

## 6. Metodologia zarządzania technologią

Zgodnie z przyjętym algorytmem realizacji pracy (rysunek 14) przeprowadzono stosowne analizy pozwalające określić metodologię zarządzania technologią.

### 6.1. Analiza wymagań standardów zarządzania

Podstawę w zakresie zarządzania jakością stanowią wymagania zawarte w normie ISO 9001 *Systemy zarządzania jakością - Wymagania*. Procesy obróbki cieplnej zaliczane są do procesów specjalnych. Powyższe stawia wymaganie, aby procesy specjalne były w odpowiedni sposób zarządzane, w tym wykorzystując metody i narzędzia zarządzania jakością, a także stosując wymagania zawarte w opracowywanych w przedsiębiorstwach dokumentach systemowych [111].

Cel opracowania norm z zakresu zarządzania jakością wynikał z potrzeb międzynarodowej wymiany handlowej, przyczyniając się do opracowania przez organizacje normalizujące oznaczeń, unifikacji pojęć, klasyfikacji czy metod badania wyrobów. Wymagania normy ISO 9001 stały się podstawowymi wymaganiami stawianymi organizacjom i dostawcom chcącym utrzymać się na rynku poprzez wdrożenie strategii ciągłego doskonalenia.

Jednym z najprężniej rozwijających się rynków jest rynek motoryzacyjny, który stał się przemysłem wiodącym w zakresie rozwoju programów certyfikacji dostawców. Rosnąca konkurencja w tym obszarze spowodowała zaostrzenie wymagań wobec usług i produktów oraz wprowadzania bardziej restrykcyjnych wymagań w zakresie współpracy z dostawcami. Wymagania normy ISO 9001 stały się zatem niewystarczające do tego, by wykazać przewagę organizacji na odpowiednio wysokim poziomie zapewnienia jakości w obszarze rynku motoryzacyjnego, czego dowodem było opracowanie specyfikacji technicznej ISO/TS 16949 [39,110,173,179,198,203] a kolejno w obszarze procesów obróbki cieplnej standardu CQI-9 *Heat Treat System Assessment*, określanego jako *System Oceny Obróbki Ciepłej* opracowanego przez organizację AIAG - Automotive Industry Action Group. Standard CQI-9 stanowi uzupełnienie wymagań z myślą o umożliwieniu współpracy, rozwoju i promowaniu nowych rozwiązań w dziedzinie przemysłu motoryzacyjnego, organizacji realizujących procesy obróbki cieplnej [84,85,130,155-157].

W wyniku powstawania coraz to nowych standardów wymagań w zakresie szeroko rozumianego zarządzania tworzy się hierarchiczna struktura wymagań - rysunek 15, mimo że

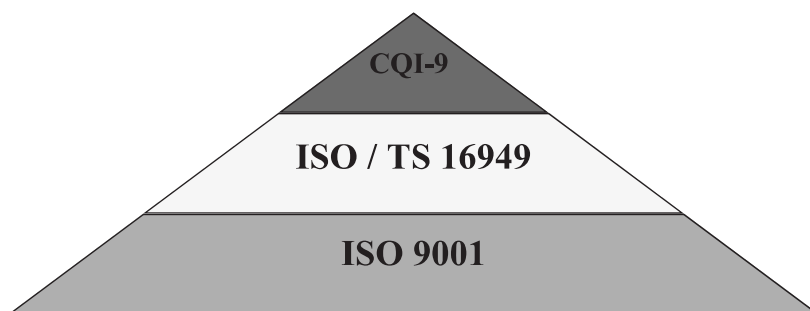
ww. systemy mogą również funkcjonować w praktyce jako systemy niezależne. Powyższe odnosi się do nakreślonego wcześniej dylematu „klepsydry” w zarządzaniu, gdzie pewne działanie związane jest z zawężaniem zakresu oddziaływania danego standardu (jego specjalizacją) a działaniem zmierzającym do uszczegółowienia wymagań - postawienia ich w sposób ostry. Ze względów poznawczych interesujące jest poszukiwanie wymagań optymalnych w tym zakresie, szczególnie w kontekście, iż wymagania wyspecjalizowane definiują znaczącą liczbę wymagań w zakresie dokumentacji [142].

Problematyka powyższa nabiera szczególnego znaczenia w kontekście integracji systemów zarządzania zarówno w przedstawionym układzie integracji pionowej systemów, jak i integracji poziomej. Zagadnienie to współcześnie stanowi obszar tak naukowego, jak i praktycznego poszukiwania jego rozwiązania [26-28,34,142,157,162,164,166].

Współcześnie inżynier technolog poza wymaganą wiedzą w zakresie projektowania technologii procesów musi posiadać wiedzę z zakresu szeroko rozumianego zarządzania jakością, w tym wymagań zapisanych w standardach systemów zarządzania, zarówno ogólnych jak i branżowych.

Powyższe kładzie nacisk na zrozumienie i interpretację wymagań systemów zarządzania w kontekście technologii. Problem ten wyraźnie został zaznaczony w normie ISO 9004.

Poziom ogólności wymagań zawartych w normie ISO 9001 stanowi możliwość realizacji przez przedsiębiorstwa różnych sposobów spełnienia wymagań. Przedsiębiorstwa realizujące procesy obróbki cieplnej najczęściej nie projektują wyrobów, lecz wykonują usługę mającą na celu uzyskanie odpowiednich właściwości wyrobu, istnieje jednak zakres szczególny, który w wielu przypadkach zostaje pomijany - przedsiębiorstwa te projektują technologię. W zakresie tych wymagań zdarzają się sytuacje w praktyce zarządczej przedsiębiorstw wyłączania z wymagań spełnianych dla wdrożonego systemu zarządzania jakością zgodnego z standardem ISO 9001 - procesu projektowania, co jest wysoce niezrozumiałe i stanowi niezgodność w zakresie systemu.



**Rysunek 14.** Hierarchiczność wymagań ISO 9001, ISO/TS 16949 oraz CQI-9

Mając na uwadze współcześnie akceptowane i stosowane działania zarządcze dokonano analizy zakresu czynności nadzoru mających istotny wpływ na proces technologiczny, tu w obszarze realizacji procesów obróbki cieplnej:

1. **Przegląd umowy:** ocena zdolności przedsiębiorstwa do przeprowadzenia procesu i czynności stanowiących wymagania uzupełniające, wymagana jest znajomość szczegółowego zakresu zastosowania przyjętej technologii, zagadnienie to dotyczyć może tak subtelnych szczegółów jak dokładność temperaturowa stosowanych urządzeń technologicznych.

2. **Przegląd danych wejściowych do projektu:** ocena zastosowania wymagań zawartych w regulacjach normatywnych (odpowiednie zastosowanie norm materiałowych), ocena technologiczności wyrobu w kontekście realizacji procesu obróbki cieplnej w zakresie stosowanych technologii, ocena dostępności i adekwatności stosowanych metod kontroli i oceny jakości dla planowanych efektów realizacji procesów obróbki cieplnej, ocena parametrów procesów obróbki cieplnej i możliwości ich uzyskania w stosowanych technologiach, ocena wymagań jakościowych, w tym ustalenie kryteriów odbioru wyrobu po realizacji procesów obróbki cieplnej.

3. **Materiał obrabiany:** ocena własności obrabianego materiału w kontekście realizowanych procesów obróbki cieplnej, określenie i ocena wymagań dotyczących warunków technicznych zakupu materiału lub jego dostarczenia przez klienta, w tym określenie rodzaju dokumentów kontroli, określenie i oceny metod identyfikacji oraz identyfikowalności, a także przechowywania materiału.

4. **Materiały technologiczne:** określenie i ocena niezbędnych materiałów technologicznych potrzebnych do odpowiedniego realizowania zaplanowanych procesów obróbki cieplnej (gazy techniczne, ośrodki chłodzące i inne), określenie i ocena warunków dostawy materiałów technologicznych, w tym dokumentów kontroli, określenie i ocena metod identyfikacji oraz identyfikowalności, a także przechowywania tych materiałów i nadzorowania procesu zużycia.

5. **Podwykonawstwo:** określenie i ocena procesów / operacji / zadań zleczanych na zewnątrz przedsiębiorstwa, określenie warunków realizacji procesów poza przedsiębiorstwem, określenie metod kwalifikacji i odbioru prac wykonanych przez podwykonawców, w tym również metod ich walidacji.

6. **Planowanie procesu produkcyjnego:**

6.1 **w zakresie technologii:** określenie i ocena stosowanych instrukcji technologicznych (Warunki Realizacji Procesów Obróbki Cieplnej), określenie i ocena stosowanych instrukcji

roboczych, określenie i ocena kolejności stosowanych operacji obróbki cieplnej w zakresie technologiczności i możliwości uzyskania efektów realizacji zaplanowanych procesów,

**6.2 w zakresie personelu:** określenie odpowiedzialności i uprawnień personelu realizującego proces, określenie i ocena warunków bezpieczeństwa pracy, w tym w zakresie oceny ryzyka, przegląd stosowanych w tym zakresie procedur i instrukcji,

**6.3 w zakresie nadzoru:** określenie miejsc i ocena warunków kontroli poszczególnych operacji i zabiegów procesu obróbki cieplnej, przegląd stosowanych procedur, instrukcji i opracowanie potrzebnych wynikających z realizowanego procesu, w tym opracowanie planów jakości, jak również opracowanie stosowanych formularzy zapisów, mając również na uwadze wymagania stawiane przez odbiorców jako dostawców: materiałów i maszyn,

**6.4 w zakresie parku maszynowego:** określenie i ocena przydatności stosowanych urządzeń, określenie i ocena przydatności niezbędnych przyrządów i urządzeń pomocniczych, ocena zdolności jakościowej maszyn, ocena stosowanych procedur i instrukcji,

**6.5 w zakresie walidacji:** określenie sposobu walidacji zaprojektowanego procesu technologicznego i podjęcie działań korygujących,

**7. Realizacja procesu:** zagwarantowanie dostępności instrukcji roboczych (stanowiskowych) oraz kart technologicznych, zagwarantowanie materiałów w tym materiałów pomocniczych w odpowiedniej ilości, jakości i czasie, stosowanie określonych parametrów procesów / operacji / zabiegów, zagwarantowanie odpowiedniej kolejności realizacji procesu, realizacja niezbędnych operacji dodatkowych.

## **8. Nadzór nad procesem:**

**8.1. w zakresie urządzeń:** realizacja kontroli i pomiarów parametrów pracy urządzeń stosowanych w realizowanym procesie, stosowanie odpowiednich metod zapisów, w tym ich archiwizacja umożliwiającą identyfikację,

**8.2. w zakresie materiału:** ocena wizualna, ocena parametrów materiału z zastosowaniem badań niszczących i nieniszczących,

**8.3. w zakresie dokumentacji:** opracowywanie i archiwizacja zapisów w zakresie realizowanych procesów, w tym wyniki badań i kontroli materiału oraz parametrów urządzeń, procesów,

**8.4. w zakresie realizacji badań i pomiarów:** zbieranie i archiwizacja wyników badań i pomiarów,

**8.5 w zakresie nadzoru nad procesem / wyrobem niezgodnym:** stosowanie odpowiednich



kryteriów zatrzymania realizacji procesów, weryfikacji uzyskanych własności materiałów oraz stosownego oznaczania wyrobów niezgodnych, podejmowanie działań korygujących oraz zapobiegawczych.

**9. Doskonalenie:** określenie sposobu zgłaszania wszelkich niezgodności i sposobu realizacji analizy w tym zakresie oraz wykorzystania uzyskanych wniosków.

Powyższe wytyczne mogą stanowić rekomendację w zakresie realizacji dobrej praktyki wytwórczej, biorąc pod uwagę, że w pełni wyczerpują wymagania standardu ISO 9001.

Zasadnicza różnica między specyfikacją ISO/TS 16949 a standardem ISO 9001 wynika z potrzeby, specyfiki i doświadczeń branży motoryzacyjnej dla której jest dedykowana. Wymagania zawarte w specyfikacji ISO/TS 16949 dotyczą również kwestii inżynierskich w tym skuteczności i efektywności wdrożonego systemu zarządzania jakością. Specyfikacja zawiera szczegółowe wymagania specyficzne dla sektora motoryzacyjnego, w szczególności dotyczące kompetencji, wiedzy i szkoleń pracowników, projektowania i rozwoju, produkcji, monitorowania i kontroli oraz analizy i doskonalenia. Wdrożenie wymagań ISO/TS 16949 ma na celu zapobieganie wadliwości w całym łańcuchu dostaw warunkowanego doskonaleniem systemu zarządzania. Wymagania specyfikacji technicznej ISO/TS 16949 uściślają zakres w stosunku do wymagań zawartych w standardzie ISO 9001 i tak np. wymaganie odnoszące się do pkt 7.3.3 *Dane wyjściowe z projektowania i rozwoju zostały uściśnione w specyfikacji ISO/TS 16949 w pkt. 7.3.3.2 Dane wyjściowe z projektowania procesu* o wymóg opracowania, wdrożenia i stosowania dokumentów, które pozwalają na sprawdzenie i poddanie walidacji z punktu widzenia wymagań wejściowych do projektowania procesu, specyfikacja w tym zakresie wymaga stosowania [109,110,111,156,206]:

- specyfikacji i rysunków,
- schematów przebiegu / rozmieszczenia procesu produkcji,
- analizy FMEA procesu,
- planu kontroli,
- instrukcji roboczych,
- opracowanych kryteriów akceptacji procesu,
- archiwizacji danych dotyczących jakości, niezawodności, możliwości konserwacji
- ustalenia i wdrożenia metody szybkiego wykrywania oraz zapewniania informacji zwrotnej na temat niezgodności wyrobu / procesu.

Wdrożenie i utrzymanie systemu opartego na spełnieniu wymagań ISO/TS 16949 wymaga od przedsiębiorstwa ustalenia obszernego zakresu dokumentacji zarządczej dla realizowanych procesów w tym zasadniczy sposób odnoszących się aspektów technologicznych [109].

Poziom wyższego uszczegółowienia wymagań w obszarze procesów obróbki cieplnej aniżeli wymagania zawarte w standardzie ISO 9001 oraz specyfikacji ISO/TS 16949 stanowi standard CQI-9. Celem wdrożenia standardu CQI-9 jest wykazanie i ocena zdolności do spełnienia wymagań w wąskim obszarze realizacji procesów obróbki cieplnej, jak również rozwój systemu zarządzania w zakresie procesów obróbki cieplnej poprzez wprowadzanie ciągłego doskonalenia [85,110,111,155,156].

Ocena jakości procesów w zakresie wymagań zawartych w specyfikacji CQI-9 obejmuje procesy obróbki cieplnej, jak i powiązane z nią działania w łańcuchu dostaw. Wymagania określone w standardzie CQI-9 posiadają ogólny charakter zastosowań we wszystkich organizacjach wykonujących operacje obróbki cieplnej, niezależnie od rodzaju produktu i wielkości produkcji. Standard CQI-9 obejmuje pięć obszarów wytycznych i zaleceń, różnicowanych rodzajem obróbek cieplnych: obróbki stopów żelaza (nawęglanie, węglazotowanie, korekta zawartości węgla, ulepszanie cieplne, hartowanie bainityczne, hartowanie martenzytyczne, odpuszczanie, utwardzanie wydzieleniowe - starzenie, azotowanie (gazowe), azotonawęglanie ferrytu (gazowe lub w solach), obróbka cieplna aluminium, indukcyjna obróbka cieplna metali żelaznych, wyżarzanie zupełne, normalizujące, odprężające.

Określone wymagania dla poszczególnych procesów dotyczą następujących zagadnień: wyposażenia procesu technologicznego i testującego, pirometrów, częstości monitorowania procesu, częstości kontroli wewnątrz procesowych i końcowych, częstości weryfikacji cieczy chłodzących i roztworów.

Sposób przeprowadzenia oceny procesów obróbki cieplnej określony został przez Automotive Industry Action Group AIAG w następujący sposób [155]:

- a) uzyskanie aktualnej wersji dokumentacji CQI-9,
- b) zidentyfikowanie procesów obróbki cieplnej, podlegających ocenie w zakresie wymagań zawartych w CQI-9,
- c) uzupełnienie dokumentacji oraz określenie poziomu zgodności z wymaganiami. Wymagane jest przeprowadzenie przynajmniej jednego audytu podczas przeprowadzania oceny,
- d) wskazanie pozycji oznaczonych, jako „niezgodne”, ustalenie niezbędnych działań, przeprowadzenie analizy najistotniejszych przyczyn wystąpienia nieprawidłowości oraz

wdrożenie niezbędnych działań korygujących. Działania te powinny zostać ukończone w ciągu 90 dni. Należy zachować wszystkie zapisy z przeprowadzonych działań korygujących,

e) pozycje oznaczone, jako „uwagi” wymagają przeprowadzenie działań związanych z wycofaniem wadliwego produktu. Należy wskazać pozycje tak określone oraz ustalić dla każdej z nich przebieg działań korygujących wraz z analizą najistotniejszych przyczyn wad. Działania te powinny zostać ukończone przed upływem 90 dni. Wszelkie zapisy z działań korygujących i weryfikujących powinny być przechowywane,

f) ocena powinna być przeprowadzana co roku lub zgodnie z wymaganiem klienta.

Tablica 6 prezentuje tłumaczenie wybranych wymagań specyfikacji CQI-9 Special Process: Heat Treat System Assessment AIAG [155].

**Tablica 6.** Wybrane wymagania specyfikacji CQI-9 Special Process:  
Heat Treat System Assessment, AIAG [155]

| Nr pytania | Pytanie                                                                                           | Wymagania i wytyczne                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.9        | Czy istnieje zarządzanie odnośnie systemu monitoringu procesów obróbki cieplnej przez 24h/dobę?   | Zarząd organizacji powinien dokonywać przeglądów systemu monitoringu pieców w odstępach czasu nieprzekraczających 24h. System monitoringu obróbki cieplnej obejmuje, lecz nie ogranicza się do wykresu przebiegu temperatury, atmosfery, rejestratorów pieca i operatorów. Przegląd zarządzania obejmuje również wszelkie starania mające na celu wykrycie stanów pozaalarmowych nieobjętych systemem kontroli. Proces przeglądu danych pieca powinien być udokumentowany, zalecany w formie danych komputerowych. |
| 2.7        | Czy etap ładowania pieca jest określony, udokumentowany i kontrolowany?                           | Parametry ładowania pieców powinny być wyszczególnione, udokumentowane oraz kontrolowane. Przykładem jest posuw, prędkość taśmy, ciężar zasobników itd.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 2.14       | Czy parametry procesu są kontrolowane z częstością zawartą w tabeli opisowej procesu?             | Parametry kontroli procesu powinny być monitorowane z częstością określoną w tabeli opisowej procesu. Komputerowe wyposażenie monitoringu wraz z alarmami i rejestrem alarmów zapewnia wymaganą weryfikację. Wyznaczone osoby powinny sprawdzić parametry procesu przez inicjowanie wykresów lub zapisów rejestru. Przegląd zarządu jest wymagany zgodnie z wymogiem 1.9.                                                                                                                                          |
| 3.2        | Czy wyposażenie procesów jest skalibrowane i zweryfikowane certyfikatem, wystawionym i aktualnym? | Kalibracja i certyfikacja wyposażenia procesów powinna być sprawdzana w regularnych odstępach czasu.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 3.14       | Czy medium chłodzące jest cyklicznie analizowane?                                                 | Wykonawca powinien okresowo analizować medium chłodzące względem szczególnych właściwości hartujących np. krzywą chłodzenia, zawartości wody, stężenie soli, jako specyfikacje procesu. Tolerancje właściwości parametrów medium chłodzącego powinno być określone przez dostawcę medium lub wykonawcę obróbki cieplnej. Analiza powinna być przeglądana dla potwierdzenia przez wykonawcę obróbki. Przegląd powinien być udokumentowany.                                                                          |

Wdrożenie i utrzymanie systemu zarządzania opartego na wymaganiach specyfikacji CQI-9 wiąże się z realizacją w tym zakresie audytu, którego wyniki mają w zasadniczy sposób oddziaływać na kształt systemu zarządzania w szczególności w zakresie spełnienia wymagań klientów. Można uznać, iż opracowany standard CQI-9 stanowi w kontekście zagadnienia zarządzania technologią zbiór wymagań z powodzeniem stanowiący podstawę realizacji audytu procesu technologicznego (w kontekście zagadnienia przedstawionego w rozdział 3.4 niniejszej pracy).

Przedstawiona powyżej analiza wymagań standardów zarządzania (ISO 9001, ISO/TS 19494, CQI-9) jest przedstawieniem uszczegółowienia wymagań, prezentując sposób kreowania nowych rozwiązań zarządczych w zawężanym zakresie, tu dotyczącym zarządzania procesami specjalnymi w zakresie procesów obróbki cieplnej.

## 6.2. Zapewnienie jakości procesów obróbki cieplnej

Zapewnienie właściwej jakości wyrobu podczas realizacji operacji obróbki cieplnej wymaga wytwarzania za pomocą prawidłowo dobranych środków produkcji i materiałów, a w tym [85,111,143,156,]:

- prawidłowych komponentów (od dostawców lub wytwarzanych w organizacji) – wymaganie PN-EN ISO 9001:2009 p. 7.4,
- prawidłowego wyposażenia technologicznego (np. w zakresie stosowanie pieców z dużą dokładnością temperaturową) oraz oprzyrządowania technologicznego (stosowanie specjalistycznych uchwytów, kleszczy oraz środków ochrony osobistej) - wymaganie PN-EN ISO 9001:2009 p. 6.3, 6.4,
- prawidłowych narzędzi pomiarowych do kontroli, monitorowania, sprawdzania oraz systemów pomiarowych - wymaganie PN-EN ISO 9001:2009 p. 7.6,
- prawidłowych metod realizacji, procesów i technologii zastosowanych do przeprowadzenia operacji obróbki cieplnej danego wyrobu - wymaganie PN-EN ISO 9001:2009 p. 7.5.

Dowodem niespełnienia wymagań są niezgodności, przyczyny powstawania niezgodności w procesach obróbki cieplnej wynikają z niewłaściwie przeprowadzonych przez technologa następujących czynności [48,50,143]:

- oceny dotyczącej np. technologiczności wyrobu,
- doboru: planu operacji, temperatur poszczególnych operacji i zabiegów, atmosfery pieca, rodzaju materiału,

- obliczeń dotyczących np.; czasów zabiegów, szybkości nagrzewania oraz szybkości chłodzenia.

Niezgodności w procesie obróbki cieplnej ze względu na specyfikę tego procesu mogą wynikać również z ukrytych wad materiałowych [50,158].

W zakresie zapewnienia jakości realizacji procesów produkcyjnych najistotniejszym działaniem jest określenie i wdrożenie do praktyki procedur postępowania z wyrobem niezgodnym. Wyroby niespełniające wymagań jakościowych a powstałe podczas procesu produkcji muszą zostać wyłączone z ciągu produkcji i zabezpieczone przed przedostaniem się do dalszych faz produkcji. W tym zakresie wymagane jest ustalenie odpowiedniej procedury postępowania. W zakresie realizacji procesów obróbki cieplnej zagadnienie to jest bardzo istotne, gdyż jak już podkreślono, operacje te mają szczególne znaczenie dla realizacji procesu produkcyjnego, jak również uzyskania odpowiednich właściwości wyrobu. Klasyfikacja wyrobów niezgodnych odbywać się może w obszarze procesów obróbki cieplnej w dwojaki sposób: na podstawie badania obrabianego wyrobu i / lub monitorowania parametrów procesu. Wyroby niezgodne klasyfikowane są w celu: dopuszczenia ich do dalszych faz produkcji pod warunkiem, że niezgodność będzie usunięta w następnych operacjach lub nie wpływa ona ujemnie na własności wyrobu, naprawy, o ile wynik naprawy nie wpłynie na osiągnięcie zdolności spełnienia wyrobu oczekiwanych właściwości, przeklasyfikowania lub złomowania obrabianego materiału.

Wpływ na powstawanie niezgodności może mieć wiele przyczyn. Tablica 7 przedstawia możliwe przyczyny powstania niezgodności podczas realizacji procesu obróbki cieplnej na etapie projektowania i wytwarzania.

**Tablica 7.** Przykładowe przyczyny niezgodności, które mogą powstać na etapie projektowania i wytwarzania procesów obróbki cieplnej

| PROJEKTOWANIE                                                       | WYTWARZANIE                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Niepoprawny dobór parametrów procesu                                | Brak nadzoru nad parametrami procesu                                                            |
| Niepoprawny dobór atmosfery ochronnej i natężenie przepływu         | Użycie nieodpowiedniej atmosfery ochronnej, brak nadzoru nad parametrami - natężeniem przepływu |
| Niepoprawny dobór czasów oraz temperatury nagrzewania i wygrzewania | Brak nadzoru nad kontrolą czasu oraz temperaturą realizowanych operacji i zabiegów              |
| Niewłaściwy dobór ośrodka chłodzącego                               | Zastosowanie niewłaściwego sposobu chłodzenia wyrobu lub niewłaściwego ośrodka chłodzącego      |
| Złe przygotowanie materiału przed operacją obróbki cieplnej         | Brak zastosowania właściwego oprzyrządowania                                                    |



Niezgodności mogą powstać na różnych etapach realizacji procesów, zadaniem w zakresie zapewnienia jakości procesu wytwarzania jest nie tylko ich określenie, ale zdefiniowanie przyczyn powstania. Poniżej dokonano klasyfikacji przykładowych niezgodności powstających podczas zabiegu nagrzewania w procesach obróbki cieplnej [21,44,46-50,140,141,158-161,163]:

1. Złe ułożenie części w piecu powoduje odkształcenia pod wpływem własnego ciężaru obrabianego materiału.
2. Zbyt szybkie i nierównomierne grzanie wsadu z przyczyn niezależnych od ułożenia wsadu sprzyja odkształceniom i pęknięciom wsadu.
3. Niewłaściwe parametry austenitzowania (temperatura, czas) mogą spowodować odkształcenia i pęknięcia, a także utlenienie lub odwęglenie warstwy wierzchniej.
4. Za wysoka temperatura podczas austenitzowania może spowodować w zależności od stopnia przekroczenia, zwłaszcza podczas dłuższego grzania objawy przegrzania części lub całego przekroju, w tym uzyskanie struktury Widmanstättena, a także utlenienia czy odwęglenia powierzchni materiału obrabianego.
5. Zastosowanie zbyt wysokiej temperatury i zbyt długiego czasu austenitzowania w stalach o stężeniu węgla nadeutektoidalnym wiąże się z powstaniem gruboiglastej struktury martenzytu oraz nadmiernych ilości austenitu szczątkowego.
6. Za niska temperatura lub zbyt krótki czas grzania powoduje tylko częściowe przekrystalizowanie obrabianego cieplnie materiału,
7. W przypadku wyrobów wykonanych ze stali stopowych eutektoidalnych przyczyną otrzymania obniżonej twardości jest przegrzanie, wiąże się to z powstawaniem nadmiernych ilości austenitu szczątkowego,
8. Wzrost szybkości nagrzewania jest niebezpieczny dla wsadu o znacznych średnicach, gdyż prowadzi do zwiększenia się różnicy temperatur między powierzchnią wsadu a wnętrzem (rdzeniem), co może doprowadzić do powstania pęknięć,
9. Powstający podczas nagrzewania gradient temperatury jest przyczyną powstawania naprężeń. Przekroczenie przez te naprężenia wytrzymałości metalu jest przyczyną powstawania pęknięć podczas nagrzewania,
10. Niewłaściwa struktura obrobionego cieplnie materiału jest na ogół wynikiem zastosowania nieodpowiedniej temperatury grzania i szybkości chłodzenia w prowadzonych operacjach obróbki cieplnej.

Zakres działań mających za zadanie przeciwdziałanie powstawaniu niezgodności podczas

zabiegu nagrzewania obejmuje między innymi [21,44,46-50,140,141,158-161,163]:

1. Dostosowanie konstrukcji osprzętu do kształtu części, stosowanie przekładek między obrabianym cieplnie elementami,
2. Zmniejszenie szybkość grzania oraz zróżnicowania temperatury w przestrzeni roboczej pieca,
3. Sprawdzenie zgodności z instrukcją technologiczną lub skorygowanie instrukcji, dokonanie weryfikacji dobranych parametrów procesu,
4. Dostosowanie temperatury oraz czasu grzania do instrukcji technologicznej lub skorygowanie instrukcji, dokonanie weryfikacji dobranych parametrów procesu,
5. Dostosowanie temperatury oraz czasu grzania do instrukcji technologicznej poprzez zastosowanie odpowiedniego sposobu monitorowania,
6. Zwiększenie temperatury lub wydłużenie czasu grzania,
7. Otrzymanie odpowiedniej twardości wyrobów związane jest z odpowiednim dostosowaniem czasu grzania, co wyeliminuje powstawanie nadmiernej ilości austenitu szczątkowego,
8. Obliczanie czasu nagrzewania przeprowadza się przy założeniu maksymalnej szybkości nagrzewania dobranej tak, aby nie narazić nagrzanego przedmiotu na odkształcenia lub pęknięcia, które mogą być spowodowane przekroczeniem dopuszczalnego gradientu temperatury między powierzchnią a rdzeniem przedmiotu.

Niezgodności powstające podczas operacji hartowania [21,44,46-50,140,141,159-161,163]:

1. Źle dobrana szybkość chłodzenia przy martenzytycznym hartowaniu objętościowym - mniejsza niż tzw. szybkość krytyczna  $V_k$ ,
2. Niewłaściwy dobór ośrodka chłodzącego oraz sposobu realizacji zabiegu chłodzenia powoduje wzrost naprężeń własnych na przekroju i wzrost odkształceń,
3. Brak atmosfery ochronnej dla powierzchni w procesie nagrzewania powoduje, że warstwa tlenków hamuje wymianę ciepła w kąpeli hartowniczej,
4. Niedokładności i nieprawidłowości w technologiach operacji hartowania mogą być przyczyną powstawania różnych wad w przedmiotach zahartowanych. Najczęściej spotyka się następujące wady:
  - niewystarczająca twardość,
  - „miękkie plamy”,
  - duże naprężenia własne, powodujące paczanie się, a nawet pękanie przedmiotów.
5. Przekroczenie optymalnych temperatur austenitowania powoduje nadmierny rozrost ziaren

austenitu, co w konsekwencji prowadzi do uzyskania po hartowaniu gruboiglastego martenzytu,

6. Zwiększenie nasycenia austenitu węglem powoduje wzrost ilości austenitu szczątkowego w strukturze zahartowanej stali, co powoduje obniżenie twardości.

Przeciwdziałanie powstawaniu niezgodności podczas operacji hartowania [21,44,46-50,140,141,159-161,163]:

1. Szybkość chłodzenia przy martenzytycznym hartowaniu objętościowym nie powinna być mniejsza od tzw. szybkości krytycznej -  $V_k$  nie tylko na powierzchni, ale również w rdzeniu,
2. Eliminacja naprężeń własnych na przekroju oraz wzrostu odkształceń odbywa się poprzez odpowiedni dobór ośrodka chłodzącego oraz sposobu realizacji zabiegu chłodzenia,
3. W celu wyeliminowania warstwy tlenków, aby nie hamowała wymiany ciepła w kąpeli hartowniczej, należy odpowiednio chronić powierzchnie podczas procesu nagrzewania poprzez zastosowanie odpowiednich atmosfer ochronnych,
4. Zmniejszenie naprężeń i odkształceń cieplnych i strukturalnych możliwe jest w wyniku zastosowania hartowania stopniowego. Przyczyną zmniejszenia naprężeń cieplnych jest zmniejszenie różnic temperatur na przekroju podczas pierwszego i drugiego etapu chłodzenia, natomiast przyczyną zmniejszenia naprężeń strukturalnych jest prawie równoczesny przebieg przemiany martenzytycznej w całej objętości wskutek powolnego chłodzenia w trzecim etapie,
5. W celu zminimalizowania naprężeń cieplnych należy zastosować hartowanie bainityczne, o ile dopuszcza to ustalona technologia. Minimalizacja naprężeń cieplnych jest stosowana w wyniku wyrównania temperatury na przekroju obrabianego przedmiotu i przemianie bainitycznej, która wywołuje mniejsze naprężenia strukturalne niż przemiana martenzytyczna. W wyniku hartowania bainitycznego zmiany objętości i wymiarów liniowych stali są mniejsze w porównaniu z hartowaniem martenzytycznym.

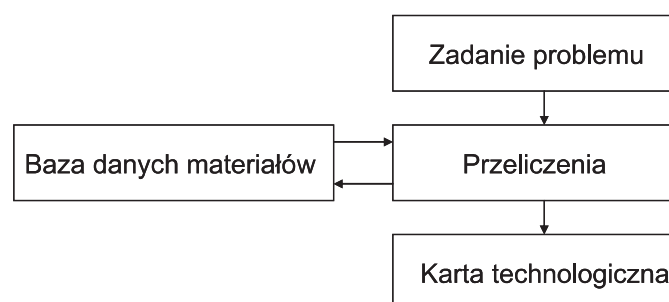
Przedstawiona powyżej analiza w zakresie wymagań w zakresie wykonania procesów obróbki cieplnej a wynikająca z wieloletnich badań naukowych i doświadczeń praktycznych stanowi o budowie obszaru wiedzy dotyczącej projektowania technologii, a w tym zapewnienia jej jakości.

W zakresie wykorzystania praktycznego tak obszernej wiedzy podejmuje się budowy programów eksperckich wspomagających podejmowanie decyzji, w tym również w zakresie projektowania technologii [51]. Celem podjętych w tym zakresie prac było opracowanie komputerowego narzędzia wspomagającego pracę technologa w projektowaniu procesów obróbki cieplnej. Program wspomagający projektowanie procesów obróbki cieplnej

wykorzystujący bazy danych umożliwiające określenie dla procesu jego parametrów pozwala na znaczne skrócenie czasu projektowania procesu obróbki cieplnej. Realizacja procesu technologicznego zależy od wiedzy i doświadczenia technologa, powyżej w ograniczonym zakresie dotyczącym zabiegu grzania, nagrzewania, operacji hartowania przedstawiono najważniejsze zagadnienia ograniczając się do procesów technologicznych obróbki materiałów konstrukcyjnych. Oczekiwane efekty procesu obróbki cieplnej są efektem spełnienia następujących warunków: zależnie od postawionego celu - zastosowanie właściwej operacji, zabiegu obróbki cieplnej - zależnie od rodzaju materiału - zastosowania prawidłowych parametrów operacji i zabiegów obróbki cieplnej, gwarantującej odpowiednią jakość projektowania. Wykorzystanie komputerowego wspomaganie umożliwia dla określonych kilku podstawowych parametrów takich jak: rodzaj materiału, wielkość, kształt oraz docelowe własności, jakie chcemy uzyskać wsparcie w projektowaniu technologii procesu obróbki cieplnej. Rysunek 15 przedstawia przyjęty algorytm programu wspomagającego proces projektowania technologii [51].

Oprogramowanie wykorzystuje bazę danych materiałowych, którą można uzupełniać o kolejne pozycje. W toku postępowania wykorzystywane są zależności własności materiałów:

- granicy plastyczności  $R_{0,2}$  i wytrzymałości  $R_m$  od twardości ulepszonych cieplnie stali konstrukcyjnych,
- zależność twardości w stanie ulepszonym cieplnie od twardości po hartowaniu przy różnych temperaturach odpuszczania stali konstrukcyjnej,
- wpływ zawartości węgla na twardość po hartowaniu, przy różnym udziale martenzytu w strukturze,
- szybkość chłodzenia powierzchni próbek hartowanych czołowo strumieniem wody oraz prętów okrągłych w różnych odległościach od powierzchni podczas ich chłodzenia w wodzie spokojnej i w oleju.



**Rysunek 15.** Algorytm rozwiązywania zadania w procesie doboru materiału i projektowania procesów obróbki cieplnej

**Rysunek 16.** Algorytm rozwiązywania zadania w procesie projektowania procesów obróbki cieplnej

Opracowane narzędzie komputerowego wspomaganie projektowania procesów technologicznych obróbki cieplnej jest w całości obsługiwane z ekranu głównego, przedstawionego na rysunku 16, na którym wyodrębniono trzy główne obszary: obszar A - dotyczy wyrobu, obszar B - charakterystyki materiału, a obszar C - karty technologicznej [51].

Narzędzie wspomagające komputerowo proces projektowania technologii obróbki cieplnej wykorzystuje bazę materiałów, którą można poszerzać o kolejne rekordy, stanowi ona zasób wiedzy większy niż wiedza specjalisty, co zapewnia optymalny dobór materiału dla danego procesu (stawianych wyrobowi właściwości). Zaprezentowane tu rozwiązanie stanowi oryginalne podejście w zakresie wspomaganie procesu projektowania technologii obróbki cieplnej, w tym doborze materiału.

### 6.3. Kontrola jakości w procesach obróbki cieplnej

Prawidłowe wykonanie operacji obróbki cieplnej gwarantuje uzyskanie określonych własności wyrobu. Jednoznaczne określenie korelacji pomiędzy jakością obrabianego wyrobu a parametrami technologicznymi stanowi jedno z najważniejszych działań w procesie projektowania technologii w zakresie określenia kryteriów kontroli jakości. Operacje kontroli jakości pozwalając na ilościowy sposób opisu jakości wyrobu, wynikający z ustalonych parametrów technologicznych i metod ich pomiaru. Miarami jakości wyrobów poddawanych



procesom obróbki cieplnej są np. twardość, wymiary, stan powierzchni, jednorodność struktury, rodzaj struktury [48,50,85].

Kontrola jakości wyrobów jak również kontrola jakości procesów produkcyjnych jest niezbędna dla uzyskania oczekiwanych właściwości wyrobów [64,74,83,134-136,146].

Kontrola jakości w procesach realizacji obróbki cieplnej jest konieczna w celu sprawdzenia, czy założenia dotyczące procesu zostały spełnione i czy nie wystąpiły problemy w trakcie realizacji procesu [50]. Odpowiednia realizacja procesów obróbki cieplnej stanowi gwarancję nie tylko w zakresie otrzymania jakości produktu finalnego, ale i również pozwala na zmniejszenie strat wynikających z powstawania wad podczas obróbki oraz obniżenie kosztów kontroli procesu. Jakość realizacji procesów obróbki cieplnej ma w wielu przypadkach decydujący wpływ na trwałość eksploatacyjną części maszyn i narzędzi.

Do podstawowych funkcji zarządzania jakością w zakresie procesu obróbki cieplnej można zaliczyć [52,85,156]:

- ocenę jakości materiałów wejściowych do procesu,
- kontrolę technicznych środków produkcji w trakcie realizacji procesu,
- monitorowania parametrów procesu,
- ocenę jakości wyrobów po zakończeniu realizacji poszczególnych operacji obróbki cieplnej.

Dla każdego rodzaju operacji obróbki cieplnej należy przyporządkować stosowany zakres kontroli jakości i tak przykładowo dla operacji hartowania należy kontrolować rozkład temperatury w piecu, skład chemiczny atmosfery ochronnej w piecu, czas poszczególnych zabiegów grzewczych, ilość cieczy chłodzącej, jej temperaturę i rodzaj, a także stan jej zużycia [48,50,56]. Powyższe zagadnienia muszą zostać wzięte pod uwagę na etapie projektowania technologii. Tablica 9 prezentuje zestawienie najistotniejszych wymagań w zakresie parametrów realizacji operacji nawęglania, które powinny być brane pod uwagę na etapie projektowania technologii.

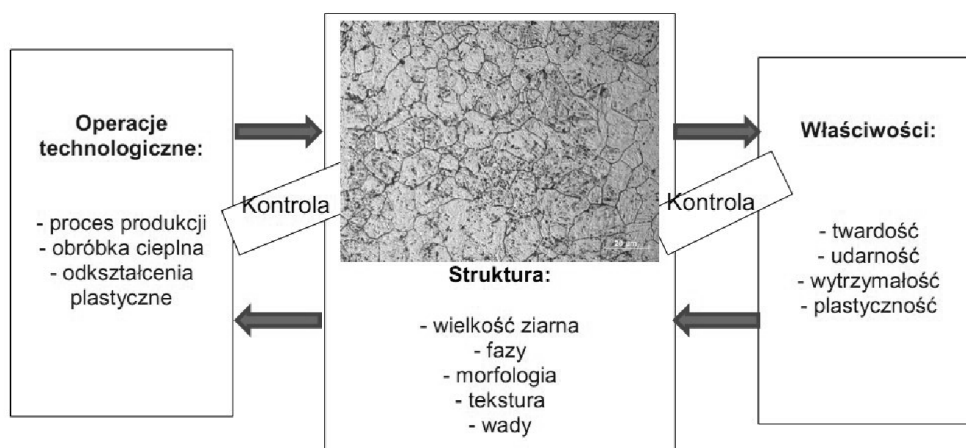
Zmiany własności materiału w procesach obróbki cieplnej w zasadniczy sposób kształtują charakterystykę właściwości wyrobu, stąd tak ważne jest precyzyjne określenie właściwości wyrobu w procesie kontroli jakości realizowanych procesów [44,85,90].

Pewne właściwości wyrobu są łatwo mierzalne, tak jak twardość, inne wymagają wykonania badań dla których wymagane jest przygotowanie określonych postaci materiału badawczego (np. wytrzymałość na rozciąganie). Właściwości dotyczące określenia jakości struktury, wymagają jeszcze większych nakładów pracy jak np. w zakresie oceny wielkości ziarna [50].

**Tablica 9. Parametry operacji nawęglania (w proszkach i gazowe) a właściwości materiału**

| Parametr                   | Wartość                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                            | Odpowiednia                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Nieodpowiednia                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Temperatura</b>         | Temperatura zazwyczaj wyższa od $A_{c3}$ , w celu uzyskania twardej i odpornej na ścieranie warstwy powierzchniowej z zachowaniem ciągłego rdzenia, Odpowiednio dobrana temperatura zapewnia równowagę pomiędzy szybkością absorpcji i dyfuzji węgla.                                                                 | Nawęglanie w proszkach - temperatura nie utrzymywana z dokładnością $\pm 10^{\circ}\text{C}$ w całej przestrzeni grzejnej pieca, powoduje otrzymanie nierównomiernych wyników,<br>Nawęglanie gazowe - wraz z obniżeniem temperatury zmniejsza się szybkość dyfuzji węgla, co powoduje uzyskanie cieńszych warstw, jak również nadmierną koncentrację węgla w pobliżu powierzchni. |
| <b>Czas</b>                | Nawęglanie w proszkach - całkowity czas nawęglania, potrzeby do uzyskania warstwy o żądanej grubości określa się drogą doświadczalną dla każdego rodzaju przedmiotów nawęglanych. Nawęglanie gazowe- przy wysokich temperaturach i podwyższonym potencjale węglowym atmosfery pozwala uzyskać krótki czas nawęglania. | Nawęglanie w proszkach - zbyt długi czas nawęglania powoduje osłabienie zdolności nawęglających proszku, skutkiem czego jest nieuzyskiwanie powtarzalności wyników nawęglania. Zbyt krótki - brak odpowiedniej grubości warstwy nawęglanej.                                                                                                                                       |
| <b>Ośrodek nawęglający</b> | W obu przypadkach ośrodkiem nawęglającym jest gaz z tym, że w jednym przypadku gaz nawęglający powstaje z proszku otaczającego przedmioty, a w drugim doprowadza się go do pieca z zewnątrz.<br>Optymalne stężenie węgla $0,7 \div 1,0\%$ C przy stałym potencjale węglowym $0,8 \div 1,1\%$ C.                       | Nawęglanie w proszkach - proszek może powodować nadmierne stężenie węgla w warstwie wierzchniej,<br>Nawęglanie gazowe - zbyt wysoki potencjał węglowy, może powodować wytwarzanie się większej ilości sadzy.<br>W przypadku źle dobranego potencjału węglowego nie uzyskamy wymaganego stężenia węgla w warstwie wierzchniej.                                                     |
| <b>Ośrodek chłodzenia</b>  | Nawęglanie w proszkach - powolne chłodzenie w skrzynkach,<br>Nawęglanie gazowe - chłodzenie po nawęglaniu zazwyczaj jest połączone z hartowaniem w oleju lub w wodzie, rzadziej w powietrzu.                                                                                                                          | Nawęglanie w proszkach - zbyt krótkie powoduje uzyskanie nierównomiernych wyników nawęglania.<br>Nawęglanie gazowe - może wystąpić odwęglanie części.                                                                                                                                                                                                                             |

Struktura materiału zawiera dużą ilość informacji o obrabianym materiale, w tym historii jego przetwarzania. Analiza struktury stanowi jeden z zakresów kontroli jakości obróbki cieplnej materiału, jak również zapewnia możliwości ustalenia i podjęcia działań poszukiwania korelacji pomiędzy cechami struktury a właściwościami materiału i parametrami procesu obróbki cieplnej. W tym zakresie ocena jakości struktur wyrobów wytwarzanych w procesach materiałowych obróbki cieplnej stanowi jedno z podstawowych rodzajów badań stosowanych w kontroli jakości. Rysunek 17 przedstawia korelację pomiędzy strukturą, technologią a właściwościami wyrobu w procesach materiałowych obróbki cieplnej.



**Rysunek 17.** Korelacje pomiędzy strukturą, technologią a właściwościami wyrobu w procesach obróbki cieplnej

#### 6.4. Analiza przyczyn powstawania wad w procesach obróbki cieplnej

W praktyce gdy związki między zmiennymi są określone przez badania naukowe wówczas dostępny jest aparat w postaci wzorów, tablic, wykresów zależności, korelujących parametry skutków z parametrami przyczyn, w praktyce jednak związki te nie zawsze są określone. Graficzne przedstawienie przyczyn powstawania niezgodności w procesie obróbki cieplnej w postaci diagramów Ishikawy stanowi skuteczne narzędzie pomocne w analizowaniu i pozwalając zaplanować odpowiedni sposób zapewnienia jakości realizacji procesu. Analiza rozpoczyna się od zdefiniowania niezgodności i prowadzona jest w kierunku identyfikacji wszystkich możliwych przyczyn jej powstania [25,35,69,102].

Do najczęściej stosowanych kategorii przyczyn wyodrębnionych w diagramie Ishikawy należą: człowiek, materiał, maszyna, stosowana metoda, organizacja pracy i środowisko. Diagramy Ishikawy stosuje się m.in. w celu rozpoznania zależności pomiędzy wymaganiami klienta a jakością finalnego wyrobu i ułatwiającego ustalanie jego cech, jednakże w zakresie zarządzania technologią też może stanowić użyteczne narzędzie [25,35,69,94]. Diagram Ishikawy wykorzystuje się również w układzie technologicznym, dotyczy on określenia wpływu zmienności występującej w układzie operacji na skutek, poszczególne kategorie z układu podstawowego Ishikawy zastępuje się wybranymi operacjami ze struktury procesu technologicznego [89].

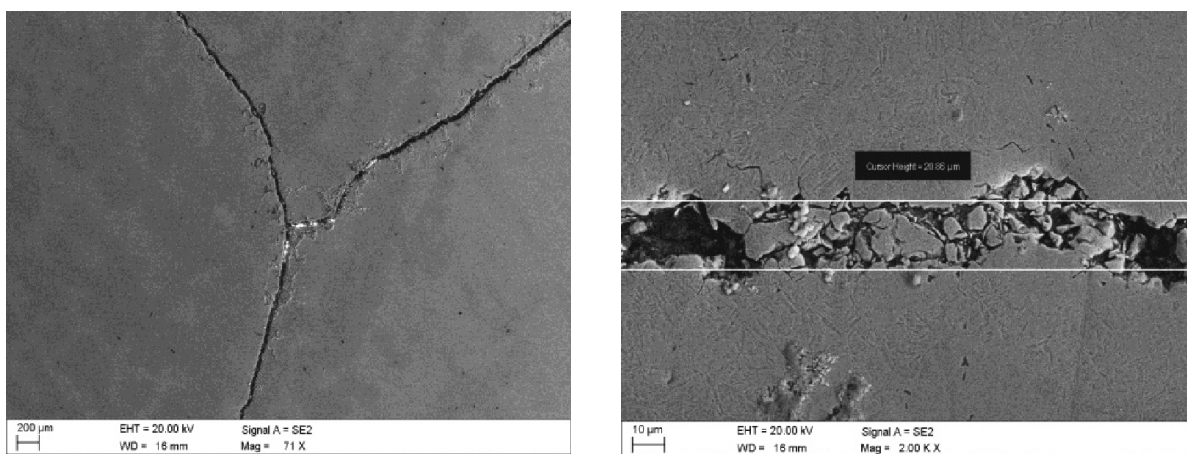
W zakresie realizacji procesów obróbki cieplnej można zastosować podział wad (niezgodności), poniżej zaprezentowano analizę dla operacji hartowania, kryterium podziału stanowiło możliwość ich usunięcia - tablica 10.

**Tablica 10.** Podział wad hartowniczych ze względu na możliwość ich usunięcia

| WADY HARTOWNICZE                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nieodwracalne (nie do usunięcia)                                                                                       | Odwracalne (możliwe do usunięcia)                                                                                                                                                                               |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pęknięcie hartownicze</li> <li>• Przepalanie</li> <li>• Utlenianie</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• „Miękkie plamy”</li> <li>• Nadtopienie *</li> <li>• Niska twardość</li> <li>• Odkształcenia i paczenie się *</li> <li>• Odwęglenie**</li> <li>• Przegrzanie</li> </ul> |

\* - wada do usunięcia przy niedostatecznych naddatkach na obróbkę wykańczającą,

\*\* - wada nie do usunięcia dla stali narzędziowych wysokostopowych i szybkotnących.

**Rysunek 18.** Pęknięcie hartownicze, stal 40HM, hartowanie w wodzie

Często występującą wadą w procesach obróbki cieplnej jest możliwość wystąpienia pęknięć. Dzieje się tak wówczas, gdy zastosuje się zbyt duże szybkości chłodzenia np. podczas operacji hartowania. Rysunek 18 przedstawia pęknięcie hartownicze wynikiem operacji hartowania martenzytycznego w stali 42CrMo4 (40HM).

Rysunek 20 prezentuje przykładowy diagramy Ishikawy dotyczący przyczyn powstawania wad dla operacji hartowania a dotyczących pęknięcia hartowniczego - rys. 18.

Wady w postaci pęknięć hartowniczych powstają w przedmiotach poddawanych szybkiemu chłodzeniu lub nagrzewaniu. Pęknięcia te wywoływane są naprężeniami przy osiągnięciu przez nie wartości przekraczających wytrzymałość rozdzielczą stali.

W zakresie zarządzania technologią w celu wyeliminowania możliwości powstania pęknięć należy:

- na etapie projektowania operacji hartowania odpowiednio dobrać: rodzaj ośrodka chłodzącego, temperaturę ośrodka chłodzącego, określić szybkość chłodzenia, temperaturę austenitizacji,



- na etapie weryfikacji projektu: uwzględnić charakterystykę materiału i postaci konstrukcyjnej w zakresie możliwości chłodzenia z dobranym ośrodkiem chłodzenia,
- na etapie opracowywania dokumentacji: przygotować wymagane instrukcje technologiczne, plany kontroli,
- na etapie realizacji procesów: stosować wymagane parametry procesów, w oparciu o opracowaną dokumentację i ustalone wyposażenie do monitorowania i pomiarów,
- w zakresie nadzoru nad procesem: dokonywać sprawdzenia skuteczności zastosowania wyposażenia do monitorowania i pomiarów, dokonywać analizy uzyskanych pomiarów.

Zdefiniowanie niezgodności w procesach stanowi rozpoczęcie procesu dedukcyjnego mającego na celu określenie przyczyn ich powstawania, ale także powinien stanowić proces określenia rekomendacji w zakresie zmiany w systemie zarządzania procesem, co powinno stanowić jedno ze zdefiniowanych działań korygujących stanowiących wynik powyższych analiz, jak również działań zapobiegawczych mających na celu wyeliminowanie możliwości powstania tożsamej wady (niezgodności) w przyszłości.

Poniżej przedstawiono wyniki przykładowej analizy dotyczącej niezgodności w procesie azotowania w kontekście zarządzania technologią. Nie jest celem poniższego przykładu zaprezentowanie metodyki rozwiązania problemu, ale przedstawienie uzyskanego wyniku w kontekście praktycznego działania w obszarze zarządzania technologią.

### **Określenie rodzaju niezgodności**

Zdefiniowana niezgodność w procesie obróbki cieplno-chemicznej dla stali niestopowej jakościowej do ulepszania cieplnego dotyczyła możliwości wystąpienia rdzawego nalotu na materiale po operacji azotowania - rys. 19 przedstawia produkt poddany procesowi azotowania wykonany ze stali C45 (45).



***Rysunek 19.** Materiał z rdzawym nalotem po procesie azotowania kąpielowego*



### **Analiza przyczyn wystąpienia niezgodności**

W wyniku wykonanych analiz określono, iż główną przyczyną występowania niezgodności jest zbyt duże zaszlamienie kąpieli azotującej.

### **Określenie działań doskonalących**

W celu eliminacji występującej niezgodności sformułowano wnioski związane z podjęciem następujących działań:

- kontroli zaszlamienia kąpieli azotującej,
- badania składu chemicznego kąpieli azotującej.

Zdefiniowane działania muszą zostać implementowane do rzeczywistych warunków realizacji procesu azotowania, związane jest to z podjęciem działań mających na celu modyfikację istniejących w tym zakresie procedur / instrukcji lub opracowanie nowych oraz organizacją systemu nadzoru i określenie tych działań w systemie sterownia procesem.

W powyższym zakresie w warunkach produkcyjnych opracowano instrukcję dla procesu, w której określono sposób, ilość i rodzaj przeprowadzonych kontroli i badań mających na celu uzyskanie żądanej jakości kąpieli azotującej (codzienna kontrola zaszlamienia kąpieli oraz badanie ilości cyjanków i węglanów w soli azotującej).

Wykorzystanie metod zarządczych do analizy problemu oraz wykonanie stosowanych badań jakości kąpieli i uzyskanie w ten sposób wnioski muszą zostać przetransponowane na działania operacyjne związane z technologią, powyższe stanowi przykład wpływu takich analiz w aspekcie zarządzania technologią.

Poprawa jakości procesów jak i wyrobów współcześnie jest wynikiem zastosowania różnego rodzaju narzędzi jakości. Jedną z metod zapewnienia jakości zalecaną również dla przedsiębiorstw z branży motoryzacyjnej jest analiza Failure Mode and Effect Analysis - (Analiza przyczyn i skutków wad) - FMEA. Metoda ta służy do systematycznego i kompleksowego wychwytywania i unikania potencjalnych błędów w konstrukcji, planowaniu i produkcji, a następnie ich eliminowanie lub minimalizowanie ryzyka z nimi związanego [29,165,170].

Metoda FMEA ukierunkowana jest na ciągłe doskonalenie wyrobów i procesów. Można ją z dużym powodzeniem wykorzystywać do procesów bardzo złożonych zarówno w produkcji masowej jak i jednostkowej [12].

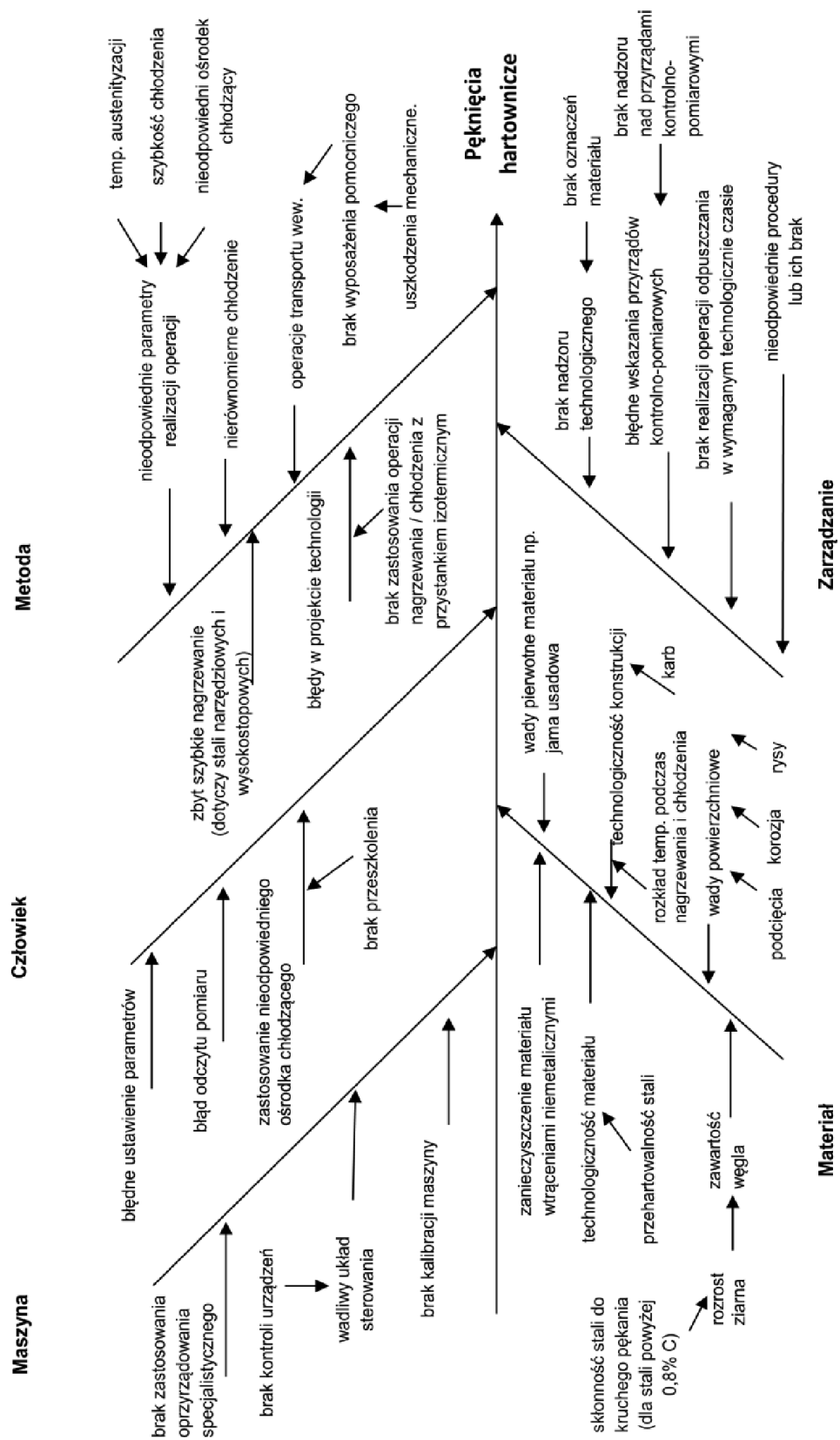
Tablica 11 przedstawia przykładowy arkusz analizy FMEA dla trzech faz procesu nawęglania.

Tablica 11. Arkusz analizy FMEA dla procesu nawęglania

| Fazy procesu                           | Potencjalny rodzaj niezgodności                                          | Potencjalny skutek niezgodności                                  | Z | Potencjalna przyczyna niezgodności                       | R | Wykrywalność niezgodności         | W | WPR | Zalecane działania zapobiegawcze | Odpowiedzi alność/termin | Wyniki podjętych działań |   |   |   |
|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|---|----------------------------------------------------------|---|-----------------------------------|---|-----|----------------------------------|--------------------------|--------------------------|---|---|---|
|                                        |                                                                          |                                                                  |   |                                                          |   |                                   |   |     |                                  |                          | Podjęte działania        | Z | R | W |
| Przyjęcie wyrobu do procesu nawęglania | Uszkodzenia powierzchni                                                  | Nieogodna geometria-po nawęglaniu                                | 6 | Brak stosowanych zabezpieczeń i / lub metod transportu   | 3 | Każda dostawa, wizualnie          | 2 | 54  |                                  |                          |                          |   |   |   |
|                                        | Korozja                                                                  | Nierównomierność warstwy nawęglonej, łuszczenie się warstwy      | 6 | Zawilgocenie, brak stosowanych zabezpieczeń              | 2 | Każda dostawa, wizualnie-         | 2 | 24  |                                  |                          |                          |   |   |   |
|                                        | Brak w zakresie ilości asortymentu                                       | Reklamacja, przestój w procesie produkcji                        | 6 | Niezgodność specyfikacji                                 | 5 | Każda dostawa, wizualnie          | 2 | 60  |                                  |                          |                          |   |   |   |
|                                        | Niewłaściwa / niekompletna dokumentacja                                  | Niezgodności w dokumentacji, brak możliwości rozpoczęcia procesu | 2 | Niewaga, nieodpowiedzialność                             | 5 | Każda dostawa, wizualnie          | 2 | 20  |                                  |                          |                          |   |   |   |
| Operacja nawęglania                    | Niezgodność w zakresie wymagań dotyczących parametrów warstwy nawęglonej | Niezgodność ze specyfikacją zamówienia, proces reklamacyjny      | 8 | Niewłaściwa temperatura operacji                         | 3 | Rejestrator, zapisy nadzoru pieca | 3 | 72  |                                  |                          |                          |   |   |   |
|                                        |                                                                          |                                                                  | 7 | Nieprawidłowy potencjał węglowy                          | 4 | Raport                            | 2 | 64  |                                  |                          |                          |   |   |   |
|                                        |                                                                          |                                                                  | 6 | Nieprawidłowe natężenie przepływu                        | 3 | Zapisy, plik excel                | 2 | 36  |                                  |                          |                          |   |   |   |
|                                        |                                                                          |                                                                  | 7 | Niewłaściwy czas operacji                                | 3 | Raport                            | 3 | 63  |                                  |                          |                          |   |   |   |
|                                        |                                                                          |                                                                  | 7 | Zastosowanie niewłaściwej dokumentacji                   | 2 | Wizualna, nadzór                  | 3 | 42  |                                  |                          |                          |   |   |   |
|                                        |                                                                          |                                                                  | 6 | Niewłaściwa atmosfera egzotermiczna                      | 2 | Raport                            | 3 | 36  |                                  |                          |                          |   |   |   |
|                                        |                                                                          |                                                                  | 7 | Człowiek: Zmęczenie, Niekompetencja (braki w szkoleniu). | 3 | Wizualna obserwacja               | 3 | 42  |                                  |                          |                          |   |   |   |
|                                        |                                                                          |                                                                  | 8 | Zanik zasilania / przerwa w procesie                     | 1 | Wizualna, Rejestrator             | 2 | 16  |                                  |                          |                          |   |   |   |
| Kontrola odbiorcza                     | Łuszczenie się powierzchni                                               | Reklamacje                                                       | 7 | Niewłaściwy sposób przygotowania materiału do obróbki    | 2 | Wizualna                          | 2 | 28  |                                  |                          |                          |   |   |   |
|                                        | Nieodpowiednia grubość warstwy                                           | Reklamacje                                                       | 4 | Niedotrzymanie parametrów procesu                        | 2 | Wizualna                          | 4 | 16  |                                  |                          |                          |   |   |   |

Oznaczenia: Z – znaczenie, R – występowanie, W – wykrywalność, WPR – wskaźnik priorytetu ryzyka

Rysunek 20. Przykładowy diagram Ishikawy



## 6.5. Koncepcja organizacji procesu zarządzania technologią na podstawie analizy ryzyka

Zakres zarządzania w odniesieniu do technologii stanowi indywidualne wymaganie każdego przedsiębiorstwa. Mimo licznych, różnych zakresów zagospodarowania tematu zarządzania w technologii, w tym także w obszarze procesów obróbki cieplnej, brak jednej spójnej metodologii postępowania w tym zakresie.

Dla przedsiębiorstw realizujących procesy obróbki cieplnej znaczącym problemem staje się określenie zakresu zarządzania technologią w celu uzyskania odpowiedniego należytego standardu odzwierciedlającego złożoność procesu. Brak w tym zakresie jest opracowanych i funkcjonujących metodologii.

Podstawą w zakresie organizacji zarządzania technologią w przedsiębiorstwie jest określenie i opracowanie procedury zarządzania technologią wraz z przyjętym przez przedsiębiorstwo sposobem rozwiązania problemu.

Poniżej zaproponowano rozwiązanie w zakresie określenia podejścia do zarządzania technologią na podstawie analizy ryzyka technologii.

Oszacowana wartość ryzyka technologii ma pozwolić na zdefiniowanie poziomu zagrożenia związanego z przyjęciem do realizacji opracowanego projektu technologii.

Zaproponowane rozwiązanie opiera się na modyfikacji programu zapewnienia jakości Międzynarodowego Instytutu Spawalnictwa. Opracowane rozwiązanie odnosi się do procesów obróbki cieplnej, jednakże może zostać zastosowane w innych procesach technologicznych. Analiza ta dotyczy zarówno technologii wdrażanych, jak i już stosowanych w praktyce przemysłowej.

Poniżej zaproponowano siedem kryteriów oceny ryzyka procesu technologicznego, przyjęta koncepcja oceny w tym względzie nie stanowi zbioru zamkniętego i może zostać zmodyfikowana.

Ocena ryzyka technologii w procesach obróbki cieplnej obejmuje określenie przedstawionych w tabelach od 12 do 18 liczb kryterialnych. Liczby kryterialne dotyczą następujących funkcji:

- **Funkcja użytkowa wyrobu** - dla którego projektowana jest technologia obróbki cieplnej, mając na uwadze, iż procesy obróbki cieplnej mogą stanowić wartość krytyczną, dla uzyskania oczekiwanych właściwości wyrobu poddaje się ocenie prawdopodobieństwo

wystąpienia uszkodzenia lub zniszczenia wyrobu ze względu na znaczenie realizowanych operacji obróbki cieplnej, w tym nie uzyskanie oczekiwanych właściwości wyrobu (tablica 12),

- **Funkcja złożoności projektu technologii** - poddaje się ocenie trudność wykonania projektu technologii, jak skomplikowany jest proces projektowania technologii, w zakresie określenia parametrów operacji, doboru parametrów ze względu na rodzaj materiału, złożoność zmiennych charakteryzujących daną technologię (tablica 13),

**Tablica 12.** Liczba kryterialna funkcji użytkowych wyrobu

| Opis stopnia zagrożenia w wyniku utraty właściwości cech wyrobu | Wartość liczbowa, $F_{uz}$ |
|-----------------------------------------------------------------|----------------------------|
| Brak ryzyka                                                     | 1                          |
|                                                                 | 2                          |
| Ryzyko małe                                                     | 3                          |
|                                                                 | 4                          |
| Ryzyko ograniczone                                              | 5                          |
|                                                                 | 6                          |
| Ryzyko znaczne (prawdopodobne)                                  | 7                          |
|                                                                 | 8                          |
| Ryzyko bardzo prawdopodobne                                     | 9                          |
|                                                                 | 10                         |

**Tablica 13.** Liczba kryterialna funkcji złożoności projektu technologii

| Opis złożoności projektu technologii                                  | Liczba, $F_{zp}$ |
|-----------------------------------------------------------------------|------------------|
| Projekt nie wymaga znacznych nakładów pracy, jest prosty w realizacji | 1                |
|                                                                       | 2                |
| Projekt wymaga pewnego nakładu pracy, jest prosty w realizacji        | 3                |
|                                                                       | 4                |
| Projekt wymaga znacznego nakładu pracy, jest złożony                  | 5                |
|                                                                       | 6                |
| Projekt wymaga znacznego nakładu pracy, jest bardzo złożony           | 7                |
|                                                                       | 8                |
| Projekt wymaga bardzo znacznego nakładu pracy, jest bardzo złożony    | 9                |
|                                                                       | 10               |



- **Funkcja innowacyjności projektu technologii** - poddaje się ocenie stopień innowacyjności w zakresie projektowania technologii, na ile stosuje się nowe rozwiązania operacji, zabiegów w realizacji technologii, czy są to technologie standardowe czy innowacyjne realizowane przez przedsiębiorstwo (tablica 14),
- **Funkcja technologiczności wyrobu** - poddaje się ocenie stopień łatwości realizacji technologii ze względu na technologiczność konstrukcji wyrobu, w zakresie trudności zaprojektowania i realizacji technologii ze względu na postać konstrukcyjną wyrobu (tablica 15),
- **Funkcja złożoności procesu technologicznego** - poddaje się ocenie ilość stosowanych operacji i zabiegów z zakresu obróbki cieplnej stosowanych w zaprojektowanej technologii oraz stopień trudności i skomplikowania ich realizacji (tablica 16),

**Tablica 14.** Liczba kryterialna funkcji innowacyjności projektu technologii

| Opis stopnia innowacyjności technologii                                                         | Liczba, $F_{it}$ |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| Projekt standardowy, technologia ogólnie stosowana i dostępna                                   | 1                |
|                                                                                                 | 2                |
| Projekt oparty o projekty standardowe z niewielkimi modyfikacjami                               | 3                |
|                                                                                                 | 4                |
| Projekt oparty o projekty standardowe ze znacznymi modyfikacjami, w tym w zakresie materiałowym | 5                |
|                                                                                                 | 6                |
| Projekt nowy jednak bazujący na ogólnie dostępnej wiedzy                                        | 7                |
|                                                                                                 | 8                |
| Projekt całkowicie nowy oparty na innowacyjnych zasadach                                        | 9                |
|                                                                                                 | 10               |

**Tablica 15.** Liczba kryterialna funkcji technologiczności wyrobu

| Opis stopnia technologiczności wyrobu                                                                                         | Liczba, $F_{tw}$ |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| Projekt dotyczy wyrobu o prostej konstrukcji i nie powiązanych ze sobą właściwościach                                         | 1                |
|                                                                                                                               | 2                |
| Projekt dotyczy wyrobu o niezbyt skomplikowanej konstrukcji i nie powiązanych ze sobą właściwościach                          | 3                |
|                                                                                                                               | 4                |
| Projekt dotyczy wyrobu o niezbyt skomplikowanej konstrukcji i występujących powiązaniach między właściwościami                | 5                |
|                                                                                                                               | 6                |
| Projekt dotyczy wyrobu o znaczącym skomplikowaniu konstrukcji i występujących powiązaniach między właściwościami              | 7                |
|                                                                                                                               | 8                |
| Projekt dotyczy wyrobu o znaczącym skomplikowaniu konstrukcji i znaczącej ilości występujących powiązań między właściwościami | 9                |
|                                                                                                                               | 10               |

- **Funkcja jakości technologii** - poddaje się ocenie prawdopodobieństwo uzyskania wyrobów niezgodnych w procesach wytwarzania stosujących zaprojektowany proces technologiczny (tablica 17),
- **Funkcja ekonomiczności technologii** – poddaje się ocenie poziom zaangażowania środków finansowych związanych z realizacją projektu technologii w celu osiągnięcia oczekiwanych właściwości wyrobu, w tym również poziom inwestycji związanych z modyfikacją technologii lub zakupu nowej, a także inwestycjami związanymi w organizację procesu technologicznego (tablica 18).

**Tablica 16.** Liczba kryterialna funkcji złożoności procesu technologicznego

| Opis stopnia złożoności procesu technologii                                                       | Liczba, $F_{zp}$ |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| Technologia o niewielkiej ilości operacji i zabiegów oraz niewielkim stopniu trudności realizacji | 1<br>2           |
| Technologia o znacznej ilości operacji i zabiegów oraz niewielkim stopniu trudności realizacji    | 3<br>4           |
| Technologia o niewielkiej ilości operacji i zabiegów oraz znacznym stopniu trudności realizacji   | 5<br>6           |
| Technologia o bardzo dużej ilości operacji i zabiegów oraz znacznym stopniu trudności realizacji  | 7<br>8           |
| Technologia o bardzo dużej ilości operacji i zabiegów oraz wysokim stopniu trudności realizacji   | 9<br>10          |

**Tablica 17.** Liczba kryterialna funkcji jakości technologii

| Opis stopnia wystąpienia wyrobów niezgodnych                                                                                                    | Liczba, $F_{jt}$ |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| Brak ryzyka wystąpienia wyrobów niezgodnych                                                                                                     | 1<br>2           |
| Ryzyko małe związane z operacjami nie technologicznymi                                                                                          | 3<br>4           |
| Ryzyko ograniczone związane z wystąpieniem wyrobów niezgodnych poprzez zastosowanie ponadstandardowych działań minimalizujących ich wystąpienie | 5<br>6           |
| Ryzyko znaczne (prawdopodobne) wystąpienia wyrobów niezgodnych mimo ponoszonych kosztów prewencji                                               | 7<br>8           |
| Ryzyko bardzo prawdopodobne w szczególności dotyczące operacji technologicznych                                                                 | 9<br>10          |

**Tablica 18.** Liczba kryterialna funkcji ekonomiczności technologii

| Opis stopnia zaangażowania środków finansowych                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Liczba, $F_{et}$ |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| Niski poziom zaangażowania środków finansowych związanych z realizacją projektu technologicznego oraz brak planowanych inwestycji związanych z realizacją technologii                                                                                                                                                                                         | 1<br>2           |
| Niski poziom zaangażowania środków finansowych związanych z realizacją projektu technologicznego oraz niski poziom planowanych inwestycji związanych z realizacją technologii                                                                                                                                                                                 | 3<br>4           |
| Znaczący poziom zaangażowania środków finansowych związanych z realizacją projektu technologicznego oraz brak planowanych inwestycji związanych z realizacją technologii lub Niski poziom zaangażowania środków finansowych związanych z realizacją projektu technologicznego oraz znaczący poziom planowanych inwestycji związanych z realizacją technologii | 5<br>6           |
| Wysoki poziom zaangażowania środków finansowych związanych z realizacją projektu technologicznego oraz znaczący poziom planowanych inwestycji związanych z realizacją technologii                                                                                                                                                                             | 7<br>8           |
| Wysoki poziom zaangażowania środków finansowych związanych z realizacją projektu technologicznego oraz wysoki poziom planowanych inwestycji związanych z realizacją technologii                                                                                                                                                                               | 9<br>10          |

Korzystając z opisu charakterystyk wartości kolejnych liczb kryterialnych poszczególnych funkcji przedstawionych w tablicach 12 - 18, zgodnie z wzorem (2) przeprowadza się ocenę **LPRT - Liczby Priorytetowej Ryzyka Technologii**:

$$LPRT = \frac{\sum_{k=0}^n \binom{n}{k} F_n}{n} \quad (2)$$

gdzie:

$F_n$  - poszczególne wartości funkcji,

$n$  - liczba funkcji.

Dla potrzeb opracowanej koncepcji oceny technologii proponuje się definiować trzy poziomy technologii:

- technologia bazowa (podstawowa),
- technologia główna (ramowa / szczegółowa / złożona / modyfikowana),

- technologia eksperymentalna (specjalna / prototypowa).

Na podstawie wzoru (2) obliczana jest **Liczba Priorytetowa Ryzyka Technologii LPRT** stanowi ona wartościową ocenę ryzyka w zakresie zarządzania technologią w procesach materiałowych.

Metoda ta nie wyklucza modyfikacji liczb kryterialnych w tym ich poszerzenia o kolejne, które przedsiębiorstwo uzna za ważne z punktu widzenia problematyki zarządzania technologią czy specyfiki danej technologii.

Liczba LPRT przyjmuje wartość w zakresie od 1 do 10, w zależności od uzyskanej wartości liczby LPRT określa się poziom ryzyka zarządzania technologią, proponowane rozwiązanie prezentuje tablica 19. Zaproponowane rozwiązanie przyjmuje dla poziomu C uzyskanie do 30% maksymalnej wartości liczby LPRT, poziom B określony jest przez zakres między 30 a 70% maksymalnej wartości liczby LPRT, poziom A - powyżej tej wartości.

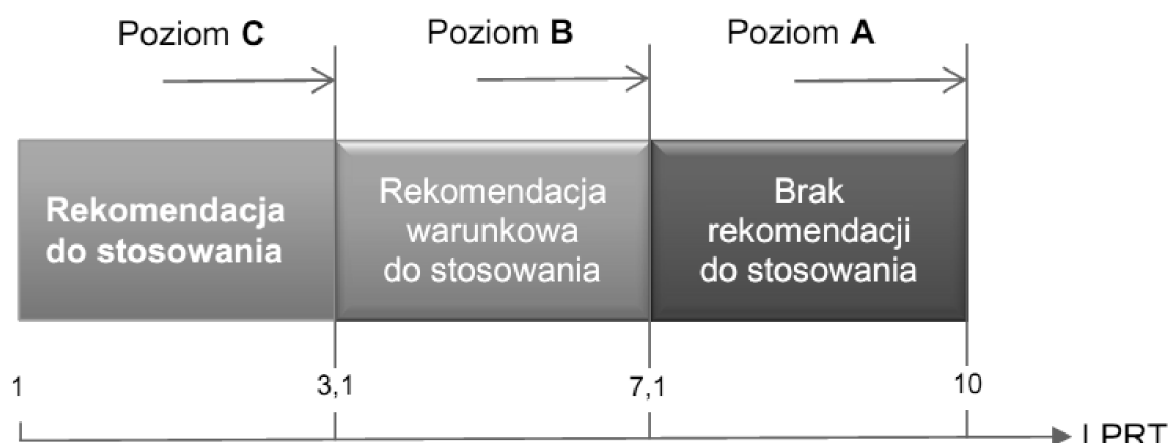
Technologia oceniona w zakresie dla poziomu A definiowana jest jako technologia eksperymentalna obciążona dużym ryzykiem stosowania, wymaga ona podjęcia działań mających na celu obniżenia ryzyka związanego z jej zastosowaniem do poziomu B, który charakteryzuje rodzaj technologii określonych jako główna, a więc takie dla których możemy stosować znane procedury, mimo iż wartość ryzyka jest nadal wysoka, to poprzez zastosowanie odpowiedniego rodzaju działań zarządczych przedsiębiorstwo jest w stanie zagwarantować wysoki poziom efektywności realizacji technologii.

Dla potrzeb wdrożeniowych skala zaprezentowana w tablicy 19 może być dostosowywana do indywidualnych wymagań analizowanej technologii i / czy specyfiki przedsiębiorstwa.

Jeżeli ocena technologii klasyfikuje się na poziomie „C” - technologia oceniana dostaje rekomendację do jej stosowania, jeżeli klasyfikacja dotyczy poziomu „B” - technologia dostaje rekomendację warunkową z zaznaczeniem podwyższonego ryzyka jej stosowania, jeżeli technologia została sklasyfikowana jako „A” - technologia nie otrzymuje rekomendacji, ze wskazaniem podjęcia działań mających za zadanie obniżenia jej oceny do poziomu „B” lub „C” - rysunek 21.

**Tablica 19.** Ocena ryzyka zarządzania technologią na podstawie wartości liczby LPRT

| Wartość liczby LPRT | Poziom ryzyka technologii |
|---------------------|---------------------------|
| 7,1 - 10            | A                         |
| 3,1 - 7             | B                         |
| 1 - 3               | C                         |



**Rysunek 21.** Interpretacja wyników analizy ryzyka technologii

## 6.6. Metodologia oceny obszarów krytycznych technologii

Proces technologiczny ma za zadanie zmianę postaci materiału w zakresie kształtu, wymiarów, jakości powierzchni i właściwości fizyko-chemicznych. Funkcję procesu technologicznego można zapisać jako zmianę stanu początkowego  $S_0$  określanego jako stan wejściowy a otrzymaniem stanu końcowego  $S_k$  określanego jako stan wyjściowy. Funkcją procesu technologicznego jest przekształcenie zbioru właściwości początkowych materiału w zbiór cech właściwości końcowych zgodnie z regułą (3):

$$F: S_0 \xrightarrow{5M} S_k \quad (3)$$

gdzie:

$F$  - funkcja procesu technologicznego,

$S_0$  - stan wejściowy,

$S_k$  - stan wyjściowy,

$5M$  - maszyny, ludzie, materiał, proces, zarządzanie, środowisko.

Każdy proces technologiczny rozpatrywany jako łańcuch następujących po sobie operacji technologicznych zaplanowanych w logicznym ciągu umożliwiających osiągnięcie zaplanowanych właściwości wyrobu, można rozpatrywać pod względem określenia wagi wpływu danej operacji na właściwości finalnego wyrobu. Rysunek 22 przedstawia propozycję budowy mapy obszarów krytycznych technologii.

Mapa obszarów krytycznych procesów technologicznych pozwala w wyniku



przeprowadzonej analizy określenie operacji najważniejszych w kontekście osiągniętych właściwości wyrobu, biorąc pod uwagę, iż klienci oceniają jakość produktu finalnego, a jego właściwości mogą być tworzone na różnym etapie realizacji procesu wytwarzania, tym bardziej istotne jest określenie, dla których operacji należy przeprowadzić szczegółowe analizy wymagań realizacji procesu, w tym szczegółowego określenia technologii.

Zaproponowane podejście przedstawione na rysunku 22 pozwala na wizualizację obszarów krytycznych technologii i w kolejności podjęcie analiz mających na celu ich minimalizację poprzez podjęcie działań na etapie projektowania technologii.

W celu parametryzacji przedstawionego powyżej rozwiązania proponuje się zastąpienie oznaczeń siły wpływu za pomocą znaków a przypisania im następujących wartości: znak „+” wartość liczbowa 2, znak „-” wartość liczbowa 1, znak „x” wartość liczbowa 0. W ten sposób uzyskuje się postać macierzową zapisu obszarów krytycznych technologii, rysunek 23 przedstawia uzyskaną mapę obszarów krytycznych dla procesu technologicznego złożonego z trzech operacji. Kolorem zaznaczono siłę wpływu, kolor czerwony - obszar bardzo istotny, kolor żółty - obszar ważny, kolor zielony - obszar neutralny.

|                                |       |       |       |       |     |     |       |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-------|
| Właściwości wyrobu, $W_w$      | $W_n$ |       |       |       |     |     |       |
|                                | ...   |       |       |       |     |     |       |
|                                | ...   |       |       |       |     |     |       |
|                                | ...   |       |       |       |     |     |       |
|                                | ...   |       |       |       |     |     |       |
|                                | ...   |       |       |       |     |     |       |
|                                | $W_3$ |       |       |       |     |     |       |
|                                | $W_2$ |       |       |       |     |     |       |
|                                | $W_1$ |       |       |       |     |     |       |
|                                |       | $O_1$ | $O_2$ | $O_3$ | ... | ... | $O_n$ |
| Operacje technologiczne, $O_t$ |       |       |       |       |     |     |       |

(Oznaczenie wpływu: „+” - silny, „-” - słaby, „x” - neutralny)

**Rysunek 22.** Mapa obszarów krytycznych technologii

Uzyskane wyniki analizy jak na rysunku 23 mogą podlegać parametryzacji zgodnie z wzorem (4):

$$LKT = \frac{\sum_1^n x_1 \dots x_n}{2 \cdot n_W \cdot n_O} \quad (4)$$

gdzie:

LKT - liczba krytyczna technologii,

$n_W$  - ilość przyjętych do analizy kryteriów właściwości wyrobu,

$n_O$  - ilość przyjętych do analizy operacji technologicznych,

$x_n$  - wartość liczbowa w zakresie od 1 do n.

Wartość **Liczy Krytycznej Technologii LKT** może przyjmować wartości od 0 do 1. Proponuje się interpretację uzyskanych wyników w następujący sposób, zgodnie z tablicą 20.

|                              |       |                                |       |       |
|------------------------------|-------|--------------------------------|-------|-------|
| Właściwości<br>wyrobu, $W_w$ | $W_3$ | 1                              | 2     | 2     |
|                              | $W_2$ | 0                              | 1     | 2     |
|                              | $W_1$ | 2                              | 0     | 1     |
|                              |       | $O_1$                          | $O_2$ | $O_3$ |
|                              |       | Operacje technologiczne, $O_t$ |       |       |

**Rysunek 23.** Przykładowa mapa obszarów krytycznych technologii

**Tablica 20.** Interpretacja wyników analizy obszarów krytycznych LKT

| Wartość LKT     | Poziom krytyczności technologii |
|-----------------|---------------------------------|
| od 0,61 do 1,00 | A                               |
| od 0,31 do 0,60 | B                               |
| od 0,00 do 0,30 | C                               |

**Tablica 20.** Zastosowanie narzędzi, metod i zasad zarządzania w procesie technologicznym

| Struktura procesu technologicznego | Narzędzia                                                                                                                     | Metody                                        | Zasady                                              |
|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
|                                    | zarządzania                                                                                                                   |                                               |                                                     |
| <b>Fazy</b>                        | Schemat blokowy<br>Diagram Ishikawy<br>Arkusz Kontrolny<br>Diagram Pareto<br>Histogram<br>Karta kontrolna<br>Wykres korelacji | QFD<br>Analiza wartości<br>FMEA<br>DOE<br>SPC | PDCA<br>Kaizen<br>„zero defect”<br>Pracy zespołowej |
| <b>Operacje</b>                    | Schemat blokowy<br>Diagram Ishikawy<br>Arkusz kontrolny<br>Diagram Pareto<br>Histogram<br>Karta kontrolna<br>Wykres korelacji | FMEA<br>DOE<br>SPC<br>Analiza wartości        | PDCA<br>Kaizen<br>„zero defect”<br>Pracy zespołowej |
| <b>Zabiegi</b>                     | Arkusz kontrolny<br>Diagram Ishikawy                                                                                          | SPC                                           | PDCA<br>Kaizen<br>„zero defect”                     |
| <b>Czynności</b>                   | Arkusz kontrolny<br>Diagram Ishikawy                                                                                          |                                               | PDCA<br>Kaizen<br>„zero defect”                     |
| <b>Ruchy robocze /elementarne</b>  | Arkusz kontrolny<br>Diagram Ishikawy                                                                                          |                                               | PDCA<br>Kaizen<br>„zero defect”                     |

Ustalone wartości LKT mogą ulegać modyfikacji w zależności od ogólnej oceny realizowanego procesu lub przyjętych w tym zakresie założeń przez przedsiębiorstwo. Poziom „C” - oznacza technologię bezpieczną w realizacji dla przedsiębiorstwa, należy zastosować w jej realizacji standardowy zakres metody i narzędzia określonych przez przedsiębiorstwo w zakresie zarządzania technologiami, poziom „B” - oznacza technologię podwyższonego ryzyka - należy określony zakres metod i narzędzi zarządzania technologiami określonymi dla tego poziomu, poziom „A” - oznacza technologię krytyczną, dla której należy zastosować określone w procedurze zarządzania technologią metody i narzędzia zarządzania.

Ze względu na przyjęty powyżej sposób interpretacji, krytyczność technologii należy podejmować działania w przedsiębiorstwach mające na celu zastosowanie odpowiedniego rodzaju metod i narzędzi zarządzania jakością w celu zapewnienia jakości realizowanego procesu.

Ze względu na wynikającą ze sposobu prowadzenia analizy zaproponowaną metodykę, w której przedsiębiorstwa dokonują określenia stosowanych metod i narzędzi zarządzania jakością w funkcji wartości Liczby Krytycznej Technologii, zwraca się uwagę na istotę zapisu i realizacji podejścia, iż dla poziomu krytyczności technologii „B” i „A” w zakresie zastosowania przewidzianych w procedurze metod i narzędzi przedsiębiorstwo musi przed ich zastosowaniem dokonać weryfikacji mającej na celu ocenę skuteczności ich zastosowania. Działanie te pozwala zapewnić wysoką zgodność zastosowania określonych metod i narzędzi w analizowanym obszarze oraz ocenić racjonalność ich zastosowania.

Na każdym z poziomów struktury procesu technologicznego można i powinno się stosować adekwatne narzędzia, metody i zasady zarządzania. Tablica 20 prezentuje możliwość ich zastosowania w odniesieniu do każdego z poziomów struktury procesu technologicznego.

## 6.7. Metodologia zarządzania dokumentacją procesu technologicznego

Zagadnienie związane z zarządzaniem dokumentacją występuje w każdym przedsiębiorstwie bez względu na jego wielkość czy rodzaj prowadzonej działalności. Zagadnienie zarządzania dokumentacją w zakresie realizacji procesów technologicznych związane jest z uzyskaniem odpowiedniego poziomu sprawności przepływu informacji gwarantującego wysoką skuteczność realizacji procesu.

Dokumentacja procesu technologicznego współcześnie zawiera wiele różnych dokumentów, panuje pogląd, iż dla wielu rzeczywistych procesów produkcyjnych przygotowywany jest biurokratyczny zakres dokumentacji, mniej lub bardziej adekwatny do rzeczywistych potrzeb jak również w większym lub mniejszym stopniu wykorzystywany w realnych warunkach produkcji. Współcześnie jednak w szczególności ze względu na wzrastające wymagania i stosowane systemy zarządzania, ilość dokumentacji operacyjnej rośnie, co wymusza na technologach znajomość również i tego obszaru wiedzy w celu jak najbardziej efektywnego zarządzania pod względem ilości przygotowywanych dokumentów zarządczych w tym obszarze.

Zagadnienie zarządzania dokumentacją w kontekście przepisów dotyczących harmonizacji technicznej i normalizacyjnej na obszarze Unii Europejskiej wnosi w zakresie spełnienia wymagań Dyrektyw Nowego Podejścia pewne obostrzenia związane z określeniem w przedsiębiorstwie zakresu dokumentów stanowiącego podstawę weryfikacji projektu

i procesu produkcji w zakresie oceny zgodności spełnienia wymagań przez dany produkt. W tym obszarze przedsiębiorstwa powinny również analizować to zagadnienie specyfikując zakres dokumentacji dla produktu i procesu.

Dokumentacja współcześnie wraz z powstaniem systemów zarządzania posiada swój dualistyczny charakter kompensujący się w całość określaną jako dokumentacja systemu zarządzania. Jeden obszar dokumentacji to dokumenty porządkujące stanowiące zbiór informacji odpowiadających na pytania: kto, co, gdzie, kiedy, jak oraz drugi obszar dokumentów klasyfikowanych jako zapisy stanowiące zbiór informacji określających opisywane stany odpowiadając np. na pytanie: ile.

Hierarchiczność budowy struktury dokumentacji stosowanej w systemach zarządzania jakością dzieli ją na poziom strategiczny do którego zaliczamy politykę w zakresie zarządzania i przewodnik po systemie definiowany jako księgę jakości oraz poziom operacyjny związany z opracowywaniem i wykorzystaniem dokumentacji w postaci procedur, instrukcji, planów, raportów i innych, w tym zapisów. W zakresie zarządzania technologią istotnym jest określenie odpowiedniego zakresu dokumentacji operacyjnej stosowanej w praktyce przemysłowej.

Dokumenty dotyczące realizacji procesu są zarówno ważne dla personelu zaangażowanego w realizację procesu jak również dla klientów. Służą one między innymi, jako dowód w ewentualnych sporach dotyczących regresów wynikających z umów z klientem, są one również ważne na etapie odrzucenia partii w fazie jej odbioru, ponadto, mogą być stosowane w celu kontroli jakości i zapobiegania powstawaniu niezgodności, jako narzędzie pozwalające definiować wnioski w zakresie modyfikacji ustawień parametrów, programów i procesów.

W szczególności należy mieć na uwadze sytuację dotyczącą modyfikacji procesu technologicznego, którego efekt ma stanowić poprawę jakości procesu w określonych kryteriach, jednak ze względu na brak skuteczności zarządzania dokumentacją uzyskuje się działanie przeciwne powodujące powstanie niezgodności w realizacji procesu, co wynika najczęściej z braku konsekwencji wprowadzania zmian w dokumentacji.

Określono cel związany z zarządzaniem dokumentacją, dotyczy on ustalenia zakresu dokumentacji technologicznej (produkcyjnej), która zapewni uzyskanie najlepszej jakości realizacji procesu (produktu) i zminimalizuje ilość stosowanej dokumentacji (uzyskanie redukcji liczby dokumentów).



### Opis problematyki:

W procesach produkcyjnych stosowanych jest wiele rodzajów dokumentów (ich ilość rośnie w bardzo dużym tempie), część dokumentów wynika ze stosowanych przez przedsiębiorstwa systemów zarządzania. Ilość dokumentów z jednej strony jest przydatna jako nośnik informacji, z drugiej może powodować liczne błędy, powtórzenia lub rozbieżności.

Szczególne znaczenie poruszanego tu problemu dotyczy spełnienia przez przedsiębiorstwo wymagań wielu utrzymywanych procesów, tak zgodnie z przedstawioną w pkt. 6.1 niniejszej pracy hierarchizacją wymagań w obszarze procesów realizujących operacje obróbki cieplnej, ale także w przypadku przedsiębiorstw posiadających zintegrowane lub niezintegrowane mulit-systemy zarządzania.

Postawiony problem dotyczy określenia niezbędnych dokumentów do realizacji procesów technologicznych do niezbędnego minimum na podstawie analizy ich ważności określonej przez skalę: 1 - mało ważny, 3 - istotny, 5 - bardzo ważny, z uwzględnieniem etapów wykorzystania dokumentacji na etapie: projektowania, realizacji i doskonalenia.

Tablica 21 przedstawia zaproponowany arkusz wspomagający analizę ważności stosowanej w procesach technologicznych dokumentacji. Dla tak przygotowanego sposobu prowadzenia analizy ważności dokumentacji (tab. 21) przedsiębiorstwo powinno wykorzystać zbiór stosowanych dokumentów, analizę taką proponuje się wykonywać na etapie projektowania procesu technologicznego, co pozwoli w racjonalny sposób określić niezbędne minimum dokumentacji jak również zagwarantuje uzyskanie zbioru dokumentów pozwalających w skuteczny sposób wykonać proces.

Stosowany do powyższej analizy zbiór dokumentów powinien wynikać z przeprowadzonej krytycznej weryfikacji wymagań nałożonych na przedsiębiorstwo przez przepisy prawa, wdrożone systemy zarządzania, stosowane specyfikacje, regulacje wewnętrzne, umowy z klientami i inne.

**Tablica 21.** Przykładowy arkusz analizy ważności dokumentacji

| Nazwa dokumentu | Etap          |            |              |
|-----------------|---------------|------------|--------------|
|                 | Projektowania | realizacji | doskonalenia |
| <b>A</b>        | 5             | 5          | 1            |
| <b>B</b>        | 3             | 3          | 1            |
| <b>C</b>        | 1             | 3          | 3            |
| .....           |               |            |              |
| <b>Z</b>        | 1             | 5          | 5            |

**Tablica 22.** Przykładowy arkusz analizy ważności dokumentacji na etapie realizacji procesu

| Nazwa dokumentu | Nr operacji technologicznej |   |   |   |     |     |   |
|-----------------|-----------------------------|---|---|---|-----|-----|---|
|                 | 1                           | 2 | 3 | 4 | ... | ... | n |
| A               |                             |   |   |   |     |     |   |
| B               |                             |   |   |   |     |     |   |
| C               |                             |   |   |   |     |     |   |
| .....           |                             |   |   |   |     |     |   |
| Z               |                             |   |   |   |     |     |   |

Stosowany do powyższej analizy zbiór dokumentów powinien wynikać z przeprowadzonej krytycznej weryfikacji wymagań nałożonych na przedsiębiorstwo przez przepisy prawa, wdrożone systemy zarządzania, stosowane specyfikacje, regulacje wewnętrzne, umowy z klientami i inne.

Zaprezentowany arkusz (tab.21) może zostać poszerzony o kolejną analizę bardziej szczegółową ze względu na stosowanie dokumentów na etapie realizacji procesu z rozbiciem tego etapu na poszczególne operacje procesu technologicznego - przykład prezentuje tablica 22.

Interpretacja wyników przeprowadzonej analizy dotyczy również sposobu modyfikacji i odpowiedniego zarządzania dokumentacją, i tak dokumenty o statusie określonym jako **bardzo ważne (5)** muszą podlegać stosownej procedurze weryfikacji i zatwierdzania, ze względu na ich znaczenie, dokumenty o statusie określonym jako **istotne (3)** podlegają weryfikacji pod względem ich przydatności i możliwości redukcji poprzez wykorzystanie innego dokumentu lub kompensację treści w innym dokumencie, zasadnym na tym poziomie staje się poszukiwanie odpowiedzi na pytanie: czy istnieje możliwość redukcji tego dokumentu poprzez dokument o wyższej randze obejmujący swym zakresem większy obszar aniżeli wybrany jeden proces, dokument o statusie określonym jako **mało ważny (1)** powinien zostać poprzez podjęcie odpowiednich działań zarządczych anulowany, jednakże treści i zakres w nim zawarty przeniesiony do innego dokumentu w postaci treści podstawowych lub jako załącznik, lub stanowi to wytyczną do opracowania uogólnionej formuły zakresu dokumentu w skali całego przedsiębiorstwa.

Stosowane w praktyce przemysłowej dokumenty dotyczą i obejmują:

- analizy wymagań klienta,
- schematy, szkice, rysunki, specyfikacje materiałowe,
- analizy zmienności, zagrożeń, ryzyka,
- oceny dostawców,

- plany realizacji, strategie, wizje,
- polityki, zalecenia, nakazy, rekomendacje oraz regulacje wewnętrzne i korporacyjne,
- normy techniczne, normy branżowe, specyfikacje,
- plany badań i kontroli,
- certyfikaty, atesty, świadectwa z badań,
- dane techniczne, instrukcje obsługi,
- procedury, instrukcje zarządcze, przewodniki (księgi) w zakresie wdrożonych systemów,
- patenty, dokumenty objęte klauzulą poufności,
- analizy przyczyn, rejestry zmian, działań doskonalących,
- zapisy wyników, raporty, karty pomiarowe, karty kontroli i autokontroli,
- instrukcje operacyjne, stanowiskowe,
- karty stanowisk pracy,
- karty technologiczne, plany procesów, diagramy przepływów,
- wymagania ustawowe i przepisy prawa,
- i wiele innych, dostosowywanych do indywidualnych potrzeb oraz wymagań znajdujących zastosowanie w przedsiębiorstwie, powyższy zbiór w żaden sposób nie może zostać uznany za uniwersalny.

Zarządzanie dokumentacją technologiczną w odniesieniu do wybranych dokumentów z powyżej zaprezentowanego zestawu może w pewnym zakresie zostać z powodzeniem zrealizowane przez zaprezentowaną w rozdziale 6.2 aplikację komputerową. Stanowiący jej część składową blok „Baza danych materiałów” zawiera dane materiałów, w tym dane dotyczące temperatur realizacji obróbki cieplnej, rodzaju zastosowania, warunków pracy, postaci materiału, wytrzymałości, a także dane dotyczące pasm hartowności, dane stanowią bazę wiedzy materiałowej. Blok „Przeliczenia” służy do uzyskania wyników w zakresie określenia czasów zabiegów operacji obróbki cieplnej. Zaprojektowane narzędzie wspomagające dobór materiału oraz parametrów procesów obróbki cieplnej spełnia podstawowe wymagania dotyczące technologii obróbki cieplnej.

Wynikiem zastosowania opracowanej aplikacji jest możliwość archiwizacji i wydruku kart technologicznych poszczególnych operacji obróbki cieplnej i w tym zakresie stanowi ono narzędzie wspomagania w zakresie zarządzania dokumentacją technologiczną.

Opracowana aplikacja dedykowana jest w bieżącej wersji tylko dla stali konstrukcyjnych w podstawowym zakresie obróbki cieplnej zwykłej.