



Korzyści zastosowania technologii CNC w obróbce materiałów konstrukcyjnych w budownictwie

Mgr inż. Damian Wieczorek, Instytut Zarządzania w Budownictwie,
Politechnika Krakowska, Piotr Plebankiewicz – student II roku kierunku Budownictwo,
Politechnika Krakowska

1. Wprowadzenie

Wraz z idącym postępem we wszystkich gałęziach przemysłu sfera produkcyjna obejmująca przetwarzanie oraz obróbkę materiałów niezbędnych do produkcji uległa procesowi komputeryzacji. Już w połowie XX w. powstały pierwsze maszyny sterowane automatycznie. Egzemplarze te korzystały z dziurkowanych taśm i kart, a technologia obróbki materiału z ich wykorzystaniem została nazwana układem sterowania numerycznego – NC (ang. *numerical control*). Pierwsze maszyny typu CNC (ang. *computerized numerical control*), bazujące na układach sterowania numerycznego, a wyposażone w mikrokomputery, które można dowolnie i interaktywnie zaprogramować, powstały natomiast w latach 80. ubiegłego stulecia [7]. Konieczność prowadzenia dalszych prac nad rozwojem technologii sprawiła, że obecne maszyny do obróbki materiału CNC zostały w pełni skomputeryzowane i bezpośrednio skojarzone z procesami programowania i projektowania produktu. Celem artykułu jest charakterystyka technologii CNC obróbki materiałów budowlanych oraz porównanie jej z technologią obróbki tradycyjnej (konwencjonalnej). W artykule scharakteryzowano technologię CNC wykorzystywaną coraz powszechniej do obróbki materiałów stosowanych w budownictwie. Zwrócono szczególnie uwagę na podstawowe zalety i wady technologii CNC. W pracy zaprezentowano przykład praktyczny, który dotyczy produkcji elementów konstrukcyjnych drewnianych

oraz stalowych blach węzłowych i podkładek. Dokonano również krótkiej analizy porównawczej dla norm czasu pracy na wykonanie montażu drewnianych elementów konstrukcji dachów budynków lub konstrukcji zwykłych z drewna klejonego warstwowo (GL), obrabianych w technologii CNC oraz z litego drewna tartacznego, przy założeniu ręcznej obróbki drewna sposobem tradycyjnym (konwencjonalnym).

2. Obróbka cyfrowa w budownictwie

2.1. Zakres stosowania CNC w obróbce materiałów budowlanych

Obróbkę cyfrową obecnie stosuje się do takich materiałów budowlanych jak: drewno lite i klejone warstwowo (GL), kamień, szkło, metal, styropian, ceramika, materiały kompozytowe, tworzywa sztuczne czy tekstylia. Przykładem sposobów obrabiania materiału przy użyciu technologii CNC są [4, 5, 8, 10]:

- **cięcie łukiem plazmowym**, wykorzystywane przede wszystkim w obróbce CNC metalu, które polega na topieniu i wyrzucaniu metalu ze szczeliny cięcia silnie skoncentrowanym plazmowym łukiem elektrycznym;
- **cięcie lub wypalanie laserem**, wykorzystywane również do obróbki CNC metalu, gdzie czynnikiem tnącym jest wiązka laserowa;
- **cięcie strumieniem wody pod wysokim ciśnieniem (Waterjet)**, które stosowane jest w obróbce CNC wielu

Tabela 1. Porównanie obrabiarek CNC z obrabiarkami ręcznymi; źródło: opracowanie własne na podstawie [1, 2, 6, 7]

Obrabiarki tradycyjne (konwencjonalne)	Obrabiarki CNC
Dane wejściowe	
Pracownik na podstawie zlecenia i rysunku ręcznie nastawia maszynę, zakłada i zdejmuje obrabiany przedmiot i narzędzia	Programy obróbki mogą być wprowadzane do układu sterowania CNC z klawiatury, poprzez płytki, złącze bezpośrednie; poszczególne programy mogą być gromadzone w pamięci wewnętrznej lub na twardym dysku maszyny
Sterowanie maszyną	
Sterowanie ręczne – pracownik ręcznie ustawia wszystkie parametry do obróbki i ręcznie steruje całą pracą maszyny za pomocą dźwigni, pokręteł czy przycisków	Sterowanie CNC – wszystkie funkcje sterownicze i regulacyjne maszyny (dane technologiczne, dane odnośnie narzędzi i ich wymiarów korekcyjnych itp.) przejmują mikrokomputer, często umożliwiając również diagnozowanie błędów
Kontrola jakości	
Pracownik mierzy i sprawdza ręcznie przedmiot obrabiany pod względem dokładności wymiarowej i kształtowej	Dzięki ciągłej informacji zwrotnej zespołu pomiarowego i zespołów napędowych z silnikami o regulowanej liczbie obrotów obrabiarka podczas pracy zapewnia dokładność wymiarową przedmiotu obrabianego; możliwa jest czynna kontrola przedmiotów obrabianych

materiałów, tj. ceramiki, szkła, kamienia oraz ww. metalu, w przypadku którego jest to najbardziej skuteczna technika obróbki CNC, ponieważ podczas obróbki metal nie zmienia swojej temperatury, a zatem błąd ze względu na rozszerzalność cieplną metalu pozostaje na poziomie pomijalnie niskim;

- **obróbka elektroerozyjna** (EDM), wykorzystywana do produkcji przedmiotów wymagających wysokiej precyzji, bardzo dokładna metoda obróbki różnych metali, która zakłada usuwanie materiału z przedmiotu obrabianego w wyniku wyładowań elektrycznych i towarzyszących im zjawisk, tj. topnienie, parowanie, czy rozrywanie;
- **skrawanie mechaniczne**, wykorzystywane głównie do obróbki styropianu i drewna, polegające na usuwaniu fragmentów materiału (np. w postaci wiórów przy obróbce drewna), przy którym podstawowymi narzędziami są tokarki, frezarki oraz maszyny do głębokiego wiercenia.

Współczesne obrabiarki CNC różnią się znacząco od tradycyjnych, obsługiwanych ręcznie maszyn do obróbki materiału. Zmiany dotyczą trzech podstawowych etapów obróbki materiału, tj. wprowadzania danych wejściowych, sterowania maszyną oraz kontroli jakości. W odróżnieniu od obrabiarek ręcznych, maszyny CNC są w pełni skomputeryzowane. Wpływa to zarówno na skrócenie czasu przygotowania materiału lub elementu do obróbki, jak również zasadniczego czasu obróbki oraz na zwiększenie dokładności w procesie obróbki, co rzutuje korzystnie na jakość produkcji. W tabeli 1 zestawiono podstawowe etapy obróbki za pomocą obrabiarek CNC i obrabiarek tradycyjnych (konwencjonalnych, ręcznych).

2.2. Wykorzystanie technologii CNC do produkcji drewnianych i stalowych elementów konstrukcyjnych

W celu zestawienia zalet i wad technologii obróbki cyfrowej (podrozdział 2.3.) autorzy przedstawia przykład praktyczny, który dotyczy produkcji stalowych blach węzłowych oraz podkładek, które wykorzystano do scalenia na budowie wiązarów kratowych z drewna klejonego warstwowo (GL) o rozpiętości w osiach podpór wynoszącej 36,6 m.

W przypadku obróbki elementów konstrukcyjnych z drewna klejonego warstwowo (GL), tj. pasy górne i dolne, słupki i krzyżulce, technologię obróbki CNC zastosowano w zakresie trasowania, wiercenia, frezowania oraz nacięcia elementów pod blachy węzłowe. Szablon do programu CNC został przygotowany w środowisku CAD (plik zapisany w formacie DXF). Na kolejno utworzonych warstwach wrysowano:

- punkty bazowe (grupa warstw *sw*), tzw. „sworznie” obrazujące zakres pracy maszyny,
- punkty znaczące, trasujące (grupa warstw *pb*),
- otwory do wywiercenia (grupa warstw *ot*),
- linie prowadzenia piły pod nacięcia (grupa warstw *tr*),

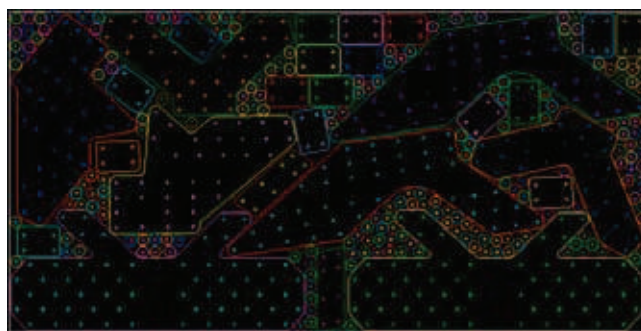
- gdzie indeks *i* oznacza kolejny numer warstwy w danej grupie.

Do produkcji stalowych blach węzłowych i podkładek, technologią CNC wykorzystano w zakresie wypalania otworów i cięcia obwodów blach łukiem plazmowym. Szablon do programu CNC został przygotowany analogicznie jak dla elementów drewnianych, przy czym zakres arkusza blachy grubości 6 mm został ustalony dla formatu arkusza o wymiarach 1,5 × 3,0 m. Na kolejno utworzonych warstwach w pliku CAD wrysowano:

- punkty bazowe (grupa warstw *sw*), tzw. „sworznie” obrazujące zakres pracy maszyny,
- otwory do wypalania (grupa warstw *ot*),
- obwody podkładek do wycięcia (grupa warstw *op*),
- obwody blach mniejszych do wycięcia (grupa warstw *obm*),
- obwody blach większych do wycięcia (grupa warstw *ob*).

Technologia obróbki CNC drewna i metalu wymaga, aby szablony były sporządzone na ww. warstwach w taki sposób, aby można było nadać kolejność wiercenia bądź wypalania otworów, a następnie nacięć elementów drewnianych bądź wycięć elementów stalowych poprzez właściwą co do kolejności numerację indeksu i poszczególnych warstw. Dodatkowo w przypadku stalowych blach węzłowych i podkładek należy bezwzględnie przestrzegać zasady dowolnej kolejności palenia otworów i cięcia obwodów, co ma zapobiegać odkształcaniu się przygotowywanych elementów wskutek nadmiernego, skoncentrowanego miejscowo oddziaływania temperatury na metal. Ważne jest również, że wypalane łukiem plazmowym otwory w blachach i podkładkach nie mogą mieć zadanych w szablonie średnic odpowiadających otworom z dokumentacji projektowej warsztatowej, lecz mniejsze (względy technologiczne z uwagi na wspomniane oddziaływania temperatury). Jak wynika z doświadczenia producenta opisywanych tutaj elementów konstrukcyjnych, np. dla projektowej średnicy otworu wynoszącej odpowiednio 9 i 16 mm wymagane jest zadanie w szablonie CAD średnicy wypalanego otworu wynoszącej odpowiednio 6 i 12 mm.

Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono szablon arkusza blachy zaprogramowany do obróbki CNC. Rysunek 1



Rys. 1. Arkusz blachy przedstawiający elementy przeznaczone do produkcji (program CAD); źródło: archiwum własne



Rys. 2. Symulacja obróbki arkusza blachy (widok 2D programu CNC); źródło: archiwum własne

obrazuje zestaw elementów stalowych przeznaczonych do produkcji. Rysunek 2 przedstawia trzy zrzuty ekranu wykonane w trakcie symulacji procesu palenia i cięcia arkusza blachy, a na rysunku 3 ukazano fragment dokumentacji projektowej warsztatowej, na podstawie której scalono na budowie dźwigar kratowy z drewna klejonego warstwowo (GL), który zamontowano z wykorzystaniem dwóch dźwigów samojezdnych.

2.3. Zalety i wady stosowania technologii CNC w produkcji budowlanej

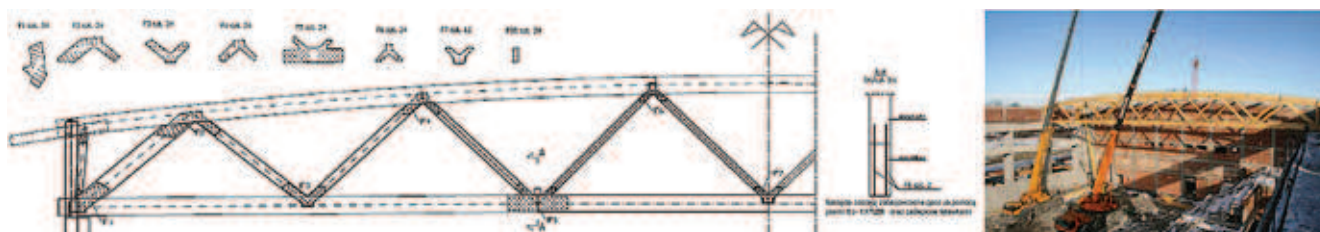
Na podstawie wykonanego przeglądu źródeł literaturowych, własnego doświadczenia oraz przedstawionego

w podrozdziale 2.2. przykładu zastosowania obróbki cyfrowej w budownictwie autorzy wskazują szereg zalet stosowania obróbki CNC:

- wysoka jakość obrabianych elementów,
- wysoki stopień dokładności obrabianych elementów, przez co ewentualne odchyłki w ich wymiarowaniu nie są do wychwycenia przez ludzkie oko,
- znaczne skrócenie czasu cykli produkcyjnych,
- wysoka elastyczność produkcji z uwagi na możliwość operowania maszyn CNC w 5, 6 osiach, przez co jest możliwe stworzenie dowolnego kształtu czy bryły, również takich, które nie są zdadne do uzyskania przy zastosowaniu tradycyjnej obróbki ręcznej,
- minimalizacja udziału człowieka w procesie obróbki, przez co ograniczane jest ryzyko wystąpienia uszczerbku na zdrowiu pracownika obrabiającego element,
- relatywnie niska cena produkcji (niski koszt jednostki produkcji) w przypadku produkcji masowej, ponieważ przedsiębiorstwo produkcyjne wykorzystujące maszyny CNC jest w stanie wytworzyć o wiele większą liczbę elementów w czasie krótszym niż w zakładach produkcyjnych wykorzystujących tradycyjną obróbkę ręczną,
- oszczędność materiału niezbędnego do produkcji (minimalizacja marnotrawstwa).

W przypadku technologii CNC można jednak zidentyfikować również zbiór ograniczeń, wad, do których zalicza się:

- wysoki koszt zakupu maszyn CNC,
- konieczność przygotowania projektu z wykorzystaniem oprogramowania i wytycznych dedykowanych do obróbki cyfrowej,
- wysokie koszty w przypadku produkcji jednostkowej ze względu na fakt, że czasy przygotowania i samej pracy maszyny są znacząco wyższe niż w przypadku obróbki przy pomocy narzędzi ręcznych,
- ograniczone zakresy pracy maszyn, które mają wyznaczone i ograniczone pole pracy, przez co uniemożliwiona jest obróbka elementów wielkogabarytowych,
- możliwość zastosowania technologii w przypadku niewielkiej liczby materiałów budowlanych.



Rys. 3. Fragment rysunku warsztatowego dźwigara kratowego/montaż; źródło: archiwum własne



3. Analiza porównawcza norm czasu pracy

W analizie norm czasu pracy wykorzystano informacje udostępnione przez jedno z przedsiębiorstw działających na rynku polskim, które w swojej działalności trudni się w projektowaniu, produkcji oraz montażu konstrukcji zwykłych z drewna klejonego warstwowo (GL), przy zastosowaniu technologii CNC zarówno na etapie programowania i projektowania konstrukcji, jak również przy produkcji komponentów budowlanych przeznaczonych do wbudowania w konstrukcję. W przypadku technologii tradycyjnej (konwencjonalnej) obróbki litego drewna konstrukcyjnego wykorzystano dane o normach czasu pracy, które zawarte są w Katalogach Nakładów Rzeczowych (KNR) [9], opracowanych przez wydawnictwo ORGBUD-SERWIS dla drewnianych konstrukcji dachowych z litej tarcicy nasyconej.

W tabeli 2 zamieszczono wyniki z obliczeń norm czasu pracy na wykonanie montażu drewnianych elementów konstrukcji dachów budynków lub konstrukcji zwykłych z drewna klejonego warstwowo (GL), które na etapie produkcji były poddane obróbce w technologii CNC. Przyjęto metodykę określania norm czasu pracy wskazaną w publikacji [3]. Informacje o czasach realizacji poszczególnych montażu wyznaczono na podstawie danych zgromadzonych przez pracodawcę, które pochodziły z ciągłych pomiarów czasu pracy ekip montażowych na sześciu wybranych kontraktach. W obliczonych normach czasu pracy uwzględniono czasy wykonania zasadniczych robót (procesów), które dotyczą pomiarów w trakcie przygotowań oraz montażu konstrukcji, zakotwienia elementów drewnianych do elementów żelbetowych, przygotowania drewnianych elementów składowych konstrukcji, tj. zakładania

Tabela 2. Dane i wyniki z obliczeń norm czasu pracy; źródło: opracowanie własne

L.p.	Objętość wbudowanego drewna [m ³]	Masa wbudowanej stali [t]	Czas montażu [r-d (r-g)]*	Liczebność ekipy montażowej [os. (os.)]**	Obliczona norma pracy [r-g/m ³ drew.]
1.	Budynek usługowo-handlowy w Pile Kościeleckiej (dźwigary z GL ze stalowym ściąganiem)				
	22,00	1,42	19 (513↓)	3 (1)	23,32
2.	Hala sportowa w Rogoźniku (dźwigary z GL ze stalowym ściąganiem)				
	13,50	1,30	9 (243↓)	3 (1)	18,00
3.	Hala sportowa w Wolbromiu (dźwigary z GL ze stalowym ściąganiem)				
	37,00	3,65	19 (513↑)	3 (1)	13,86
4.	Aquapark w Tychach (dźwigary łukowe i proste z GL)				
	277,00	11,15	66 (3564↓)	6 (2)	12,87
5.	Kościół w Balicach (dźwigary z GL z drewnianym ściąganiem)				
	36,00	0,75	17 (459↑)	3 (1)	12,75
6.	Hala widowiskowo-sportowa w Nysie (kratownice z łukowymi pasami)				
	175,00	14,00	41 (1845↓)	5 (2)	10,54

* uśredniony czas trwania roboczo-dniówki zaokrąglony do pełnych 9 roboczogodzin odpowiednio w dół (↓) lub w górę (↑) dla poszczególnych kontraktów
 ** w nawiasie podano liczbę liderów montażu pracujących w ekipie przy danym kontrakcie

Tabela 3. Zestawienie norm czasu pracy wg KNR dla elementów więźb dachowych z tarcicy nasyconej obrabianych tradycyjnie; źródło: opracowanie własne na podstawie [9]

L.p.	Podstawa rzeczowa	Nakład na gwoździe budowlane [kg/m ³ drew.]	Nakład na śruby, podkładki, nakrętki [kg/m ³ drew.]	Norma pracy [r-g/m ³ drew.]
1.	Krokwie narożne i koszowe, przekrój poprzeczny drewna do (powyżej) 180 cm ²			
	KNR 2-02 0408-07 (KNR 2-02 0408-08)	3,29 (1,74)	- (-)	36,67 (26,65)
2.	Ramy górne i płatwie, długość do 3 m, przekrój poprzeczny drewna do (powyżej) 180 cm ²			
	KNR 2-02 0406-03 (KNR 2-02 0406-04)	- (-)	4,96 (2,97)	33,56 (22,08)
3.	Ramy górne i płatwie, długość ponad 3 m, przekrój poprzeczny drewna do (powyżej) 180 cm ²			
	KNR 2-02 0406-05 (KNR 2-02 0406-06)	- (-)	4,96 (2,97)	25,42 (16,58)
4.	Krokwie zwykłe, długość do 4,5 m, przekrój poprzeczny drewna do (powyżej) 180 cm ²			
	KNR 2-02 0408-03 KNR 2-02 0408-04	3,30 (3,30)	1,90 (1,14)	17,95 (16,23)
5.	Krokwie zwykłe, długość ponad 4,5 m, przekrój poprzeczny drewna do (powyżej) 180 cm ²			
	KNR 2-02 0408-05 KNR 2-02 0408-06	3,30 (3,30)	1,90 (1,14)	14,01 (13,99)



stalowych okuć budowlanych i łączników mechanicznych oraz zmontowania konstrukcji. Dane o masie wbudowanej stali w przypadku kolejnych kontraktów, które zamieszczono w kolumnie trzeciej tabeli, mają charakter czysto informacyjny.

Tabela 3 przedstawia dane o normach czasu pracy, które odczytano z Katalogów Nakładów Rzeczowych (KNR) [9]. Zgodnie z opisem procesów technologicznych do tablic zestawionych w rozdziale 04, w normach czasu pracy uwzględnione są czasy przeznaczone na roboty związane z przygotowaniem i odwiązaniem elementów składowych konstrukcji, z zaimpregnowaniem miejsc obrabianych oraz ze zmontowaniem konstrukcji. Informacja o nakładach na gwoździe budowlane oraz śruby, podkładki i nakrętki została zamieszczona w tabeli ze względu na fakt, że w konstrukcjach montowanych tradycyjnie jednym z procesów technologicznych jest również montaż łączników mechanicznych.

Należy zaznaczyć, że obliczone przez autorów normy czasu pracy (tabela 2) oraz normy odczytane wprost z tablic katalogowych (tabela 3) można ze sobą porównywać, ponieważ oba zestawy norm czasu pracy uwzględniają w swoich wartościach czasy przeznaczone przez pracowników na roboty i czynności pomocnicze, tj.: przygotowanie stanowiska roboczego, wewnętrzny transport poziomy i pionowy materiałów oraz elementów osprzętu, ustawianie, przestawianie, przenoszenie i usunięcie czasowych podpór i rusztowań przenośnych, układanie, segregowanie i sortowanie materiałów (wyrobów budowlanych) na placu budowy lub w magazynie przyobiekto- wym, obsługa sprzętu niewymagającego etatowej obsługi, sprawdzenie prawidłowości wykonania robót, usuwanie wad i usterek oraz naprawianie uszkodzeń powstałych w czasie wykonywania robót, a zawinionych bezpośrednio przez pracowników wykonawcy, utrzymanie w czystości i porządku stanowiska roboczego oraz wykonanie czynności związanych z likwidacją stanowiska roboczego.

4. Podsumowanie

Dzięki ciągłemu rozwojowi technologia obróbki cyfrowej materiałów budowlanych, staje się coraz bardziej powszechna w stosowaniu i coraz częściej zastępuje obróbkę tradycyjną (konwencjonalną). Technologia CNC ma wiele zalet, które wpływają korzystnie przede wszystkim na jakość, szybkość oraz elastyczność w produkcji komponentów stosowanych w budownictwie.

Na podstawie informacji o normach czasu pracy, które zestawiono w tabelach 2 i 3, można natomiast podjąć wniosek, że zastosowanie technologii obróbki CNC materiałów konstrukcyjnych na etapie produkcji komponentów budowlanych przewidzianych do wbudowania w konstrukcję będzie mieć korzystny wpływ na skrócenie czasu jej montażu na budowie. Szczególnie jest to widoczne w przypadku przeanalizowanych kontraktów, dla których ilość wbudowanego drewna

konstrukcyjnego była najwyższa (tabela 2, kontrakty nr 4 i 6, odpowiednio 277,00 i 175,00 m³ drewn.). Dla tych kontraktów obliczone normy czasu pracy (odpowiednio 12,87 i 10,54 r-g/m³ drewn.) są niższe niż w przypadku kontraktów nr 1, 2 i 3 (odpowiednio 23,32, 18,00 i 13,86 r-g/m³ drewn.), które wymagały wbudowania znacząco mniejszej ilości drewna konstrukcyjnego (odpowiednio 22,00, 13,50 i 37,00 m³ drewn.) oraz w przypadku wszystkich elementów więźb dachowych z tarcicy nasyconej obrabianych tradycyjnie, które zamieszczono w tabeli 3.

Choć technologia CNC nie jest pozbawiona wad – na co autorzy zwrócili uwagę w podrozdziale 2.3. – to jednak szereg wspomnianych zalet tej metody pozwala na sprawniejsze, dokładniejsze oraz szybsze montowanie np. konstrukcji budowlanych z drewna klejonego warstwowo, co oczywiście wpływa pozytywnie, jeśli chodzi o względy ekonomiczne i estetyczne przy wznoszeniu budynków lub konstrukcji zwykłych.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Brzęcki M., Praktyczne podstawy eksploatacji obrabiarek CNC z wykorzystaniem komputerowego systemu szkoleniowego MTS w pytaniach i odpowiedziach, Wydawnictwo i Handel Książkami „KaBe”, Krosno, 2011
- [2] Habrat W., Obsługa i programowanie obrabiarek CNC, Podręcznik operatora, Wydawnictwo i Handel Książkami „KaBe”, Krosno, 2015
- [3] Hoła B., Mrozowicz J., Modelowanie procesów budowlanych o charakterze losowym, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław, 2003
- [4] Kochan P., Edgecam, Wieloosiowe frezowanie CNC, Helion, Gliwice, 2014
- [5] Lipiec P., Skoczypiec S., Niekonwencjonalne metody obróbki materiałów nieprzewodzących prądu elektrycznego, w: R. Knosala (red.) Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole, 2013
- [6] Overby A., CNC Machining Handbook. McGraw-Hill Education-Europe, New York USA, 2010
- [7] <http://www.cnc.pl>
- [8] <http://www.cpcwaterjet.pl>

WYKORZYSTANE MATERIAŁY

- [9] Katalog Nakładów Rzeczowych: KNR nr 2-02 Konstrukcje budowlane, ORGBUD-SERWIS, Poznań, 1998
- [10] Zych-Głuszyńska K., Wykorzystanie kamienia naturalnego w budownictwie i nowe metody jego obróbki. Projekt pn. Transgraniczna kooperacja, wymiana doświadczeń i edukacja stowarzyszeń, związków i cechów w branży kamieniarskiej współfinansowana ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego oraz środków budżetu państwa przy wsparciu Euroregionu Nysa

Za publikację w miesięczniku
„Przegląd Budowlany”
uzyskuje się 5 punktów

zgodnie z komunikatem MNiSW
z dnia 23.12.2015 roku, wykaz B, pozycja 1381.