

Lublin, 14.08.2019

Prof. dr hab. inż. Antoni Świć
Politechnika Lubelska
Wydział Mechaniczny
Instytut Technologicznych Systemów Informacyjnych
Ul. Nadbystrzycka 36
20-618 Lublin

RECENZJA

rozprawy doktorskiej
mgr inż. Pawła Krupicza
p.t.

**Technologiczne uwarunkowania wprowadzania Lean Manufacturing w rozwoju
prefabrykowanych elementów stalowych na przykładzie krat prasowanych**

Promotor rozprawy doktorskiej: dr hab. Andrzej Wasiak, prof. nadzw. PB

Promotor pomocniczy: dr inż. Olga Orynycz

Podstawa opracowania recenzji: zlecenie Dziekana Wydziału Inżynierii
Zarządzania Politechniki Białostockiej z dnia 16 lipca 2019 r., pismo
WIZ – 600.4130.3.2019.JG

1. Ogólna charakterystyka rozprawy

Przedstawiona do recenzji praca obejmuje 140 stron. Zawiera 64 rysunki i 17 tabel.

W jej skład wchodzi trzy główne rozdziały, wstęp, podsumowanie i wnioski, jako rozdział czwarty, spis literatury, wykaz tabel oraz wykaz rysunków.

We wstępie autor przedstawił problem badawczy, scharakteryzował koncepcję Lean Manufacturing podkreślając, że jej nadrzędnym celem jest ciągłe zwiększanie produktywności poprzez nieustanne ograniczanie marnotrawstwa i skrócenie cyklu produkcyjnego. Dokonał krótkiego przeglądu literatury, umożliwiającego stwierdzenie luk badawczych i sformułowanie problemu badawczego oraz hipotezy pracy. Określił cel pracy oraz cele szczegółowe, umożliwiające realizację celu pracy.

W rozdziale pierwszym autor przeanalizował technologię produkcji prefabrykowanych elementów stalowych na przykładzie kraty prasowanej. Scharakteryzował zachodzące przemiany oraz dokonał oceny technologii wytwarzania, stosując wybrane narzędzia Lean Manufacturing.

Rozdział drugi przedstawia wpływ technologii produkcji i procesu wytwórczego na właściwości końcowe produktu oraz ocenę ilościowej wartości i stabilności zmian właściwości końcowych produktu na skutek procesu wytwórczego.

W rozdziale trzecim zidentyfikowane zostały źródła marnotrawstwa właściwości wyrobu oraz zaprezentowane działania projektowe umożliwiające ich likwidację, zgodnie z zasadami Lean Manufacturing. Przeprowadzona została także ilościowa ocena wpływu zjawisk na marnotrawstwo w procesie wytwórczym, a także ocena wpływu zmian na technologię produkcji.

Rozdział czwarty to podsumowanie pracy, przedstawiono w nim wnioski oraz zaproponowano rekomendacje odnośnie dalszych prac badawczych związanych z tematyką pracy doktorskiej.

Spis literatury zawiera 71 pozycję, w tym dwie Doktoranta, jednej jest autorem drugiej współautorem. Należy podkreślić, że dużo publikacji jest z ostatnich kilku lat.

2. Wybór tematu pracy, hipoteza pracy

Prefabrykowane elementy stalowe, w tym kraty prasowane są szeroko stosowane w budownictwie przemysłowym na podłogi, sufity podwieszane, schody, półki, regały, a w infrastrukturze drogowej do budowy wiaduktów, kładek, przejazdów, do pokrycia włazów, jako podesty oraz wybiegi.

Analiza literatury przeprowadzona przez autora pokazała, że brak jest informacji i wyników badań w zakresie kompleksowych ocen zmian zachodzących w prefabrykowanych elementach stalowych w trakcie ich wytwarzania, umożliwiających sformułowanie ogólnych hipotez dotyczących całej grupy

prefabrykowanych elementów stalowych. Takie zmiany, zdaniem autora, powinny być uwzględnione w obliczeniach wytrzymałościowych prefabrykowanych elementów stalowych oraz przy formułowaniu wytycznych do technologii produkcji tych elementów. W literaturze również nie ma informacji odnośnie oceny zmian, według zasad Lean Manufacturing, wprowadzanych do technologii produkcji na etapie projektowaniu wyrobu.

Autor, w realizowanej rozprawie, rozwiązuje, więc następujące problemy: bada wpływ technologii produkcji prefabrykowanego elementu stalowego na jego właściwości końcowe oraz wpływ zmian w procesie produkcji, spowodowanych zmianami w projektowaniu, przy zastosowaniu do organizacji procesu wytwarzania zasad Lean Manufacturing.

Optymalizacja projektowania i wytwarzania prefabrykowanych elementów stalowych na przykładzie krat prasowanych przy zastosowaniu zasad Lean Manufacturing jest problemem aktualnym i bardzo ważnym w przypadku wielu przedsiębiorstw przemysłowych.

W tym kontekście wybór tematu pracy uważam za w pełni aktualny i ważny, tak z naukowego, jak i aplikacyjnego punktów widzenia.

Na podstawie analizy literatury i wyników wstępnych badań została sformułowana hipoteza pracy:

Rozwój prefabrykowanych elementów stalowych, będący konsekwencją zmian w projektowaniu, powinien być oparty na wspólnej analizie:

- ***zmian właściwości końcowych produktu;***
- ***koniecznych zmian w technologii produkcji ocenianych według zasad Lean Manufacturing.***

Hipoteza pracy została sformułowana właściwie i nie budzi zastrzeżeń.

Cel pracy został określony następująco: ***Opracowanie metody interdyscyplinarnej oceny kierunków rozwoju technologii produkcji prefabrykowanych elementów stalowych, uwzględniającej nowe wytyczne do projektowania i ich wpływ na technologię produkcji, na przykładzie prefabrykowanych krat prasowanych.***

Doktorant sformułował także cztery cele szczegółowe pracy:

1. Identyfikacja zjawisk zachodzących na różnych etapach procesu wytwórczego prefabrykowanych elementów stalowych na przykładzie krat prasowanych.

2. Ilościowa ocena zmiany właściwości końcowych produktu po uwzględnieniu wyżej wymienionych zjawisk.
 3. Ilościowa ocena wpływu zmian w projektowaniu (na skutek wyżej wymienionych zjawisk) na marnotrawstwo w procesie produkcji definiowane według zasad Lean Manufacturing.
 4. Opracowanie metody oceny interdyscyplinarnej wyżej wymienionych zjawisk.
- Cel i zakres pracy autor przedstawił poprawnie.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

Badania własne zostały poprzedzone analizą aktualnego stanu wiedzy opartą na reprezentatywnej w przypadku problematyki rozprawy literaturze, w większości pochodzącej z ostatnich lat, w oparciu, o którą doktorant uzasadnił ważność i celowość podjętej tematyki pracy. Pozycji literatury nie jest zbyt dużo, co zapewne wynika z małej ich liczby w zakresie prezentowanej tematyki.

W rozprawie Autor przedstawił interdyscyplinarną metodę oceny kierunków rozwoju technologii produkcji prefabrykowanych elementów stalowych, uwzględniającą nowe wytyczne do projektowania i ich wpływ na technologię produkcji. Przeprowadził analizę, na przykładzie procesów wytwórczych stalowych krat prasowanych w dwóch zakładach: o „tradycyjnym” sposobie zarządzania oraz działającego zgodnie z zasadami Lean Manufacturing.

Zidentyfikował zjawiska zachodzące na różnych etapach procesu wytwórczego krat prasowanych. Wykonał ilościową ocenę zmian właściwości końcowych produktu po uwzględnieniu tych zjawisk i ilościową ocenę wpływu zmian w projektowaniu (w wyniku wyżej wymienionych zjawisk) na marnotrawstwo w procesie produkcji definiowane według zasad Lean Manufacturing.

Wyodrębnił 7 głównych działań projektowych, redukujących marnotrawstwo w prefabrykowanych elementach stalowych na przykładzie krat prasowanych:

- wykorzystanie materiałów o różnych cechach materiałowych (właściwych w danym zastosowaniu);
- optymalizacja projektowa wymiarów;
- wykonywanie prefabrykowanych elementów stalowych z wymiarami ustalonymi co 1 mm;

- wykorzystanie rzeczywistych właściwości stali używanej w procesie wytwórczym;
- wykorzystanie zwiększenia właściwości użytkowych wyrobu na skutek umocnienia odkształceniowego stali w trakcie procesu wytwórczego płaskowników nośnych;
- wykorzystanie efektu zwiększonej nośności prefabrykatu będącego przestrzennym układem elementów składowych przy określonym schemacie obciążeń;
- wykorzystanie efektu wzmocnienia prefabrykatu będącego przestrzennym układem elementów składowych na skutek cynkowania ogniowego.

Badania doktoranta pokazały potrzebę cynkowania ogniowego krat. Takie kraty przenoszą dwukrotnie większe obciążenie, w porównaniu z obliczeniowym i przy tym nie występują trwałe odkształcenia plastyczne badanych elementów. Analiza wielokryterialna pokazała, że jest to najlepsze rozwiązanie również po uwzględnieniu jego ewentualnych negatywnych skutków ocenianych na podstawie marnotrawstwa definiowanego według zasad Lean Manufacturing. Efekt wzmocnienia kraty prasowanej, będący rezultatem cynkowania ogniowego, umożliwia stosowanie materiału o gorszych parametrach mechanicznych do wytwarzania

Doktorant określił również kierunki dalszych badań, stwierdzając, że powinny one się koncentrować na badaniu procesu cynkowania ogniowego oraz opracowaniu procedury obliczeniowej umożliwiającej łatwe zastosowanie tej metody w codziennej pracy inżynierskiej.

4. Uwagi

Lektura rozprawy skłania do kilku uwag, tak ogólniejszej, jak i bardziej szczegółowej natury.

Uwagi ogólne:

Wstęp w pracy powinien być krótszy i zawierać tylko uzasadnienie wyboru tematu pracy i ważności tematyki.

Powinien być wyodrębniony rozdział (pierwszy), w którym dokonano by przeglądu literatury z zakresu pracy. Dopiero gruntownie przeprowadzony przegląd literatury umożliwia wyodrębnienie obszarów w danej tematyce niedostatecznie dobrze zbadanych, a także postawienie hipotezy i określenie celu i zakresu pracy.

Czytelność pracy znacznie polepszyłoby podsumowanie i wnioski po każdym rozdziale pracy.

W pracy powinno być także zamieszczone jej streszczenie w języku polskim i angielskim.

Czy opracowaną metodę można zastosować w przypadku innych procesów realizowanych w technice, jeżeli tak to, jakich?, na ile ona jest uniwersalna?

Uwagi szczegółowe

Chociaż praca doktorska Pana mgr inż. Pawła Krupicza cechuje się przejrzystą i logiczną strukturą, a jej poziom edycyjny jest wysoki, to jednak autor nie ustrzegł się pewnych błędów:

do jej ... , powinno być *do jego ...* , str. 15, 1g;

...zjawisk powodowane, powinno być *zjawisk powodowanych* ,... , str. 17, 17d;

... jej finalnego..., powinno być *ich finalnego ...* , str. 21, 4g;

Dostawie towarzyszy jego atest, str. 24, 12-11d;

... której celem ... , powinno być, *których celem ...*, str. 39, 15g;

ustalonych zasad postępowania, powinno być *ustalonych zasadach postępowania*, str. 40, 2g;

...wartość dodanej, powinno być *wartości dodanej*, str. 40, 12g;

Rysunek 1.21 byłby o wiele łatwiejszy do przeanalizowania gdyby był obrócony o 180^0 , str. 41;

... autora celowa, powinno być *autora celowe*, str. 42, 10d;

Parametry produktu, które wpływają na jego właściwości końcowe, wynikają bezpośrednio z używanych metod obliczeniowych. W jaki sposób metody obliczeniowe mogą wpływać na parametry produktu? (str. 47, 5-6g);

Nie wyjaśniono, co oznacza b_T i nie zaznaczono t na rysunku 2.1;

... w tabeli, jakiej tabeli?, str. 50, 9g;

z zależności (2.11) – wynika, że naprężenie jest w kN a nie kN/cm², str. 51;

proszę wyjaśnić, dlaczego na rysunkach 2.6, 2.7 oraz 2.11 płaskownik o grubości 0,2 cm został oznaczony dwoma kolorami;

z czego wynika tak duża różnica między wartością obliczoną naprężeń w przypadku arkusza skrajnie wewnętrznego (837 MPa), a wartością zmierzoną (330 MPa), str. 67, 11g, 8d;

... i schematem działających sił, powinno być *i schemat działających sił*;

Na rysunkach 2.29 i 2.30 nie wyjaśniono oznaczeń PR1-4, str. 81 i 82;

Badania wykonano z elementów wykonanych, lepiej *Badania przeprowadzono na elementach wykonanych*, str. 84, 14g;

... użytych z partią surowca, czy *wykonanych z partii surowca*, str. 84, 12d;

[50], do jakiej pozycji literatury odwołuje się autor, w bibliografii brak jest numeracji wyszczególnionej literatury?, str. 99, 6g;

maksymalna strzałki ugięcia ..., powinno być *maksymalna strzałka ugięcia*, str. 99, 3d;

... stosowanie zwiększenie wysokości ..., powinno być *zwiększenie wysokości*, str. 100, 3g;

Karty doborowe, lepiej *karty doboru*, str. 100, 2d;

Stal jest, usunąć *jest*, str. 102, 2d;

... które mają miejsce ..., powinno być *które ma miejsce*, str. 103, 12g;

... ich dostawy ..., powinno być *jego dostawy*, str. 104, 13g;

... materiały, powinno być *materiału* (tab. 3.1), str. 107, 13g;

... do wykonanie ..., powinno być *do wykonania*, str. 115, 112d;

... wraz obliczonymi ..., powinno być *wraz z obliczonymi*, str. 119, 1-2g;

... oddzielną komórkę oddzielonych ..., powinno być *komórkę oddzieloną*, str. 120, 9d;

... dokonywane ..., raczej *określane*, str. 123, 14-13d;

rysunek. 1.19 zawiera anglojęzyczne opisy osi

Reasumując – wymienione drobne błędy i przeoczenia (które zaznaczyłem w tekście pracy), w najmniejszym stopniu nie wpływają na wysoką wartość pracy.

5. Ocena końcowa rozprawy

Stwierdzam, że w recenzowanej rozprawie doktorskiej mgr inż. Pawła Krupicza rozwiązany został oryginalny problem badawczy, polegający na opracowaniu autorskiej metody interdyscyplinarnej oceny kierunków rozwoju technologii produkcji prefabrykowanych elementów stalowych, uwzględniającej nowe wytyczne do projektowania i ich wpływ na technologię produkcji. Doktorant wykazał się znajomością podstawowej literatury z zakresu przedmiotu rozprawy, umiejętnością jej właściwej oceny w celu określenia problemów niedostatecznie zbadanych i rozwiązanych, umiejętnością postawienia hipotezy badawczej, a następnie określenia

właściwych metod badawczych umożliwiających jej potwierdzenie. Pan mgr inż. Paweł Krupicz udowodnił, że potrafi rozwiązywać problemy badawcze, przy zastosowaniu odpowiednich narzędzi.

Badania zostały przeprowadzone poprawnie pod względem metodologicznym, a wnioski wypływające z badań i analiz sformułowane właściwie. Praca wnosi szereg nowych informacji w zakresie projektowania i wytwarzania prefabrykowanych elementów stalowych na przykładzie krat prasowanych

Praca kończy się sformułowaniem wniosków o charakterze poznawczym. Stwierdzenia zawarte we wnioskach odpowiadają zakresowi przeprowadzonych badań.

Opiniowana praca doktorska dotyczy ważnego, a niezbyt dobrze przedstawionego w literaturze przedmiotu problemu połączenia szczegółowej wiedzy dotyczącej procesów wytwórczych w prefabrykowanych elementach stalowych i zachodzących w nich procesów, algorytmów projektowania tych elementów oraz szczegółowej wiedzy odnośnie koncepcji zarządzania Lean Manufacturing.

Zauważone w rozprawie doktorskiej nieprawidłowości nie mają zasadniczego znaczenia, dlatego rozprawa w całości może być oceniona pozytywnie. Rozwinięcie i sprecyzowanie tych zagadnień może być celem dalszych prac doktoranta.

Na podstawie powyższego uważam, że przedstawiona rozprawa doktorska nt.: **„Technologiczne uwarunkowania wprowadzania Lean Manufacturing w rozwoju prefabrykowanych elementów stalowych na przykładzie krat prasowanych”** spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim w ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595 z późn. zm.) i wnioskuję o dopuszczenie Pana mgr inż. Pawła Krupicza do jej publicznej obrony.

