęp do wybranych elementów maszyny wymusza konieczność stosowania dodatkowych otworów wizyjnych, jako elementów wspomagających wykonywane czynności. Pole widzenia podczas operowania dużymi masami określa możliwość precyzyjnego umieszczania elementów np. w korpusie, a w przypadku operacji demontażu wpływa na bezpieczeństwo podczas siłowego rozdzielania elementów. Na rysunku 3.23 pokazano pole widzenia podczas demontażu silnika elektrycznego ramienia kombajnu.

Nieodłącznym elementem pracy w ograniczonych przestrzeniach jest przyjmowanie wymuszonych pozycji ciała. Ocena procesu montażu w świetle kryterium wyężenia układu kostno szkieletowego wskazuje na czynności wymagające szczególnej uwagi.



Rys.3.23. Pole widzenia podczas demontażu silnika elektrycznego ramienia kombajnu ścianowego

Wirtualne prototypowanie czynności manualnych przeprowadzane jest z wykorzystaniem parametrycznego modelu człowieka, pozwalającego na przeprowadzenie analiz biomechanicznych i ergonomicznych. Wytyczne opracowane podczas analiz ergonomicznych nie zredukują ilości czynności koniecznych do wykonania, mogą jednak wskazywać czynności potencjalnie ryzykowne.

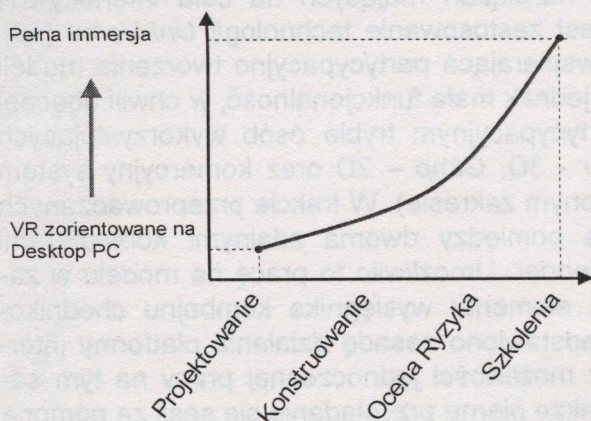
4. Implementacja metody badania technologiczności montażu w środowisku internetowym

4.1. Opis narzędzi wspomagających badanie technologiczności montażu maszyn górniczych

Implementacja metody badania technologiczności w środowisku internetowym polega na integracji narzędzi obejmujących kolejne etapy przygotowania i realizacji działań w partycypacyjnym trybie projektowania. Badanie technologiczności montażu w trybie partycypacyjnym odbywa się w wirtualnym środowisku pracy, które reprezentowane jest za pomocą aplikacji interaktywnych [24]. Wirtualna rzeczywistość stwarza wrażenie obecności w środowisku złożonym z modeli komputerowych. Oddziaływanie wirtualnej rzeczywistości na użytkownika zależy od stop-

nia jego „zanurzenia” w środowisku modeli. Stopień „zanurzenia” zwany immersyjnością (od ang. *immersion*) zależy od zastosowanego osprzętu dodatkowego, uzupełniającego sprzęt komputerowy. Rzeczywistość wirtualna charakteryzuje się zdolnością zapewnienia immersyjności i interaktywności w jednym środowisku [2]. Immersyjny charakter wirtualnej rzeczywistości może być osiągnięty dzięki zastosowaniu tzw. „akcesoriów VR”, które obejmują m.in. wyświetlacze montowane na głowie, rękawice do zadań wirtualnych, okulary stereoskopowe, itp. Interaktywny charakter wirtualnej rzeczywistości zwiększa zaangażowanie użytkownika w wirtualne środowisko poprzez działanie i reagowanie, a zatem wzmacnia jego integrację ze światem wirtualnym. Interaktywność w środowisku wirtualnym może być osiągnięta za pomocą konwencjonalnych urządzeń wejściowych/wyjściowych, do których należy monitor, myszka i klawiatura.

Wzrasta znaczenie ekonomiczne wirtualnej rzeczywistości. Coraz więcej przedsiębiorstw wprowadza ją po zapoznaniu się z zaletami tej technologii. Obszary zastosowania wirtualnej rzeczywistości obejmują m.in. szkolenie, testowanie wirtualnych prototypów [41], graficznie wyświetlanie produktu i wykazy montażowe [43], symulację zadań utrzymania ruchu [1], badania ergonomiczne oraz ocenę ryzyka [30]. Rozróżniamy dwa podstawowe rodzaje narzędzi VR: immersyjne i zorientowane na PC. Każde z nich ma swój specyficzny obszar zastosowania. Efekt immersji uzyskuje się wewnątrz pewnego otoczenia zbudowanego z modeli komputerowych obiektów rzeczywistych. Konieczna jest więc znajomość cech geometrycznych tych obiektów. Możliwości zastosowania immersyjnych VR rosną zatem w miarę konkretyzacji cech geometrycznych rozpatrywanych obiektów. W początkowych fazach projektowania cechy geometryczne obiektów nie są dostatecznie zidentyfikowane i zbudowanie środowiska dla immersyjnych VR jest utrudnione. Stąd bardziej przydatna jest forma VR zorientowana na PC. Opisane zależności w sposób poglądowy przedstawia rysunek 4.1.



Rys.4.1. Stosowanie wirtualnej rzeczywistości w miarę postępu rozwoju projektu

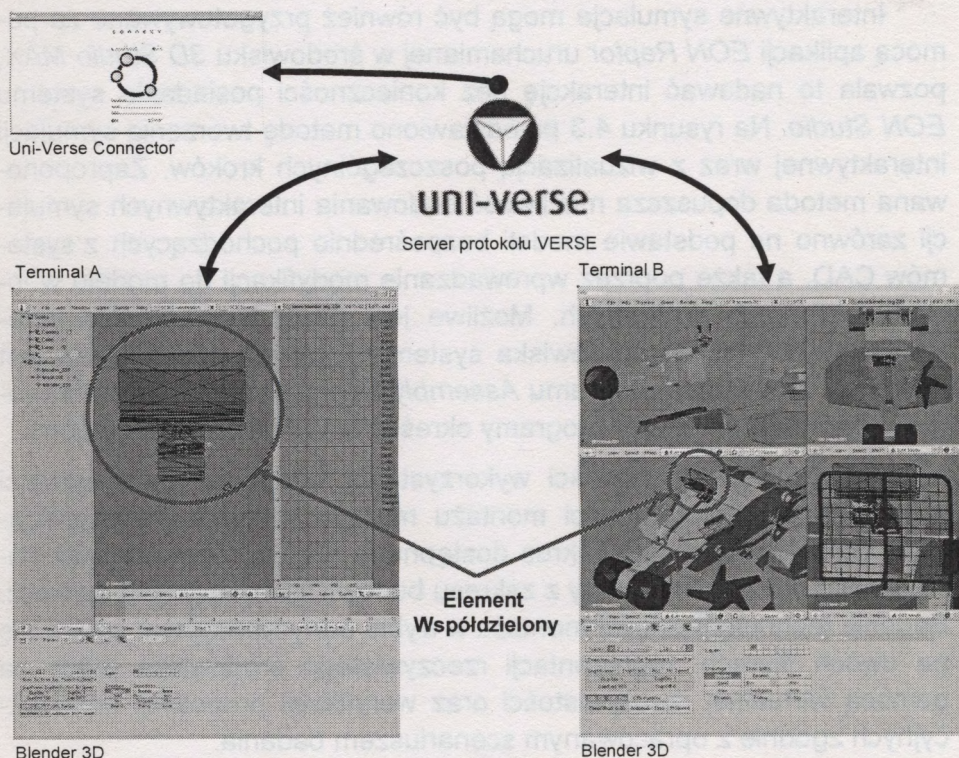
Zależność tę potwierdza praktyka; większość zastosowań immersyjnej VR obserwuje się w szkoleniach. Są one podejmowane w tej fazie cyklu życia środków technicznych, kiedy istnieją realne środki techniczne i ich materialne modele w formie symulatorów. Przedstawiona na wykresie zależność zwraca ponadto uwagę na składniki scenografii wirtualnego środowiska. W VR zorientowanych na PC są to modele komputerowe, w immersyjnej VR są to modele i obiekty materialne (symulatory). W miarę przechodzenia od VR zorientowanych na PC w kierunku immersyjnej VR, wzrasta stopień specjalizacji stosowanych narzędzi informatycznych [48].

Narzędzia wspomagające badanie technologiczności montażu w trybie partycypacyjnym opierają się o komputery klasy PC, nie przewiduje się stosowania dodatkowych elementów wyposażenia, zgodnie z omówionymi wcześniej założeniami na tym etapie projektowania ten rodzaj technik wirtualnych jest najodpowiedniejszy (patrz rysunek 4.1). Przyjmując założenie, iż wirtualna rzeczywistość charakteryzuje się zdolnością zapewnienia immersyjności i interaktywności w jednym środowisku, to założenia te spełniają wszystkie programy typu CAD oraz specjalistyczne środowiska przeznaczone do wizualizacji takie, jak np. *3D Studio MAX*. Ograniczeniem w tym przypadku jest dostępność do aplikacji, który limitowany jest komercyjnym charakterem systemów oraz koniecznością posiadania specjalistycznej wiedzy, koniecznej do obsługi systemów – czyli tzw. immersji i interakcji [38]. Proponowana metoda badania technologiczności montażu opiera się na synergii dostępnych u wszystkich uczestników partycypacyjnego trybu projektowania narzędzi poprzez prezentowanie ich działania większej liczbie osób (nie tylko osobie, która aktualnie projektuje lub wykonuje analizy) [31]. Takie podejście pozwala uzyskiwać odpowiedzi na pojawiające się pytania „na gorąco” i od razu konsultować je z odbiorcą.

Jednym z możliwych rozwiązań mających na celu interaktywne kształtowanie konstrukcji jest zastosowanie technologii *Uni-Verse* [65]. Jest to nowa technologia wspierająca partycypacyjne tworzenie modeli 3D. Jej ograniczeniem jest jednak mała funkcjonalność, w chwili obecnej możliwy jest udział w partycypacyjnym trybie osób wykorzystujących programy takie jak *Blender* - 3D, *Gimp* – 2D oraz komercyjny system *3Dstudio MAX* (w ograniczonym zakresie). W trakcie przeprowadzanych prób uzyskano połączenie pomiędzy dwoma zdalnymi komputerami z uruchomioną aplikacją *Blender*. Umożliwiło to pracę na modelu w zakresie modyfikacji kształtu elementu wysięgnika kombajnu chodnikowego. Na rysunku 4.2 przedstawiono zasadę działania platformy internetowej *Uni-Verse*. Oprócz możliwości jednoczesnej pracy na tym samym modelu możliwe jest także bierne przyglądanie się sesji za pomocą

przeglądarki wchodzącej w skład pakietu *Uni-Verse Connector*. Daje to możliwość udziału w procesie, ekspertom nie zorientowanym w technice modelowania i obsługi zaawansowanych narzędzi 3D.

Utrata parametryzacji modelu modyfikowanego na platformie *Uni-verse* znacznie ogranicza jej obszar wykorzystania w partycypacyjnym trybie projektowania, może jednak być przydatna w przypadku partycypacyjnego przeprowadzania analiz ergonomicznych wykonywanych w programie *3D Studio MAX*. Wykorzystując do tego celu plug-in *ErgoMAX* możliwe jest w czasie rzeczywistym prezentowanie położenia interaktywnego modelu człowieka (interaktywnego w obrębie aplikacji *3D Studio MAX*). Uzyskuje się dzięki temu możliwość uczestnictwa w analizie bez konieczności posiadania aplikacji.



Rys.4.2. Implementacja metody PTP w środowisku Uni-Verse

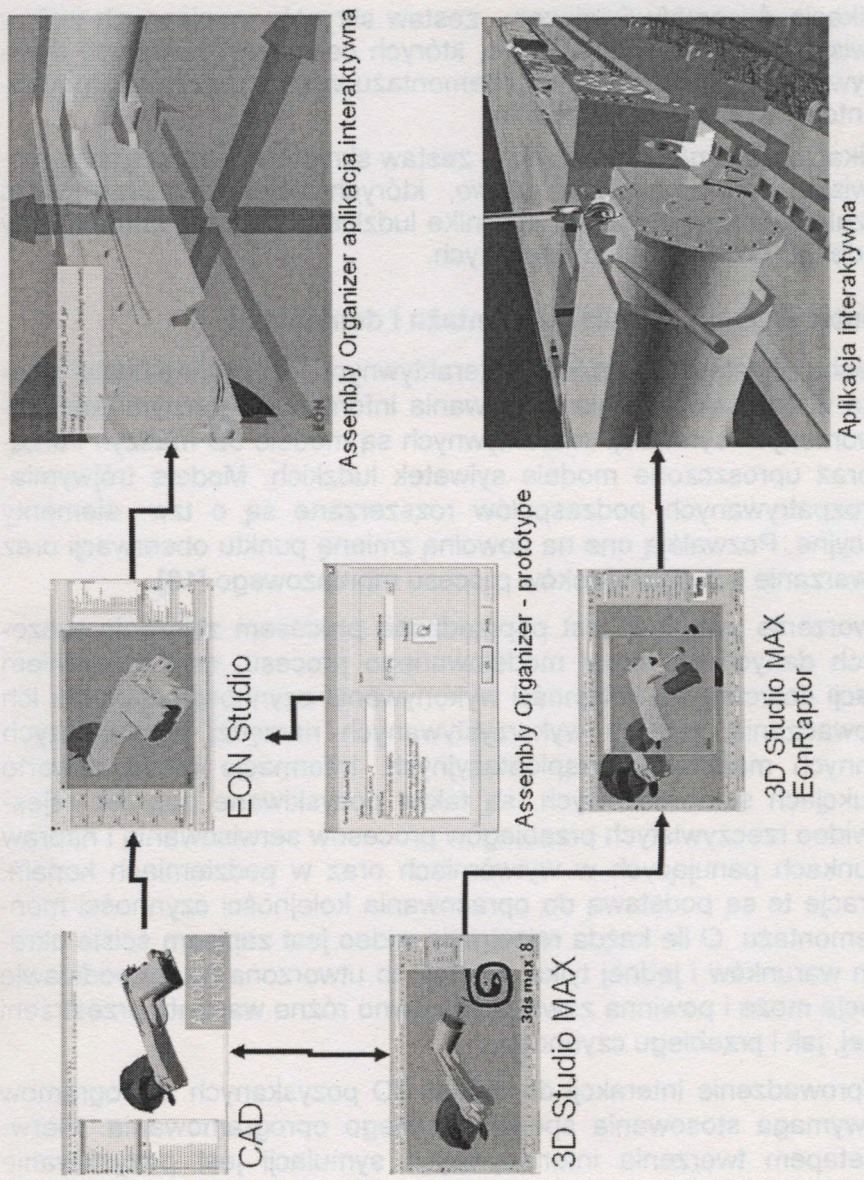
Materiały stosowane jako uzupełnienie scenariusza przebiegu sesji mogą być wykonane w postaci animacji (pozwalają na to wszystkie zaawansowane systemy CAD) obrazującej proponowany przebieg demontażu, jednak nie ma w tym wypadku możliwości ingerencji w kolejność działań ani dokładnego przeglądania przedmiotu analizy. Rozwiązaniem tego problemu jest możliwość eksportu elementów maszyn

do formatów dostępnych dla każdego użytkownika. Uzyskiwany w wyniku opisanych działań stopień immersji jest wystarczający do zapoznania się z modelem trójwymiarowym lub rysunkiem płaskim, jednak interakcja ogranicza się do obracania, zbliżania /oddalania i przesuwania modelu. Działania dotyczące badania technologiczności oprócz działań na modelach w środowisku CAD, mogą być zogniskowane na interaktywnej aplikacji, która oprócz interakcji zapewnia możliwość dokumentowania przebiegu sesji. Zastosowanie interaktywnych aplikacji wykonywanych w środowisku *EON Studio* pozwala budować symulacje montażu/demontażu o wysokim stopniu komplikacji, dając jednocześnie możliwość przeglądania ich bez konieczności posiadania licencji komercyjnej (przeglądarka plików *EON Viewer* jest dostępna nieodpłatnie).

Interaktywne symulacje mogą być również przygotowywane za pomocą aplikacji *EON Raptor* uruchamianej w środowisku *3D Studio MAX*, pozwala to nadawać interakcję bez konieczności posiadania systemu *EON Studio*. Na rysunku 4.3 przedstawiono metodę tworzenia symulacji interaktywnej wraz z wizualizacją poszczególnych kroków. Zaproponowana metoda dopuszcza możliwość budowania interaktywnych symulacji zarówno na podstawie modeli bezpośrednio pochodzących z systemów CAD, a także poprzez wprowadzanie modyfikacji do modelu w innych systemach graficznych. Możliwe jest także bezpośrednie przekazywanie modeli do środowiska systemu *EON* gdzie nadawana jest interakcja za pomocą programu *Assembly Designer* (w wewnętrznej notacji systemu *EON Studio* programy określane są mianem prototypów).

Istnieje wiele możliwości wykorzystania wirtualnej rzeczywistości w badaniu technologiczności montażu maszyn w trybie partycypacyjnym, ograniczeniem jest zakres dostępnego oprogramowania oraz konieczność posiadania wiedzy z zakresu budowy interaktywnych aplikacji. Badanie technologiczności montażu w trybie partycypacyjnym opiera się na dwóch filarach: reprezentacji rzeczywistego środowiska pracy za pomocą wirtualnej rzeczywistości oraz weryfikacji propozycji konstrukcyjnych zgodnie z opracowanym scenariuszem badania.

Wspomaganie badania technologiczności powinno być realizowane na dwóch płaszczyznach: przygotowanie narzędzia opisującego sposób przeprowadzenia badania, wspomagającego przygotowanie scenariuszy badania oraz przygotowanie pomocy, która umożliwi prezentację wiedzy w sposób interaktywny tak, aby jej przygotowanie było proste i nie wymagało specjalistycznej wiedzy informatycznej.



Rys.4.3. Środowisko programowe przyjęte w implementacji metody badania technologiczności maszyn w aspekcie montażu

W ramach niniejszej pracy opracowano trzy narzędzia wspomagające wprowadzenie metody do powszechnego użytku:

- program *Assembly Guideline* – zrealizowany w postaci pomocy podręcznej zawierający wszystkie wskazania do realizacji zapisów metody,
- aplikacja *Assembly Designer* – zestaw skryptów napisanych w środowisku programu *EON Studio*, których celem jest tworzenie interaktywnych symulacji montażu/demontażu wraz z możliwością dokumentowania przebiegu badania,
- aplikacja *Assembly Participant* – zestaw skryptów osadzonych w środowisku programu *EON Studio*, których celem jest możliwość uwzględnienia w symulacji czynnika ludzkiego poprzez interaktywny model 3D cech antropometrycznych.

4.1.1. Interaktywne symulacje montażu i demontażu

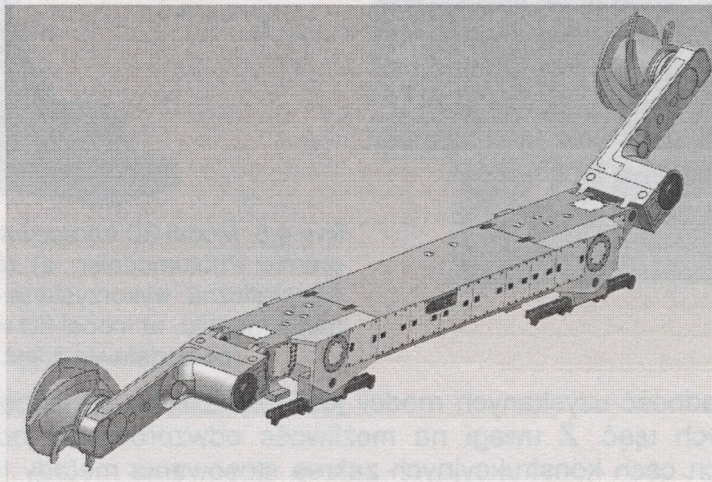
Cechą podstawową aplikacji interaktywnych jest czynny udział użytkownika w procesie uczenia-zdobywania informacji. Głównymi elementami tworzonych symulacji interaktywnych są modele 3D maszyn i urządzeń oraz uproszczone modele sylwetek ludzkich. Modele trójwymiarowe rozpatrywanych podzespołów rozszerzane są o tzw. elementy interakcyjne. Pozwalają one na dowolną zmianę punktu obserwacji oraz na odtwarzanie kolejnych kroków procesu montażowego [13].

Tworzenie symulacji jest poprzedzone procesem zbierania szczegółowych danych na temat modelowanego procesu, czyli zbieraniem informacji dotyczących kolejności wykonywania czynności, sposobu ich przeprowadzania, rodzaju wykorzystywanych narzędzi pomocniczych oraz innych materiałów eksploatacyjnych. Informacje te są zawarte w instrukcjach stanowiskowych, są także pozyskiwane poprzez rejestracje wideo rzeczywistych przebiegów procesów serwisowania i napraw w warunkach panujących w wytwórniach oraz w podziemiach kopalń. Rejestracje te są podstawą do opracowania kolejności czynności montażu/demontażu. O ile każda rejestracja wideo jest zapisem ściśle określonych warunków i jednej tylko sytuacji, to utworzona na jej podstawie symulacja może i powinna zawierać zarówno różne warianty przestrzeni roboczej, jak i przebiegu czynności.

Wprowadzenie interakcji do modeli 3D pozyskanych z programów CAD, wymaga stosowania specjalistycznego oprogramowania. Pierwszym etapem tworzenia interaktywnych symulacji jest pozyskiwanie modeli. Modele mogą być pozyskiwane z następujących źródeł:

- proces projektowy,
- metoda tzw. odwrotnego projektowania,
- modelowanie na podstawie dokumentacji płaskiej.

Modele 3D pozyskiwane z procesu projektowego – w procesie projektowym tworzone są modele o najwyższym stopniu szczegółowości. Na rysunku 4.4 przedstawiono model konstrukcyjny kombajnu ścianowego.

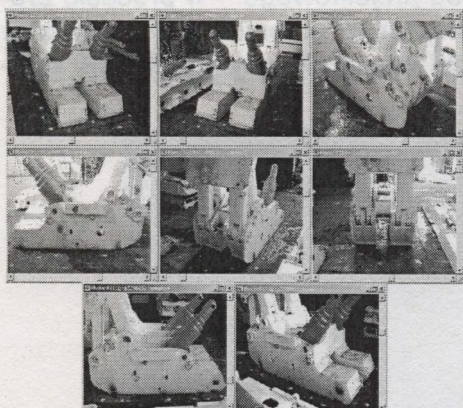


Rys.4.4. Model CAD kombajnu ścianowego wykonany w programie Autodesk Inventor

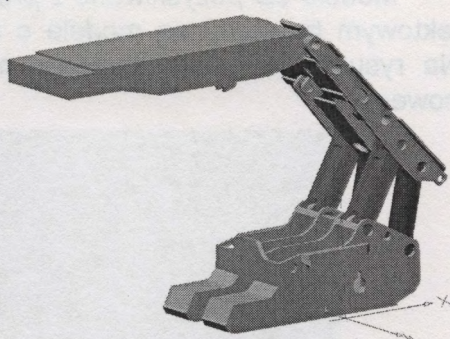
Szczegółowość modeli opracowywanych w środowisku CAD, przekracza możliwości programów do tworzenia symulacji interaktywnych, w zakresie prezentacji w czasie rzeczywistym. Modele pozyskiwane z procesu projektowego muszą być całkowicie lub częściowo upraszczane, w zależności od potrzeb i możliwości prezentacji w czasie rzeczywistym.

Modele 3D pozyskiwane metodą tzw. odwrotnego projektowania - Metoda RE (Reverse Engineering) opiera się na rekonstrukcji modeli obiektów rzeczywistych na podstawie: skanowania lub fotografowania. Metody skanowania wykorzystują do tego celu skanery stacjonarne i przenośne. Odmianą metod opartych na rejestracji fotograficznej jest metoda fotogrametryczna. Polega ona na fotografowaniu obiektu z kilku ujęć jednocześnie. W przypadku maszyn górniczych, z uwagi na duże gabaryty obiektów, do pozyskiwania modeli może być wykorzystywana jedynie metoda bezdotykowa. Ograniczony zasięg skanerów dotykowych wyklucza ich stosowanie w tym przypadku. Przygotowanie modeli w metodzie bezdotykowej, opartej na rejestracjach fotograficznych, rozpoczyna się od wykonania serii, od kilku do kilkudziesięciu ujęć, rozpatrywanej maszyny. Analizy i przetwarzania zdjęć dokonuje się w programie *Photomodeler* [23]. Na rysunku 4.5 przedstawiono zestaw ujęć wykorzystany do przygotowania modelu 3D oraz opracowany na tej podstawie model 3D sekcji obudowy zmechanizowanej.

a)



b)



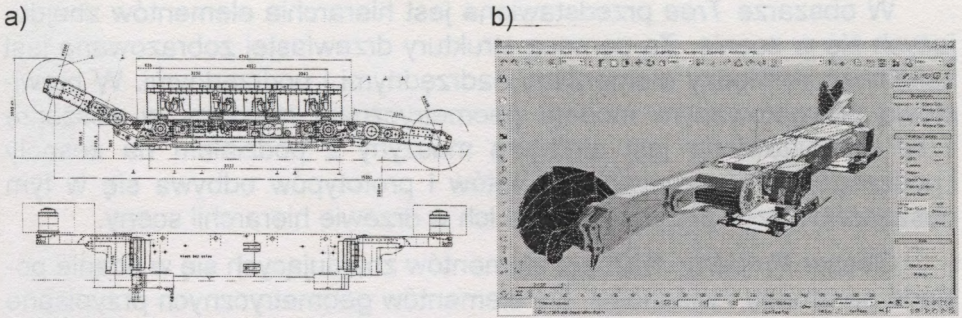
Rys.4.5. Model 3D opracowany w programie Photomodeler: a) rejestracja fotograficzna wykorzystana do wykonania modelu, b) model 3D wykonany na podstawie zdjęć

Dokładność uzyskanych modeli jest uzależniona od jakości i ilości wykonanych ujęć. Z uwagi na możliwość odwzorowania jedynie zewnętrznych cech konstrukcyjnych zakres stosowania metody jest ograniczony.

Modelowanie 3D na podstawie dokumentacji płaskiej – w stosowanych obecnie systemach CAD projektowanie odbywa się w przestrzeni trójwymiarowej. Jednak w przypadku konstrukcji starszych dokumentacja opracowywana była w wersji 2D. Konieczne jest w tym przypadku modelowanie obiektów na podstawie dostarczonej dokumentacji. Z uwagi na stopień złożoności dokumentacji technicznej, na etapie modelowania dokonuje się wyboru istotnych cech konstrukcyjnych, z punktu widzenia dalszego wykorzystania modelu. Modelowanie na podstawie dokumentacji konstrukcyjnej nie musi odbywać się w środowisku CAD, możliwe jest wykonywanie modeli w środowisku innych programów do modelowania 3D [26]. Na rysunku 4.6 przedstawiono model 3D utworzony w programie do wizualizacji, na podstawie płaskiej dokumentacji.

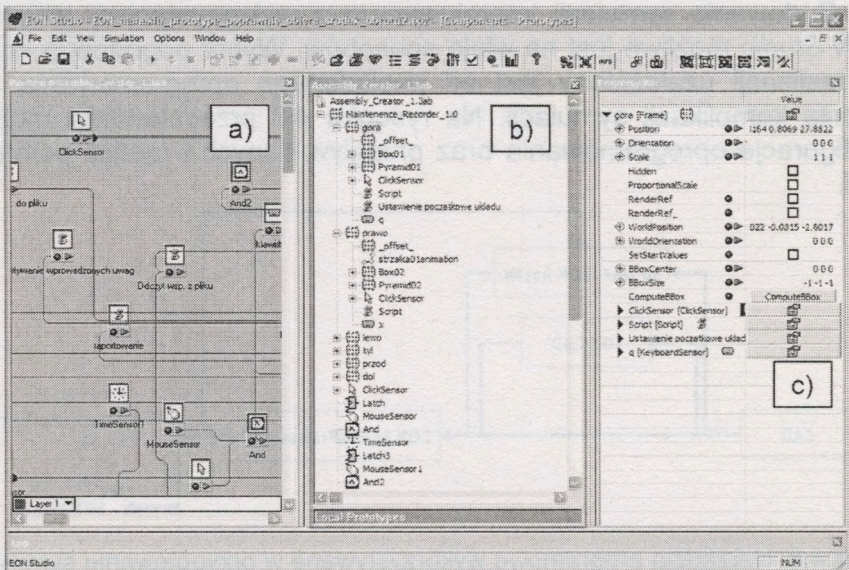
Wykonywanie modeli 3D w środowisku programu 3D *StudioMAX* pozwala uniknąć niedogodności, jakie mogą powstać przy konwersji modelu z formatów wykorzystywanych w systemach CAD (pogorszenie jakości modelu, zanikające krawędzie) do formatów akceptowalnych przez aplikacje interaktywne.

Na podstawie modeli 3D tworzone są interaktywne symulacje montażu i demontażu. W przedstawionej metodzie zastosowano do tego celu oprogramowanie *EON* [59]. Tworzenie symulacji interaktywnych w środowisku programu *EON* odbywa się za pomocą graficznego interfejsu użytkownika (rys. 4.7). Ekran w programie podzielony jest na trzy główne obszary: *Routes*, *Tree* i *Property*.



Rys.4.6. Model 3D opracowany w programie 3D Studio MAX na podstawie płaskiej dokumentacji technicznej: a) rysunek 2D, b) model 3D wykonany na podstawie dokumentacji 2D

W obszarze *Routes* przedstawione są w sposób graficzny, za pomocą linii, powiązania elementów w scenie. Graficzne łączenie obiektów za pomocą linii obrazuje przepływ informacji ze skryptów i prototypów*). W tym oknie wykonuje się przypisywanie interakcji do określonych obiektów geometrycznych poprzez połączenie z elementami umożliwiającymi ich przemieszczanie i modyfikację.



Rys.4.7. Graficzny interfejs użytkownika programu EON Studio: a) obszar *Routes*, b) obszar *Tree*, c) obszar *Property*

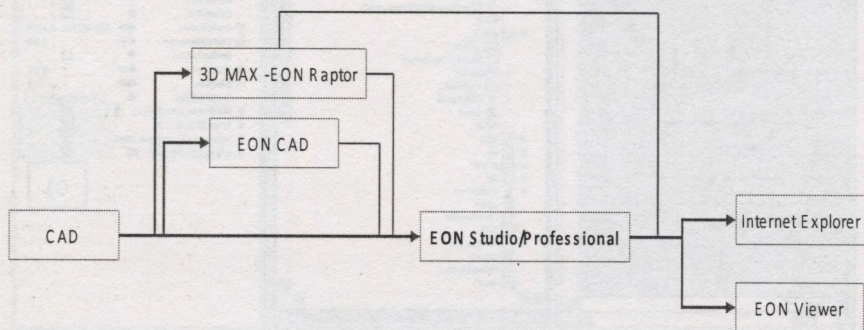
*) Prototyp jest to funkcjonujący w środowisku programu EON zestaw innych prototypów, skrypt lub zbiór skryptów, posiadających określoną funkcjonalność (np. *Assembly Designer*), którego budowa umożliwia wielokrotne wykorzystanie w symulacji [przyp. autora].

W obszarze *Tree* przedstawiona jest hierarchia elementów znajdujących się w scenie. Za pomocą struktury drzewiastej zobrazowana jest zależność pomiędzy elementami nadrzędnymi i podrzędnymi. W prawidłowo przygotowanym modelu geometrycznym maszyny w obszarze *Tree* przedstawiona jest struktura maszyny z podziałem na zespoły i podzespoły. Przypisywanie skryptów i prototypów odbywa się w tym obszarze poprzez pozycjonowanie ich w drzewie hierarchii sceny.

Obszar *Property*. Każdy z elementów znajdujących się w scenie posiada parametry i własności. Do elementów geometrycznych przypisane są takie własności jak położenie, wymiary, sposób prezentacji itd. Każdy element posiada parametry, które w tym oknie mogą być modyfikowane z zależności od potrzeb.

Do budowy symulacji interaktywnych wykorzystywane mogą być elementy standardowo znajdujące się w bibliotece możliwych do wykorzystania elementów, możliwe jest także opracowywanie własnych komponentów w języku Visual Basic Script (VBScript) lub Java Script (JScript). Wykonane w ramach pracy prototypy oparto na skryptach zapisanych w języku VBScript.

Budowanie symulacji interaktywnych z wykorzystaniem programu *EON Studio* możliwe jest na wiele sposobów. Wybór dogodnego sposobu realizacji uzależniony jest od posiadanego oprogramowania oraz stopnia komplikacji symulacji. Na rysunku 4.8 przedstawiono możliwe konfiguracje oprogramowania oraz przepływ danych i modeli pomiędzy nimi.



Rys.4.8. Narzędzia programowe wykorzystywane w przygotowaniu symulacji interaktywnych

Przedstawione możliwości budowy aplikacji interaktywnych i programy do tego wykorzystywane, umożliwiają realizację następujących ścieżek postępowania:

- CAD–EON CAD–EON Professional – Internet Explorer/EON Viewer,
- CAD–3D MAX/EON Raptor–EON Studio/Professional – Internet Explorer/EON Viewer,

- 3D MAX, EON Raptor – Internet Explorer/EON Viewer,
- CAD–EON Studio – Internet Explorer/EON Viewer.

Przedstawione ścieżki postępowania opisują proces tworzenia symulacji interaktywnej rozpoczynając od prostego modelu 3D a kończąc na interaktywnej symulacji.

Ścieżka CAD–EON CAD–EON Professional – Internet Explorer/EON Viewer – przygotowanie symulacji rozpoczyna się od pozyskania modeli z systemów klasy CAD, następnie modele wczytywane są do środowiska EON CAD (program wchodzi w skład pakietu EON Professional, jest to samodzielna aplikacja), gdzie dokonuje się uproszczenia modelu, redukcji liczby płaszczyzn w modelu. Możliwe jest także tworzenie animacji działania oraz przypisywanie faktury materiałów do powierzchni modelu. Tak przygotowany model, importowany jest do środowiska EON Studio/Professional, gdzie dodawane są elementy interakcji za pomocą skryptów lub prototypów. Przygotowana w ten sposób symulacja eksportowana jest do pliku, który można następnie przeglądać bez konieczności posiadania programów komercyjnych, za pomocą darmowej przeglądarki EON Viewer i Internet Explorer.

Ścieżka CAD–3D MAX, EON Raptor – EON Studio/Professional – Internet Explorer/EON Viewer – model pozyskany z procesu projektowania można importować do systemu wizualizacji 3D Studio MAX wyposażonego w aplikację EON Raptor. Pozwala to na przypisywanie obiektom animacji, dodawanie materiałów oraz wykorzystanie prostych skryptów. Tak przygotowany model eksportowany jest do środowiska EON Studio/Professional, gdzie dokonywana jest zaawansowana modyfikacja symulacji poprzez wykorzystanie skryptów i prototypów. Elementem końcowym jest samodzielnie działająca aplikacja interaktywna możliwa do prezentacji w programie EON Viewer i Internet Explorer.

Ścieżka 3D MAX, EON Raptor – Internet Explorer/EON Viewer – jeżeli istnieje dostęp jedynie do programu 3D Studio MAX, można do niego importować modele z zewnątrz (np. Autodesk Inventor) lub tworzyć je bezpośrednio w programie, następnie z wykorzystaniem programu EON Raptor dodawać proste interakcje i eksportować do samodzielnych aplikacji. Jest to ścieżka, w której nie wykorzystujemy systemu EON Studio/Professional, co zmniejsza koszty przygotowania, jednak przy znacznie ograniczonej funkcjonalności.

Ścieżka CAD–EON Studio – Internet Explorer/EON Viewer – proste modele bez poddawania upraszczaniu można importować do programu EON Studio, gdzie uzyskujemy dostęp do wszystkich funkcji programu. W środowisku programu możliwe jest tworzenie animacji i nadawanie

materiałów, jednak w tym przypadku konieczna jest specjalistyczna wiedza i znajomość obsługi zaawansowanych funkcji programu, gdyż interfejs graficzny programu EON Studio nie jest dostatecznie przygotowany do tego typu działań. Główną funkcją programu jest nadawanie interakcji do przygotowanych wcześniej modeli i ich animacji.

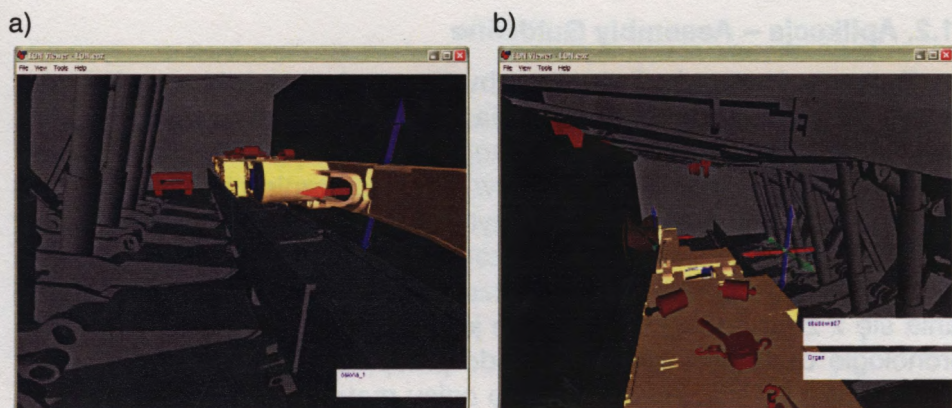
Opisano złożone i proste sposoby postępowania, pozwalające na budowę symulacji zaawansowanych i uproszczonych. Głównym elementem decydującym o obranym sposobie postępowania jest oczekiwana funkcjonalność symulacji interaktywnych. Symulacje wykonywane na potrzeby szkoleń powinny cechować się dużą wiernością odwzorowania szczegółów maszyny i środowiska, gdyż mogą być prezentowane osobom nie zorientowanym w budowie maszyny. Na rysunku 4.9 przedstawiono zrzut ekranowy z aplikacji interaktywnej stosowanej w szkoleniach personelu zakładów górniczych [4]. Materiały interaktywne wykorzystywane w partycypacyjnym trybie projektowania opierają się na modelach konstrukcyjnych, a ich przygotowanie powinno być szybkie i łatwe. Ponieważ modele prezentowane są w gronie osób zorientowanych w przedmiocie analizy, nie ma potrzeby dokładnego odwzorowania wszystkich elementów (mając na uwadze stopień szczegółowości wymagany do analizy).



Rys.4.9. Symulacja interaktywna przygotowana na potrzeby szkoleń – instrukcja demontażu

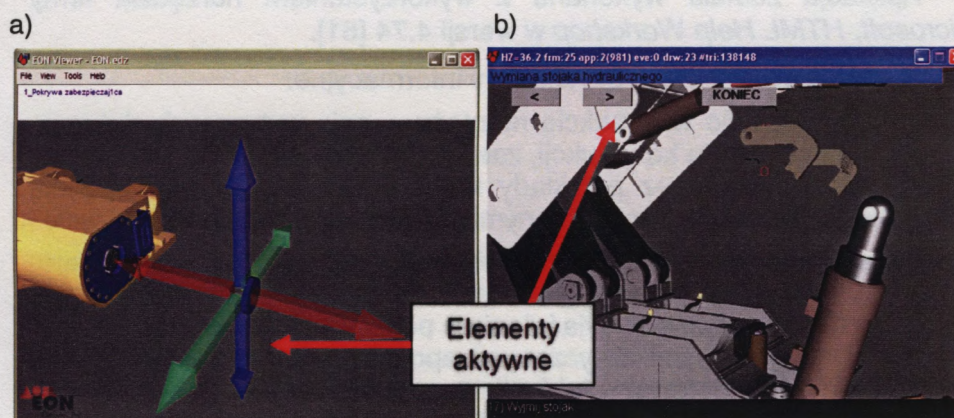
Na rysunku 4.10 przedstawiono ekrany z symulacji interaktywnej wykonanej na potrzeby badania technologiczności demontażu ramienia kombajnu ścianowego.

Wszystkie rodzaje symulacji interaktywnych cechują się możliwością dowolnego przemieszczania się po scenie tworzącej środowisko pracy, wiąże się to z możliwością dowolnej zmiany punktu widzenia, zbliżaniem i oddalaniem dowolnego elementu symulacji.



Rys.4.10. Symulacja interaktywna przygotowana na potrzeby badania technologiczności montażu: a) widok na ramię kombajnu ścianowego, b) widok środowiska pracy

Interakcja z wirtualnym środowiskiem odbywa się za pomocą standardowego wyposażenia komputerowego, klawiatury i myszy komputerowej. Interakcja z interaktywną aplikacją możliwa jest na dwa sposoby, wykorzystując graficzne elementy umieszczone w scenie oraz skróty klawiaturowe (rys. 4.11).



Rys.4.11. Elementy interaktywne wykorzystywane w symulacjach interaktywnych: a) służące do przemieszczania elementów, b) do odtwarzania sekwencji symulacji

Aktywowanie elementów graficznych, przedstawionych na rysunku 4.11, wywołuje określoną akcję np. zmianę położenia modelu w wirtualnym środowisku. W przypadku symulacji interaktywnych o wstępnie zdefiniowanym przebiegu, elementy aktywne służą do odtwarzania kolejnych predefiniowanych sekwencji animacji.

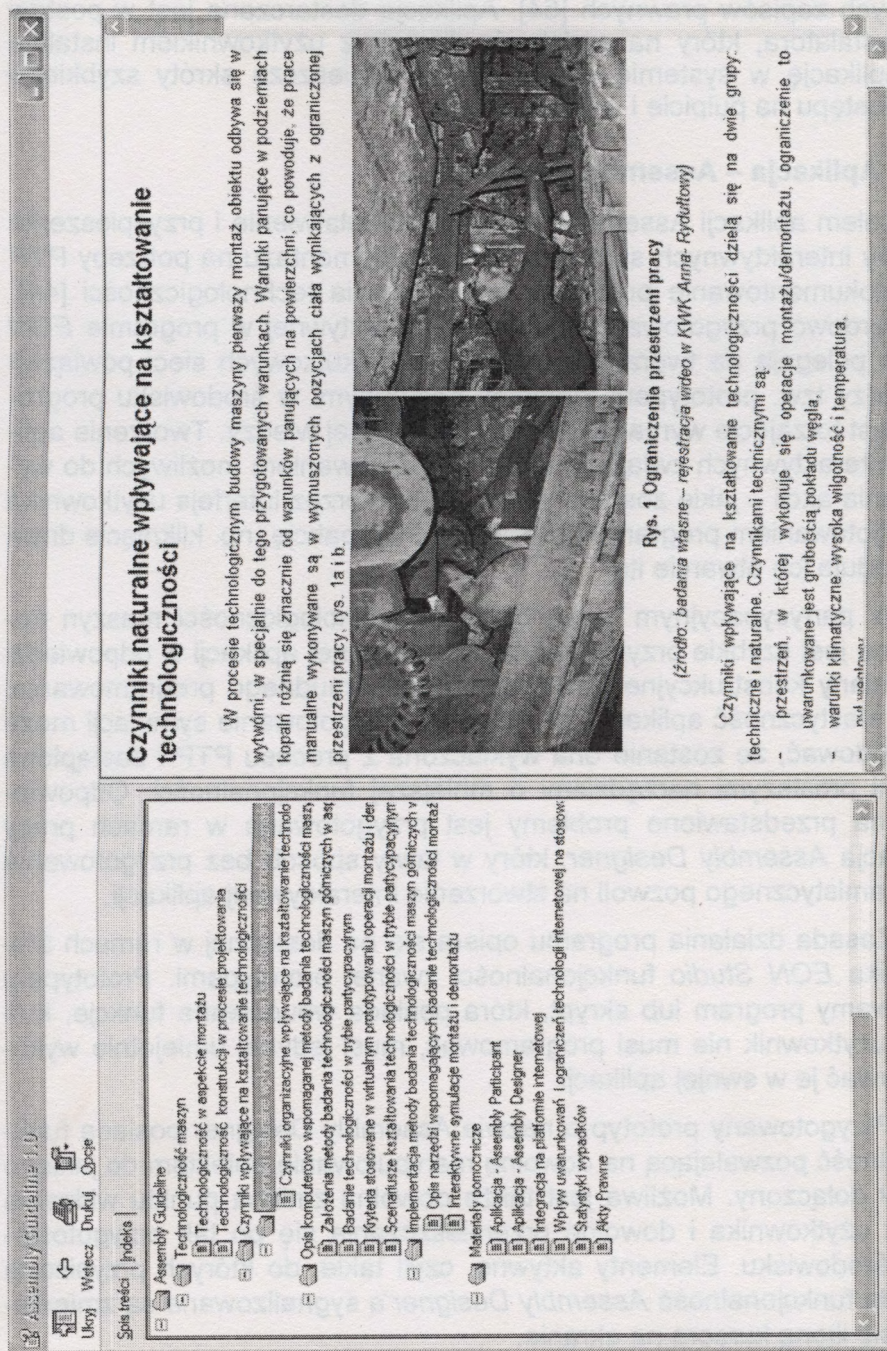
4.1.2. Aplikacja – Assembly Guideline

Program Assembly Guideline zbudowany jest w taki sposób, aby istniała możliwość jego wykorzystania bez względu na zakres posiadanego oprogramowania specjalistycznego czy rodzaj posiadanego systemu CAD. Osadzenie opisu metody w pliku potocznie określanym mianem „help”, pozwala dostarczyć użytkownikowi wiedzę w sposób do jakiego jest przyzwyczajony. Organizacja zawartości w sposób drzewiasty sprzyja szybkiej nawigacji jednocześnie narzuca kolejność zapoznawania się z zawartością systemu, co jest istotne z uwagi na wymaganą chronologię czynności koniecznych do przeprowadzenia badania technologiczności w PTP. Równolegle do opisu metody oraz wytycznych do jej stosowania program zawiera zapisy dla projektanta w zakresie kształtowania technologiczności konstrukcji. Takie zestawienie materiału informacyjnego daje pełną wiedzę konieczną do właściwego kształtowania technologiczności konstrukcji w zakresie montażu maszyn wielkogabarytowych. Na rysunku 4.12 przedstawiono ekran startowy systemu oraz drzewo główne zawierające odnośniki do poszczególnych tematów, które zgodne są z przedstawionymi założeniami metody oraz opisanym sposobem postępowania.

Aplikacja została wykonana z wykorzystaniem narzędzia firmy *Microsoft, HTML Help Workshop* w wersji 4.74 [61].

System zawiera trzy główne działy informacyjne:

- technologiczność w aspekcie montażu – opis wytycznych dotyczących kształtowania konstrukcji, zasady technologiczności w odniesieniu do montażu oraz przykłady kształtowania konstrukcji zgodnie z opisanymi wytycznymi zebranymi podczas studiów literaturowych.
- metoda badania technologiczności w aspekcie montażu – opis metody kształtowania technologiczności montażu w postaci diagramu wraz ze szczegółowym wyjaśnieniem poszczególnych kroków postępowania, wytycznymi dotyczącymi sposobu i formy przygotowania sesji PTP. Przygotowano także listę możliwych stanów kryterialnych oraz kryteria oceny procesu montażu, jako podstawy do tworzenia scenariuszy przebiegu sesji.
- materiały pomocnicze – w tej części programu zawarto materiały pomocne w realizacji sesji PTP, takie jak: zdjęcia z rejestracji operacji montażu w warunkach producenta i zakładu górniczego. W tej sekcji zawarto również instrukcję przygotowywania symulacji interaktywnej z wykorzystaniem programu *Assembly Designer* oraz przykładowe symulacje interaktywne. Zamieszczenie interaktywnej symulacji działania całego kompleksu ścianowego ma na celu przybliżenie zasady działania systemu jako całości. Umieszczono także odwołania do sieci Internet w zakresie wypadkowości (Strona Wyż-



Rys.4.12. Ekran startowy programu Assembly Guideline wraz z drzewiastą strukturą zawartości

szego Urzędu Górniczego [66]) oraz informacje na temat aktualnych zapisów prawnych [54]. Aplikacja dostarczana jest w postaci Instalatora, który na podstawie dialogu z użytkownikiem instaluje aplikację w systemie operacyjnym i umieszcza skróty szybkiego dostępu na pulpicie i w menu *Start*.

4.1.3. Aplikacja – Assembly Designer

Celem aplikacji Assembly Designer jest ułatwienie i przyspieszenie budowy interaktywnych symulacji montażu/demontażu na potrzeby PTP oraz dokumentowanie przebiegu kształtowania technologiczności [44]. Standardowo przygotowania symulacji interaktywnej w programie *EON Studio* polegają na tworzeniu przyczynowo skutkowych sieci powiązań pomiędzy tzw. prototypami prostymi dostępnymi w środowisku programu. Jest to zajęcie wymagające specjalistycznej wiedzy. Tworzenie aplikacji interaktywnych związane jest z przewidywaniem możliwych do wystąpienia akcji – jakie zostaną wprowadzone przez interfejs użytkownika i przygotowaniem programu na odpowiednią reakcję, np. kliknięcie drzwi spowoduje ich otwarcie itd.

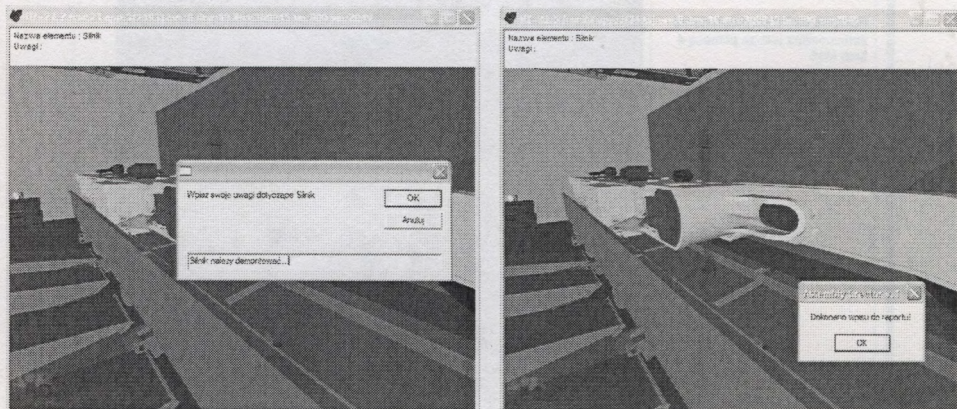
W partycypacyjnym trybie badania technologiczności maszyn konieczne jest szybkie przygotowanie interaktywnej aplikacji w odpowiedzi na zmiany konstrukcyjne bez konieczności żmudnego programowania. Mała elastyczność aplikacji i długotrwałe przygotowanie symulacji może spowodować, że zostanie ona wykluczona z procesu PTP i zastąpiona innymi prostszymi narzędziami o mniejszej funkcjonalności. Odpowiedzią na przedstawione problemy jest przygotowana w ramach pracy aplikacja *Assembly Designer*, który w łatwy sposób bez przygotowania programistycznego pozwoli na stworzenie interaktywnej aplikacji.

Zasada działania programu opiera się na dostępnej w ramach środowiska *EON Studio* funkcjonalności zwanej prototypami. Prototypem nazywamy program lub skrypt, która posiada wbudowane funkcje, których użytkownik nie musi programować, musi jedynie umiejętnie wykorzystywać je w swojej aplikacji.

Przygotowany prototyp o nazwie Assembly Designer posiada funkcjonalność pozwalającą na dowolne manipulowanie obiektem do jakiego został dołączony. Możliwa jest także dowolna zmiana punktu widzenia przez użytkownika i dowolne przemieszczanie się po tak przygotowanym środowisku. Elementy aktywne, czyli takie, do których przypisana została funkcjonalność *Assembly Designer'a* sygnalizowane są zmieniającą się ikoną kursora na ekranie.

Ponadto w trakcie manipulowania elementami możliwe jest przypisanie do elementu uwag i notatek jakie pojawiły się w trakcie sesji PTP.

Aplikacja wykorzystująca omawiany prototyp ma ponadto możliwość zapisywania i odczytywania aktualnej pozycji elementu, celem np. zawieszenia lub wznowienia sesji. Pliki zawierające współrzędne i komentarze przypisane do poszczególnych elementów przechowywane są w zewnętrznych plikach, dzięki temu możliwa jest ich dowolna modyfikacja.

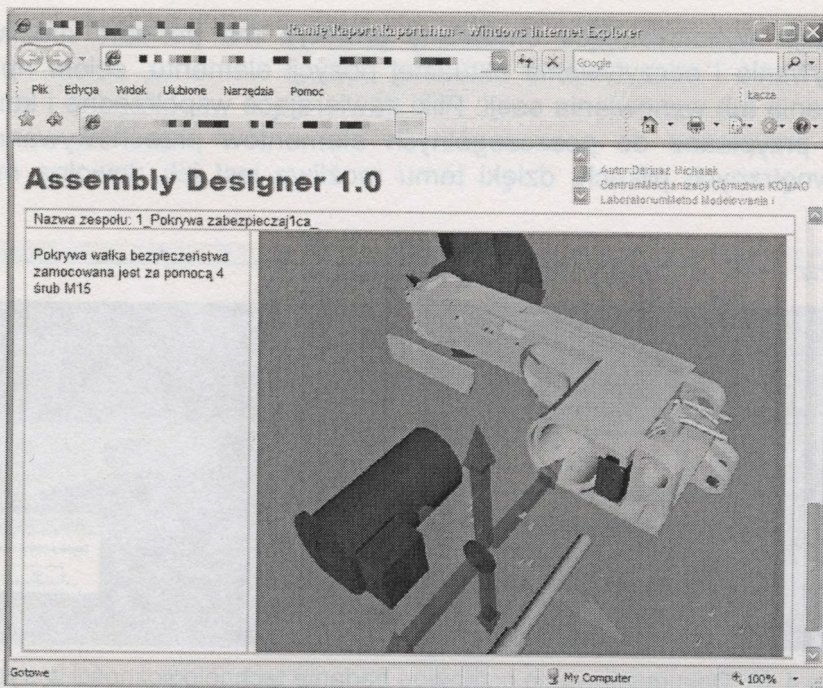


Rys.4.13. Dokumentowanie przebiegu badania technologiczności w trybie partycypacyjnym

Jednym z wymagań stawianych aplikacji wirtualnej rzeczywistości wykorzystywanym w PTP jest funkcjonalność zapisywania przebiegu sesji w postaci raportu jednoznacznie identyfikującego przedmiot badania i poczynione ustalenia. Omawiana aplikacja posiada funkcję raportowania, dzięki czemu powstały w wyniku sesji raport generowany jest w postaci pliku html, który może być przekazywany do dalszej dyskusji i poprawek osobom bezpośrednio zainteresowanym. Zawarte w nim zalecenia zmian postaci konstrukcyjnej, są wykorzystywane przez osoby upoważnione do wprowadzania zmian w dokumentacji konstrukcyjnej. Jest to postępowanie zgodne z procedurami kontroli jakości.

Podczas pracy z aplikacją *Assembly Designer* w trybie interaktywnym, nie ma możliwości modyfikacji postaci geometrycznej poszczególnych elementów zespołów maszyn. Na rysunku 4.13 pokazano proces wpisywania komentarza i umieszczania go w raporcie końcowym, natomiast rysunek 4.14 przedstawia widok raportu końcowego wygenerowanego przez program *Assembly Designer*.

Wirtualne środowisko montażu/demontażu można modyfikować dowolnie w zależności od potrzeb i możliwości obliczeniowych komputera, zbyt duże obciążenie aplikacji może powodować opóźnioną reakcję na wskazania użytkownika i skokowe poruszanie się obiektów, taki stan rzeczy znacznie ogranicza funkcjonalność systemu.



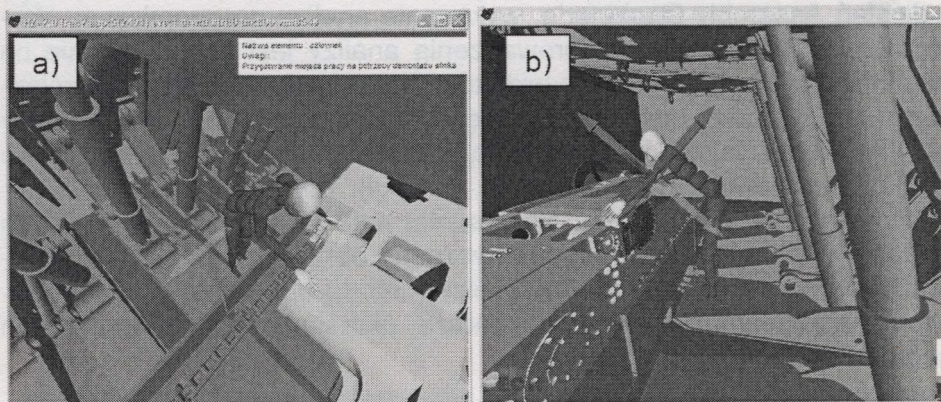
Rys.4.14. Raport programu Assembly Designer na podstawie informacji wprowadzanych w trybie interaktywnym

4.1.4. Aplikacja – Assembly Participant

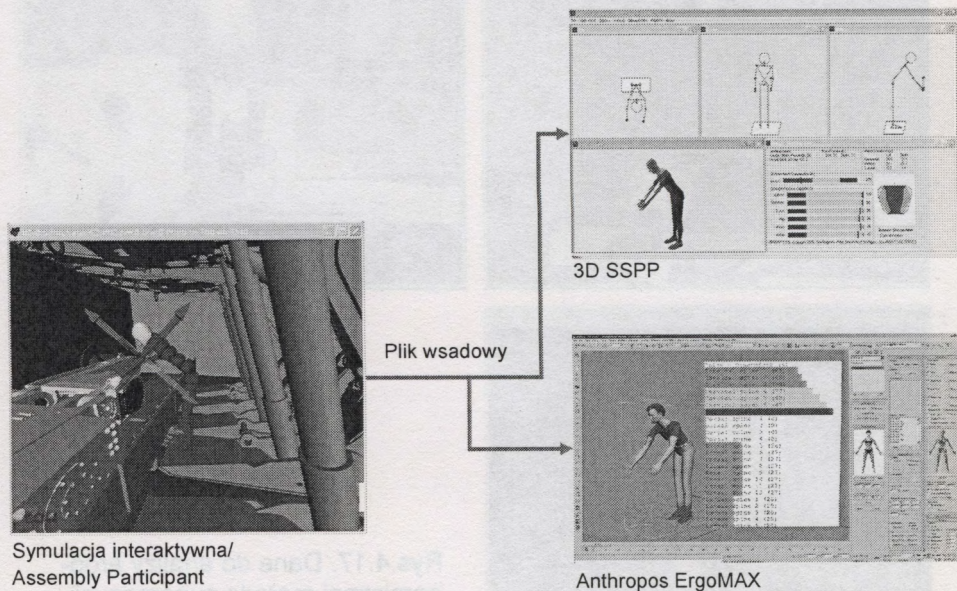
Istotnym aspektem badania technologiczności montażu jest analiza systemu antropotechnicznego, jaki powstaje w wyniku współdziałania środków technicznych i człowieka w trakcie wykonywania operacji montażu/demontażu [12]. Dlatego też aspektem koniecznym do uwzględnienia w badaniach technologiczności montażu są modele antropometryczne ludzi wykonujących określone czynności [16]. Aplikacja *Assembly Participant* podobnie jak opisany wcześniej *Assembly Designer* opiera się na funkcjonalności prototypu w środowisku *EON Studio*. Umieszczenie w scenie prototypu *Assembly Participant* powoduje wyświetlenie graficznej reprezentacji modelu o cechach geometrycznych dobranych na podstawie bazy danych antropometrycznych zawartych w programie *Anthropos Ergomax 5.0*. Na rysunku 4.15 przedstawiono model *Assembly Participant* przygotowany na potrzeby symulacji demontażu silnika elektrycznego umieszczonego w ramieniu kombajnu ścianowego. Na etapie tworzenia symulacji istnieje możliwość wyboru wielkości modelu człowieka reprezentującego odpowiednio 5 i 95 percentyl populacji.

Istnieje funkcjonalność dowolnego kształtowania postawy wirtualnego modelu człowieka oraz zapisywania/odczytywania położenia i do-

dawania notatek, które następnie umieszczane są w raporcie. Istnieje także możliwość wykorzystania programu Assembly Participant do analiz ergonomicznych. Wykorzystuje się do tego celu programy 3DSSPP (analizy biomechaniczne) oraz *Anthropos ErgoMAX* (analizy ergonomiczne), które pozwalają przeprowadzać analizy na podstawie pliku wsadowego. Na rysunku 4.16 pokazano ustawienie sylwetki ludzkiej w wirtualnym środowisku pracy, oraz tę samą pozycję ciała poddawaną analizie w programach 3DSSPP i *Anthropos ErgoMAX*.



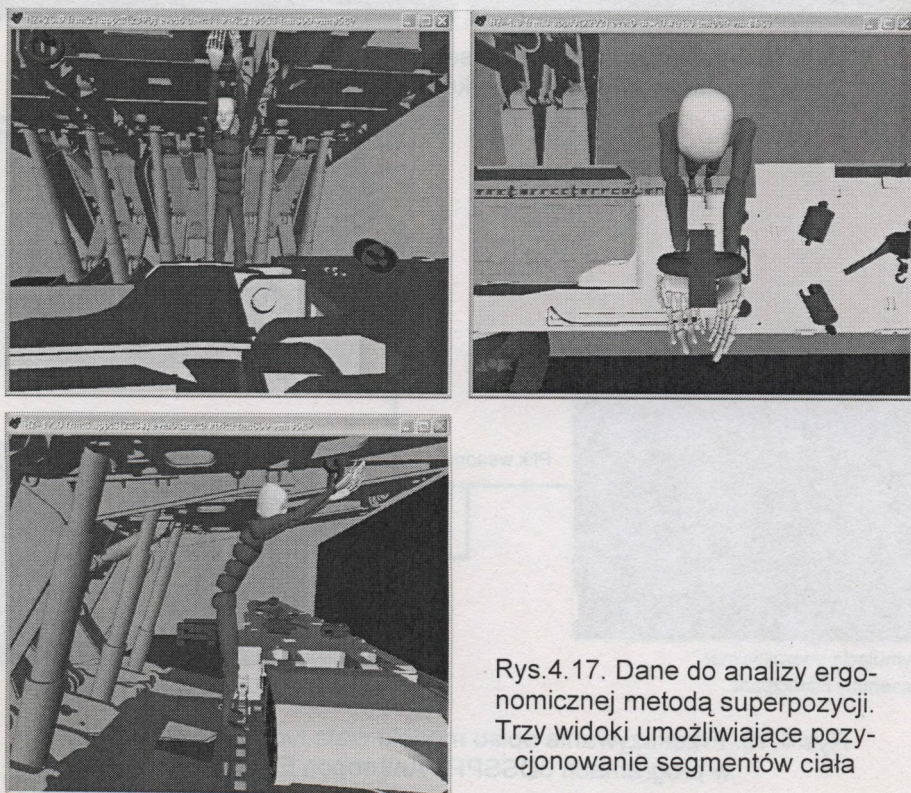
Rys.4.15. Interaktywny model Assembly Participant przedstawiający pozycję ślusarza podczas wykonywania operacji demontażu



Rys.4.16. Przekazywanie opisu modelu ciała ludzkiego do analizy w programach 3DSSPP i *Anthropos ErgoMAX*

Analizy ergonomiczne wykonywane w programach specjalistycznych mogą być wykonywane na podstawie dokładnych danych przekazywanych w postaci plików wsadowych, wymaga to jednak przygotowania skryptu umożliwiającego zapis danych w formacie akceptowanym przez program. Rozwiązaniem tego problemu jest przeprowadzanie analiz metodą superpozycji.

Wykorzystując do przygotowania zrzutów ekranowych sylwetkę *Assembly Participant'a*, możliwe jest na podstawie raportu końcowego z działań *Assembly Designer'a*, wykonanie analizy ergonomicznej. Warunkiem prawidłowego przeprowadzenia analizy jest przygotowanie co najmniej trzech prostopadłych widoków. Uzyskiwana dokładność uzależniona jest od ilości i wielkości dostępnych zrzutów ekranowych, należy przyjąć założenie, że otrzymane tą metodą postawy mogą służyć do analiz jakościowych (pola widzenia, zasięgi), rzadziej ilościowych (stopień wyciążenia kręgosłupa). Na rysunku 4.17 przedstawiono w trzech rzutach widoki modelu antropometrycznego obrazujące prawidłowy sposób przygotowania danych do analizy metodą superpozycji. Przedstawione widoki umożliwiają jednoznaczne określenie pozycji wszystkich segmentów ciała.



Rys.4.17. Dane do analizy ergonomicznej metodą superpozycji. Trzy widoki umożliwiające pozycjonowanie segmentów ciała

Na podstawie danych graficznych w programie *3D Studio MAX* wykonuje się analizy ergonomiczne. Na rysunku 4.18 przedstawiono sposób wykorzystania materiałów wejściowych jako wzór do właściwego ustawienia parametrycznego modelu segmentów ciała ludzkiego w programie *Anthropos ErgoMAX*.



Rys.4.18. Model sylwetki ludzkiej odtworzony na podstawie danych z aplikacji Assembly Designer

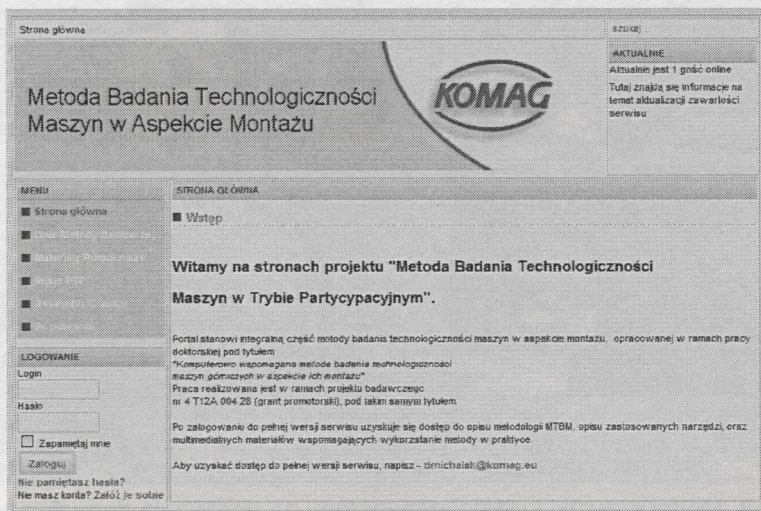
Wynikiem analizy jest model o ustawieniu przejętym z analiz przeprowadzonych podczas partycypacyjnego trybu projektowania. Opisywane podejście może być również wykorzystywane do analiz ergonomicznych wykonywanych na podstawie rejestracji fotograficznej rzeczywistych warunków pracy.

4.2. Udostępnianie na platformie internetowej narzędzi wspomagających badanie technologiczności montażu

4.2.1. Integracja na platformie internetowej narzędzi wspomagających badanie technologiczności montażu

Wchodzące w skład metody narzędzia wspomagające mogą być udostępnione na platformie internetowej. Głównym celem platformy oprócz funkcji integrującej składniki metody jest stworzenie platformy komunikacji uczestników partycypacyjnego trybu projektowania, zawierającej wszystkie informacje konieczne do przeprowadzenia sesji PTP, w tym także możliwość zamieszczania wyników przeprowadzonych sesji

w postaci raportów opisujących wyniki działań. Zasoby systemu osadzone na platformie systemu klasy CMS [60] (Content Management System). Jest to powszechnie stosowane środowisko do zarządzania zawartością portali internetowych. Struktura systemu i interfejs administracyjny udostępniają użytkownikom, możliwość łatwej modyfikacji zawartości i dodawania nowej treści. Możliwości te są szczególnie ważne w przypadku PTP, gdzie warunkiem koniecznym jest dokumentowanie sesji i rozpowszechnianie jej wyników osobom uprawnionym do wprowadzania zmian. Na rysunku 4.19 przedstawiono stronę główną portalu internetowego integrującego zasoby wykorzystywane przy PTP.



Rys.4.19. Strona główna portalu internetowego integrującego zasoby metody badania technologiczności maszyn w aspekcie montażu

Struktura systemu została podzielona na dwie części: część ogólnodostępną, oraz zasoby, do których dostęp mają tylko uprawnieni użytkownicy. Portal internetowy został podzielony na następujące sekcje:

- opis metody badania technologiczności w aspekcie montażu – informacje ogólne dotyczące sposobu realizacji badania, dostępne dla wszystkich użytkowników,
- materiały pomocnicze – zestawienie materiałów informacyjnych przydatnych w realizacji sesji partycypacyjnego projektowania, odwołania do aktualnych norm, odwołanie do opisów zaistniałych wypadków, zdjęcia z rejestracji operacji montażu,
- narzędzia – w tej części serwisu zamieszczono do pobrania instrukcje i opisy narzędzi wspomagających przeprowadzanie PTP; odwołania do aplikacji, dostępnych nieodpłatnie, umożliwiających realizację założeń metody w formie internetowej.
- sesje PTP – główny element portalu zawiera katalog sesji jakie się odbyły, wraz z raportami z ich przebiegu.

Sekcja zawiera także materiały wymagane do przeprowadzenia kolejnych sesji. Przeznaczeniem tej części serwisu jest zbieranie i dostarczanie informacji uczestnikom sesji PTP poprzez udostępnianie im materiałów wymaganych do przeprowadzenia sesji. Prowadzący sesję tworzy w systemie katalog, w którym umieszcza zasoby w postaci scenariusza sesji, środowiska i przedmiotu montażu w wersji interaktywnej (*Assembly Designer + Assembly Participant*), instrukcje i opisy badanych zespołów, opcjonalnie zdjęcia z rejestracji wideo warunków, w jakich maszyna będzie eksploatowana. Prowadzący zadanie po przygotowaniu materiałów rozsyła do uczestników spotkania informacje wraz z kodem umożliwiającym dostęp do zasobów systemu. Użytkownicy poprzez logowanie się do systemu uzyskują dostęp do materiałów pomocnych w realizacji PTP. Pozwala to zapoznać się z tematyką sesji i przygotować ewentualne spostrzeżenia.

4.2.2. Wpływ uwarunkowań i ograniczeń technologii internetowej na stosowanie partycypacyjnego trybu badania technologiczności

Obecnie większość kopalń zrzeszonych w ramach kompanii i spółek węglowych posiada zcentralizowaną obsługę infrastruktury informatycznej i sieciowej. Centrale spółek węglowych wdrażają rozwiązania informatyczne i określają standardy bezpieczeństwa stosowane w podległych zakładach. Uwarunkowania technologii internetowej można podzielić na ograniczenia funkcjonalne i organizacyjne.

Uwarunkowania i ograniczenia organizacyjne – ograniczenia w stosowaniu PTP wynikają ze stosowanych reguły zabezpieczeń sieciowych, które w ramach lokalnej sieci komputerowej (np. w ramach zakładu górniczego) ograniczają możliwość swobodnego dostępu do sieci internet oraz instalowania oprogramowania. Przygotowanie stanowiska dla uczestników sesji partycypacyjnych wymaga uzyskania zgody na możliwość zestawienia środowiska komputerowego wymaganego do przeprowadzenia sesji. Stosowanie opracowanych aplikacji wymaga od uczestników sesji PTP przeglądarki plików programu EON Studio oraz dostępu do zdalnego pulpitu. Jedynie osoba przygotowująca sesję PTP powinna dysponować oprogramowaniem EON Studio.

Z uwagi na rozproszone środowisko ekspertów (nawet w ramach jednego zakładu) konieczne jest uruchomienie kilku odpowiednio skonfigurowanych stanowisk komputerowych. Zaopatrzenie ekspertów w komputery z zainstalowanym oprogramowaniem umożliwia poszerzenie grona specjalistów lub dobór uczestników w zależności od ich dostępności w danej chwili.

Uwarunkowania i ograniczenia funkcjonalne – możliwość przeprowadzenia sesji partycypacyjnych uwarunkowana jest szeregiem wymagań w zakresie posiadanego sprzętu komputerowego. Uczestnictwo w sesjach wiąże się nie tylko z koniecznością posiadania stałego dostępu do internetu, ale także posiadaniem konfiguracji sprzętowej umożliwiającej uruchomienie interaktywnych symulacji, czy przeglądanie modeli 3D, które są nieodłącznym elementem badań partycypacyjnych. Stosowane obecnie komputery biurowe, skonfigurowane są głównie na potrzeby edycji tekstu, co w skrajnych przypadkach oznacza brak karty graficznej. Warunkiem prawidłowego działania aplikacji internetowych oraz działania interaktywnych aplikacji jest konieczność posiadania komputera zgodnego z przedstawioną na rysunku 4.20 specyfikacją konfiguracji minimalnej. Specyfikację wymagań minimalnych oparto na konfiguracji sprzętowej wykorzystanej do implementacji i weryfikacji metody. Podstawowym elementem wpływającym na płynność przebiegu sesji jest przepustowość łączy internetowych. W ramach weryfikacji metody przebadano dwa rodzaje połączenia internetowego łącznie stałe 10 MBit/s oraz mobilny dostęp do internetu za pomocą sieci GSM (iPlus sieć GSM Era). Ograniczony terytorialnie do centrów wielkich miast dostęp do najszybszej technologii HSDPA (obecnie 3,6 MBit/s – w praktyce 42 kb/s), znacznie zmniejsza możliwość wykorzystania mobilnego dostępu do internetu.

Ten typ połączenia z internetem może być wykorzystywany jedynie w specyficznych warunkach polowych, a jego wykorzystanie należy traktować jako rozwiązanie awaryjne.

	Opis wymagań sprzętowych i programowych
System operacyjny, pamięć, procesor.	System operacyjny Windows XP, pamięć operacyjna 1GB, ilość wymaganego miejsca na dysku co najmniej 1GB, procesor klasy Pentium 1,7GHz (lub odpowiednik)
Możliwości graficzne	Ekran o rozdzielczości co najmniej 1024x768, karta grafiki z akceleracją 3D z min. 128MB pamięci podręcznej
Sprzęt dodatkowy	Klawiatura, mysz, mikrofon do połączeń głosowych, kamera internetowa do wideokonferencji (opcjonalnie), karta sieciowa
Oprogramowanie	Pakiet MS Office (lub darmowe Open Office) do przeglądania dokumentów, przeglądarka plików Adobe Acrobat, pozostałe oprogramowanie specjalistyczne w zależności od wybranej formy partycypacyjnego trybu

Rys.4.20. Minimalna konfiguracja sprzętowa umożliwiająca pełne uczestnictwo w sesji partycypacyjnej

W przypadku łącza stałego o parametrach 10 MBit/s możliwe jest przeprowadzenie sesji głosowej, wraz z udostępnianiem zdalnego pulpitu. Pozwala to na przeprowadzenie pełnej sesji partycypacyjnego projektowania z zastosowaniem wszystkich omawianych technik multimedialnych.

5. Weryfikacja metody badania technologiczności maszyn górniczych w aspekcie montażu

5.1. Scenariusze kształtowania technologiczności w trybie partycypacyjnym

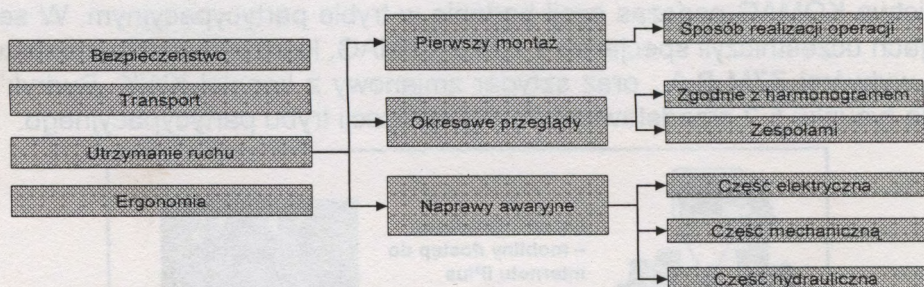
Planowanie cyklu życia maszyny w aspekcie związanym z przygotowaniem i przeprowadzeniem operacji montażu i demontażu, wymaga przyjęcia sformalizowanego sposobu realizacji. Jedną z metod mających na celu usystematyzowanie działań, jest przyjęcie scenariusza postępowania.

Kształtowanie scenariuszy jest ściśle związane z przypadkami użytkowania maszyny na podstawie, których identyfikuje się stany kryterialne.

Stany kryterialne związane z cyklem życia maszyn:

- czynności związane z montażem na hali u producenta,
- czynności montażu/demontażu związane z normalnym cyklem życia maszyny (serwisowanie, planowe remonty),
- czynności montażu/demontażu związane z cyklem pracy w wyrobisku (zabudowa i likwidacja ścian),
- czynności montażu demontażu wynikające ze stanów awaryjnych.

Scenariusze postępowania różnią się w zależności od przedmiotu badania (rodzaju maszyny), na rysunku 5.1 przedstawiono podział możliwych do rozważania scenariuszy w zakresie czynności związanych z utrzymaniem ruchu.



Rys.5.1. Scenariusze zorientowane na różne aspekty utrzymania ruchu maszyn

Przygotowanie scenariusza rozpoczyna się od systematycznej analizy możliwych do wystąpienia przypadków użytkowania. W zakresie utrzymania ruchu wyróżniamy trzy podstawowe zakresy działań: pierwszy montaż, okresowe przeglądy oraz naprawy awaryjne.

Pierwszy montaż – to ogół działań związanych z montażem zespołów maszyn w środowisku pracy. Jako pierwszy montaż należy rozu-

mieć montowanie maszyny w wyrobisku po raz pierwszy, oraz każdy kolejny całkowity demontaż maszyny wynikający z cyklu wydobywczego (przenoszenia maszyny do innego wyrobiska). Przypadek pierwszego montażu jest łatwo przewidywalny, gdyż czynności związane z przygotowaniem wyrobiska ścianowego są dobrze opisane w technologii robót górniczych, niemniej jednak jest to etap cyklu życia maszyny warunkujący poprawne użytkowanie maszyny.

Okresowe przeglądy – to czynności, jakie należy wykonywać w określonych odstępach czasu, określonych w dokumentacji technicznej maszyny. Przeglądy wiążą się często z demontażem elementów zabezpieczających, pokryw, zaślepek i osłon. Zapewnienie łatwego dostępu do punktów kontrolnych oraz łatwość wymiany elementów szybko zużywających się (noże skrawające, wałki skrętne, uszczelnienia, siłowniki podnoszenia ramion, płozy) skraca czas przestojów. W ekstremalnym przypadku utrudniony dostęp do miejsc demontażu może być przyczyną zaniedbań w zakresie przeglądów i powodować straty materialne.

Naprawy awaryjne – to grupa czynności, które muszą być uwzględnione w scenariuszach badania technologiczności z uwagi na największy wpływ na parametry użytkowe maszyny. Jest to jednocześnie najbardziej nieprzewidywalna faza cyklu życia maszyny. Na etapie badania scenariusza i rozbudowywania o możliwe sposoby przebiegu, konieczna jest wiedza eksploatacyjna, w posiadaniu, której są przedstawiciele odbiorcy.

5.2. Przebieg weryfikacji metody

Weryfikację metod przeprowadzono w Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG podczas sesji badania w trybie partycypacyjnym. W sesjach uczestniczyli specjaliści z CMG KOMAG, kierownik działu montażu z wytwórni ZZM S.A., oraz sztygar zmianowy z kopalni KWK „Budryk”. Na rysunku 5.2 przedstawiono formę realizacji trybu partycypacyjnego.



Rys.5.2. Forma realizacji sesji partycypacyjnego trybu projektowania.
Spotkanie bezpośrednio połączone z platformą internetową

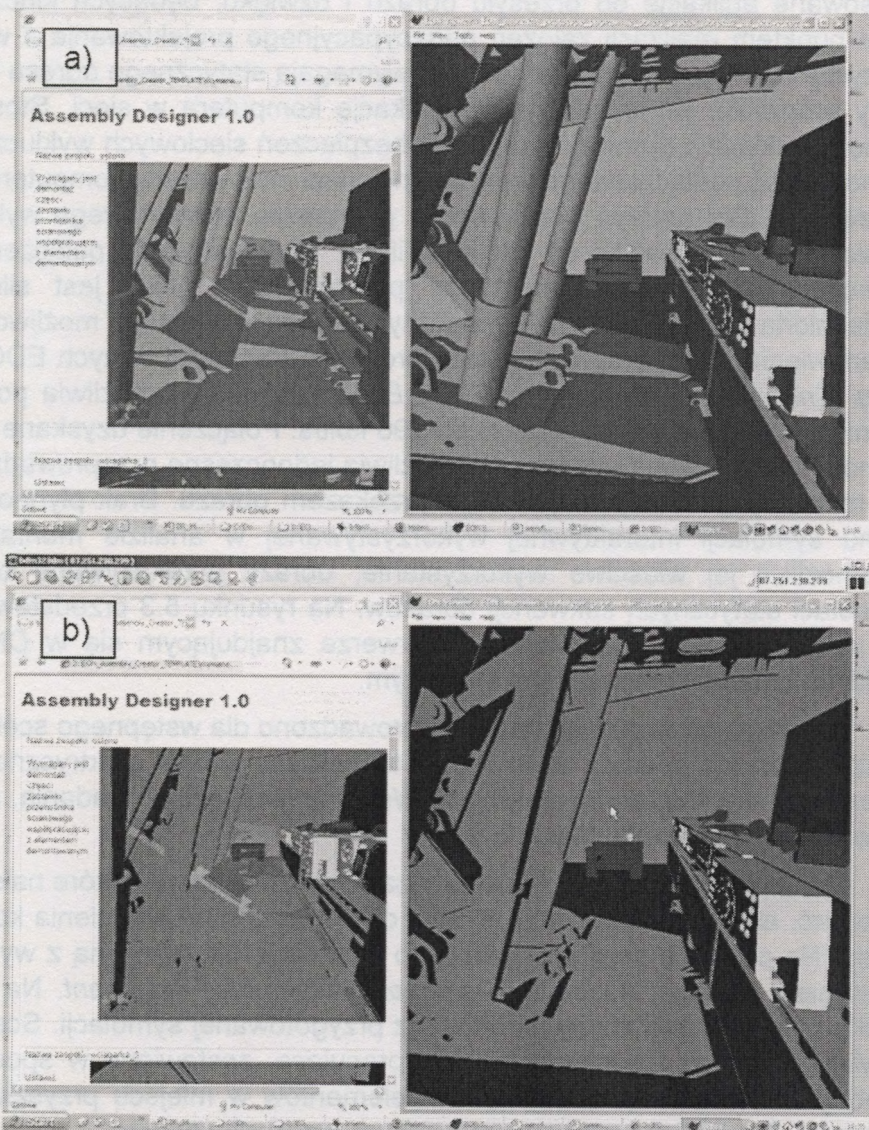
Z uwagi na oddalenie wszystkich uczestników sesji i brak możliwości zebrania wszystkich osób w tym samym miejscu i czasie, wybrano formę spotkania bezpośredniego połączonego ze spotkaniem na platformie internetowej. Z uwagi na brak możliwości instalacji aplikacji koniecznych do przeprowadzenia sesji, na komputerach znajdujących się w posiadaniu kopalni, próby wykonywano na komputerze przenośnym. Stosowane aplikacje do przesyłu obrazu i dźwięku, będących kluczowym punktem realizacji założeń partycypacyjnego projektowania z wykorzystaniem technologii internetowej, wymagają statycznego adresu IP, który umożliwia jednoznaczną identyfikację komputera w sieci. Stosowane w zakładzie górniczym reguły zabezpieczeń sieciowych wykluczają możliwość podłączenia do wewnętrznej sieci internetowej komputerów z zewnątrz. Dla potrzeb ustanowienia połączenia internetowego wykorzystano mobilny dostęp do internetu iPlus. Przepustowość połączenia z siecią internet realizowanego za pomocą sieci GSM jest silnie uzależniona od lokalizacji. W omawianym przypadku istniała możliwość ustanowienia połączenia za pomocą protokołu transmisji danych EDGE (ang. *Enhanced Data rates for GSM Evolution*), który umożliwia połączenie z prędkością maksymalnie do 296 kbit/s. Połączenie uzyskane za pomocą tak niskiego transferu uniemożliwia jednocześnie przeprowadzenie rozmowy głosowej połączonej z przekazem obrazu. Brak płynności ruchu symulacji interaktywnej wykorzystywanej w analizie montażu, uniemożliwił jej właściwe wykorzystanie, obrazy przekazywane były w postaci statycznych sekwencji obrazów. Na rysunku 5.3 przedstawiono jakość obrazu uzyskiwaną na serwerze znajdującym się w CMG KOMAG oraz na komputerze przenośnym.

Weryfikację założeń metody przeprowadzono dla wstępnego scenariusza realizacji operacji awaryjnego demontażu silnika elektrycznego w ramieniu kombajnu ścianowego. Wstępny scenariusz badania zamieszczono na rysunku 5.4.

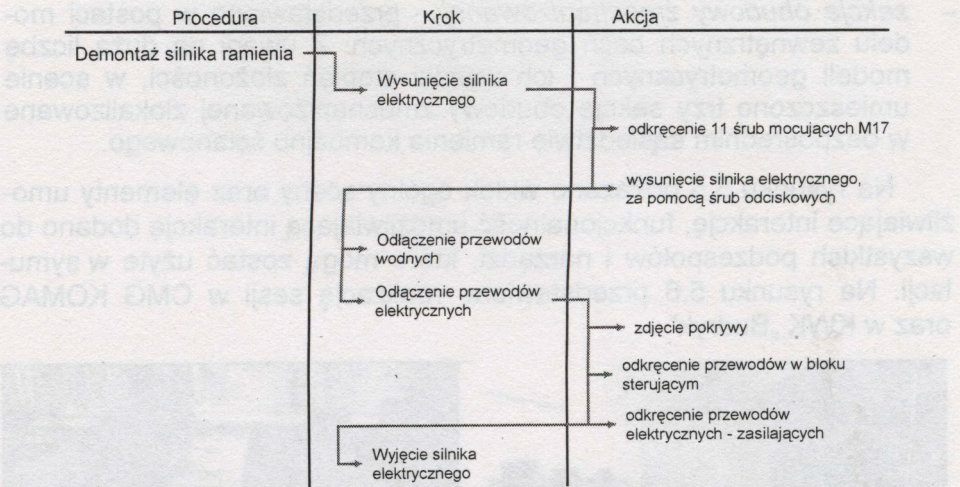
Opracowany scenariusz wstępny zawiera główne kroki, które należy wykonać, aby przeprowadzić operację demontażu silnika ramienia kombajnu. Na potrzeby sesji przygotowano symulację interaktywną z wykorzystaniem aplikacji *Assembly Designer* i *Assembly Participant*. Na rysunku 5.5 pokazano zrzuty ekranowe z przygotowanej symulacji. Scena zawiera maszyny i podzespoły współpracujące, zestawione w sposób zgodny z rzeczywistym ustawieniem elementów w miejscu przyszłego montażu. Środowisko pracy w omawianym przypadku tworzą:

- *kombajn ścianowy* – pełny model ramienia kombajnu z głowicą urabiającą, oraz zewnętrzne cechy geometryczne kadłuba kombajnu,

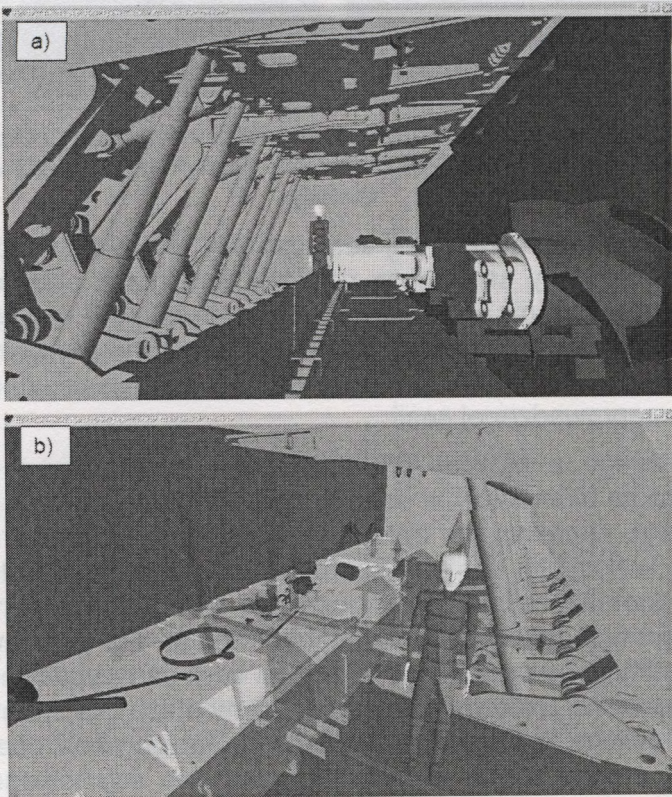
- *ścianowy przenośnik zgrzeblowy* – model zawierający zewnętrzne cechy geometryczne obejmujące segmenty przenośnika znajdujące się w bezpośrednim sąsiedztwie demontowanego zespołu,
- *model wyrobiska ścianowego* – wyrobisko zostało odwzorowane w sposób uproszczony: calizna węglowa i podłoże, na którym umieszczono przenośnik zgrzeblowy wraz z sekcjami obudowy zmechanizowanej,



Rys.5.3. Obraz przekazywany za pomocą programu UltraVNC: a) jakoś obrazu na serwerze głównym, b) obraz przekazywany w czasie rzeczywistym techniką zdalnego pulpitu. Połączenie za pomocą protokołu EDGE



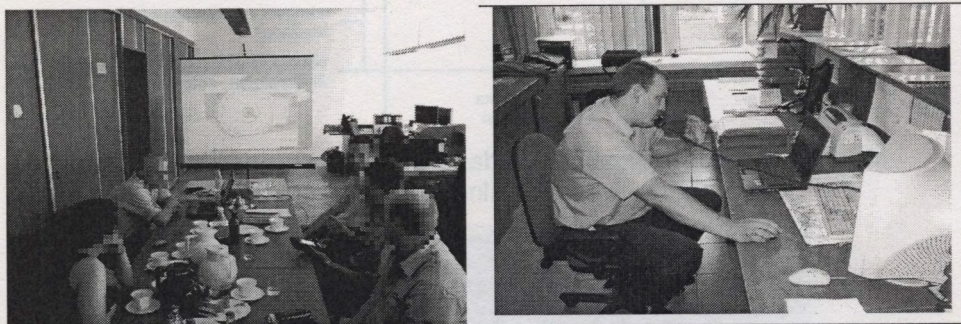
Rys.5.4. Wstępny scenariusz badania technologiczności w aspekcie montażu – wymiana silnika ramienia kombajnu



Rys.5.5. Symulacja interaktywna demontażu silnika elektrycznego: a) widok ogólny sceny z elementami współpracującymi, b) widok aktywnych elementów zamieszczonych w symulacji interaktywnej

- *sekcje obudowy zmechanizowanej* – przedstawiono w postaci modelu zewnętrznych cech geometrycznych. Z uwagi na dużą liczbę modeli geometrycznych i ich wysoki stopień złożoności, w scenie umieszczono trzy sekcje obudowy zmechanizowanej zlokalizowane w bezpośrednim sąsiedztwie ramienia kombajnu ścianowego.

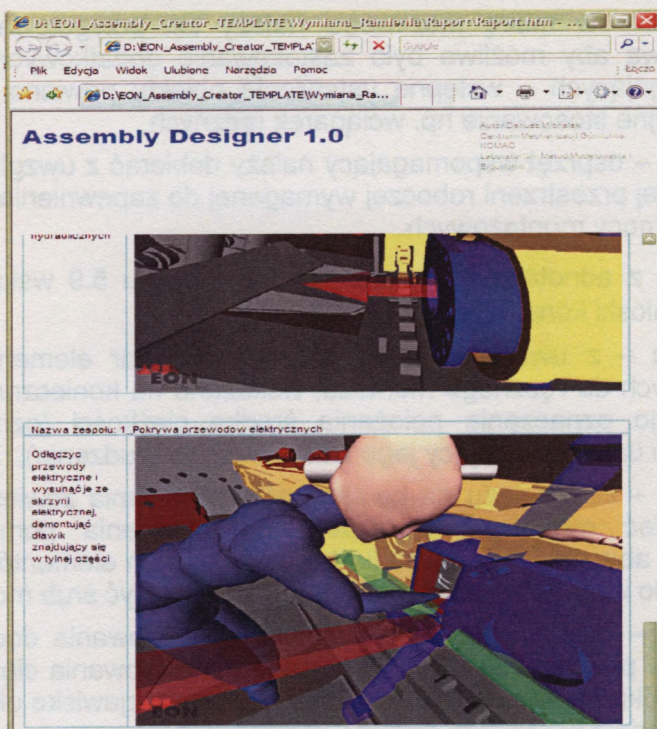
Na rysunku 5.5 pokazano widok ogólny sceny oraz elementy umożliwiające interakcję, funkcjonalność umożliwiającą interakcję dodano do wszystkich podzespołów i narzędzi, które mogą zostać użyte w symulacji. Na rysunku 5.6 przedstawiono realizację sesji w CMG KOMAG oraz w KWK „Budryk”.



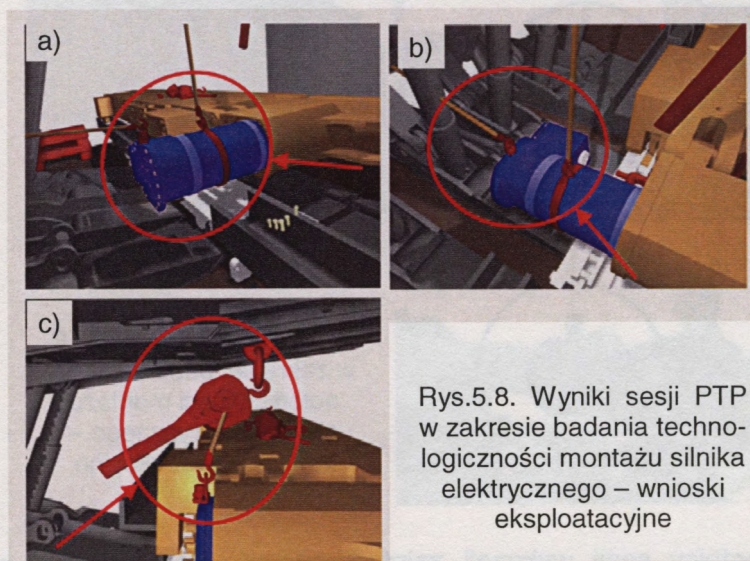
Rys.5.6. Sesja metody badania technologiczności maszyn w aspekcie montażu zorganizowana w CMG KOMAG oraz KWK „Budryk” na potrzeby weryfikacji metody

Wynikiem przeprowadzonej sesji badania w trybie partycypacyjnym jest uszczegółowiony scenariusz operacji demontażu silnika elektrycznego, wraz z uwagami dotyczącymi kolejnych etapów realizacji. Uwagi i kolejne kroki realizacji operacji demontażu zebrano w raporcie końcowym z przeprowadzonej sesji. Na rysunku 5.7 zamieszczono fragment raportu z przeprowadzonej sesji.

Do każdego z kroków przypisany jest zrzut ekranu obrazujący rozmieszczenie elementów w scenie, oraz wytyczne i uwagi przypisane do aktywnego elementu. W trakcie spotkania wskazano na możliwości ulepszenia konstrukcji kadłuba kombajnu ścianowego w celu poprawy warunków montażu silnika elektrycznego. Uwagi i wskazania będące wynikiem dyskusji zapisywano w postaci raportu. Na podstawie scenariusza uzgodnionego powstałego w wyniku sesji partycypacyjnej przeprowadzono wirtualne prototypowanie operacji montażu. Na rysunkach 5.8 i 5.9 przedstawiono wnioski z wirtualnego prototypowania operacji montażu silnika elektrycznego w ramieniu kombajnu ścianowego. Wnioski można podzielić na dwie grupy, eksploatacyjne i konstrukcyjne. Wnioski eksploatacyjne odnoszą się do sposobu przeprowadzania operacji montażu:



Rys.5.7. Fragment raportu z realizacji sesji partycypacyjnego trybu projektowania



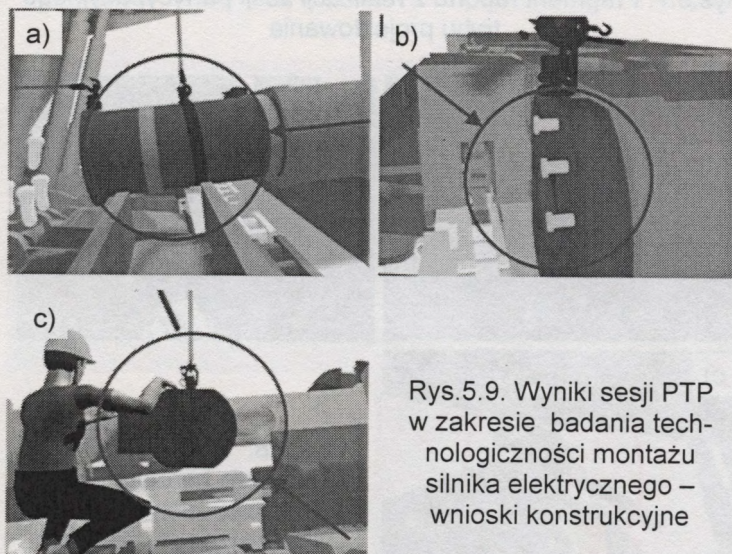
Rys.5.8. Wyniki sesji PTP w zakresie badania technologiczności montażu silnika elektrycznego – wnioski eksploatacyjne

- rys. 5.8a – wskazano na konieczność demontażu elementów współpracujących, uniemożliwiających przeprowadzenie operacji montażu – zastawka przenośnika zgrzeblowego,

- rys. 5.8b – w miarę możliwości należy tak przygotować komorę montażową aby możliwe było zastosowanie dodatkowych narzędzi wspomagających – wstępne ustawienie obiektu powinno umożliwić bezkolizyjne stosowanie np. wciągarek ręcznych,
- rys. 5.8c – osprzęt wspomagający należy dobierać z uwzględnieniem minimalnej przestrzeni roboczej wymaganej do zapewnienia właściwej pracy pomocy montażowych.

Zgodnie z adnotacją zamieszczoną na rysunku 5.9 wskazano następujące wnioski konstrukcyjne:

- rys. 5.9a – z uwagi na duże gabaryty i ciężar elementów przeznaczonych do ręcznego montażu, wskazano na konieczność jednoznacznego oznaczenia położenia środka ciężkości (oznaczonego w sposób uniemożliwiający jego zatarcie czy zabrudzenie),
- rys. 5.9b – ze względu na konieczność mocowania zawiesia należy przewidzieć możliwość tymczasowego wkręcenia pomocniczego uchwytu; aby zminimalizować liczbę dodatkowych elementów pomocniczych do wysunięcia silnika z korpusu należy użyć śrub mocujących,
- rys. 5.9c – należy przewidzieć możliwość stosowania dodatkowych uchwytów przydatnych do precyzyjnego manipulowania ciężarem np. w przypadku nachylonego podłoża gdy zachodzi zjawisko ukosowania się swobodnie wiszącego ciężaru względem korpusu.



Rys.5.9. Wyniki sesji PTP
w zakresie badania technologiczności montażu silnika elektrycznego – wnioski konstrukcyjne

Uczestnicy sesji wykazali zainteresowanie prezentowaną metodą partycypacyjnego udziału w realizacji zadań projektowych, wskazując jako najodpowiedniejszą formę realizacji - kontakt bezpośredni, z uwagi na występujące uwarunkowania i ograniczenia organizacyjne.

6. Wnioski

W pracy zidentyfikowano i opisano elementy składające się na metodę badania technologiczności w partycypacyjnym trybie projektowania. Istota tej metody polega na stworzeniu środowiska, w którym w sposób partycypacyjny badane są rozwiązania konstrukcyjne przy udziale przyszłych użytkowników i osób posiadających wiedzę, pozwalającą na kształtowanie technologiczności maszyn w aspekcie ich montażu. Elementem integrującym działania prowadzone w ramach sesji partycypacyjnego trybu projektowania są scenariusze operacji montażu osadzone w środowisku internetowym. Realizacja złożonych scenariuszy operacji montażu wymaga dostępu do specjalistycznej wiedzy z wielu dziedzin. Metoda jest przez to zaadresowana do zespołu specjalistów. Opracowane w ramach pracy narzędzia programowe, (Assembly Guideline, Assembly Designer, Assembly Participant), ułatwiają wdrożenie metody do procesu projektowego. Weryfikację założeń metody przeprowadzono podczas sesji przeprowadzanych z wykorzystaniem opracowanych narzędzi programowych, przy udziale przedstawicieli wytwórni (Zabrzeńskie Zakłady Mechaniczne S.A.) oraz przedstawicieli użytkownika (KWK „Budryk”). Weryfikacja potwierdziła słuszność zaproponowanych kierunków rozwoju badania technologiczności maszyn górniczych w aspekcie montażu.

Opracowana metoda pozwala na włączenie użytkowników maszyn górniczych w kształtowanie technologiczności tych maszyn w aspekcie ich montażu. Za pomocą opracowanej metody można wyznaczyć strefy, w których podczas montażu powinni znajdować się ludzie. Technologia górnicza natomiast wskazuje strefy, w których nie wolno przebywać. Pozwala to opracować bezpieczne operacje montażu/demontażu.

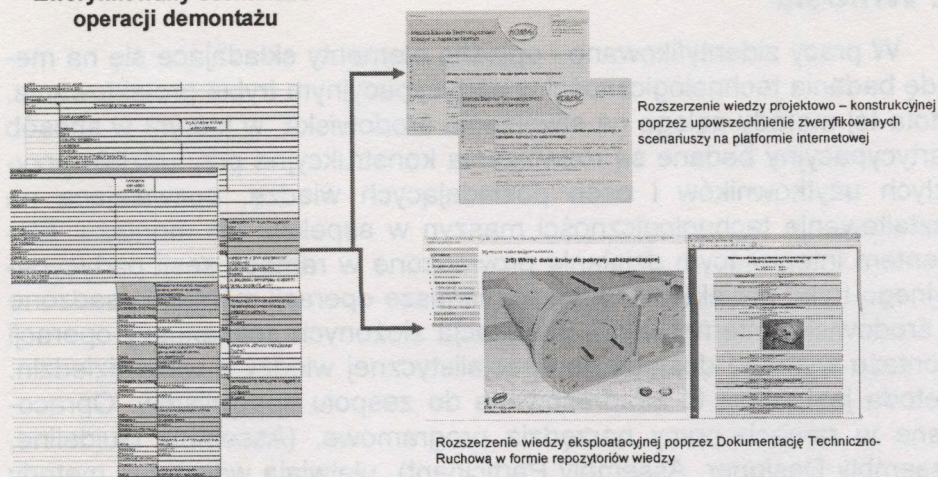
Uwzględnienie obecności człowieka w procesie wirtualnego prototypowania operacji montażu/demontażu pozwala wyznaczyć strefy dostępu do montowanych zespołów.

Wirtualne prototypowanie operacji montażu/demontażu maszyn górniczych wpływa na dobór cech konstrukcyjnych oraz na metody stosowane w utrzymaniu ruchu maszyn górniczych, przez co poszerza zarówno wiedzę projektową, jak i eksploatacyjną (rys. 6.1).

Proponowana metoda ma również pewne ograniczenia:

- brak gotowości ze strony potencjalnych uczestników partycypacyjnego trybu projektowania do podjęcia współpracy,
- obowiązujące zasady zabezpieczeń sieci komputerowych wewnątrz organizacji, do których należą uczestnicy partycypacyjnego trybu projektowania,

Zweryfikowany scenariusz operacji demontażu



Rys.6.1. Poszerzanie wiedzy konstrukcyjnej i eksploatacyjnej jako wynik wirtualnego prototypowania

- ograniczenia w prędkości przesyłu informacji o charakterze graficznym w czasie rzeczywistym, w sieciach komputerowych,
- konieczność ujawnienia nowych rozwiązań konstrukcyjnych uczestnikom sesji partycypacyjnego projektowania spoza wytwórni,
- niechęć ze strony użytkowników maszyn górniczych do ujawniania wszystkich czynników powodujących wydłużenie czasu operacji montażu/demontażu.

Przedstawiona metoda powinna być stosowana już we wczesnych fazach procesu projektowo-konstrukcyjnego, gdyż jej stosowanie prowadzi często do zmian konstrukcyjnych, które tym trudniej wprowadzić im bardziej zaawansowany jest proces projektowo-konstrukcyjny.

Literatura

- [1] Bluemel E., Meuller G., Salem W.: Technology Enhanced Training at Workplace: A Virtual Reality Based Training System for the Technical Domain. Proceedings of the First International Conference on E-Business and E-Learning – EBEL 2005, PSUT, Amman 2005.
- [2] Burdea G.C., Coiffet P.: Virtual Reality Technology. Wiley-IEEE Press, New Jersey 2003.
- [3] Chlebus E.: Techniki komputerowe CAX w inżynierii produkcji. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2000.
- [4] CMG KOMAG. Praca badawcza nie publikowana E/BD-5144: Opracowanie prototypowego rozwiązania elektronicznej dokumentacji technicznej-ruchowej dla obudów zmechanizowanych. Gliwice 2005.
- [5] CMG KOMAG. Praca badawcza nie publikowana E/BD-8603: Zaawansowane narzędzia modelowania, symulacji i komputerowej wizualizacji do wirtualnego projektowania oraz badania prototypów systemów mechanicznych. Gliwice 2003.
- [6] CMG KOMAG. Praca badawcza nie publikowana E-BD/8438/OR1: Kształtowanie przestrzeni pracy dla czynności: montażu, demontażu i obsługi kombajnu ścianowego. Modelowanie komputerowe czynności montażu, demontażu i obsługi kombajnu ścianowego. Gliwice 2002.
- [7] CMG KOMAG. Praca badawcza nie publikowana E-BD/8438: Kształtowanie przestrzeni pracy dla czynności: montażu, demontażu i obsługi kombajnu ścianowego. Gliwice 2002.
- [8] CMG KOMAG. Praca badawcza nie publikowana ES/BD-8869: Komputerowa wizualizacja czynników ryzyka występujących w układach człowiek-maszyna. Gliwice 2004.
- [9] Dietrich M. i inni: Podstawy konstrukcji maszyn. Tom 1. Wydaw. Naukowo-Techniczne, Warszawa 2006.
- [10] Dietrych J.: System i konstrukcja. Wyd. 2 zm. i rozsz. Wydaw. Naukowo-Techniczne. Warszawa, 1985.
- [11] Gendarz P.: Aplikacje programów graficznych w uporządkowanych rodzinach konstrukcji. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1998.
- [12] Helin K., Viitaniemi J., Montonen J., Aromaa S., Määttä T.: Digital human model based participatory design method to improve work tasks and workplaces. 12th International Conference on Human-Computer Interaction. China, Beijing 2007.

- [13] Jaszczyk Ł., Michalak D.: Interaktywne symulacje operacji montażu i demontażu maszyn górniczych. Materiały na konferencję: KOMTECH 2006 "Innowacyjne i bezpieczne systemy mechanizacyjne do eksploatacji surowców mineralnych", Zakopane 2006.
- [14] Landau, K., Rohmert, W. and Brauchler, R.: Task analysis: Part I – Guidelines for the practitioner. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 22(1–2), 1998.
- [15] Leppänen A., Launis M., Lehtelä J., Auvinen E., Kukkonen R. and Seppälä P.: OSU – towards participatory design. *Työterveyslaitos. Katsauksia* 116. Helsinki 1991.
- [16] Määttä T., Viitaniemi J., Simo-Pekka L., Helin K.: Virtual environment based procedure for production task evaluation and design. *International Federation of Automatic Control 8th IFAC Symposium*. Göteborg, Sweden 2003.
- [17] Määttä T.: Virtual environments in machinery safety analysis. VTT Publications. Espoo 2003.
- [18] Mazurek A.: Reprezentacja wiedzy projektowo-konstrukcyjnej za pomocą sieci przekonań. Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn. Wydział Mechaniczny Technologiczny. Politechnika Śląska, Gliwice 2006.
- [19] Michalak D., Rozmus M.: Identyfikacja potrzeb kopalń i wytwórni w zakresie serwisowania maszyn górniczych – wyniki badań ankietowych. *Międzynarodowa Konferencja KOMTECH 2005*.
- [20] Michalak D.: Analizy ergonomiczne w procesie modelowania czynności montażu i demontażu kombajnu ścianowego. *Zeszyty Naukowe Katedry Mechaniki Stosowanej* nr 27/2005. Gliwice 2005 (Konferencja Majówka Młodych Biomechaników 2005, Szczryk).
- [21] Mumford E.: User participation in a changing environment – Why we need it? GP Publishing. Columbia 1989.
- [22] Pahl G., Beitz W.: Nauka konstruowania. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1984.
- [23] Photomodeler Pro 5.0. Podręcznik użytkownika. EOS System Inc. 2004.
- [24] Pimentel K., Teixeira K.: Virtual Reality: through the new looking glass. Windcrest 1995.
- [25] Pokojński J.: Systemy doradcze w projektowaniu maszyn. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2005.
- [26] Projekt Europejski IAMTECH: Increasing the Efficiency of Roadway Drivages through the Application of Advanced Information, Automation and Maintenance Technologies. Materiały CMG KOMAG z 2nd Progress Meeting.

- [27] Ratajczak A. i inni: Technologia remontów maszyn i urządzeń technologicznych. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1982.
- [28] Richter E. i inni: Montaż w budowie maszyn. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1980.
- [29] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych (Dz.U. Nr 139, poz.1169) – znowelizowane w 2006 r.
- [30] Schmid M.: Wirtualna rzeczywistość wkracza do górnictwa. Materiały na konferencję KOMTECH: Nowoczesne, niezawodne i bezpieczne systemy mechaniczne w świetle wymagań Unii Europejskiej, Szczyrk 2003.
- [31] Simo-Pekka L., Viitaniemi J., Keula S.: Human comfort and safety analysis in virtual case prototyping: off-road vehicle. Digital Human Modeling Conference. Munchen, 18 - 22 June 2002. SAE International, Dusseldorf 2002.
- [32] Skarbiński M., Skarbiński J.: Technologiczność konstrukcji maszyn. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1987.
- [33] Skarka W., Mazurek A.: CATIA: Podstawy modelowania i zapisu konstrukcji: najnowocześniejsze metody i narzędzia komputerowo wspomaganego projektowania. Wydawnictwo Helion, Gliwice 2005.
- [34] Skarka W.: Metodologia tworzenia i wykorzystywania baz wiedzy w procesie projektowania. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2005.
- [35] Skołud B.: Zarządzanie operacyjne. Produkcja w małych i średnich przedsiębiorstwach. Monografia. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2006.
- [36] Staroń T.: Górnictwo ogólne. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Lubelskiej, Lublin 1995.
- [37] USA Department of Defense Handbook MIL-HDBK-470A: Designing and Developing Maintainable Products and Systems. 1997.
- [38] Viitaniemi J., Leino S-P, Helin K. and Määttä T.: Participating approach to work task design applying virtual environment. NES 2001 33rd Annual Congress. Sweden, Lysekil 2001.
- [39] Weiss Z. i inni: Zastosowanie oprogramowania Atroid do komputerowego wspomagania projektowania demontażu. II Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna MANUFACTURING'04, Poznań, 04-05.11.2004.
- [40] Weiss Z. i inni: Zastosowanie technik wirtualnej rzeczywistości do wizualizacji środowiska pracy. Mechanik nr 1/2007.

- [41] Weiss Z., Kasica M., Kowalski M.: Rzeczywistość wirtualna w projektowaniu wyrobów. Konferencja Innowacyjne technologie w budowie maszyn. Poznań 2005.
- [42] Winkler T., Bojara S., Chuchnowski W., Michalak D., Tokarczyk J.: Wirtualne prototypowanie maszyn górniczych. Wiadomości Górnicze nr 9/2003.
- [43] Winkler T., Dudek M., Michalak D.: Concept of Interactive Electronic Technical Manual (IETM) on the Example of Mining Machines. Aachen International Mining Symposia: Fourth International Symposium "High Performance Mine Production". Aachen 2007.
- [44] Winkler T., Jaszczuk Ł., Dudek M., Michalak D.: Tools for Supporting of Maintenance and Servicing Operation within the High Risk Industries. 10th IFF Science Days. Fraunhofer Institut Fabrikbetrieb und -automatisierung. Magdeburg 2007.
- [45] Winkler T., Michalak D., Bojara S., Chuchnowski W.: Zastosowanie komputerowych metod modelowania, wizualizacji i symulacji w szkoleniach z zakresu bezpieczeństwa i higieny pracy w górnictwie. Problemy bezpieczeństwa i ochrony zdrowia w polskim górnictwie – Szkolenie, socjologia i psychologia pracy – czynniki kształtujące bezpieczeństwo i higienę pracy. Materiały konferencyjne, Mysłowice 2004.
- [46] Winkler T., Michalak D., Bojara Sz. Jaszczuk Ł.: Zastosowanie technik wirtualnych w rekonstrukcji przebiegu wypadków w górnictwie. Międzynarodowa Konferencja KOMTECH 2005.
- [47] Winkler T., Michalak D., S.Bojara: Computer visualization of risk factors which occur during mining machines assembling in the underground workings. W: Hardygóra M., Paszkowska G., Sikora M. (Eds.): Mine Planning and Equipment Selection 2004. A.A. BALKEMA PUBLISHERS Leiden/London/Philadelphia/Singapore, 2004.
- [48] Winkler T., Michalak D., Salem W., Määtä T., Colombo S.: Technologia wirtualnej rzeczywistości w cyklu życia środków technicznych – możliwości transferu metod w obszarze przemysłów wysokiego ryzyka. Międzynarodowa Konferencja KOMTECH 2005.
- [49] Winkler T., Michalak D., Tokarczyk J., Hamala K.: Komputerowa symulacja działania układów antropotechnicznych na przykładzie operacji montażu maszyn górniczych. VII Szkoła komputerowego wspomaganie projektowania, wytwarzania i eksploatacji. Wojskowa Akademia Techniczna. Warszawa 2003.
- [50] Winkler T., Michalak D.: Rechnersimulation von Montagebedingungen in begrenzten Räumen. W: Arbeit + Gesundheit in effizienten Arbeitssystemen. GfA - Press. Dortmund 2004.

- [51] Winkler T., Michalak D.: Zastosowanie technik multimedialnych w tworzeniu materiałów szkoleniowych dla potrzeb pracowników Zakładów Górniczych. Konferencja Wyższego Urzędu Górniczego, Problemy Bezpieczeństwa i Ochrony Zdrowia w Polskim Górnictwie: Kształcenie i doskonalenie zawodowe pracowników zakładów górniczych. Mysłowice 14 i 15 kwietnia 2005.
- [52] Winkler T., Zięba J., Rozmus M., Jaworski M., Michalak D.: Wirtualne środowisko pracy – przykłady kształtowania i zarządzania. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej nr 1677. Seria: Organizacja i Zarządzanie z.26. Gliwice 2005.
- [53] Winkler T.: Komputerowo wspomagane projektowanie systemów antropotechnicznych. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2005
- [54] www.abc.com.pl/?cmd=akty_prawne
- [55] www.atroid.com
- [56] www.blender3d.org
- [57] www.dfma.com
- [58] www.engin.umich.edu/dept/ioe/3DSSPP
- [59] www.eonreality.com
- [60] www.mambopl.com
- [61] www.office.microsoft.com/en-us/orkXP/HA011362801033.aspx
- [62] www.panova.pl
- [63] www.solidworks.com
- [64] www.ugs.pl/products/ideas/ideas.shtml
- [65] www.uni-verse.org
- [66] www.wug.gov.pl/index.php?statystyki/statystyki_wypadkow
- [67] www-306.ibm.com/software/applications/plm/catiav5
- [68] Zmysłowski T.: Górnicze maszyny wyciągowe. Część mechaniczna. Śląsk - Wydawnictwo Naukowe, Katowice 2004.
- [69] Żurek J., Knast P.: Modelowanie, symulacja i ocena procesu technologicznego montażu za pomocą sieci Petriego. Archiwum Technologii Maszyn i Automatyzacji z.19. Poznań 1999.
- [70] Żurek J., Ciszak O.: Ustalanie kolejności montażu części i zespołów maszyn z wykorzystaniem logiki rozmytej. Technologia i Automatyzacja Montażu nr 2/2001, Warszawa 2001.

Badanie technologiczności maszyn górniczych w aspekcie ich montażu

Streszczenie

W pracy przedstawiono metodę badania technologiczności maszyn w aspekcie montażu. Metoda opiera się na wirtualnym prototypowaniu operacji montażu/demontażu, wykonywanych w warunkach eksploatacji podziemnej, oraz na badaniu i kształtowaniu operacji montażu w trybie partycypacyjnym. Badanie operacji montażu/demontażu w trybie partycypacyjnym realizowane jest na platformie internetowej z udziałem ekspertów z różnych dziedzin i użytkowników. Czynnikiem porządkującym działania w ramach sesji są scenariusze opisujące działania przeprowadzane w ramach realizacji poszczególnych kroków badania i kształtowania technologiczności maszyn w aspekcie montażu.

Realizacja złożonych scenariuszy operacji montażu wymaga dostępu do specjalistycznej wiedzy z wielu dziedzin. Metoda jest przez to zaadresowana do zespołu specjalistów związanych z realizacją działań projektowo/konstrukcyjnych, wytwórczych oraz odpowiedzialnych za eksploatację maszyny.

Studies on technical ability of mining machines in the aspect of their assembly

Abstract

A method of testing the technical ability of machines in the aspect of assembly was presented in the project. The method is based on a virtual prototyping of assembly/ disassembly operations, which are conducted in underground mining conditions and on testing and creating of assembly operation in the participation mode. Testing of assembly/ disassembly operations in the participation mode is realized on the Internet platform with participation of experts from different domains and users. Scenarios, which describe activities that are conducted within realization of each testing step and creation of technical ability of machines in the aspect of assembly, are the factor which organizes activities within a session.

Realization of complex scenarios of assembly operations requires a specialistic knowledge from many fields. Thus, the method is addressed to a group of specialists involved in designing and manufacturing activities and to those who are responsible for the machine maintenance.

