

**dr Liwiusz SIEMIANOWSKI**

Doktor nauk ekonomicznych  
Doctor of economic science research

## **WSPOMAGANIE PROCESÓW PODEJMOWANIA DECYZJI PRZY ZASTOSOWANIU NARZĘDZIOWEGO SYSTEMU EKSPERTOWEGO „CLIPS”**

### **Streszczenie**

**Wstęp i cel:** W pracy zaprezentowano przegląd zastosowania użytkowych systemów ekspertowych zrealizowanych przy wykorzystaniu narzędziowego systemu ekspertowego „CLIPS – C” Language Integrated Production System. Przedstawiono zarys rozwoju i budowy zaprojektowanego w NASA systemu CLIPS wersji 6.24 oraz przykłady zastosowania systemu. Podkreślono zalety wykorzystania systemu CLIPS w celach dydaktycznych. Wyszczególniono przykładowe projekty użytkowych systemów ekspertowych zrealizowanych przez studentów. Projekty obejmowały: system diagnozowania awarii komputera osobistego, system diagnozowania funkcjonowania kotła parowego oraz system wspomaganie procesu podejmowania decyzji klienta podczas wyboru nieruchomości mieszkalnej.

**Materiał i metody:** Metody syntezy, przegląd literatury.

**Wyniki:** Wskazanie przydatności narzędziowego systemu ekspertowego CLIPS w dydaktyce informatyki.

**Wniosek:** Celowość wykorzystania pakietu CLIPS w projektowaniu użytkowych systemów ekspertowych diagnozowania i wspomaganie podejmowania decyzji oraz w dydaktyce.

**Słowa kluczowe:** Narzędziowy system ekspertowy CLIPS, użytkowe systemy ekspertowe.

(Otrzymano: 09.12.2016; Zrecenzowano: 25.12.2016; Zaakceptowano: 10.01.2017)

## **SUPPORTING THE PROCESSES OF DECISION MAKING WITH APPLICATION OF THE TOOL EXPERT SYSTEM ”CLIPS”**

### **Abstract**

**Introduction and aim:** The review of selected applications performed with CLIPS system which - tool for building and developing usage expert systems. The short history, main features of the expert system CLIPS, initiated and primary developed by NASA were characterized. General structure, interface and functioning of CLIPS version 6.24 were depicted. Selected examples of its usage applications were pointed. The CLIPS system in didactics was assessed as useful. The example projects of usage expert system developed by students in CLIPS environment were listed. The selected student projects concerned: system of diagnostics of personal computer malfunctions, system of diagnosing of proper functioning the steam boiler and system supporting the client during process of purchasing the flats and other estates for living purposes.

**Material and methods:** Method of synthesis, bibliographical review.

**Results:** Pointing the useful application of CLIPS tool expert system in didactics.

**Conclusion:** Positive effects of applications of CLIPS expert system in supporting processes of diagnosing, decision making and performing didactics.

**Keywords:** CLIPS tool expert system, usage expert systems.

(Received: 09.12.2016; Revised: 25.12.2016; Accepted: 10.01.2017)

## 1. Wprowadzenie i cele artykułu

Celem artykułu jest zaprezentowanie technologii budowy użytkowych systemów ekspertowych dla wspomagania procesów podejmowania decyzji przy wykorzystaniu narzędziowego systemu ekspertowego *CLIPS - C* (ang. *Language Integrated Production System*).

Przedstawiono ogólną charakterystykę, strukturę funkcjonalną i możliwości systemu *CLIPS*. Wyszczególniono na podstawie przeglądu literatury szereg przykładów wdrożeń i specjalistycznego zastosowania. Zaprezentowano również oraz podkreślono przydatność zastosowania systemu *CLIPS* w dydaktyce. Wyszczególniono wybrane użytkowe systemy ekspertowe zaprojektowane przez studentów.

System ekspertowy (ang. *expert system*) stanowi komputerowy system umożliwiający wnioskowanie i udzielanie odpowiedzi na podstawie zgromadzonej specjalistycznej wiedzy i określonych reguł. System umożliwia prowadzenie interaktywnego dialogu z użytkownikiem celem uzyskania propozycji decyzyjnych lub rekomendacji i porad łącznie z uzasadnieniem. Stosowany w szczególności do problemów heurystycznych [4], [15]. Posiada możliwość uzasadniania przebiegu wnioskowania i proponowanej decyzji, diagnozy lub rozwiązania problemu.

System ekspertowy stanowi system komputerowy [10] z wbudowaną specjalistyczną wiedzą z obszaru ludzkiej działalności.

Wiedza w systemie zorganizowana jest w sposób zapewniający prowadzenie interaktywnego dialogu z użytkownikiem celem uzyskania propozycji decyzyjnych - porad z uzasadnieniem.

Cechy systemu ekspertowego [10] stanowią:

- zdolność wyprowadzania wariantów propozycji decyzyjnej w warunkach posiadania niekompletnych informacji o przedmiocie analizy i jego otoczeniu,
- zdolność stosowania heurystyki i prowadzenie analizy niedostatecznie ustrukturalizowanych problemów o wieloznacznym opisie,
- możliwość działania przy napływie informacji sprzecznych i nieporównywalnych,
- praca dialogowa z użytkownikiem w języku naturalnym,
- zapewnienie korzystania z bazy wiedzy oraz baz danych i modeli.

Baza wiedzy i mechanizm wnioskowania z heurystyką stanowią szczególnie, indywidualny wyróżnik systemu ekspertowego spośród innych klas systemów. Miarą przydatności jest konfrontacja z rzeczywistym ekspertem. Systemy ekspertowe predestynowane są do wspomagania rozwiązywania problemów [10] w sytuacji, gdzie:

- dane i wiedza mogą być obarczone nieznanym, dużym błędem,
- dane są niekompletne o różnorodnych relacjach i wzajemnych interakcjach,
- obszar merytoryczny problemu jest duży i przejawia się w znacznej liczbie danych i zależności, często trudnych do opisu z pomocą klasycznych modeli matematycznych,
- występuje duża zmienność - dynamika danych i wiedzy.

Systemy ekspertowe znajdują zastosowanie w wielu dziedzinach nauki i techniki jak: medycyna, geologia, geografia z gospodarką przestrzenną, chemia, fizyka, zastosowania militarne, ekonomia, gospodarka rolniczo-leśna, ochrona środowiska i in.

Zaawansowane narzędzie projektowania i budowania użytkowych systemów ekspertowych stanowi *CLIPS - C*.

## 2. Ogólna charakterystyka narzędziowego systemu ekspertowego CLIPS

Narzędziowy system ekspertowy *CLIPS* - *C*, został zaprojektowany i rozwijany w ośrodku badań kosmicznych NASA im. L. Johnson'a w Houston (*ang. National Aeronautics and Space Administration – NASA Johnson Space Centre*). Pierwsza wersja *CLIPS* została opracowana w 1985 roku w Komórcie Sztucznej Inteligencji (*ang. Artificial Intelligence Section*) w/w Ośrodka NASA.

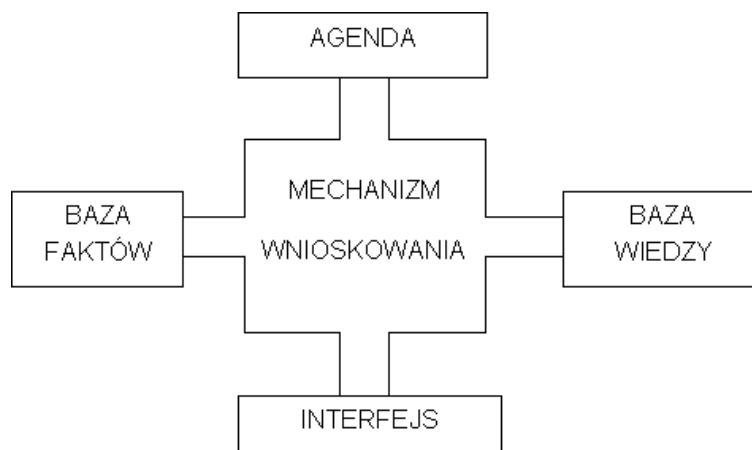
System *CLIPS* rozpozyszczył się od 1998 roku po udostępnieniu przez NASA do wykorzystania bezpłatnie jako pakiet typu public-domain. System *CLIPS* znajduje zastosowanie szczególnie w USA w instytucjach administracji, przedsiębiorstwach i szkolnictwie akademickim. System *CLIPS* nadal udoskonalany, dostępny jest w Internecie łącznie z kodem źródłowym w języku C. W pełni ukończony, przetestowany i funkcjonalny system *CLIPS* stanowi wersja 6.24 z roku 2006, rozwinięcie wersji 6.2 z 2002 roku. Kolejna wersja 6.3 systemu *CLIPS* nosi charakter wersji beta.

System *CLIPS* zapewnia wytwarzanie użytkowych systemów ekspertowych w oparciu o własny specyficzny język w pełni kompatybilny i zintegrowany z językiem programowania C. Posiada możliwość programowania w technice obiektowej. Istnieje szereg odmian systemu *CLIPS* dostosowanych dla głównych platform - systemów operacyjnych w tym dla Windows, Unix/X-windows jak również Apple Mac OS.

W strukturze funkcjonalnej systemu *CLIPS* wyróżniono [8] następujące elementy:

- baza wiedzy (*ang. knowledge-base*),
- mechanizm wnioskowania (*ang. inference engine*),
- baza faktów (*ang. fact-list*),
- agenda,
- moduł komunikacji z użytkownikiem (*ang. user interface*).

Ogólny model budowy systemu *CLIPS* został przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Ogólny model struktury funkcjonalnej systemu ekspertowego *CLIPS* [8]

Fig. 1. General model of functional structure of the *CLIPS* expert system [8]

Baza wiedzy (*ang. knowledge-base*) stanowi element dla przechowywania wszystkich reguł użytkowego systemu ekspertowego.

Mechanizm wnioskowania (*ang. inference engine*) stanowi komponent zapewniający wybór faktów odpowiadających kryteriom definiowanym w regułach tj. spełniających warunki reguł.

Baza faktów (*ang. fact-list*) obejmuje specyfikację występujących zdarzeń oraz zapewnia ogólną pamięć dla przetwarzania danych. Stanowi odpowiednik podręcznej bazy danych

o faktach pozwalający na opis w postaci rekordów np. parametrów technicznych urządzeń, charakterystyk wystąpienia zdarzeń, itp.

Moduł komunikacji z użytkownikiem (*ang. user interface*) jest elementem umożliwiającym wprowadzanie poleceń z klawiatury lub wybór z menu oraz emisję komunikatów. Zapewnia również interakcyjną komunikację z użytkownikiem poprzez wyświetlanie pytań oraz efektów działania systemu w postaci uzyskanych diagnoz, rekomendacji lub porad.

Agenda stanowi uporządkowaną listę wystąpień reguł dopasowanych do faktów z bazy (listy) faktów sporządzana przez mechanizm wnioskowania.

### 3. Składniki, interfejs i sposób pracy w systemie CLIPS

System *CLIPS* został zaopatrzony w bogatą dokumentację opisową i użytkową. Pozyskanie z Internetu składników systemu możliwe jest w postaci archiwów skompresowanych ZIP. Lista archiwów z systemem *CLIPS* wersji 6.24 na stronie pod adresem: [sourceforge.net/projects/clisprules/files/CLIPS/6.24](http://sourceforge.net/projects/clisprules/files/CLIPS/6.24) obejmuje m.in.:

- *windows\_executables\_624.zip* – pliki wykonywalne systemu (*ang. executables*) dla systemu operacyjnego Windows Microsoft'u,
- *make\_and\_help\_files\_624.zip* – zawiera plik pomocy *clips.hlp*,
- *examples\_624.zip* – przykłady użytkowych systemów ekspertowych (aplikacji) w języku opisu wiedzy systemu *CLIPS* oraz
- *documentation\_624.zip* – pliki formatu PDF z opisem użytkowania pakietu.

W dokumentacji zamieszczono podręcznik użytkownika [8], podręczniki programowania podstawowego [3] i zaawansowanego [1]. Załączone w pliku *examples* przykładowe systemy użytkowe zrealizowane z wykorzystaniem systemu *CLIPS* dotyczą różnorodnych dziedzin: od systemu porad dla kierowcy diagnozujących typowe problemy z uruchomieniem pojazdu (*ang. Automotive Expert System*) po system ekspertowy porad w doborze win do dań mięsnych.

Sposób pracy w systemie *CLIPS* - wynikający z historii jego opracowania - opiera się na wprowadzaniu poleceń z klawiatury po znaku zgłoszenia gotowości systemu. Polecenia języka wymagają ujmowania w nawiasy ( ). W wersjach dla środowisk graficznych, w tym dla Windows system *CLIPS* wykorzystuje zalety interakcyjnej pracy „okienkowej” pozwalającej na alternatywne wskazanie wybranych poleceń z listy menu rozwijanego.

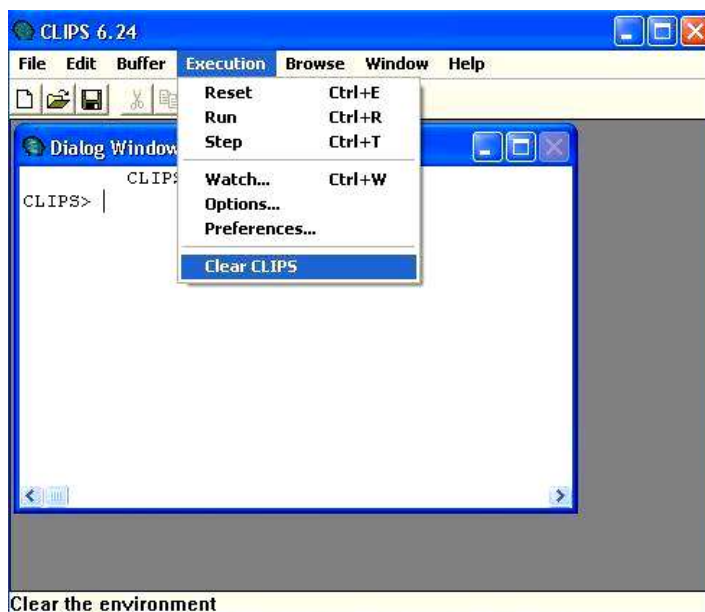
Na rysunku 2 uwidocznił obraz interfejsu ze znakiem zgłoszenia systemu bezpośrednio po uruchomieniu oraz wybór opcji z menu rozwijanego *CLIPS*.

System *CLIPS* zaopatrzony jest w system pomocy interaktywnej tzw. Help. Dostępność pomocy determinowana jest obecnością wspomnianego tekstowego pliku „*clips.hlp*” w katalogu roboczym systemu *CLIPS*. Wybór poszczególnych pozycji wymaga wprowadzenia z klawiatury pierwszej litery szukanego podrozdziału - tematu pomocy co zilustrowano na rysunku 3.

Sposób korzystania z tzw. Help'u - wynikający z rodowodu pierwotnej wersji systemu *CLIPS* - zbliżony jest do stosowania znanego z systemu UNIX polecenia „man” wywołującego podręcznik tzw. manual.

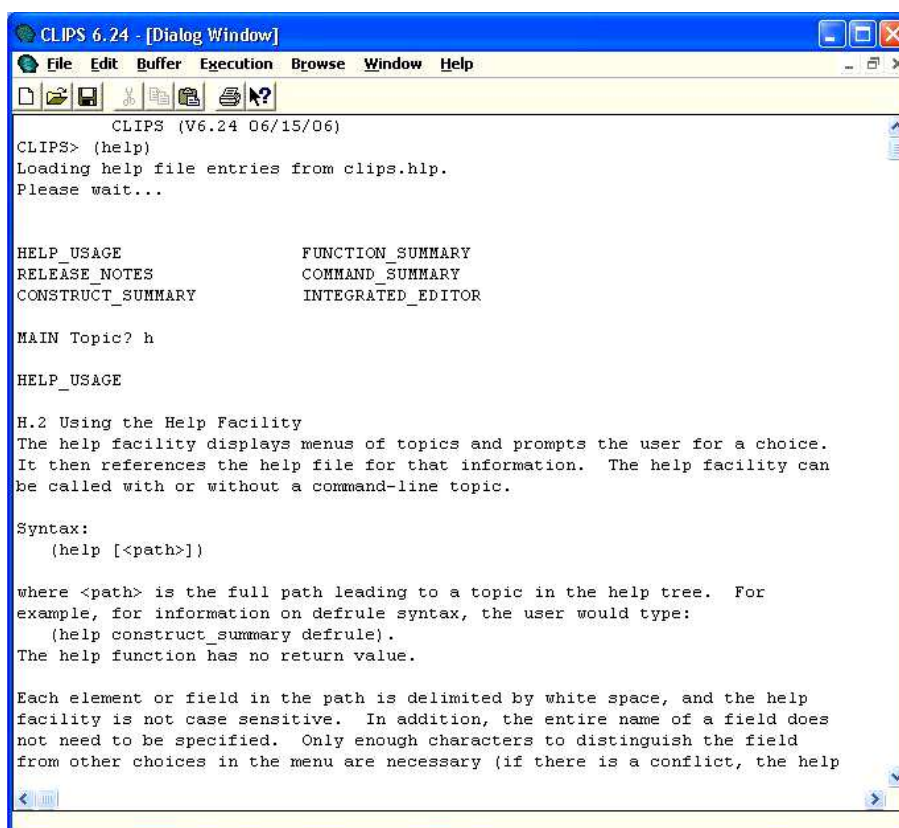
Widok okna dialogowego z interfejsu systemu *CLIPS* z uruchomionym przykładowym, użytkowym systemem ekspertowym diagnostyki pojazdów - *Automotive Expert System*, został zaprezentowany na rysunku 4.

Na tym samym zobrazowaniu poniżej okna dialogowego uwidocznił jest kod źródłowy użytkowego programu z regułą interpretującą pytanie.



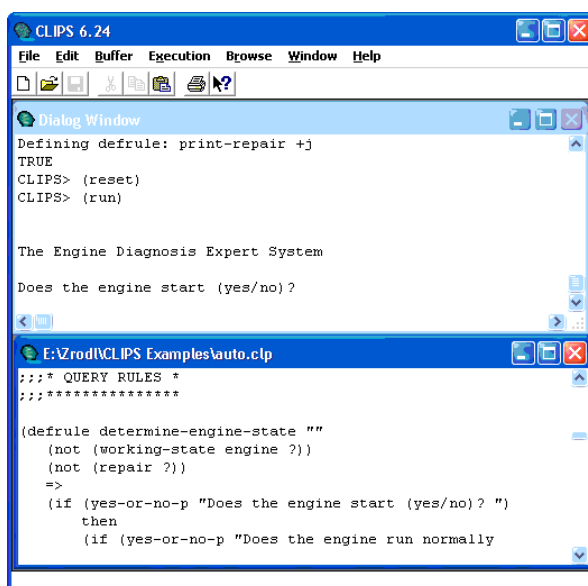
Rys. 2. Widok ogólny interfejsu i menu narzędziowego systemu ekspertowego *CLIPS* wersji 6.24  
*Źródło: Opracowanie własne*

Fig. 2. The general views of the interface and menu of the *CLIPS* 6.24 tool expert system  
*Source: Elaboration of the Author*



Rys. 3. Widok interfejsu systemu *CLIPS* podczas wyświetlania tematów pomocy  
*Źródło: Opracowanie własne*

Fig. 3. The view of the interface *CLIPS* tool expert system during help topics selection  
*Source: Elaboration of the Author*



Rys. 4. Widok interfejsu po uruchomieniu w systemie *CLIPS* użytkowego Automotive Expert System oraz kod źródłowy w pliku *auto.clp*

Źródło: Opracowanie własne

Fig. 4. The view of *CLIPS* interface after start Automotive Expert System in *CLIPS* tool expert system environment and edited source code in *auto.clp* file

Source: Elaboration of the Author

System *CLIPS* wyposażono w indywidualny edytor tekstowy pozwalający na przetwarzanie kodu źródłowego niezbyt obszernych programów użytkowych wielkości do 32 kB.

#### 4. Budowa ekspertowych systemów użytkowych w języku systemu *CLIPS*

Zaprojektowanie i budowa użytkowych systemów ekspertowych przy wykorzystaniu *CLIPS* opiera się na własnym specyficznym języku reprezentacji wiedzy tzw. KRL (*ang. Knowledge Representation Language*). Stanowi jednocześnie szeroko rozbudowany, funkcjonalny, w pełni kompatybilny i zintegrowany z językiem programowania C (zgodnie z nazwą - C integrated ...) pakiet dla projektowania systemów ekspertowych.

W systemie ekspertowym elementem sterującym przebiegiem wnioskowania jest tzw. Reguła (*ang. rule*). Reguła stanowi warunek - koniunkcję, alternatywę lub zestaw warunków oraz określenie podejmowanych działań dla ich obsługi podczas interpretacji w szczególności na podstawie informacji o zaistniałych faktach. Fakt stanowi zaistnienie pewnego zdarzenia i determinuje uruchomienie reguł realizujących przebieg programu i wnioskovanie systemu.

Reguły określane zostają przez projektanta użytkowego systemu ekspertowego na podstawie wiedzy eksperta celem opisu znalezienia rozwiązania lub uzyskania diagnozy, zalecenia czy porady. W systemach ekspertowych przyjmują postać logicznych zdań warunkowych: Jeśli ... to (*ang. if ... then ...*).

W składni *CLIPS* słowo THEN zastępowane jest symbolem =>. Ogólny uproszczony model składni reguły w języku *CLIPS* przedstawiany jest jako: LHS => RHS, gdzie:

- LHS oznacza tzw. lewostronną część reguły (*ang. left-hand side*) składającą się z szeregu warunków (koniunkcji, alternatywy),
- symbol => wskazuje na wynikającą reakcję i jest odpowiednikiem frazy THEN,
- część prawostronna RHS (*ang. right-hand side*) reguły stanowi listę działań (akcji) podejmowanych po uaktywnieniu reguły spełniającej określone wcześniej w LHS warunki.

W tekście programu definicje reguły w języku systemu *CLIPS* zapisywane są w osobnych wierszach w postaci:

```
(defrule <nazwa> [<komentarz>]
  <element warunkowy>
  =>
  <uruchamiana akcja >)
```

Uruchamiana akcja oznacza polecenie *CLIPS* lub wywołanie procedury bądź funkcji. Nazwa reguły może być uzupełniona opcjonalnie komentarzem. W nawiasach ostrych < > podawane są nazwy własne reguł, zestawów warunkowych i procedur ich obsługi.

Pliki programów w języku *CLIPS* zapisywane są w formacie tekstowym z rozszerzeniem CLP, np. auto.clp. Uruchomienie następuje za pośrednictwem menu, skrótów klawiaturowych lub wpisania poleceń w oknie dialogowym po znaku: > tj. zgłoszenia gotowości systemu. Każda instrukcja *CLIPS* zapisywana jest małymi literami i ujmowana w nawiasy okrągłe ( ). Uruchomienie systemu użytkowego poleceniem (*ang. run*) poprzedzone jest wczytaniem odpowiedniego pliku CLP poleceniem (*ang. load*) z podaniem ścieżki dostępu. Przed uruchomieniem konieczne jest ponadto tzw. resetowanie ustawień poleceniem (*ang. reset*), ewentualnie całkowite oczyszczenie pamięci i środowiska operacyjnego poleceniem (*ang. clear*).

Przebieg programu w systemie *CLIPS* sterowany jest mechanizmem wnioskowania typu wstępującego, (*ang. forward chaining inference*) tj. przeszukiwania wprzód. Przebieg prowadzony jest od interpretacji reguł na zachodzące zdarzenia do wyprowadzenia wniosków. Zapewnia dopasowanie wiedzy do podawanych przez użytkownika wartości danych tj. faktów. Fakty oddziałują na sterowanie przebiegiem programu i wnioskowaniem systemu z realizowaniem zadań systemu użytkowego tj. wyprowadzenia wniosków, postawieniem diagnozy lub udzielania rekomendacji i porad.

Agenda będąca formą pamięci podręcznej przechowuje aktualnie przetwarzane reguły wnioskowania. Możliwe jest określenie priorytetu tzw. *saliency*, determinującego kolejność wyboru reguł do analizowania na liście agendy. Reguły już nie aktywne usuwane są z agendy. Proces interpretowania reguł powtarzany jest do wyczerpania uruchomionych - aktywowanych reguł lub wymuszonego zatrzymania poleceniem (*ang. stop*).

Przebieg działania, pamięć agendy, wnioskowanie, wybór i interpretacja reguł może być obserwowana przez projektanta i użytkownika systemu użytkowego w osobnych podoknach, co ułatwia testowanie użytkowych systemów ekspertowych.

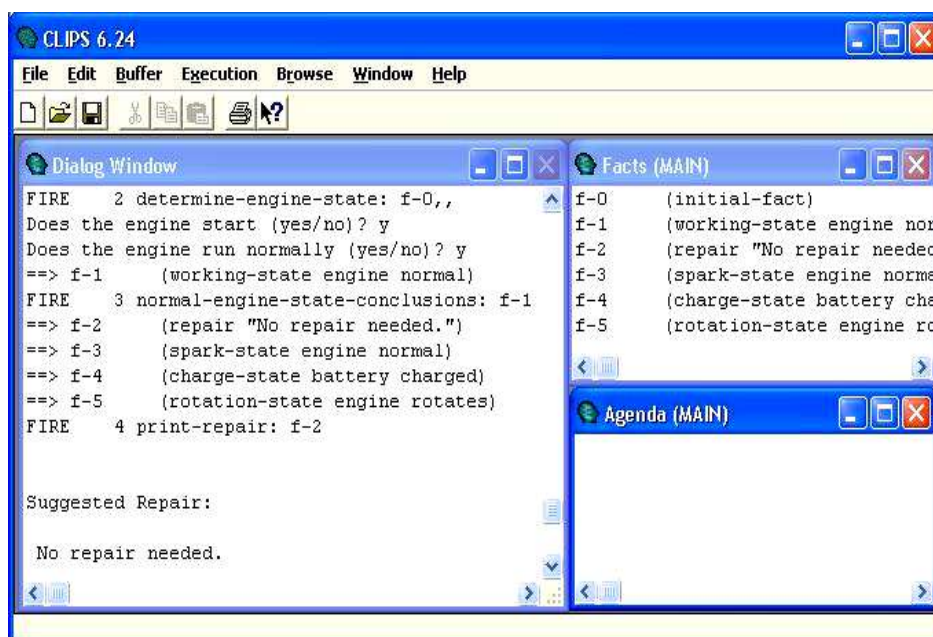
Ekran z oknami podglądu listy przeanalizowanych faktów i uruchomionych (*ang. fired*) stosownych reguł obsługi po zakończeniu działania użytkowego systemu *Automotive Expert System* z wyprowadzeniem wniosku końcowego i wyzerowaniem Agendy zaprezentowano na rysunku 5.

System *CLIPS* zaopatrzony został w tzw. mechanizm CRS (*ang. Conflict Resolution Strategy*) - strategii rozwiązywania konfliktów. Mechanizm zabezpieczający CRS pozwala na rozstrzygnięcia decyzyjne i dalsze kontynuowanie pracy w przypadku wystąpienia ewentualnych sprzeczności podczas wnioskowania.

#### 4. Zastosowania systemu ekspertowego *CLIPS*

Przykłady opracowanych i wdrożonych systemów ekspertowych podanych w literaturze m.in. [5], [6] obejmują stosunkowo liczny szereg z różnorodnych dziedzin w szczególności dot. zastosowań w technice, medycynie, w zakresie doboru urządzeń rehabilitacji medycznej [11], procedury doradcze ekonomiczno-techniczne w przemyśle [14] a nawet procedur wspomaganie wyboru przedmiotów na studiach wyższych (*ang. system Course Selector*).





Rys. 5. Widok interfejsu z podglądem reguł po zakończeniu działania użytkowego systemu ekspertowego Automotive Expert System w środowisku CLIPS

*Źródło: Opracowanie własne*

Fig. 5. The interface view with list of facts and rules interpretation after end of run the Automotive Expert System in CLIPS tool expert system environment

*Source: Elaboration of the Author*

Ekspertowe systemy użytkowe przy wykorzystaniu pakietu CLIPS opracowane zostały zarówno samodzielnie jak i interdyscyplinarnej współpracy przez jednostki badawczo-naukowe, uniwersytety, uczelnie techniczne, medyczne jak i przedsiębiorstwa branży przemysłowej w tym przemyśle elektronicznego, samochodowego i lotniczo-astronautycznego.

Poniżej wyszczególniono kilka wybranych przykładów zastosowania pakietu CLIPS w budowie użytkowych systemów ekspertowych :

- System wspomagania diagnozowania i testowania sprawności napędów dyskowych - Drive Analysis Expert System, opracowany w firmie Mack Tech z Westford w stanie Massachusetts w USA [6],
- System oceny i wspomagania doboru robotów przemysłowych (*ang. Clips-based expert system for the evaluation and selection of robots*) opracowany [14] na Uniwersytecie Stanowym Kent w Ohio w USA, (Kent State University - Ohio),
- System wspomagania sterowania ruchem samochodowym (*ang. A knowledge-based system for controlling automobile traffic*) opracowany [12] na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Lotniczej Uniwersytetu w Princeton w USA, (*ang. Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Princeton University*),
- System wspomagania monitoringu meteorologicznego w ośrodku NASA im. Kennedy'ego na przylądku Canaveral (*ang. The Meteorological Monitoring System For The Kennedy Space Center/ Cape Canaveral Air Station*) [5],
- System „Course Selector” wspomagania wyboru przedmiotów przez studentów opracowany [6] na Uniwersytecie w Edynburgu w Wielkiej Brytanii.
- System optymalnego doboru wózków inwalidzkich do potrzeb pacjentów opracowany [11] we współpracy Uniwersytetu Stanowego Kent oraz Kliniki w Cleveland w stanie Ohio w USA.



Budowę i funkcjonowanie wybranego z wymienionych powyżej użytkowego systemu ekspertowego doboru robotów przemysłowych scharakteryzowano w następnym piątym punkcie artykułu.

System *CLIPS* wykazuje przydatność w zastosowaniu w celach dydaktycznych. Przykłady użytkowych systemów ekspertowych zaprojektowanych przez polskich studentów, przy wykorzystaniu narzędziowego systemu ekspertowego *CLIPS* obejmują, m.in.:

- System ekspertowy diagnozowania awarii komputera personalnego [9] ze wskazaniem możliwych działań dla użytkownika,
- System ekspertowy wspomagania decyzji klienta podczas wyboru oraz zakupu domku i nieruchomości mieszkalnych [13],
- System ekspertowego systemu diagnozowania funkcjonowania kotła parowego produkcji firmy TORUS, [2] z udzielaniem wskazań postępowania dla personelu obsługi.

Zalety systemu *CLIPS* stanowią: wysoka funkcjonalność pakietu, pełna kompatybilność z językiem *C*, interakcyjność pracy, bogate możliwości podglądu procesu funkcjonowania i wnioskowania, obszerna dokumentacja, dostępność wraz z kodem źródłowym oraz bezpłatność wykorzystania jako pakiet public-domain. Strony ujemne - wynikające z historii rozwoju systemu - obejmują ograniczone możliwości wykorzystania grafiki oraz współdziałania z zaawansowanymi bazami danych modelu relacyjnego SQL - 3G.

System *CLIPS* wydaje się przydatny we wspomaganii projektowania m.in. procedur organizacyjnych, ratowniczych, diagnostycznych i ułatwianiu odnajdowania przyczyn występowania problemu. Pozwala również na wykorzystanie na etapie wstępnego projektowania i rozwoju systemu użytkowego z ewentualnym późniejszym przeniesieniem i implementacją finalnego produktu z wykorzystaniem alternatywnych narzędzi oraz technologii informatycznych.

System *CLIPS* wykazuje szczególnie przydatność w symulowaniu i projektowaniu przebiegu dialogu z użytkownikiem, gdzie dostępna jest wyłącznie forma werbalna komunikowania, np. na drodze telefonicznej. Przykładowe wykorzystanie systemu *CLIPS* może obejmować identyfikację przyczyn ze wskazaniem możliwych metod rozwiązania problemu, np. w postaci - udzielania przez doradcę z telefonicznego centrum obsługi klienta - zdalnych zaleceń przywrócenia właściwych ustawień i funkcjonowania określonego urządzenia.

## 5. System ekspertowy doboru robotów przemysłowych

Projekt systemu doboru robota przemysłowego do określonych zadań wykonawczych w przedsiębiorstwie produkcyjnym opracowany został na Uniwersytecie Stanowym Kent w Ohio w USA, (*ang. Kent State University - Ohio*).

Zakwalifikowany został [14] do systemów wspomaganii decyzji opartych na wiedzy (*ang. Knowledge based systems decision support system*). Pozwala na wspomaganie procesu decyzyjnego podczas wyboru dostawcy urządzeń ze względu na warunki ekonomiczno-techniczne. System umożliwia elastyczne wyselekcjonowanie dostawcy lub producenta urządzeń z uwzględnieniem specyfikacji technicznej, rachunku kosztów, opłacalności zastosowania oraz warunków serwisowo-gwarancyjnych.

W procesie projektowania i budowy systemu zastosowano i implementowano trój etapowy model podejmowania decyzji dot. doboru pożądanego typu robota przemysłowego. Ogólny graficzny schemat modelu przebiegu wspomaganii podejmowania decyzji zaprezentowano na rysunku 6.

Poszczególne etapy obejmują:

- 1) etap decyzyjny dot. specyfikacji warunków technicznych (*ang. technical decision stage*),
- 2) etap decyzji w kwestii aspektów ekonomicznych, kosztów i opłacalności zastosowania (*ang. economic decision stage*),
- 3) etap decyzji końcowych dotyczący pozyskania robotów (*ang. acquisitioned decision stage*).

Zadaniem etapu pierwszego jest dokonanie możliwie najbardziej precyzyjnego określenia i dopasowania wymagań dla potrzeb. Wyróżniono następujące, kolejne kroki określania kryteriów doboru :

- obszar zastosowania do określonej czynności np. montaż, spawanie, malowanie ... ,
- podobzdar cząstkowy w stosunku do pkt 1 np. montowanie drobnych elementów,
- wymogi dotyczące wykonywania czynności jak precyzyjność, prędkość, wydajność,
- wstępne wskazanie robotów spełniających wymagania z punktów 1-3,
- porównanie czy zadania mogą być lepiej wykonywane przez pracowników,
- podjęcie decyzji o zastosowaniu robotów w zależności od oceny spełnienia warunku 5 tzn. decyzja o stosowaniu robotów zostaje zdeterminowana niemożnością lub niecelowością wykorzystania pracy ludzkiej.

Etap I zakończony jest sporządzeniem wstępnej listy robotów - tj. dostępnych przemysłowych urządzeń wspomagania produkcji wielkoseryjnej. W podejmowaniu decyzji w etapie I stosowane są metody TRG (*ang. Task / Robot Grid*) typu tablic decyzyjnych. Tablice TRG zapewniają kojarzenie określonych zadań produkcyjnych do realizacji dopasowanych do możliwości i parametrów odpowiednich typów robotów przemysłowych.

W etapie drugim analizowane są ceny zakupy i operacyjne kosztów bieżących eksploatacji. Etap zapewnia przeprowadzanie ekonomicznej analizy opłacalności zainwestowania w roboty oraz sporządzenie rachunku kosztów dla optymalizacji doboru określonego typu robota.

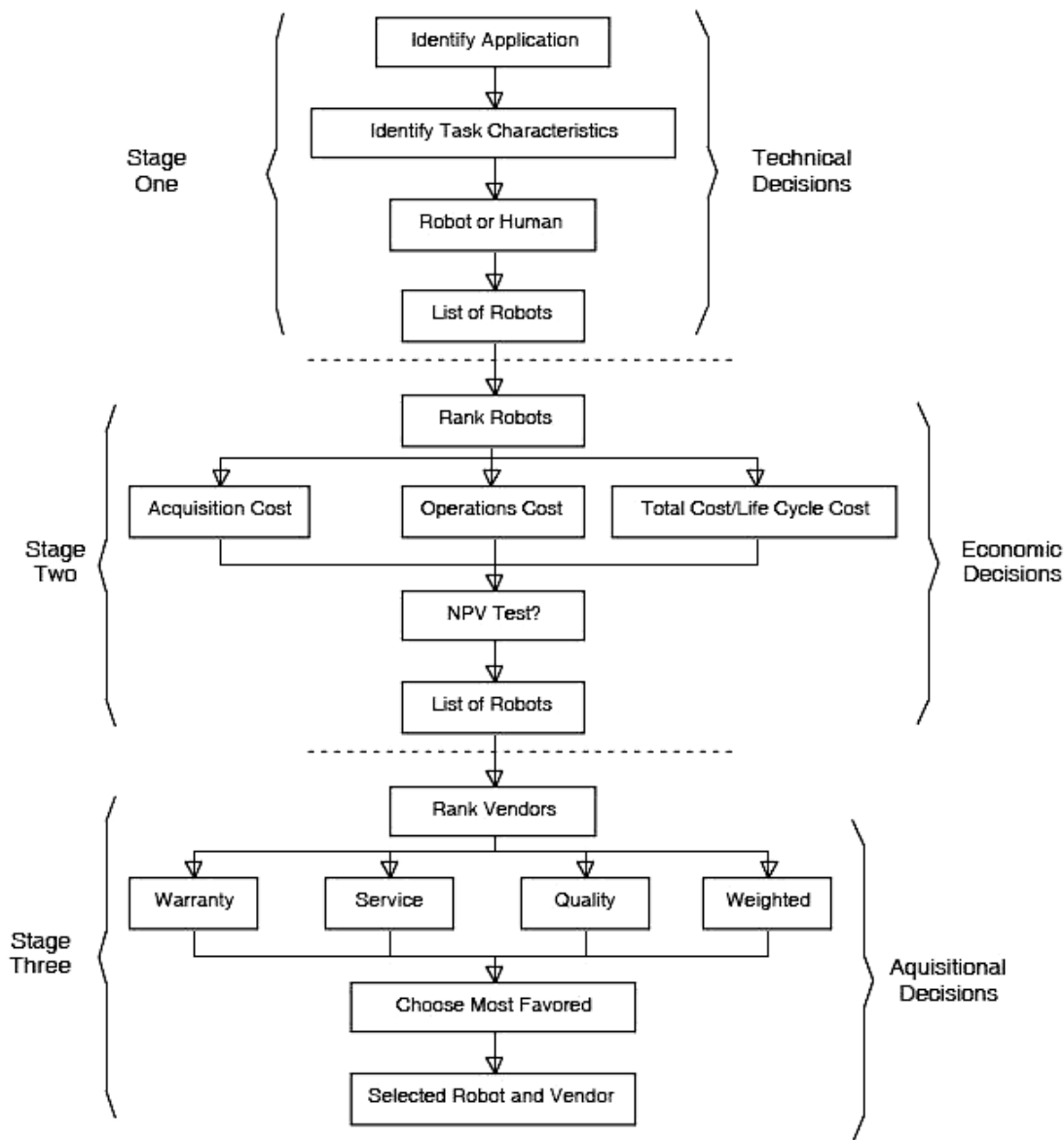
W analizie rolę wiodącego kryterium odgrywa funkcja NPV (*ang. Net Present Value*) zapewniająca ocenę bieżącej wartości netto urządzenia. Wykluczane są te roboty przemysłowe, których wartość bieżąca jest niższa od ich kosztów netto tj. ceny zakupy i operacyjnych kosztów bieżących eksploatacji. Etap II zapewnia kolejne ograniczenie podzbioru możliwych do zastosowania robotów wyłonionych w wyniku etapu I.

Ostatni etap trzeci procesu decyzyjnego doboru robotów zapewnia sporządzenie rankingu dla każdego dostawcy robotów i dla każdego oferowanego urządzenia. Efektem etapu jest sporządzenie skróconej listy ewentualnych dostawców robotów uwzględniającej nie tylko konkurencyjne ceny ale również odpowiedni poziom jakościowy urządzeń, oferowane warunki gwarancyjne i wsparcie serwisowe.

Bazę wiedzy użytkowego systemu ekspertowego doboru robotów skonstruowano w postaci szeregu zdań logicznych, początkowo w naturalnym języku angielskim. Poszczególne zdania dostosowane zostają następnie do wymaganej postaci reguł w składni języka *CLIPS*.

Na rysunku 7 przedstawiono przykład reguły zdefiniowanej w języku angielskim w schemacie zadania warunkowego: Jeśli „zaistnienie warunków” - to „podjęcie określonego działania”.

Wiedza wprowadzona zostaje do użytkowego systemu ekspertowego w postaci reguł przetłumaczonych z naturalnego języka angielskiego na składnię języka systemu *CLIPS*. Przykład definicji reguły w języku *CLIPS* na podstawie reguły przekształconej z naturalnego języka angielskiego przedstawiono na rysunku 8.



Rys. 6. Model trój etapowego procesu podejmowania decyzji podczas doboru robotów przemysłowych [14]

Fig. 6. Three-stage robot selection process [14]

```

    Rule No 29: Finds robots matching given technical
    features.

    IF      There is a robot for the application with the
            required grippers,

    AND    This robot meets (at a minimum) the following
            technical features: Accuracy, Repeatability,
            Velocity, and Payload as specified by user

    THEN   Add this robot to the set of currently feasible
            robots.
    
```

Rys. 7. Przykład reguły zdefiniowanej w języku angielskim w schemacie zadania warunkowego [14]

Fig. 7. Example rule in natural English language [14]

```

;Rule No 29.
(Defrule find-robots-3rd-pass "Technical Features"
  ?f <- (robot-2 ?robot)
    (Features (Accuracy ?v11)
              (Repeat ?v12)
              (Velocity ?v13)
              (Payload ?v14)
            )
    (Robot (ID ?robot)
           (Accuracy ?v21&:(<= ?v21 ?v11))
           (Repeat ?v22&:(<= ?v22 ?v12))
           (Velocity ?v23&:(<= ?v23 ?v13))
           (Payload ?v24&:(<= ?v24 ?v14))
        )
  =>
  (retract ?f)
  (assert (robot-3 ?robot)
)

```

Rys. 8. Przykład reguły w języku *CLIPS* systemu doboru robotów [14]Fig. 8 Example rule in *CLIPS* [14]

Zdefiniowana reguła współpracuje z użytkową bazą danych dotyczącą parametrów robotów przemysłowych. Informacje nt. każdego robota przemysłowego obejmują: rodzaj i określony model/typ urządzenia, charakterystyki pracy i podstawowe dane techniczne: wymiary, unoszony ładunek, dokładność, prędkość, itp. oraz charakterystyki dotyczące zasilania i poboru mocy. Opis robotów określany jako baza danych zorganizowany jest w systemie ekspernym *CLIPS* w postaci rekordów na liście faktów zaprezentowanej na rysunku 9.

```

(Robot (ID RT001)
       (Control S2)
       (Power E)
       (Axes 6)
       (Accuracy .2)
       (Repeat .05)
       (Velocity 145)
       (Payload 6)
       (Effectors adjust-jaw)
       (Jobs ML PT SA EA IN)
       (Vendor "IBM Corp.")
)

(Vendor (ID VD001)
        (Name "IBM Corp.")
        (Robot-Info RT001 28500)
        (Service .95)
        (Warranty .8)
        (Quality .83)
)

```

Rys. 9. Definicja listy faktów jako bazy danych w systemie *CLIPS* o parametrach robotów [14]Fig. 9. Facts as attribute robot Database in *CLIPS* system of robot selection [14]

Dodatkowe przechowywane w systemie dane dla dokonywania porównań i właściwego doboru robotów obejmują wymagania dot. środowiska pracy, producenta, kosztów bieżących oraz danych z rankingu przeprowadzonego podczas modelowania systemu uwzględniającego

kryteria jak serwis, gwarancje i jakość. Noty przyznawane w ratingu pochodzą od analityków i ekspertów rynku robotów przemysłowych. Punktacja jest obciążona subiektywnością.

Rezultat funkcjonowania systemu - przedstawiony na rysunku 10 - stanowi finalna lista dostępnych robotów przemysłowych spełniających kryteria ustanowione przez użytkownika.

```

Indicate the importance of each of the following,
on a scale from 0 to 10:
  1. Vendor service quality :7
  2. Vendor warranties :8
  3. Product quality :9
  4. Price :6
.....
Rank by Subjective score (S) or by Price (P)? p

Robot Index      Vendor Name          Price      Score
-----
RT005            ASEA, Inc.          $60000    17
RT007            Bendix              $70000    13
RT011            Cincinnati Milacron $90000    17
RT006            Automatix, Inc.     $95000    18
RT008            Bendix              $95000    13
RT016            Kuka                $125000   13

The net present value of cashflows:  $129036.6
    
```

Rys. 10. Przykładowe zestawienie robotów na podstawie subiektywnych kryteriów użytkownika [14]  
 Fig. 10. Final listing emitted from the system on base of subjective rating values of end-user criteria [14]

Zaprezentowany, oparty na wiedzy, użytkowy system ekspertowy implementowany został z wykorzystaniem języka systemu *CLIPS*. Prototypowy system wykazał w praktyce pełną przydatność we wspomaganii działań doboru robotów przemysłowych [14] do przewidywanych zadań wykonawczych oraz wspieraniu użytkownika-decydenta w podjęciu decyzji.

Przewidywano ulepszenie systemu [14] w kierunku zwiększenia szczegółowości, zdolności komunikowania w języku naturalnym oraz rozbudowy dla współpracy z systemem zarządzania bazą danych.

## 6. Wnioski

- W pracy zaprezentowano przegląd zastosowania wybranych użytkowych systemów ekspertowych zrealizowanych przy wykorzystaniu narzędziowego systemu ekspertowego *CLIPS* w szczególności dla wspomaganii procesów podejmowania decyzji i wyboru określonych urządzeń i usług. Zastosowanie systemu ekspertowego *CLIPS* może tym samym wpływać na podniesienie efektywności procesów wspomaganii decyzji dla planowania i zarządzania.
- Wyszczególniono zalety i ograniczenia systemu *CLIPS*. Zalety *CLIPS* stanowią m.in.: wysoka funkcjonalność pakietu, pełna kompatybilność i zintegrowanie z językiem C, interakcyjność pracy, bogate możliwości podglądu procesu funkcjonowania i wnioskowania, obszerna dokumentacja, pełna dostępność wraz z kodem źródłowym oraz bezpłatność wykorzystania jako pakiet public-domain. Strony ujemne wynikają z historii rozwoju systemu. Zaliczyć do nich można ograniczone możliwości wykorzystania grafiki oraz współdziałania z zaawansowanymi bazami danych modelu relacyjnego SQL - 3G.

- Skrót nazwy systemu *CLIPS* stanowi również oznaczające w języku angielskim słowo „spinacz”. W zamyśle autorów skrótowiec „clips” miał podkreślać możliwości systemu *CLIPS* w łączeniu - spinaniu wiedzy specjalistycznej w rozwijanych użytkowych systemach ekspertowych. Wydaje się zamierzenie zostało osiągnięte na co wskazuje liczność opracowań i wdrożeń użytkowych systemów ekspertowych przy wykorzystaniu narzędziowo systemu ekspertowego *CLIPS*.

## Literatura

- [1] *APG - Podręcznik zaawansowanego programowania w systemie / C-Language Integrated Production System, CLIPS Reference manual - Volume II*. APG - Advanced Programming Guide, 2006.
- [2] Bilenda Z.: *Projekt systemu ekspertowego diagnozowania funkcjonowania kotła parowego firmy TORUS*. Praca semestralna, WSTE Szczecin, 2014.
- [3] *BPG - Podręcznik podstaw programowania w systemie / C-Language Integrated Production System, CLIPS Reference manual - Volume I*. BPG - Basic Programming Guide, 2006.
- [4] Bubnicki Z.: *Wstęp do systemów ekspertowych*. Warszawa: Państwowe Wyd. Naukowe, 1991.
- [5] *CLIPS'94 - The Third Conference on CLIPS Proceedings*. 12-14.09.1994. Lyndon B. Johnson Space Center, NASA, USA 1994.
- [6] *CLIPS Application Abstracts*. November 1997.
- [7] Giarratano J. Riley G.: *Expert Systems: Principles and Programming*. Boston: PWS-Kent Publishing Company, 1994.
- [8] Giarratano J.C.: *CLIPS User's Guide, 2002 - podręcznik użytkownika systemu ekspertowego CLIPS*.
- [9] Hanka J.: *Projekt systemu ekspertowego diagnozowania awarii komputerowych*. Praca semestralna, WSTE Szczecin, 2014.
- [10] Kisielnicki J.: *Systemy ekspertowe*. PC Kurier 9/1991.
- [11] Madey G., Alaraini S., Nour M., Bhansin Ch.: *On the development of an expert system for wheelchair selection*, pp. 5-17. [In:] *CLIPS'94 - The Third Conference on CLIPS Proceedings*, 12-14.09.1994, Lyndon B. Johnson Space Center, NASA, USA 1994.
- [12] Maravas A. Stengel R.F.: *A knowledge-based system for controlling automobile traffic*, pp. 63-74. [In:] *CLIPS'94 - The Third Conference on CLIPS Proceedings*, 12-14.09.1994, Lyndon B. Johnson Space Center, NASA, USA 1994.
- [13] Marszałek K.: *Projekt systemu ekspertowego wspomaganie decyzji klienta podczas wyboru i zakupu domu i nieruchomości mieszkalnych*. Praca semestralna, WSTE Szczecin, 2014.
- [14] Nour M., Offodile F., Madey G.: *A clips based expert system for the evaluation and selection of robots*, pp. 23-34. [In:] *CLIPS'94 - The Third Conference on CLIPS Proceedings*, 12-14.09.1994, Lyndon B. Johnson Space Center, NASA, USA 1994.
- [15] Patterson D.: *Introduction to artificial intelligence and expert systems*. Prentice Hall International Editions 1991.
- [16] *Podręcznik dot. interfejsów systemu CLIPS, Reference Manual Volume III*. Interfaces Guide Version 6.24, 2006.