

**System CastExpert do diagnostyki wad odlewów**  
**CastExpert system for casting defect diagnostics**

*Krzysztof Regulski<sup>1</sup>, Stanisława Kluska-Nawarecka<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie, Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej,  
Katedra Informatyki Stosowanej i Modelowania, ul. Czarnowiejska 66, 31-126 Kraków

<sup>2</sup> Instytut Odlewnictwa, ul. Zakopiańska 73, 30-418 Kraków

<sup>1</sup> AGH – University of Science and Technology, Faculty of Metals Engineering and Industrial Computer Science,  
Department of Applied Computer Science and Modelling, ul. Czarnowiejska 66, 31-126 Kraków, Poland

<sup>2</sup> Foundry Research Institute, ul. Zakopiańska 73, 30-418 Kraków, Poland

E-mail: regulski@agh.edu.pl

Received: 21.04.2016. Accepted in revised form: 30.06.2016.

© 2016 Instytut Odlewnictwa. All rights reserved.

DOI: 10.7356/iod.2016.10

### Streszczenie

Prace dotyczące systemu ekspertowego CastExpert prowadzone są w Instytucie Odlewnictwa od wielu lat i obejmowały kolejno: dopracowanie struktury wewnętrznej systemu i procedur diagnostycznych, wzbogacenie bazy wiedzy (w tym wykorzystanie technik multimedialnych), doskonalenie interfejsu użytkownika [1–8]. Najnowsza wersja tego systemu, zrealizowana w wyniku kolejnych modyfikacji, określona jest nazwą CastExpert++. Artykuł opisuje architekturę systemu i sposób działania z perspektywy użytkownika.

**Słowa kluczowe:** system ekspertowy, baza wiedzy, wnioskowanie, wady odlewów, scenariusze użycia

### Abstract

The investigations of the CastExpert system have been conducted at the Foundry Research Institute for many years now, including the following: perfecting the internal structure of the system and diagnostic procedures, enriching the knowledge base (including the use of multimedia techniques), perfecting the user interface [1–8], etc. The latest version of this system, developed as a result of further modifications, is named CastExpert++. The article describes the architecture of the system and its functions from the point of view of the user.

**Keywords:** expert system, knowledge base, inference, casting defects, usage scenarios

## 1. Działanie systemu CastExpert

Aplikacja CastExpert++ jest systemem wspomagającym diagnozowanie wad odlewów. Działanie programu oparte jest o bazę reguł, uzupełnioną o bazę zdjęć wadliwych produktów, mającą na celu ułatwienie diagnostyki. Program jest systematycznie aktualizowany i odświeżany, dzięki czemu stanowi doskonale źródło wspomagające identyfikację wad oraz ustalenie ich przyczyn i przedstawienie sugerowanych zmian mających na celu poprawę procesu wytwarzania.

## 1. Functions of CastExpert system

The CastExpert++ application is a system supporting casting defect diagnostics. The program operates according to a rule base, complemented with a base of faulty product images, aimed at diagnostics facilitation. The program is systematically updated and refreshed, thus constituting an excellent knowledge source, which supports the identification of defects and the determination of their causes as well as the presentation of the suggested changes aimed at improving the production system.

Podstawowa idea systemu ekspertowego realizowana przez system CastExpert polega na przeniesieniu wiedzy eksperta do programu komputerowego, wyposażonego w bazę wiedzy, konkretne reguły wnioskowania oraz język komunikacji z użytkownikiem lub interfejs graficzny na taką komunikację pozwalający. Cała wiedza zgromadzona w systemie może być wykorzystywana wielokrotnie przez wielu użytkowników, zwracających się do komputera, kiedy potrzebują rady [9–13].

CastExpert jest systemem ekspertowym, który na podstawie szczegółowej wiedzy może wyciągać wnioski, działając w sposób zbliżony do procesu rozumowania człowieka. Opiera się na technice symbolicznego przetwarzania informacji, a stosowaną tu podstawową formą zapisu wiedzy są reguły [14–19].

Część zasadnicza procesu diagnostycznego to poszukiwanie przyczyny wystąpienia wady odlewniczej. System prowadzi dialog z użytkownikiem, zadając mu kolejne pytania, dzięki którym możliwe jest wyeliminowanie tych potencjalnych przyczyn, które na pewno w diagnozowanym procesie nie miały miejsca.

W podobny sposób przebiega dialog dla pozostałych zdiagnozowanych we wstępnym etapie wad. Po odnalezieniu przyczyny system podaje sposób działania zmierzający do usunięcia wady i przywrócenia prawidłowości procesu.

System prowadzi dialog z użytkownikiem, zadając mu pytania, na których odpowiedź może ujawnić przyczynę powstania wady. Liczba pytań zależna jest od momentu odkrycia zaistniałej przyczyny, jeśli już w pierwszym pytaniu uda się zdiagnozować przyczynę, dialog zostaje zakończony. Odpowiednio: jeśli przyczyna nie zostanie ujawniona podczas dialogu, oznacza to, że zostały zadane wszystkie pytania zaimplementowane w systemie, czyli w bazie nie ma odpowiednich reguł, które pozwoliłyby określić przyczynę danej wady.

Przebieg procesu diagnostycznego przedstawiono na rysunku 1. W procesie tym można wyróżnić dwie fazy:

- 1) dialog wstępny, którego zadaniem jest pozyskanie informacji dotyczących rodzaju rozważanej wady;
- 2) przeszukiwanie przyczyn wystąpienia wady, czego wynikiem jest postawienie diagnozy i wskazanie działań zapobiegających powstawaniu wady.

Przebieg dialogu wstępnego został przedstawiony na rysunku 2, zaś ilustracje fazy drugiej stanowi rysunek 3.

The basic idea of the expert system realized with the use of the CastExpert system consists in transferring the knowledge possessed by an expert into the computer program, equipped with a knowledge base, specific inference rules as well as a language of communication with the user or a graphic interface which makes such communication possible. All knowledge collected in the system can be used multiple times by many users who seek advice from a computer program [9–13].

CastExpert is an expert system which, based on detailed knowledge, can draw conclusions, operating similarly to the human brain. It is based on the technique of symbolic information processing, and the applied basic form of recording the knowledge are the rules [14–19].

The basic part of the diagnostic process is the search for the cause of the occurrence of a casting defect. The system conducts a dialogue with the user, asking him/her a series of questions, thus making it possible to eliminate those potential causes which certainly did not occur in the diagnosed process.

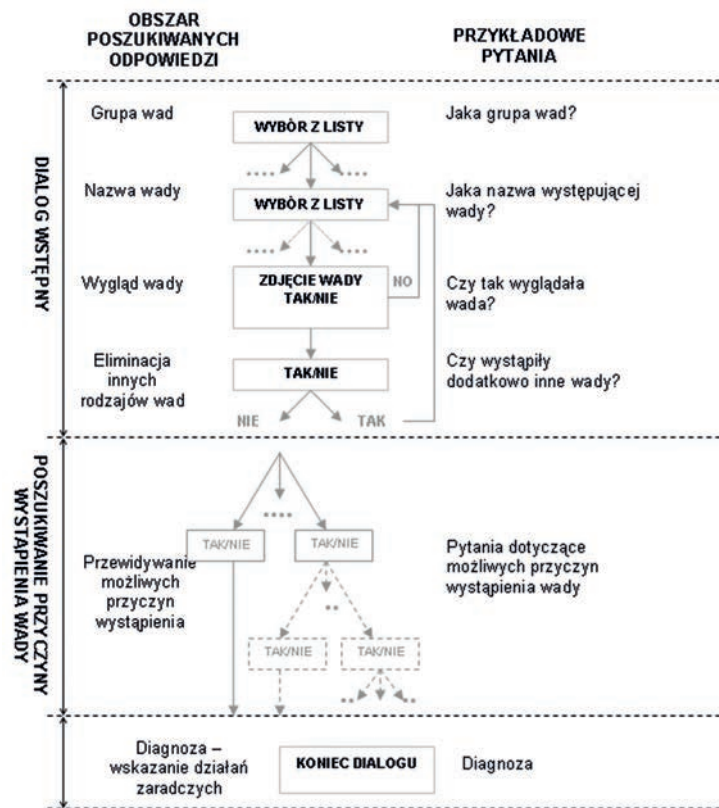
The dialogue about the remaining defects diagnosed at the preliminary stage is conducted in a similar way. After finding the cause, the system provides the user with the manner of operation which will eliminate the defect and restore process regularity.

The system conducts a dialogue with the user by asking such questions to which the answer can reveal the cause of the defect. The number of questions depends on the moment the discovery of the cause occurred. If the cause is diagnosed already after the first question, the dialogue is finalized. If the cause has not been identified during the dialogue, it means that all the questions implemented in the system have been asked, that is, the base does not include the appropriate rules for the determination of the cause of the given defect.

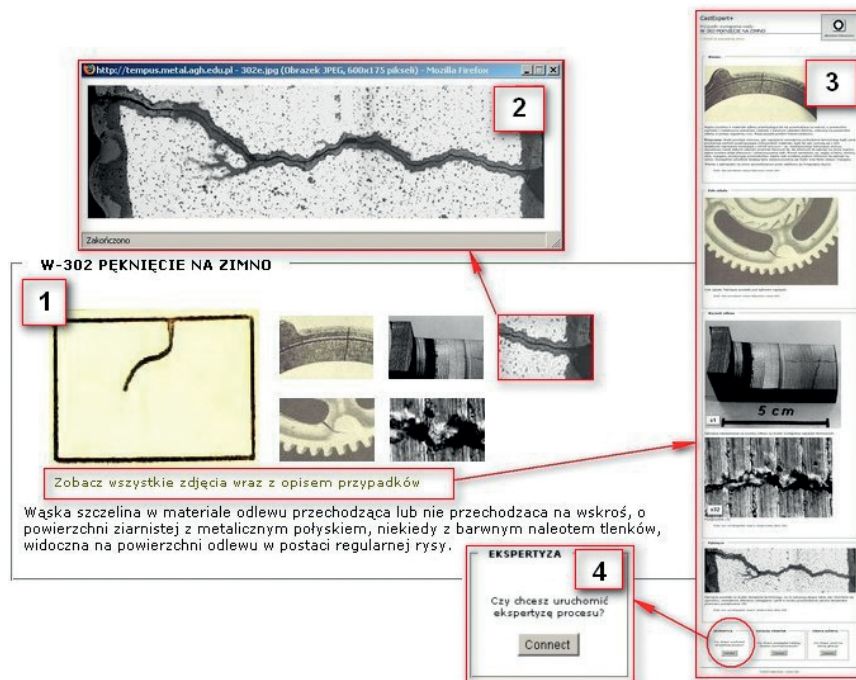
The course of a diagnostic process is presented in Figure 1. The process can be divided into two phases:

- 1) a preliminary dialogue, aimed at acquiring information concerning the type of the considered defect;
- 2) searching for the cause of the occurrence of the defect, resulting in a diagnosis and recommended actions aimed at defect prevention.

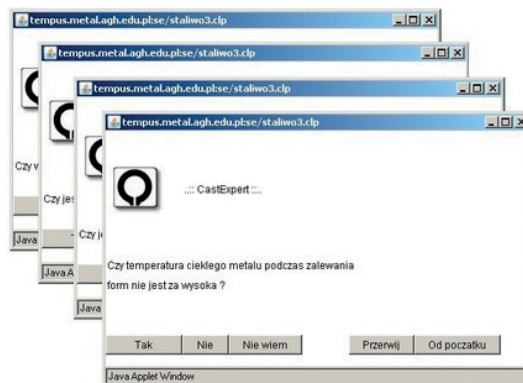
The course of the preliminary dialogue is shown in Figure 2, whereas Figure 3 illustrates the second phase.



Rys. 1. Diagram procesu diagnostycznego w systemie CastExpert  
Fig. 1. Diagram of the diagnostic process in the CastExpert system



Rys. 2. Dialog wstępny w systemie CastExpert++  
Fig. 2. Preliminary dialogue in the CastExpert++ system



Rys. 3. Dialog w celu poszukiwania przyczyn wystąpienia wady w systemie CastExpert  
 Fig. 3. Dialogue aiming at identifying the causes of a given defect in the CastExpert system

## 2. Baza wiedzy i scenariusze użycia

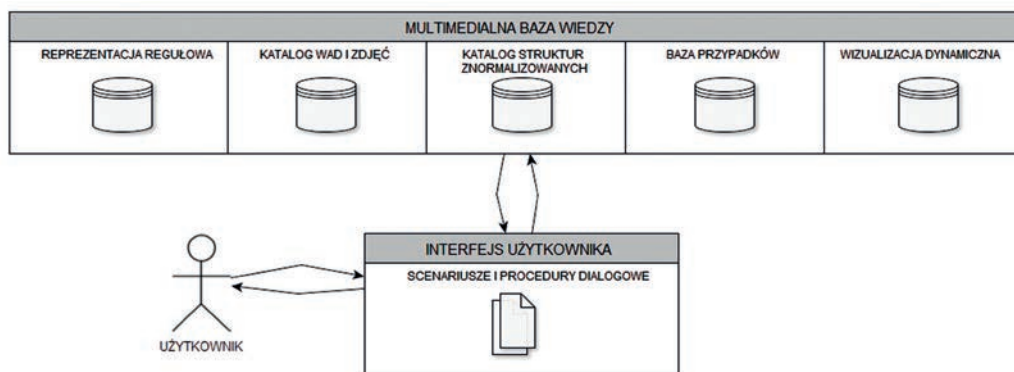
Zrealizowany interfejs użytkownika, ukierunkowany na pracę dialogową, ma w maksymalnym stopniu ułatwić korzystanie z systemu, umożliwiając wariantowe udostępnianie z zawartych w nim zasobów wiedzy.

W przyjętej koncepcji baza wiedzy zmodernizowanej wersji systemu CastExpert++ posiada charakter multimedialny. W konsekwencji udostępniana w tym systemie wiedza posiada strukturę modułową przedstawioną schematycznie na rysunku 4.

## 2. Knowledge base and usage scenarios

The realized user interface, directed towards working in the form of dialogues, aims at a maximal facilitation of the use of the system, allowing for variant access to the knowledge resources.

In the assumed concept, the knowledge base of the modernized edition of the CastExpert++ system has a multimedia character. In consequence, the knowledge made available in this system has a module structure, schematically presented in Figure 4.



Rys. 4. Ogólna struktura multimedialnej bazy wiedzy systemu CastExpert++  
 Fig. 4. General structure of the multimedia knowledge base of the CastExpert++ system

Wiedza udostępniana jest, przy wykorzystaniu interfejsu graficznego, odpowiednio do scenariusza wynikającego z potrzeb i intencji użytkownika.

Jako podstawowe warianty takiego scenariusza można wskazać (rys. 5):

- 1) prostą procedurę diagnostyczną realizowaną według schematu DIAG 1,
- 2) diagnozę połączoną z rozpoznaniem wady, gdy użytkownik nie może jednoznacznie określić jej rodzaju DIAG 2,

The knowledge is made available, with the use of the graphic interface, appropriately to the scenario resulting from the needs and intention of the user.

The basic variants of such a scenario are as follows (Fig. 5):

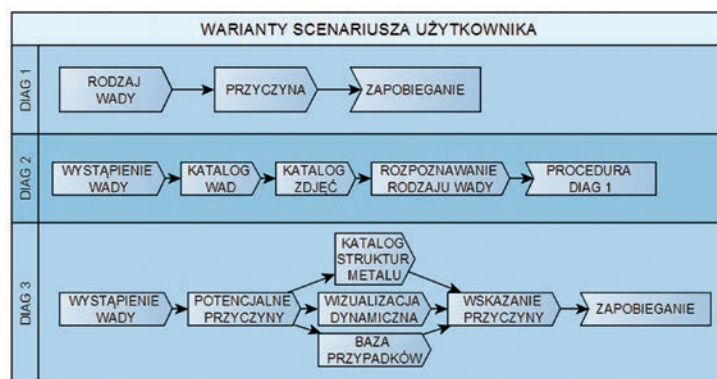
- 1) simple diagnostic work realized according to the DIAG 1 scheme,
- 2) a diagnosis combined with the recognition of the defect, when the user cannot clearly describe its nature – DIAG 2,

3) pogłębioną analizę przyczyn wystąpienia wady, w przypadku gdy informacje posiadane przez użytkownika nie pozwalają na wiarygodne wskazanie przyczyny wady (DIAG3).

3) a thorough analysis of the causes of the occurring defect, in the case when the information possessed by the user does not allow for a reliable determination of the cause of the defect – DIAG 3.

Możliwe są również inne warianty scenariuszy wykrowane przez użytkownika lub łączenie procedur wyżej podanych (np.: DIAG2 + DIAG3).

Other scenario variants created by the user are also possible, as well as combinations of the procedures described above (e.g.: DIAG2 + DIAG3).



Rys. 5. Podstawowe warianty scenariusza użytkownika

Fig. 5. Basic user scenario variants

Reprezentacja regułowa, choć najczęściej stosowana, posiada ograniczoną siłę wyrazu i przy szerzej rozbudowanych potrzebach użytkownika okazuje się niewystarczająca. Z tego względu baza wiedzy w wersji systemu CastExpert++ wzbogacona została o dodatkowe formy reprezentacji zaznaczone na schemacie z rysunku 4. Poniżej przedstawiona została krótka charakterystyka tych komponentów.

Rozpoczynając procedurę diagnostyczną, użytkownik może nie być w pełni przekonany, jakiego typu wada występuje w rozważanym odlewie. W takim przypadku znajduje zastosowanie przedstawiony poprzednio scenariusz DIAG2, uwzględniający fazę rozpoznania rodzaju wady, przy wykorzystaniu katalogu wad łącznie z ich zdjęciami i opisem.

Przykładowe fragmenty takiego katalogu, dostępnego w systemie CastExpert++, przedstawione zostały na rysunkach 2, 7 oraz 9.

Trudności w postawieniu jednoznacznej diagnozy wynikają często z braku pełnych informacji ze strony użytkownika odnośnie warunków, w jakich został wyprodukowany posiadający wadę odlew.

W takich przypadkach (scenariusz DIAG3) istotną pomoc stanowić może katalog struktur znormalizowanych, przypisujący poszczególnym rodzajom metalu typowe struktury oraz ich deformacje związane z wystąpieniem określonego typu wady (rys. 6).

Kolejnym komponentem wiedzy ułatwiającym postawienie trafnej diagnozy jest baza przypadków. W bazie tej zawarte są zdjęcia i opisy wybranych przypadków wystąpienia wad w konkretnych zakładach przemysłowych (rys. 7).

The rule representation, although the most frequently used, has a limited scope and it is insufficient when the needs of the user are more complex. Due to this fact, the knowledge base in the CastExpert++ system edition has been enriched with additional forms of representation, marked in the scheme in Figure 4. Below, one can find brief characteristics of these components.

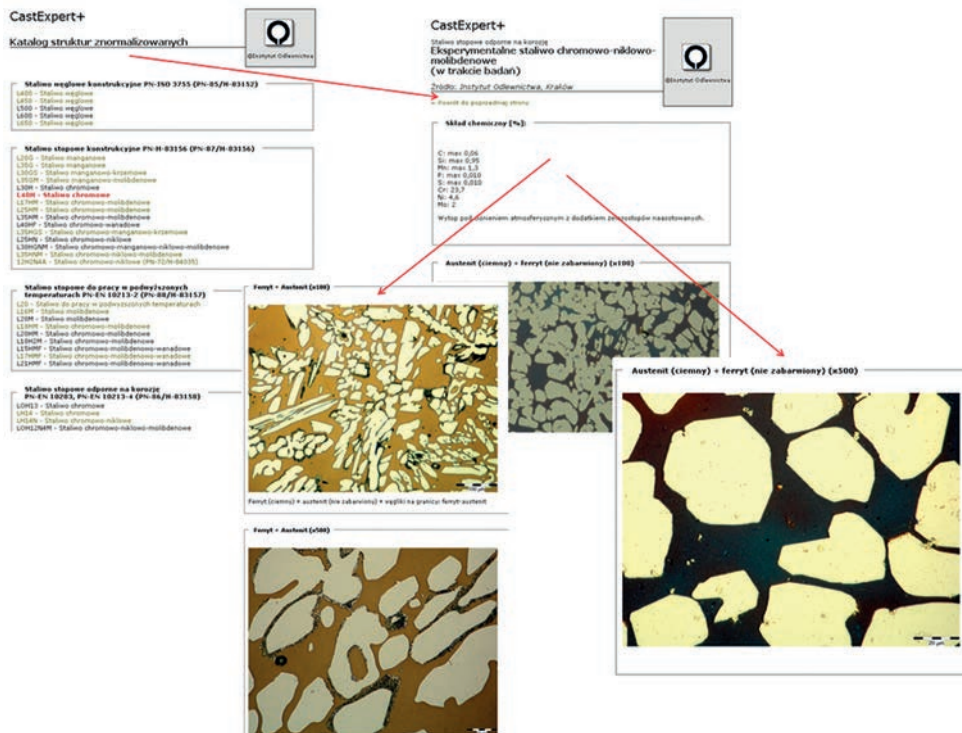
On initiating the diagnostic procedure, the user may not be fully certain of what type of defect is present in the considered cast. In such a case, the DIAG 2 scenario described above finds its application, considering the phase of recognition of the defect type, with the use of the defect catalogue, together with images and descriptions.

Exemplary fragments of such a catalogue, made available in the CastExpert++ system, are presented in Figures 2, 7 and 9.

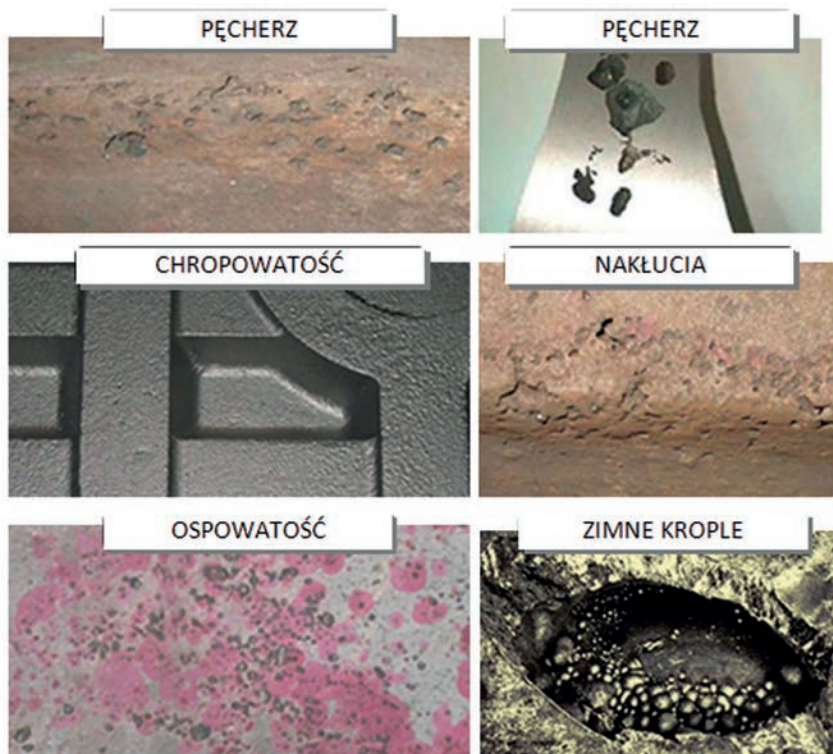
The difficulties in providing a clear diagnosis often result from the lack of thorough information provided by the user on the conditions under which the defected cast was produced.

In such cases (scenario DIAG 3), significant assistance can be provided by the catalogue of normalized structures, which assigns the typical structures and their deformations connected with a specific defect to the particular types of metals (Fig. 6).

Another component of knowledge which facilitates presenting the correct diagnosis is the case base, which includes images and descriptions of selected defect cases at specific industrial plants (Fig. 7).



Rys. 6. Katalog struktur znormalizowanych  
Fig. 6. Catalogue of normalized structures



Rys. 7. Baza przypadków  
Fig. 7. Case knowledge

Tworząc bazę przypadków, starano się uwzględnić w szczególności:

- 1) przypadki wad najbardziej charakterystycznych dla technologii produkcji staliwa,
- 2) wady trudne do zdiagnozowania występujące incydentalnie, przy nietypowym zbiegu okoliczności.

Zgromadzone dotychczas materiały dotyczące przypadków pozyskano dzięki bezpośrednim kontaktom z zakładami przemysłowymi, trzeba jednak zaznaczyć, że skompletowanie pełnych informacji odnośnie warunków wystąpienia danego przypadku wady napotyka niejednokrotnie na istotne trudności.

Wizualizacja dynamiczna stanowi uzupełniającą i niestosowaną dotychczas formę udostępniania wiedzy o wadach. Prezentacja taka polega na przedstawieniu krótkiego (kilkudziesięciosekundowego) filmu stanowiącego wynik symulacji dynamicznych zmian zachodzących w stygnącym odlewie.

Symulacja dotyczyć może przebiegu zmian temperatury, powstawania fazy stałej metalu, względnie wielkości ziaren. W pewnych przypadkach symulacja pokazywać może miejsca powstawania wad (wynikające np. z niewłaściwego zaprojektowania odlewu lub formy).

Wprawdzie, w chwili obecnej trudno jest jeszcze przesądzić, na ile wizualizacja dynamiczna ułatwi bezpośrednie stawianie diagnoz, jednakże wprowadzenie tej formy udostępnienia wiedzy wydaje się celowe, gdyż powinna pobudzić wyobraźnię użytkownika, a jednocześnie wskazać możliwości symulacji komputerowej, jako narzędzia wspomagającego projektowanie technologii i umożliwiającego głębsze zrozumienie procesów zachodzących w stygnącym odlewie. Przykładowe warianty wizualizacji dynamicznej przedstawiono na [rysunku 8](#).

While creating the case base, the authors aimed at considering especially the following:

- 1) cases of defects which are the most characteristic for the cast steel production technologies,
- 2) defects which are difficult to diagnose, occurring incidentally, in the case of non-typical coincidences.

The materials collected so far on various cases have been obtained owing to direct contact with industrial plants. It should, however, be emphasized that collecting thorough information on the conditions under which the given defect occurred often faces significant difficulties.

A dynamic visualization constitutes a supplementary form of providing the knowledge of defects, which has not been applied so far. Such presentation consists in creating a short (several dozen seconds) video being the result of the simulation of the dynamic changes taking place in the cooling cast.

The simulation can concern the course of the temperature changes, the formation of a solid metal phase or the size of the grains. In certain cases, the simulation may show the locations of the formation of defects (resulting from e.g., an inappropriate design of the cast or the mould).

While, at present, it is still difficult to predict to what degree a dynamic visualization will facilitate making a direct diagnosis, introducing this form of access to knowledge seems purposeful, as it should stimulate the user's imagination and, at the same time, point to the possibilities of computer simulation as a supplementary tool in the designing of the technology and a more thorough understanding of the processes taking place in the cooling cast. Exemplary variants of dynamic visualization are presented in [Figure 8](#).



Rys. 8. Przykłady symulacji

Fig. 8. Examples of simulation

System CastExpert++ ma wspierać użytkownika w odnalezieniu przyczyny przez zadawanie mu pytań związanych z procesem produkcyjnym, a następnie podanie sposobu postępowania w celu wyeliminowania wady.

Szczegółowa procedura korzystania z systemu określona jest poprzez komunikaty pojawiające się na ekranie komputera. Tutaj ograniczono się do przykładu zawierającego kilka podstawowych etapów dialogu, stanowiących ilustrację prowadzonych powyżej rozważań.

Istotnym etapem procedury realizowanym wg scenariusza DIAG2 jest rozpoznanie rodzaju wady. Ekran inicjujący fazę rozpoznania, skonstruowany z wykorzystaniem katalogu zdjęć, przedstawiono na [rysunku 9](#).

The CastExpert++ system aims at supporting the user in finding the cause by way of asking questions related to the production process, and next providing the user with the right procedure of eliminating the defect.

A detailed procedure of using the system is determined by the messages appearing on the computer screen. Here, the description is limited to an example including a few basic stages of dialogue, constituting an illustration of the discussion presented above.

A crucial stage of the procedure, realized according to the DIAG 2 scenario, is the recognition of the type of defect. The screen which initiates the recognition phase, constructed with the use of the image catalogue, is shown in [Figure 9](#).



Rys. 9. Ekran inicjujący fazę rozpoznania  
Fig. 9. Screen initiating the recognition phase

Każde z prezentowanych zdjęć może zostać powiększone, odpowiednio do sugestii użytkownika. W miarę potrzeby mogą być pokazane zdjęcia z katalogu struktur znormalizowanych.

Po zidentyfikowaniu wady, następuje przejście do scenariusza DIAG1, w ramach którego zadawana jest seria pytań zmierzających do ustalenia przyczyny określonej wady. Seria pytań kończy się w momencie wskazania przyczyny, ewentualnie po wyczerpaniu informacji posiadanych przez użytkownika (gdy na kolejne pytania udziela odpowiedzi „Nie wiem”).

Each presented image can be magnified, according to the user's suggestions. When necessary, images from the normalized structure catalogue can be displayed.

After the identification of the defect, the DIAG 1 scenario is activated, when a series of questions aimed at determining the cause of the defect is asked. The question series finalizes at the moment when the cause is indicated, or after all the information in possession of the user has been applied (when any further questions receive the answer "I don't know").



Rys. 10. Końcowy etap procedury diagnostycznej  
Fig. 10. Final stage of the diagnostic procedure



Końcowy etap procedury diagnostycznej polega na podaniu zaleceń zmierzających do usunięcia przyczyny danej wady (rys. 10).

### 3. Uwagi końcowe

Przedstawiona charakterystyka systemu ekspertowego CastExpert++ zawiera zarówno elementy dotyczące samej jego koncepcji oraz zasady działania, jak też informacje związane z zawartością bazy wiedzy oraz przebiegiem procedur diagnostycznych istotne z punktu widzenia potencjalnych użytkowników.

System udostępniony jest w sieci Internet, zaś o zainteresowaniu, jakie budzi, świadczy znaczna liczba logowań ze strony krajowych i zagranicznych (głównie Europa oraz Stany Zjednoczone) instytucji i zakładów przemysłowych.

W perspektywie przewiduje się dalszą rozbudowę systemu CastExpert, przede wszystkim w zakresie typów diagnozowanych wyrobów (rodzaj metalu, technologia), jak też dalszego doskonalenia interfejsu użytkownika. Warto zaznaczyć, że według posiadanego rozeznania jest on jedynym w naszym kraju systemem ekspertowym zorientowanym na diagnostykę wad wyrobów odlewniczych.

### Podziękowania

Prace wykonano w ramach projektu statutowego pt. „Inteligentne moduły wiedzy w zakresie innowacji procesów w produkcji odlewniczej w oparciu o efektywne pozyskiwanie danych ze źródeł internetowych” (zlec. 6015/00) oraz międzynarodowego projektu pt. „Opracowanie rozwiązań w zakresie konceptualizacji i udostępnienie komponentów wiedzy o technologiach odlewniczych, w kontekście innowacji i doskonalenia procesów produkcyjnych” – decyzja nr 820/N-Czechy/2010/00.

### Literatura/References

1. Kluska-Nawarecka S., G. Dobrowolski, R. Marcjan, E. Nawarecki. 2002. *Od pasywnych do aktywnych źródeł danych i wiedzy: zdecentralizowany system informacyjno-decyzyjny dla wspomaganie technologii odlewniczej*. Kraków: Wydawnictwo AGH.
2. Kluska-Nawarecka S., G. Dobrowolski, R. Marcjan, E. Nawarecki. 2003. Agent-based information-decision systems in industrial application. W *Informatyka w Technologii Metali*, red. A. Piela, F. Grosman, J. Kusiak, M. Pietrzyk, 404–437. Kraków: Akapit.
3. Kluska-Nawarecka S., J. Tybulczuk, M. Kisiel-Dorohinicki, H. Połcik, E. Nawarecki. 2006. „System informacyjno-diagnostyczny dla potrzeb odlewnictwa realizowany przy użyciu technologii agentowej”. *Archiwum Odlewnictwa* 6 (18) : 45–52.
4. Kluska-Nawarecka S., K. Regulski, D. Wilk-Kołodziejczyk, A. Smolarek-Grzyb. 2007. „Logic of plausible reasoning driven algorithm of casting defects diagnostic process”. Międzynarodowa Konferencja w Ostrawie IWCIT'07, Ostrawa 6–7 IX 2007.

The final stage of the diagnostic procedure consists in providing recommendations aimed at the elimination of the given defect (Fig. 10).

### 3. Final comments

The presented characteristics of the CastExpert++ system include both the elements referring to the concept itself and the principle of operation, and the information related to the contents of the knowledge base and the course of the diagnostic procedures, significant from the point of view of potential users.

The system has been made available on-line, and the interest it has aroused has been proven by high number of log-in operations completed by the local and global (mainly Europe and the USA) institutions and industrial plants.

In the future, further development of the CastExpert system is planned, mostly in the scope of the types of the diagnosed products (metal type, technology), as well as further optimization of the user's interface. It is worth noting that, according to the available information, the system is the only one existing in our country which is oriented towards the diagnostics of cast product defects.

### Acknowledgements

The research has been performed within the statutory project entitled “Intelligent knowledge modules in the scope of innovation in casting production processes based on effective data acquisition from the internet sources” (order no. 6015/00) as well as an international project entitled: “Solutions in the scope of conceptualization and dissemination of knowledge components of casting technologies in the context of innovation and perfection of production processes” (order no. 820/N-Czechy/2010/00).

5. Kluska-Nawarecka S., K. Regulski. 2008. Komputer w tworzeniu wiedzy w obszarze technologii materiałowej. W *Komputerowe wspomaganie dydaktyki*, red. E. Kaćki, J. Stempczyńska, 69–72. Łódź: Wyższa Szkoła Informatyki.
6. Kluska-Nawarecka S., Z. Górny, S. Pysz, K. Regulski. 2009. Ekspertowy, dostępny sieciowo, system wspomagania procesów odlewniczych, w obszarze diagnostyki oraz podejmowania decyzji, dostosowany do nowych technologii. W *Innowacje w odlewnictwie*, Cz. 3, red. J. Sobczak, 249–261. Kraków: Instytut Odlewnictwa.
7. Nawarecki E., S. Kluska-Nawarecka, K. Regulski. 2012. *Multi-aspect character of the man-computer relationship in a diagnostic-advisory system*, *Human – computer systems interaction: backgrounds and applications*, eds. Zdzisław S. Hippe, Juliusz L. Kulikowski, Teresa Mroczek, 85–102. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
8. Regulski K., S. Kluska-Nawarecka. 2012. *Knowledge integration computer tools and algorithms in the improvement of the production processes of cast-steel castings*, *Artificial Intelligence in the Knowledge and Information Systems*. Kraków: Instytut Odlewnictwa.
9. Beerel A.C. 1987. *Expert Systems: Strategic Implications and Applications*. New York: Halsted Press.
10. Buchanan B.G., Duda R.O. 1983. „Principles of Rule-based Expert Systems”. *Advances in Computers* 22 : 163–216.
11. Clancey W.J. 1983. “The epistemology of a rule-based expert system – a framework for explanation”. *Artificial Intelligence* 20 (3) : 215–251.
12. Liao S.-H. 2005. “Expert system methodologies and applications – a decade review from 1995 to 2004”. *Expert Systems with Applications* 28 (1) : 93–103.
13. Mulawka J. 1997. *Systemy Ekspertowe*. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne.
14. Rutkowski L. 2005. *Metody i techniki sztucznej inteligencji*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
15. Niederliński A. 2006. *Regułowo-modelowe systemy ekspertowe*. Bielsko-Biała: Wydawnictwo PKJS.
16. Bolc L., J. Zaremba. 1992. *Wprowadzenie do uczenia się maszyn*. Warszawa: Akademicka Oficyna Wydawnicza RM.
17. Bubnicki Z., A. Grzech. 2000. *Inżynieria wiedzy i systemy ekspertowe*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej.
18. Chromiec J., E. Strzemieczna. 1994. *Sztuczna inteligencja. Metody konstrukcji i analizy systemów eksperckich*. Warszawa: Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ.
19. Cichosz P. 2000. *Systemy uczące się*. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne.