

## System ekspertowy doboru materiałów na części silnika spalinowego samochodu osobowego

M. Pluta<sup>a</sup>, R. Honysz<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Student Politechniki Śląskiej, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych  
email: mateusz.pluta@windowslive.com

<sup>b</sup> Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Zakład Inżynierii Materiałów Biomedycznych  
email: rafal.honysz@polsl.pl

**Streszczenie:** W artykule opisano system ekspertowy, którego celem jest wspomaganie projektantów w prawidłowym doborze materiałów na poszczególne części tłokowego silnika spalinowego. Pokazane zostały etapy projektowania systemu i przeprowadzono przykładowy dobór materiału na korbowód silnika. System opracowano z wykorzystaniem środowiska CLIPS.

**Abstract:** This paper describes an expert system, whose aim is to assist designers in the proper selection of materials for different parts of the piston internal combustion engine. Stages of system design are shown and sample material selection was carried out for the engine connecting rod. The system was developed using CLIPS environment.

**Słowa kluczowe:** system ekspertowy, silnik spalinowy, dobór materiałów, optymalizacja.

### 1. WSTĘP

System ekspertowy jest pojęciem z zakresu sztucznej inteligencji. Oznacza on rodzaj systemu doradczego, będącego programem komputerowym, który wykorzystuje wiedzę oraz procedury wnioskowania do rozwiązywania problemów niealgorytmizowanych, wymagających wiedzy i ekspertyz specjalistów. System ten emuluje proces podejmowania decyzji przez człowieka-eksperta. Cechą takiego systemu jest operowanie na wiedzy, w przeciwieństwie do wykonywania tradycyjnych obliczeń numerycznych i symbolicznych w programach, modelach matematycznych przy zidentyfikowanych danych. Systemy ekspertowe w porównaniu do ludzi pracują znacznie szybciej, nie ulegają zmęczeniu, nie zapominają oraz są zawsze do dyspozycji. Kolejnym plusem jest to, że dzięki możliwości modyfikacji systemu jesteśmy w stanie rozbudować go o nowe opcje, pogłębić jego bazę wiedzy o informacje zaczerpnięte od kolejnych ekspertów oraz modyfikować w taki sposób by był bardziej przystępny dla użytkownika [1-3].

Systemy te posiadają bardzo szerokie zastosowanie. Lista ich zastosowań jest ogromna zaczynając od analizy medycznej pacjenta przez prognozowanie pogody aż do porad finansowych lub kredytowych. Dlatego też znalazły zastosowanie w takich dziedzinach jak m.in. inżynieria, medycyna, chemia, matematyka, architektura, transport, informatyka i wiele innych. [1-10].

## **2. CEL I ZAKRES PRACY**

Celem pracy jest opracowanie systemu ekspertowego, który będzie wspomagał projektantów w prawidłowym doborze materiałów na poszczególne części tłokowego silnika spalinowego [11-13]:

- kadłub,
- głowicę,
- wał korbowy,
- korbowód,
- tłoki,
- pierścienie,
- sworznie,
- zawory.

## **3. ETAPY BUDOWY SYSTEMU EKSPERTOWEGO**

### **3.1. Analiza problemu**

Problem przedstawiony w pracy, czyli dobór materiałów inżynierskich na części składowe silnika spalinowego jest problemem złożonym i wymaga od projektanta ogromnej wiedzy i doświadczenia. Poprzez nałożenie na części wielu różnych kryteriów, wymagań proces dopasowania odpowiedniego materiału może być długotrwały, pracochłonny oraz drogi. Jednak poprzez opracowanie systemu ekspertowego, możliwe jest łatwy i bardziej dostępny sposób rozwiązania stawianego problemu. Dlatego też budowa komputerowego wspomagającego systemu ekspertowego dla opisanego problemu ma sens

### **3.2. Specyfikacja systemu**

Funkcją opracowanego systemu ekspertowego jest wspomaganie projektanta w doborze materiałów na poszczególne części silnika samochodowego. Dzieje się to poprzez udzielanie odpowiedzi użytkownika na stawiane mu pytania przybliżając go do rozwiązania problemu. System ten został stworzony tak aby obsługiwał dwa tryby pracy: manualny i automatyczny. Od systemu oczekuje się poprawne i szybkie dobranie materiału na część silnika spalinowego wybranego przez użytkownika.

### **3.3. Akwizycja wiedzy**

Wiedza zgromadzona w systemie została wydobyta z wielu źródeł, m.in. z: [14-32]

- pozycji literaturowych znalezionych w zasobach biblioteki uczelni oraz internetowych

- źródeł typu open access ,
- artykułów dostępnych w trybie open access,
- norm, które zostały znalezione w uczelnianej normowani oraz w internecie,
- patentów umieszczonych w zasobach internetowych,
- baz materiałowych zamieszczonych w internecie,
- wiedzy ekspertów takich jak:
  - wyspecjalizowani mechanicy, poprzez analizę i obserwację ich działań,
  - producenci stopów, poprzez informacje zamieszczone w ich biuletynach oraz stronach internetowych.

### 3.4. Wybór metody reprezentacji wiedzy i narzędzi do budowy systemu

Środowiskiem w którym pisany jest system ekspertowy jest CLIPS (C Language Integrated Production System). Jest to środowisko szkieletowe, które udostępnia szereg narzędzi niezbędnych do budowy regałowego lub obiektowego systemu ekspertowego. Stworzony został w roku 1984 przez NASA i znalazł szerokie zastosowanie w projektach rządowych, przemysłowych oraz akademickich [10]. Głównym powodem jego wyboru był fakt, że środowisko to jest bardzo proste w użyciu i zapewnia spójne mechanizmy obsługi szeroko rozumianej wiedzy. Ponadto licencja środowiska umożliwia bezpłatne wykorzystanie zarówno w celach komercyjnych jak i edukacyjnych. System jest mobilny i pracuje pod kontrolą systemów z rodziny Windows i Linux. Dodatkowo może zostać zintegrowany z innymi środowiskami programistycznymi w celu jego rozbudowy poprzez opracowanie np. interfejsu graficznego. CLIPS posiada ogólnie dostępną pełną dokumentację w której skład wchodzi poradniki:

- użytkownika,
- podstaw programowania,
- programowania dla zaawansowanych,
- interfejsu programu.

### 3.5. Konstrukcja systemu

Pierwszym etapem konstruowania systemu było opracowanie jego bazy wiedzy, która jest podstawowym elementem poprawnego funkcjonowania całego systemu. Proces ten został rozpoczęty określeniem charakterystyki problemu przedstawionego do rozwiązania. Następnie nastąpił proces mający na celu znalezienie sposobu poprawnej reprezentacji zdobytej wiedzy. Kolejnym etapem była formalizacja wiedzy, będąca w efekcie budową i projektowaniem struktur organizacji wiedzy. Ostatnim etapem było testowanie opracowanego systemu, mające na celu sprawdzenie poprawności działania zastosowanych reguł.

W programie zostało zdefiniowane 431 reguł. Każda reguła jest to zbiór warunków i działań, które należy podjąć, jeżeli zdefiniowane w niej warunki zostaną spełnione. Lewa strona reguły, nazywana przesłanką, składa się z szeregu elementów warunkowych. Prawa strona, nazywana konkluzją, zawiera listę czynności do wykonania, gdy warunki znajdujące się w przesłance zostaną spełnione. Nie istnieje ograniczenie dotyczące ilości elementów warunkowych lub działań, którą może posiadać reguła. Operacje zawarte w konkluzji

wykonywane są kolejno oraz wtedy i tylko wtedy, gdy wszystkie warunki znajdujące się w przesłance zostały spełnione.

### **Dobór w trybie manualnym**

Po wyborze trybu manualnego, użytkownik otrzymuje pytania pomocnicze, które mają na celu wspomaganie wyboru materiału. Na przykład przy wyborze kadłuba, pierwszym pytaniem pomocniczym jest pytanie o istotność masy danej części. W przypadku, gdy wybór pada na jak najmniejszą masę, program automatycznie zawęży dobór materiałów do stopów aluminium. W innym przypadku rozpatrywane są również żeliwa i inne materiały. Poprzez odpowiedzi na kolejne pytania, takie jak np. wymagana twardość stopu, lub wytrzymałość na rozciąganie, zostaje dobrany odpowiedni materiał. Program posiada szereg zabezpieczeń mające na celu ustrzec użytkownika przed wpisaniem nieprawidłowej wartości (większej lub mniejszej niż wartości graniczne przedziału), lub przed wybraniem nieprawidłowej opcji. Wykrycie błędu powoduje ponowne uruchomienie danej reguły i powtórzenie pytania. Trzeba również pamiętać o stosowaniu kropki zamiast przecinka podając wartości ułamkowe.

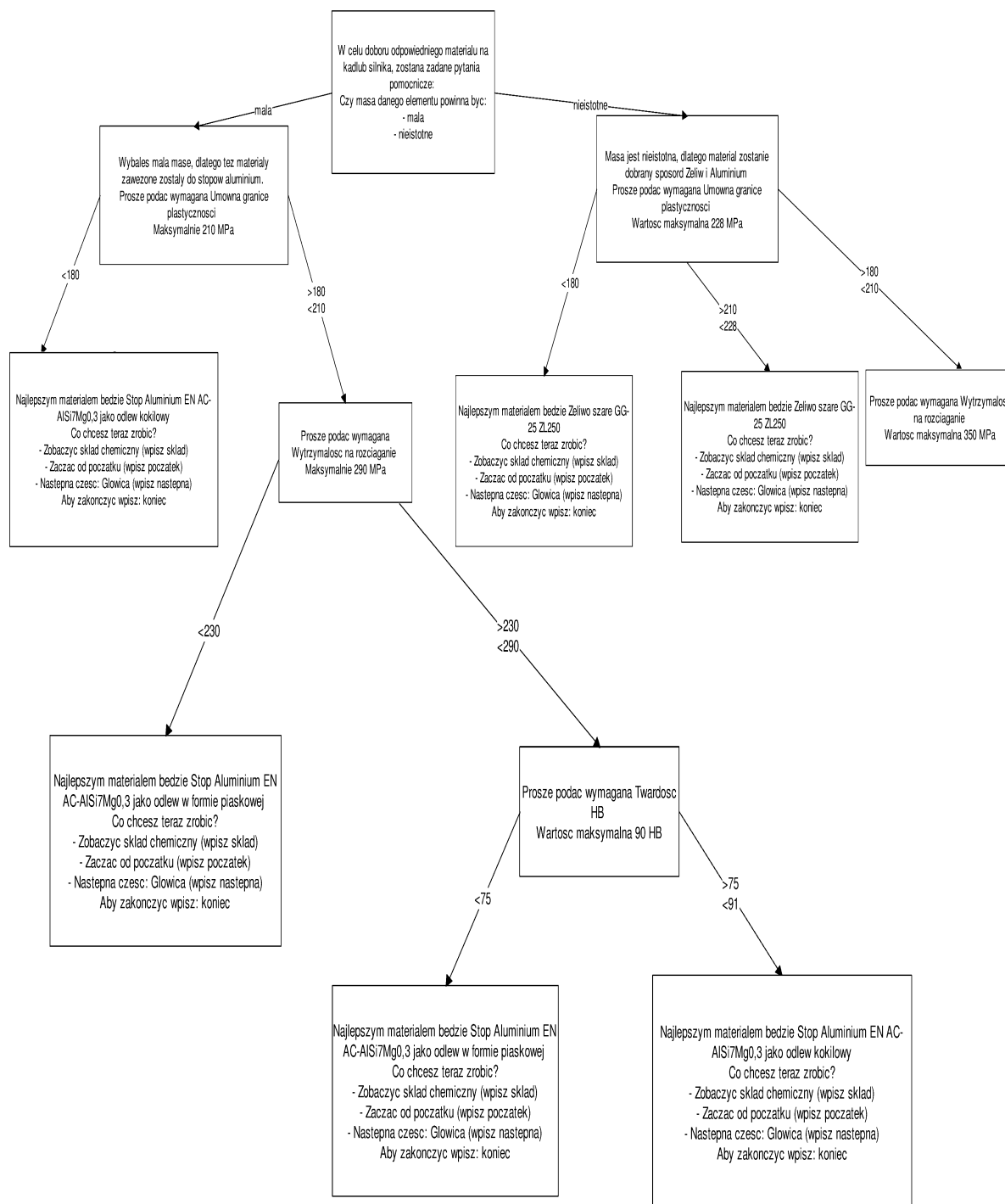
Gdy w kolejnym etapie działania programu wybrana zostanie kolejna część silnika, użytkownik ma możliwość ponownego wyboru trybu działania programu. Jest to zamierzone działanie mające na celu możliwość przejścia z jednego trybu do drugiego. Ta sama opcja możliwa jest przy doborze w trybie manualnym, dzięki temu użytkownik jest w stanie dobrać część materiałów w jednym trybie, a część w drugim. Schemat trybu automatycznego jest identyczny dla każdej części. Kolejność doboru elementów silnika zależy od części, którą dobraliśmy. Standardowy przebieg doboru wygląda następująco: kadłub, głowica, wał korbowy, korbowod, tłoki, pierścienie, sworznie i zawory. Po przejściu, aż do zaworów możliwe jest ponowne dobranie materiału na kadłub. Gdy użytkownik zacznie dobór od zaworów, nadal będzie miał możliwość doboru pozostałych części. Przykładowy schemat blokowy doboru materiału na kadłub silnika został pokazany na rysunku 1.

### **Dobór w trybie automatycznym**

Tryb ten pozwala na szybki dobór materiału. Dzieje się to poprzez zdefiniowanie odpowiedzi wcześniej. Odpowiedź ta została dobrana za na podstawie porównania odpowiednich kryteriów znajdujących się poniżej:

- bezawaryjność
- odporność na „szoki termiczne”
- małe gabaryty
- mała masa
- wysoka wytrzymałość mechaniczna (skręcanie, zginanie, ścieranie, rozciąganie)
- wysoka wytrzymałość termiczna
- minimalizacja emitowanego hałasu
- tania technologia wytwarzania
- odporność na korozję i warunki atmosferyczne
- ekologia

Na podstawie analizy wymagań stawianych materiałom na poszczególne elementy silnika spalinowego przydzielona została im przydzielona punktacja poprzez porównanie ich własności. Następnie obliczona została waga oraz wartości procentowe, mające na celu wyrażenie stopnia spełnienia kryteriów.



Rysunek 1. Fragment schematu blokowego doboru materiału na kadłub silnika  
Figure 1. A fragment of a flowchart of the material selection for the engine block

### 3.6. Weryfikacja i testowanie i praca z systemem ekspertowym

System został testowany wielokrotnie w celu sprawdzenia poprawności jego działania, efektem tego było kilkakrotne modyfikowanie kodu w celu zwiększenia jakości wnioskowania i wydajności pracy. Głównym elementem testowania programu było jego wielokrotne uruchamianie i śledzenie pracy poszczególnych reguł podczas udzielania odpowiedzi na zadawane przez system pytania. Znalezione błędy w działaniu były usuwane na bieżąco.

## 5. URUCHOMIENIE I PRACA Z SYSTEMEM

W celu uruchomienia systemu ekspertowego należy uruchomić środowisko. system CLIPS. Następnie należy wczytać plik programu systemu ekspertowego. Automatycznie uruchomi się proces definiowania reguł oraz funkcji potrzebnych do poprawnego działania programu. Gdy definiowanie funkcji oraz reguł zostanie zakończone pomyślnie, co jest zgłaszane słowem TRUE można uruchomić program. Rysunek 2 przedstawia sposób uruchomienia i przykładowy przebieg działania programu. Pierwsze pytanie odnosi się do wyboru części dla której będzie rozpatrywany dobór materiału, w celach pokazowych został wybrany korbwód. Następnie program poprosi o wybranie trybu pracy. Wybrano tryb manualny, który powoduje zadanie kolejnego pytania, tym razem o twardość materiału. Po wpisaniu odpowiedniej twardości program przejdzie do pytania o kolejną własność materiałową, którą jest wytrzymałość na rozciąganie. W przypadku gdy program znajdzie wcześniej materiał posiadający wystarczającą twardość wyświetli on informację o jego znalezieniu. W przypadku gdy wpisana wartość wytrzymałości nadal nie daje jednoznacznej odpowiedzi, następuje zadanie kolejnego pytania, tym razem o wartość granicy plastyczności materiału. Po podaniu tej wartości program znalazł materiał spełniający zadane kryteria i zakończył wnioskowanie. Można wyświetlić skład chemiczny znalezionej materiału, przejść do doboru materiału na kolejną część silnika lub zakończyć działanie programu.

```

Dialog Window
CLIPS (V6.24 06/15/06)
CLIPS> (load* "dobor_silnik.clp")
TRUE
CLIPS> (reset)
CLIPS> (run)

Witam w systemie ekspertowym majacym na celu dobranie materialow na czesci silnika spalinowego
Czy mozemy zaczynac? (tak/nie)

tak

Prosze wybrac czesc:
-Kadlub silnika (wpisz kadlub)
-Glowice silnika (wpisz glowica)
-Wal korbowy (wpisz korbowy)
-Korbowod
-tloki
-Sworznie tlokowe (wpisz sworznie)
-Pierscienie
-Zawory

korbowod

Prosze wybrac tryb:
- manualny
- automatyczny

manualny

W celu doboru odpowiedniego materialu na korbowody silnika, zostana zadane pytania pomocnicze:
Prosze podac wymagana Twardosc w HB
Wartosc maksymalna 310 HB

220

Podaj wartosc wytrzymalosci na rozciaganie
Maksymalna wartosc 1080 MPa

864

Podaj wymagana granice plastycznosci
Maksymalna wartosc 930 MPa

745

Najlepszym materialem bedzie Stal 35HM
Co chcesz teraz zrobic?
- Zobaczyc sklad chemiczny (wpisz sklad)
- Zaczac od poczatku (wpisz poczatek)
- Nastepna czesc: Tloki (wpisz nastepna)
Aby zakonczyc wpisz: koniec

sklad

Pierwiastek   Symbol   Zawartosc
Wegiel       C        0,32 - 0,38
Krzem        Si       0,17 - 0,37
Fosfor       P        0,035
Mangan       Mn       0,4 - 0,7
Chrom        Cr       0,8 - 1,1
Nikiel       Ni       0,3
Molibden     Mo       0,15 - 0,25
Siarka       S        0,035
Czy chcesz zaczac od poczatku? (tak/nie)

nie

Dziekuje za korzystanie z programu.

CLIPS>

```

Rysunek 2. Uruchomienie i przykładowy przebieg działania systemu ekspertowego  
 Figure 2. Launch and exemplary sequence on the operation of the expert system

## 5. PODSUMOWANIE

Praca miała na celu analizę oraz rozwiązanie problemu związanego z doбором materiałów na części silnika spalinowego. Rozwiązaniem tego problemu okazało się opracowanie systemu ekspertowego. Jednak aby system miał sens, najpierw należało szczegółowo określić jego funkcje oraz oczekiwania jakie ma spełniać. Następnie, poprzez aktywizację wiedzy z takich źródeł jak książki, artykuły, patenty, normy oraz eksperci została opracowana baza wiedzy systemu. Kolejnym krokiem był wybór sposobu reprezentacji zdobytej wcześniej wiedzy oraz narzędzi do budowy systemu. Wybór padł na środowisko CLIPS, którego głównymi atutami są prostota w użyciu przy ogromnych możliwościach i brak opłat licencyjnych. Podczas konstrukcji systemu należało bardzo szczegółowo określić sposób w jaki będzie przeprowadzany dialog z użytkownikiem. Dlatego też zaraz na początku zostały stworzone schematy blokowe mające na celu odzwierciedlenie rozumowania oraz toku postępowania programu. Kolejnym krokiem było opracowanie programu odpowiadającemu schematom blokowym. Następnie należało opisać jego elementy oraz sposób działania. Dzięki temu potencjalny użytkownik jest w stanie zrozumieć tok rozumowania przyświecający przy jego budowie, co pozwoli także na jego późniejsze modyfikacje. Ostatnim punktem pracy była weryfikacja i testowanie systemu ekspertowego w celu wyeliminowania potencjalnych błędów powstających podczas programowania.

## LITERATURA

1. A. Niederliński Regułowe systemy ekspertowe, Wydawnictwo Pracowni Komputerowej Jacka Skalmierskiego, Gliwice 2000.
2. R. Honysz, Wykłady i instrukcje laboratoryjne z przedmiotu Komputerowe wspomaganie w inżynierii materiałowej, Gliwice 2015.
3. L.A. Dobrzański, R. Honysz: Artificial intelligence and virtual environment application
4. for materials design methodology, Archives of Materials Science and Engineering 45/2 (2010) 69-94.
5. J. Mulawka, Systemy ekspertowe, Wydawnictwo NT, Warszawa 1996.
6. W. Pedrycz, W. Cholewa, Systemy doradcze, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 1987.
7. M. L. Owoc: Elementy systemów ekspertowych, WAE, Wrocław 2006.
8. Rutkowski L., Metody i techniki sztucznej inteligencji. PWN. Warszawa 2006.
9. <http://www.neurosoft.edu.pl/>
10. <http://clipsrules.sourceforge.net/>
11. S. Luft, Podstawy budowy silników, WKŁ 2011.
12. W. W. Pulkrabek, Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine (2nd Edition), Prentice Hall 2003.
13. R. Stone, Introduction to Internal Combustion Engines, Palgrave Macmillan 2012.
14. L.A. Dobrzański, Materiały inżynierskie i projektowanie materiałowe. Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo, WNT, Warszawa 2006.
15. L.A. Dobrzański, Metalowe materiały inżynierskie, WNT, Warszawa 2004.
16. S. Ratiu, The history of the internal combustion engine, Annuals of the faculty of engineering, Hunedoara, 2003.
17. R. P. Georgiev, P. V. Roldan, Design a four-cylinder Internal Combustion Engine, Project and Engineering Department, Pamplona 2011.



18. P. Brzyżek, J. Pluta, Sz. Pluta, Anna Wydrzyńska, Zasady doboru materiałów na elementy silnika spalinowego samochodu osobowego, Prace Studenckich Kół Naukowych 12, 2007.
19. J. Caban, P. Drożdziel, P. Seńko, Wybrane materiały konstrukcyjne w budowie pojazdów samochodowych, Logistyka 3, 2014.
20. H. Yamagata, The science and technology of materials in automotive engines, Woodhead Publishing Ltd, Cambridge, 2005.
21. A. Fajkiel, A. Białobrzeski, P. Dudek, T. Reguła, Nowoczesne stopy oraz metody odlewania magnezu w zastosowaniach motoryzacyjnych. Przegląd Mechaniczny 2, 2009.
22. A. Wojciechowski, R. Michalski, Polimery i kompozyty polimerowe w pojazdach samochodowych. Transport Samochodowy 2, 2008.
23. <http://www.pkn.pl>
24. <http://www.dostal.com.pl>
25. <http://www.stal-hermes.pl>
26. <http://info.grafen.ippt.pan.pl/index.pl>
27. <http://matweb.com/index.aspx>
28. <http://www.steelnumber.com/index.php>
29. <http://steelgr.com>
30. <http://www.steelss.com>
31. <http://www.evek.pl>
32. <http://wistal.com>

