

Maciej WOLNY¹

Opiekun naukowy: Paweł ZIOBRO², Dorota WIĘCEK³

PRAKTYCZNE ZASTOSOWANIA INŻYNIERII ODWROTNEJ

Streszczenie: W artykule opisano proces inżynierii odwrotnej, jej zalety i wady, kwestię prawną i przykładowe zastosowania. Przedstawiono projekt eksperymentu z wykorzystaniem inżynierii odwrotnej przy budowie obróbczej stacji szkoleniowej. Celem eksperymentu było sprawdzenie, narysowanie i wyszukanie istotnych informacji dotyczących instalacji w urządzeniu, wprowadzeniu innowacyjnych rozwiązań w konstrukcji i w obsłudze, a także opracowanie instrukcji obsługi centrum szkoleniowego.

Słowa kluczowe: Inżynieria produkcji, inżynieria odwrotna, przemysł motoryzacyjny

PRACTICAL APPLICATIONS OF REVERSE ENGINEERING

Summary: The article describes the process of reverse engineering, its advantages and disadvantages, legal aspects and example applications. The design of the experiment with the use of reverse engineering in the construction of a machining training station was presented. The aim of the experiment was to check, draw and find relevant information regarding the installation in the device, introduce innovative solutions in design and operation, as well as develop a manual for the training center.

Keywords: Production engineering, Reverse engineering, Automotive,

1. Wprowadzenie

Istota działania inżynierii odwrotnej jest pojęciem znanym i wykorzystywanym od samego początku, na przestrzeni lat była ona modyfikowana, lecz cel jej stosowania zostaje bez zmian.

Współcześnie chcąc zaistnieć na rynku potrzebujemy produktu, który jest lepszy od tych dostępnych lub wykorzystywanych obecnie, lecz niebędących dostępnych na rynku sprzedażowym. Dlatego coraz więcej producentów stosuje inżynierię

¹ Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, Kierunek: Zarządzanie i inżynieria produkcji, email: wolmaciek99@gmail.com

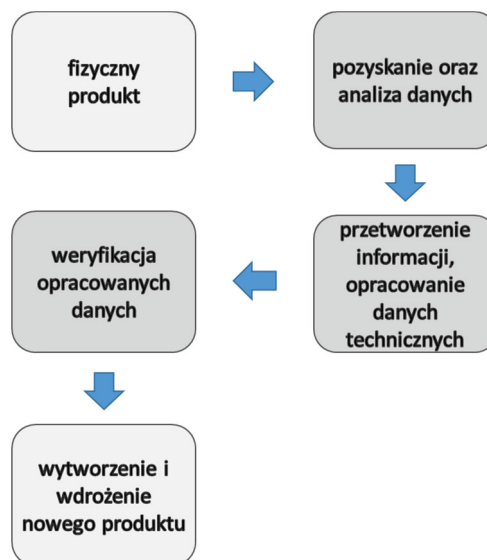
² Właściciel firmy ZPT, pawel.ziobro@zp-team.pl

³ dr inż., Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, email: dwiecek@ath.bielsko.pl

odwrotną. Pozwala ona nie tylko na poznanie oraz zmodyfikowanie produktów konkurencji, ale także na udoskonalenie swoich dotychczasowych wyrobów. Niekiedy proces ten stosowany jest tylko i wyłącznie w celu stworzenia dokumentacji technicznych produktów, które takowych nie mają lub nie są powszechnie dostępne. Inżynieria odwrotna jest stosowana nie tylko w celu produkowania nowego wyrobu, lecz także w celu napisania aplikacji, bądź oprogramowania, poznania procesu produkcji, metodologii wykonywania różnego rodzaju pomiarów lub poznania zasad działania.

2. Proces inżynierii odwrotnej

Inżynieria odwrotna (ang. *Reverse engineering*) jest to dziedzina nauki obejmująca wszystkie dostępne metody, za pomocą których jesteśmy w stanie stworzyć zdigitalizowany trójwymiarowy model obiektu rzeczywistego, co pozwala na zdobycie precyzyjnych i niezbędnych danych na jego temat. Proces ten stosuje się najczęściej, gdy nie mamy dostępu do dokumentacji technicznej danego obiektu. W procesie inżynierii odwrotnej (rysunek 1) najpierw mamy do czynienia z rzeczywistym obiektem, dopiero po zastosowaniu specjalistycznych urządzeń i pracy wykwalifikowanego inżyniera mamy możliwość wygenerowania modelu wirtualnego. Zakres działania procesu obejmuje czynności dotyczące zebrania danych geometrycznych fizycznych produktów, poznania zasady działania, wykrycia newralgicznych punktów oraz przetworzenie tychże danych do formatu akceptowalnego przez systemy CAD. [1-3]



Rysunek 1. Proces inżynierii odwrotnej [2]

3. Zastosowania inżynierii odwrotnej

Inżynieria odwrotna znajduje uzasadnienie stosowania głównie tam, gdzie istnieje zapotrzebowanie na odwzorowanie konstrukcji obiektu, który jest użytkowany. Stosowana jest, gdy nie istnieje jakakolwiek forma zapisu konstrukcji obiektu, bądź przedmiotu, która mogłaby umożliwić jego wyprodukowanie. W pracach inżynierskich może wiązać się zarówno z konstruowaniem nowych wyrobów, jak i projektowaniem zapasowych części zużytych elementów.

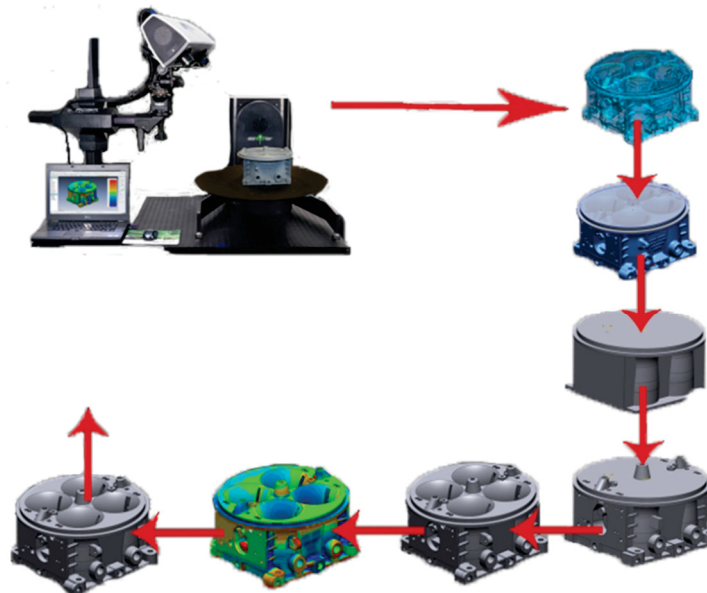
Inżynieria odwrotna stosowana jest w wielu zróżnicowanych branżach, które niekoniecznie powiązane są ze sobą. Branże stosujące tę metodę to między innymi:[4]

- motoryzacja,
- lotnictwo,
- przemysł stoczniowy,
- medycyna,
- rozrywka,
- energetyka,
- archeologia,
- sztuka,
- architektura.

3.1. Inżynieria odwrotna w produkcji

Producenci w dużym stopniu biorą pod uwagę inżynierię odwrotną w swoich procesach produkcyjnych. Ma ona wiele powszechnych zastosowań w przypadkach:

- braku oryginalnej dokumentacji, rysunków 2D, modeli 3D/CAD (rysunek 2),



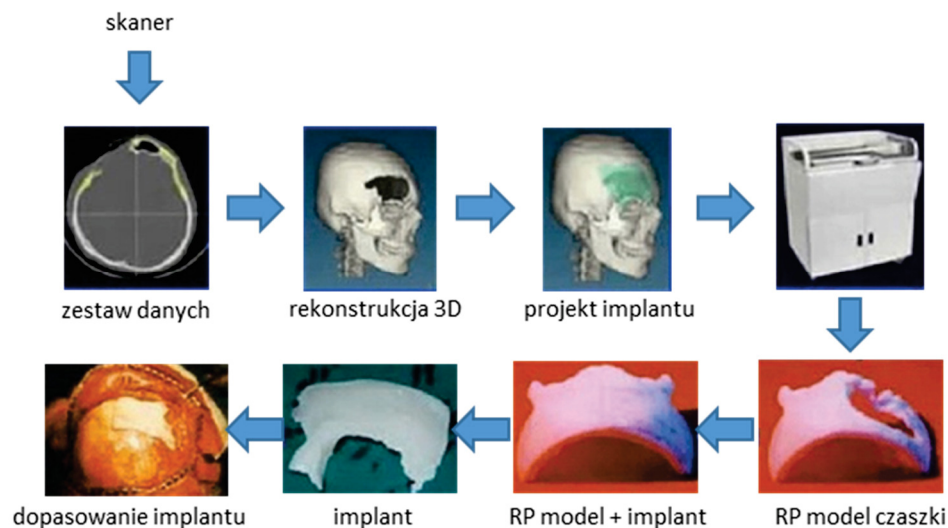
Rysunek 2. Przykład zastosowania inżynierii odwrotnej [5]

- braku dostępności części zamiennych od oryginalnego producenta (OEM), z powodu zaprzestania ich produkowania, czy ze względu tego, że producent nie istnieje,
- optymalizacji złożów i modyfikacji/ulepszenia produktów,
- ulepszenia części ulegających awarii, odtworzenia ich wraz z modyfikacją newralgicznych punktów,
- testowania wytrzymałości produktów lub części,
- stworzenia cyfrowego archiwum, bądź wirtualnego środowiska do wykorzystania w przyszłości,
- oszczędności czasu i kosztów,
- tworzenia innowacyjnych rozwiązań ułatwiających pracę,
- dostosowania produktów do aktualnych potrzeb na rynku,
- analizy produktów konkurencyjnych firm.

3.2. Inżynieria odwrotna w medycynie

W medycynie inżynieria odwrotna stosowana jest między innymi do wykonania implantów, od prostych po bardzo skomplikowane, do rekonstrukcji danych części ciała, na przykład rekonstrukcji twarzy (rysunek 3). Jednak proces wykorzystuje się także w wielu innych celach:[6]

- przy zmianie konstrukcji części obiektu, np. protez kończyn,
- do analizy produktów konkurencyjnych producentów,
- do modyfikacji obiektów istniejących,
- w dostarczeniu części, które mogą być trudno dostępne.



Rysunek 3. Zastosowanie w medycynie [7]

3.3. Pozostałe zastosowania

Pozostałe zastosowania w innych branżach to między innymi:[8]

a) w informatyce

Zastosowanie:

- odtworzenie kodu źródłowego programu,
- w protokołach portów komunikacyjnych (analiza komunikatów oraz automatyczne generowanie podzbiorów przestrzeni komunikatów),
- w programowaniu,
- analiza budowy i działania programów,
- tłumaczenie aplikacji,
- przystosowanie do wersji wielojęzycznej.

b) w firmach narzędziowych

Zastosowanie: ulepszanie uchwytów, opraw, matryc, form części do maszyn i narzędzi skrawających.

c) w ochronie sztuki i dziedzictwa

Zastosowanie

- odtwarzanie dzieł sztuki w celach edukacyjnych,
- ochrona cyfrowa dzieł sztuki,
- odrestaurowanie artefaktów kultury.

4. Zalety i wady inżynierii odwrotnej

Do zalet inżynierii odwrotnej zaliczamy: [4,9]

- możliwość zmniejszenia ryzyka związanego ze starszymi produktami oraz wadami tych produktów - umożliwia nam stworzenie części zamiennych, a także zidentyfikowanie i pomoc w naprawie usterek w produktach,
- możliwość przyspieszenia innowacyjnych produktów - polega na badaniu istniejących produktów i wyszukiwaniu sposobów na zwiększenie wydajności, zmodyfikowanie funkcji, bądź obniżenie kosztów produkcji,
- możliwość szybkiej produkcji części zamiennych, zamiast kupna komponentów od producenta, przez to zmniejszamy czas postoju, ponieważ nie czekamy na dostawę zamiennika oraz ograniczamy koszty,
- dzięki inżynierii wstecznej krytycznych komponentów, zanim komponenty ulegną awarii, producent może magazynować części zamienne i skrócić nieplanowane przestoje.
- projektowanie 3D pozwala zaoszczędzić czas i pieniądze, ponieważ dzięki reverse engineering otrzymujemy dane CAD odzwierciedlające dane rzeczywiste, co pozwala nam na natychmiastowe możliwości wprowadzania zmian w elementach i na zaprojektowanie podzespołów pasujących do pozostałych komponentów,
- aktualizowanie modeli CAD w przypadku zmian projektowych,
- opracowywanie specjalnych narzędzi,
- innowacyjne rozwiązania ułatwiające pracę.

Do wad inżynierii odwrotnej zaliczamy: [3]

- niedoskonałość geometryczna fizycznych modeli,
- dokładność otrzymanego obiektu zależy od dokładności metody pomiarowej,
- obiekt odtworzony na bazie jednego egzemplarzu nie daje możliwości pełnego odtworzenia.

5. Kwestie prawne stosowania inżynierii odwrotnej

Nie ma ogólnego prawa zakazującego stosowania inżynierii odwrotnej. Oznacza to, że praktyka ta jest sama w sobie legalna. Jednak może podlegać także następującym prawom:

- prawo autorskie i prawo do dozwolonego użytku,
- prawo tajemnicy handlowej,
- postanowienia wymienione w ustawie DMCA,
- prawo umów,
- ustawa o prywatności w komunikacji elektronicznej.

Większość oprogramowania stanowi własność intelektualną firmy, która je stworzyła, więc jest chronione przez prawa autorskie. Korzystanie z dowolnej części kodu poddanego inżynierii wstecznej może stanowić naruszenie praw autorskich. Nawet jeśli programista w rzeczywistości nie używa kodu.

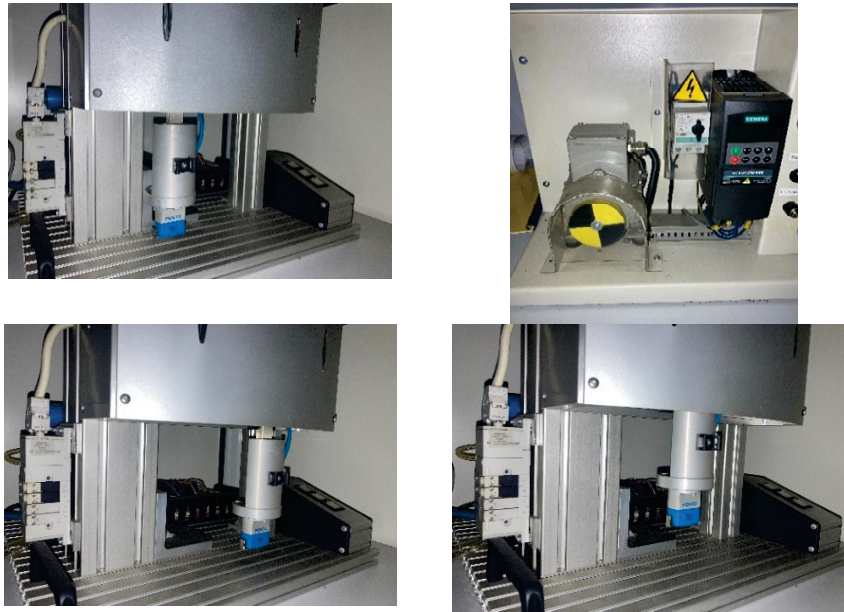
Wykorzystanie wniosków wyciągniętych z kodu poddanego inżynierii wstecznej może stanowić wykorzystanie chronionych tajemnic handlowych lub może zostać uznane za naruszenie umowy, na przykład umowy o zachowaniu poufności.

ECPA zabrania „przechwytywania komunikacji elektronicznej przepływającej przez sieć”. Może to obejmować pakiety sieciowe, więc jakkolwiek inżynieria wsteczna takich pakietów może stanowić naruszenie ECPA, chyba że uzyskano zgodę wszystkich odpowiednich stron.

W Stanach Zjednoczonych inżynieria odwrotna jest ogólnie uważana za legalny sposób poznania produktu, o ile oryginalna wersja jest pozyskiwana legalnie i żadne inne umowy umowne nie są łamane. Amerykańskie przepisy handlowe mają na celu umożliwienie inżynierii odwrotnej, jeśli ma to na celu ulepszenie produktu lub stworzenie interoperacyjności z innymi produktami, które wcześniej były niezgodne. Natomiast zgodnie z polskim prawem dokonanie praktycznej analizy funkcjonowania programu (obserwacja, badanie, testowanie funkcji programu) nie wymaga odrębnej zgody wytwórcy programu. Natomiast może tego dokonywać jedynie osoba mająca prawo do korzystania z egzemplarza programu komputerowego. Nie może stosować reverse engineeringu osoba, która korzysta z programu na skutek złamania prawa bądź dobrych obyczajów, np. poprzez złamanie zabezpieczeń programu. [10]

6. Zastosowanie metody w praktyce – projekt obróbczej stacji szkoleniowej

Przeprowadzony został eksperyment, który polegał na zbudowaniu stacji szkoleniowej wykorzystując metodę inżynierii odwrotnej. Projekt posiadał do dyspozycji szkoleniową stację obróbczą, która zbudowana została według poprzedniej technologii (rysunek 4).



Rysunek 4. Fotografie prototypu stacji obróbczej z różnym ustawieniem wrzeciona

Celem eksperymentu było sprawdzenie w jaki sposób zostały połączone są instalacje elektryczne, pneumatyczne, a także narysowanie schematów połączeń, wyszukanie informacji odnośnie komponentów, na przykład:

- sprawdzenie dostępności i kosztów,
- wykonanie pełnego kosztorysu produkcji.

Dodatkowo w ramach projektu należało nawiązać kontakt z producentami w celu przedstawienia oferty sprzedaży tychże komponentów oraz konsultacji odnośnie innowacyjności tego urządzenia.

Przeprowadzone zostało rozeznanie wśród różnych producentów jak takie urządzenie zbudować, żeby było ono innowacyjne i wykonane w dobie współczesnej technologii, jak usprawnić jego działanie oraz co pozwoli na zniwelowanie niepotrzebnych połączeń. Zostało zastosowane porównanie różnych rodzajów modułów w celu uzyskania informacji, który sprawdzi się najlepiej.

Drugim aspektem projektu było napisanie instrukcji obsługi centrum szkoleniowego. Należało przestudiować instrukcje obsługi wszystkich komponentów, zebrać najistotniejsze informacje w jedną całość, aby potencjalni operatorzy tego urządzenia byli w stanie go obsługiwać. Analizując zasady działania komponentów, przeglądając

ich instrukcje obsługi, pojawiła się trudność w wyborze informacji, które należy umieścić w instrukcji centrum szkoleniowego. Należało brać pod uwagę wszystkie aspekty, między innymi: techniczne parametry, przedstawienie wizualne, prowadzenie krok po kroku użytkownika, a także kwestie bezpieczeństwa w czasie użytkowania.

Mając gotowe urządzenie i nie posiadając do niego instrukcji obsługi, zrealizowanie tego celu staje się wyzwaniem. Najwięcej czasu poświęca się właśnie na studiowanie i analizowanie połączeń, zasad działania komponentów oraz na czytaniu instrukcji obsługi, które sami musieliśmy odnaleźć w różnych źródłach. W celu prawidłowego wykonania inżynierii wstecznej, należy mieć podstawową wiedzę z zakresu mechaniki, elektroniki, pneumatyki, a także doświadczenie w pracy na centrach obróbczych.

Innowacyjne rozwiązania

Pierwsza modyfikacja polegała na skonstruowaniu stołu roboczego w taki sposób, aby można było wykonywać obróbki detali w pięciu osiach. W obecnej maszynie zastosowano wrzeciono połączone na stałe z modułem liniowym poruszającym się tylko w jednej osi. Innowacja będzie polegać na zastosowaniu systemu obrotu stołu roboczego w wielu płaszczyznach.

Drugim rozwiązaniem jest skonstruowanie stacji szkoleniowej w sposób technologicznie współczesny. Celem było, aby stacja wizualnie prezentowała się innowacyjnie, przodowała wśród urządzeń i maszyn przemysłu 4.0, jednostka robocza jeżdżąca, w której wnętrzu zamontowane zostaną komponenty do obróbki, a na nim, tudzież na blacie wózka, zamontowano stół obrotowy ruchomy wraz z wrzecionem. Pozytywną kwestią takiego rozwiązania jest nowoczesny wygląd, przemyślane wykonanie, czyli:

- żadne wióry czy inne pyłki nie dostaną się do podzespołów i styków połączeniowych,
- zainstalowano kamerę skierowaną na detal, w celu obserwacji przebiegu obróbki oraz pokazania na co zwracać uwagę,
- zainstalowano innowacyjny system chłodzenia CAG dysza venturiego, dzięki czemu wyniki będą dokładniejsze i można będzie obserwować zużycie narzędzi.

Kolejnym innowacyjnym rozwiązaniem jest zastosowanie dotykowych panelów obsługi programów i całej stacji. W obecnym urządzeniu zastosowano tradycyjne przyciski i pokrętki, a użycie panelu dotykowego sprawi, że obsługa stanie się łatwiejsza, przyjemniejsza, a przede wszystkim bardziej intuicyjna.

W ramach projektu przeprowadzone zostały sesje konsultacyjne zarówno z przedstawicielami firm, jak i ze studentami, którzy de facto będą z tej stacji korzystać.

Kwestie techniczne i podejście innowacyjne konsultowane były z przedstawicielami, którzy chętnie pomagali i dzielili się swoją wiedzą, a także proponowali własne rozwiązania i pomysły, jak to zrobić i usprawnić.

Ze studentami natomiast przeprowadzona została tak zwana „burza mózgów”, której celem było znalezienie rozwiązań ułatwiających posługiwanie się stacją obróbczą, przedstawiali swoje własne pomysły odnośnie innowacyjności i rozwiązań technicznych, czego według nich brakuje w stacji, co jest zbędne, jak usprawnić.

Przeprowadzanie takich sesji konsultacyjnych jest istotnym elementem inżynierii odwrotnej, gdyż każda taka sesja pokazuje podejście do projektu z innej perspektywy.

Można zobaczyć to od strony użytkownika, a nie konstruktora. Dzięki nim uzyska się rozwiązania, które jedna osoba by nie zauważyła, a także sama dyskusja na ten temat wiele wnosi – przykładowo: wymiana zdań jak to zrobić, w którym miejscu ustawić i w jakiej pozycji.

7. Podsumowanie

Dla współczesnych konstruktorów obserwowanie rozwiązań, które zostały wdrożone w urządzeniach innych producentów jest powszechną praktyką umożliwiającą weryfikację globalnych rozwiązań i ich adaptację w naszych maszynach.

Nie chodzi tu tylko o zawężanie własnego horyzontu w ramach, którego poszukujemy nowych rozwiązań i staramy się, aby nasze urządzenia były skonstruowane w sposób unikatowy, chodzi o to aby rozwiązania i najlepsze praktyki przenosić na własny grunt jednocześnie optymalizując koszty projektowania maszyn i urządzeń.

Przeprowadzone sesje konsultacyjne na grupie studenckiej, czyli grupie potencjalnych użytkowników miały na celu poszerzenie horyzontów i poszukiwanie rozwiązań najbardziej adekwatnych dla grupy docelowej.

Niezmiernie istotną kwestią, która została poruszona w trakcie sesji konsultacyjnych był aspekt związany z wizualizacją wyników pomiarów zgodną z tendencjami przemysłu 4.0.

Istotną kwestią w projektowaniu urządzeń zgodnych ze standardami BigData jest zainstalowanie dedykowanych szybkich pamięci dyskowych umożliwiającym przetwarzanie i gromadzenie danych oraz ich późniejsze odtwarzanie z przyporządkowaniem numerów seryjnych obrabianych detali do wyników.

Tendencją wielokrotnie poruszaną w trakcie spotkań z przedstawicielami firm zainteresowanych posiadaniem urządzeń szkoleniowych była kwestia wizualizacji w postaci dashboard - czyli informacji w postaci wyników i ich analiza jednym kliknięciem.

Psychologicznym, podtrzymującym uwagę aspektem, było również posiadanie dodatkowych wizualizacji z kamer zainstalowanych wewnątrz strefy obróbczej, którego celem było lepsze zwizualizowanie dynamiki procesów kształtowania się wiórów w trakcie wytwarzania detali.

Całokształt podjętych działań w celu zaprojektowania na nowo urządzenia szkoleniowego, z udziałem panelu potencjalnych użytkowników, był niezmiernie rozwojowym wydarzeniem co zostało również podkreślone w raportach, które były tworzone po każdej sesji testowej.

Inżynieria odwrotna bezsprzecznie niesie ze sobą ogromny potencjał rozwojowy, przyspiesza projektowanie produktu, redukuje koszty projektowania, a dla konstruktorów wchodzących na rynek pracy jest istotnym narzędziem do bezkosztowego kreowania kompetencji.

LITERATURA

1. RAJA V., FERNANDES K.J.: Reverse Engineering. An Industrial Perspective. Springer, London 2008.
2. SZALEWSKI M., WIECZOROWSKI M.: Inżynieria odwrotna i metody dyskretyzacji obiektów fizycznych. *Mechanik* 88(2015)12CD2, 183-188.
3. Strona internetowa Encyklopedia zarządzania: https://mfiles.pl/pl/index.php/Inzynieria_odwrotna#cite_note-5, 02.11.2022
4. Strona internetowa RLCNC: <https://rlcnc.pl/inzynieria-odwrotna-zastosowanie/>, 02.11.2022
5. Strona internetowa <http://bowfathom.com/reverse-engineering/>, 02.11.2022
6. SIKORSKI S., DUDA P., DULĘBA K., WRÓBEL Z.: Zastosowanie inżynierii odwrotnej w modelowaniu protez stawów. *Mechanik* 12(2016), 1912-1913.
7. KHEIROLLAHI H., ABBASZADEH, F.: Application of rapid prototyping technology in dentistry. *International Journal of Rapid Manufacturing*, 2(2011)1-2, 104-120.
8. Strona internetowa Wikipedia: https://pl.wikipedia.org/wiki/Inzynieria_odwrotna, 02.11.2022
9. Strona internetowa B3D: <https://b3d.com.pl/co-powinienes-wiedziec-o-inzynierii-odwrotnej/>, 02.11.2022
10. Strona internetowa Palestra: <https://palestra.pl/pl/czasopismo/wydanie/3-2018/artukul/dopuszczalnosc-inzynierii-wstecznej-w-prawie-europejskim-w-swietle-wyroku-w-sprawie-sas-institute-inc.-przeciwko-world-programming-ltd>, 02.11.2022.