

Techniczno-organizacyjne aspekty inżynierii produkcji



Redakcja naukowa:
Joanna Kopania
Barbara Galińska
Grzegorz Bogusławski

Monografie Politechniki Łódzkiej
Łódź 2017

**TECHNICZNO-ORGANIZACYJNE ASPEKTY
INŻYNIERII PRODUKCJI**

prace studentów

Wydziału Zarządzania i Inżynierii Produkcji PŁ

Redakcja naukowa:
Grzegorz Bogusławski
Barbara Galińska
Joanna Kopania

Monografie Politechniki Łódzkiej
Łódź 2017

Recenzenci:
prof. dr hab. inż. Ryszard Grądzki
dr inż. Jacek Karczewski
dr inż. Andrzej Marcinkowski

Redaktor Naukowy Wydziału Zarządzania i Inżynierii Produkcji:
prof. dr hab. inż. Jerzy Lewandowski

© Copyright by Politechnika Łódzka 2017

Projekt okładki:
Katarzyna Kopania

WYDAWNICTWO POLITECHNIKI ŁÓDZKIEJ

90-924 Łódź, ul. Wólczańska 223
tel. 42-631-20-87, 42-631-29-52
fax 42-631-25-38
www.wydawnictwa.p.lodz.pl

ISBN 978-83-7283-871-1

Publikacja elektroniczna
Nr 2232

SPIS TREŚCI

WPROWADZENIE	5
ZARZĄDZANIE ENERGIĄ W PRZEDSIĘBIORSTWIE PRODUKCYJNYM – STUDIUM PRZYPADKU	7
<i>Adrian Lewandowski</i>	
ODZYSK CIEPŁA Z INSTALACJI CHŁODNICZYCH W ZAKŁADACH PRZEMYSŁOWYCH – STUDIUM PRZYPADKU	25
<i>Tomasz Pawlik</i>	
CONFORMAL COATING – INNOWACYJNA METODA NA PRZEDŁUŻENIE ŻYCIA WSPÓŁCZESNEJ ELEKTRONIKI	38
<i>Paweł Milek</i>	
ZASADY DZIAŁANIA ORAZ PROCES TECHNICZNO-PRODUKCYJNY URZĄDZEŃ CIĘGŁOWO-ZDERZNYCH NA BAZIE POJAZDU SZYNOWO-DROGOWEGO ORION 9C160	46
<i>Konrad Puławski, Paulina Palmowska</i>	
INNOWACYJNE ROZWIĄZANIA W PROCESIE PRODUKCJI CUKRU BIAŁEGO Z BURAKÓW CUKROWYCH	63
<i>Kinga Baryga</i>	
MAPOWANIE STRUMIENIA WARTOŚCI STANU OBECNEGO W PRZEDSIĘBIORSTWIE PRODUKCYJNYM	73
<i>Paweł Patorski</i>	
INNOWACYJNE ROZWIĄZANIA ORGANIZACYJNE W PROCESIE WYBORU DOSTAWCÓW USŁUG TRANSPORTOWYCH. 90	
<i>Ewa Junkiert, Barbara Galińska</i>	
ROZWÓJ INSTALACJI FOTOWOLTAICZNYCH	103
<i>Kamil Stelmaszewski</i>	
ENERGETYKA SŁONECZNA – WYMAGANIA PRAWNE A INNOWACJE	113
<i>Dominik Malinowski, Paulina Helbik</i>	
WDRAŻANIE INNOWACYJNYCH ROZWIĄZAŃ A KOMERCJALIZACJA WYNIKÓW BADAŃ NAUKOWYCH – PODSUMOWANIE	134
<i>Jacek Karczewski</i>	

1. WPROWADZENIE

Prezentowana monografia wieloautorska jest pierwszym tomem prac studentów Wydziału Zarządzania i Inżynierii Produkcji Politechniki Łódzkiej i wyrazem zainteresowania młodych osób tematyką inżynierii produkcji, w bardzo szerokim ujęciu. Oddany do rąk Czytelników zbiór artykułów tworzą teksty napisane przez studentów i naukowców, reprezentujących krajowe ośrodki naukowe z obszaru technicznego.

Inżynieria produkcji to stosunkowo nowa dziedzina wiedzy, która wyrosła na styku różnych dyscyplin naukowych. Korzysta ona z dorobku nauk technicznych, ekonomicznych, humanistycznych i społecznych, wykorzystując wiedzę teleinformatyczną, wiedzę o zarządzaniu, komunikacji społecznej i pobudzaniu kreatywności pracowniczej. Jej cechą szczególną jest otwartość na problemy interdyscyplinarne oraz poszukiwanie nowych obszarów badawczych i innowacyjnych w celu rozwoju przedsiębiorstw i podniesienia kompetencji pracowników oraz kadry menedżerskiej.

Sama definicja „inżynierii” mówi, że jest to działalność polegająca na projektowaniu, konstruowaniu, modyfikowaniu i utrzymaniu technicznych aspektów działalności przedsiębiorstw z uwzględnieniem efektów kosztowych. Inżynieria zajmuje się też rozwojem technologii, co oznacza że wykorzystując materię i energię, tworzona jest konstrukcja maszyn i produktów, przeznaczonych do wykonywania określonych funkcji lub rozwiązania określonego problemu. Inżynierowie rozwiązują najczęściej problemy techniczne niezbędne do prawidłowego funkcjonowania wielu procesów produkcyjnych. Istotnym aspektem jest jednak to, że muszą oni oceniać wiele możliwych rozwiązań pod kątem ich przydatności, bezpieczeństwa i efektywności ekonomicznej i na tej podstawie wybierać rozwiązania najlepiej spełniające założone wymagania. Niezbędne stają się również umiejętności zarządzania oraz kompetencje kierownicze. Od współczesnego inżyniera wymaga się bowiem tego, aby dokonywał całościowej analizy i interpretacji procesów technologicznych zachodzących w przedsiębiorstwach. Często w trakcie realizacji projektu lub przedsięwzięcia w przedsiębiorstwie, inżynier odpowiada również za budżet, zarządza podległym zespołem, zajmuje się organizowaniem spotkań i negocjacjami z potencjalnymi klientami. To oznacza, że inżynier musi mieć wiedzę z zakresu zarządzania, ekonomii, finansów i rachunkowości oraz prawa. Do tego dochodzą kompetencje techniczne, które pozwalają wykorzystać wiedzę o cyklu życia urządzeń, maszyn, obiektów i systemów technicznych w aspekcie ekologii; technologii produkcji czy informatyki.

Definicja „produkcji” mówi, że jest to działalność polegająca na wytworzeniu towarów, dóbr lub usług do zaspokojenia potrzeb konsumpcyjnych społeczeństwa. Działania te rozumie się bardzo szeroko, od pozyskania podstawowych materiałów, aż do sprzedaży finalnego produktu. Zgodnie z podstawową teorią ekonomii produkcją nazywamy przekształcenie czynników produkcji (ziemi, pracy i kapitału) w dobra i usługi. Produkcja ma podstawowe znaczenie dla społeczeństwa, gdyż od rodzaju i ilości wytwarzanych dóbr i usług zależy liczba zatrudnionych

osób w ich produkcji, a także stopień zaspokojenia potrzeb ludności, co świadczy o zamożności kraju i o poziomie stopy życiowej społeczeństwa.

„Inżynieria produkcji” jest zatem pojęciem obejmującym zagadnienia zarówno planowania, jak i projektowania, wdrażania i zarządzania systemami produkcyjnymi oraz systemami pomocniczymi (np. logistycznymi). Pod pojęciem systemu rozumiemy układy socjotechniczne – integrujące pracowników, informację, energię, materiały, narzędzia pracy i procesy w ramach całego cyklu życia produktu. Kluczowym elementem inżynierii produkcji jest orientacja na czynnik ludzki, bowiem najlepiej funkcjonujące systemy, które często oparte są o kapitał ludzki tylko na drodze ciągłego doskonalenia tego kapitału, wpływają na wydajność, koszty i jakość pracy w przedsiębiorstwie. Inżynier produkcji odpowiedzialny jest więc za projektowanie urządzeń i instalacji, wykorzystywanych w procesie produkcji, kontrolę jakości ich pracy i zapewnienie ich ciągłości w ruchu. Do jego zadań należy także ocena funkcjonalności procesu produkcji w zmieniającym się otoczeniu, tworzenie dokumentacji z dokonywanych przeglądów czy przeprowadzanie badań i testów. Inżynier produkcji posiada zatem zdolność rozumienia i kojarzenia problemów ekonomicznych i menedżerskich z ich uwarunkowaniami socjotechnicznymi oraz dąży do usprawniania zachodzących w przedsiębiorstwie procesów z uwzględnieniem strategicznych aspektów rozwoju przedsiębiorstwa.

W poszczególnych rozdziałach niniejszej monografii studenci Wydziału Zarządzania i Inżynierii Produkcji PŁ, dzieląc się swoimi przemyśleniami i badaniami, poruszają różne aspekty działalności przedsiębiorstw produkcyjnych oraz ich interakcji z najbliższym otoczeniem. Czytelnik znajdzie tutaj zarówno opracowania teoretyczne, jak i wyniki badań o charakterze praktycznym i aplikacyjnym. W poszczególnych rozdziałach zapoznać się można m.in. z zagadnieniami dotyczącymi zarządzania energią w przedsiębiorstwach w aspekcie normy ISO 50001, nowymi rozwiązaniami technicznymi stosowanymi w branży cukrowniczej czy elektronicznej, usprawnieniem procesów wytwarzania podzespołów do produkcji wagonów kolejowych, problemami związanymi z planowaniem i doskonaleniem procesów decyzyjnych i logistycznych, a także z aspektami zrównoważonego rozwoju przedsiębiorstw poprzez inwestycje w instalacje OZE czy też w odzysk ciepła z instalacji chłodniczych w zakładach produkcyjnych. Podsumowanie monografii stanowi artykuł na temat komercjalizacji badań prowadzonych w jednostkach naukowo-badawczych i wdrażania uzyskanych aplikacji do przemysłu. W monografii przedstawiono doświadczenia pochodzące z różnych gałęzi przemysłu, takich jak: przemysł cukrowniczy, piekarniczy, elektroniczny, przetwórstwo tworzyw sztucznych, chłodnictwo i energetyka.

Kończąc uwagi wstępne i zapraszając Czytelnika do lektury kolejnych rozdziałów, chcielibyśmy podziękować wszystkim osobom, które miały wkład w przygotowanie niniejszych publikacji, bez ich pracy i zaangażowania monografia nie powstałaby.

*Grzegorz Bogusławski
Barbara Galińska
Joanna Kopania*

ZARZĄDZANIE ENERGIĄ W PRZEDSIĘBIORSTWIE PRODUKCYJNYM – STUDIUM PRZYPADKU

Adrian Lewandowski

1. Wstęp

W Unii Europejskiej ochrona środowiska naturalnego od wielu lat jest jednym z najważniejszych obszarów współpracy. Początkowo zwracano głównie uwagę na ochronę wód i powietrza, zagospodarowanie odpadów przemysłowych oraz ustalanie minimalnych norm zanieczyszczenia środowiska. Zapisy w tym temacie umieszczane były w wieloletnich programach środowiskowych [1]. Obecny, siódmy z kolei, program pod nazwą „Dobra jakość życia z uwzględnieniem ograniczeń naszej planety” obejmuje okres do 2020 r. Jednym z kluczowych elementów programu jest adaptacja do zmian klimatu, powiązana z wieloma innymi aspektami środowiskowymi, takimi jak ochrona gleby, zrównoważone środowisko miejskie, zrównoważona ochrona wód i środowiska morskiego. Program przedstawia również wizję na rok 2050, która mówi, że „rok 2050 to rok, w którym to obywatele mają się cieszyć dobrą jakością życia, z uwzględnieniem ekologicznych ograniczeń planety, w gospodarce nic się nie marnuje, różnorodność biologiczna jest przywracana, a niskoemisyjny wzrost – oddzielony od zużycia zasobów – wyznacza drogę rozwoju globalnego” [2]. W związku z tym gospodarka UE ma być przekształcona do gospodarki o wysokiej efektywności energetycznej, opartej na technologiach niskoemisyjnych.

Wzrost efektywności energetycznej potraktowany jest w sposób priorytetowy. W dokumencie Polityka Energetyczna Polski do 2030 [3] cel ten został zapisany jako wiążący i będzie realizowany poprzez:

- dążenie do osiągnięcia zero-energetycznego wzrostu gospodarczego, tj. rozwoju gospodarki następującego bez wzrostu zapotrzebowania na energię pierwotną,
- obniżenie do 2030 r. energochłonności gospodarki w Polsce do poziomu UE-15 z 2005 r.

Integralną rolę w polityce energetycznej państwa stanowi poprawa efektywności zużycia energii, a tu istotne są procesy energetyczne w przedsiębiorstwach.

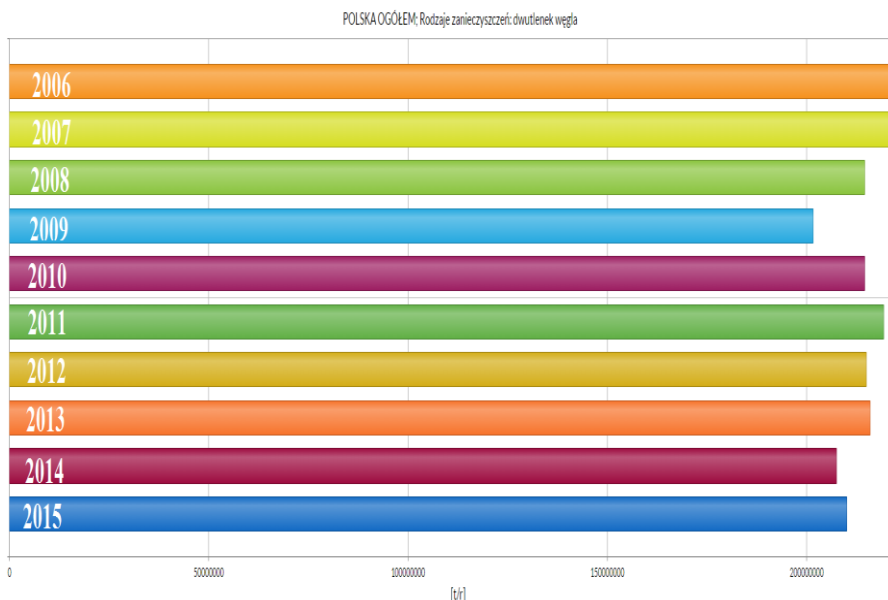
2. Efektywność energetyczna

Efektywne wykorzystanie energii w sektorze przemysłowym stanowi istotny czynnik wpływający na wysokość kosztów produkcji, zyski przedsiębiorstw, konkurencyjność produktów oraz na rozwój społeczno-gospodarczy. Proces energetyczny jest nieodłączoną częścią przebiegu produkcji, gdyż praktycznie każdy proces wymaga choćby minimalnej części energii. Najczęściej jest to energia

elektryczna lub energia wytwarzana w postaci ciepła (niekiedy zamienianego w pracę).

Pod pojęciem efektywności energetycznej kryje się racjonalne wykorzystanie powstającej energii, czyli oszacowanie każdej jednostki energetycznej (kWh) w celu minimalizowania jej strat. Zabiega się o to, aby ubytki energii były jak najmniejsze poprzez jej odzysk oraz dzięki ciągłej wymianie parku maszynowego na taki, który ma wyższą sprawność wykorzystania energii [4].

W Polsce głównym surowcem wykorzystywanym do otrzymywania energii jest węgiel [5]. Wynika to z korzystnego stosunku ceny węgla. Niestety, związane jest to również z wysoką szkodliwością węgla dla środowiska. Według danych GCP [6] Polska wytworzyła 310 MtCO₂ w samym 2013 roku. W dobie restrykcyjnych norm narzucanych przez Unię Europejską paliwo to stanowi również problem w użytkowaniu. Konieczne jest unowocześnienie systemów spalających, zastosowanie odpowiednich systemów filtrujących i zapewnienie odpowiednich warunków pracy w celu minimalizacji zanieczyszczeń.



Rys. 1. Poziom zanieczyszczenia dwutlenkiem węgla na przestrzeni lat 2006-2015

Źródło: GUS – <http://stat.gov.pl/banki-i-bazy-danych/>

Emisja dwutlenku węgla w Polsce na przestrzeni lat 2006-2015 utrzymuje się w okolicy 200 mln t/r, z niewielką tendencją spadkową w ostatnich latach. Poziom redukcji CO₂ w naszym kraju utrzymuje się na stałym poziomie, rzędu niemal 30% od 2006 r., co jest niewątpliwie naszym sukcesem. Oczywiście przed naszym krajem stoją nowe wyzwania. Wśród nich niewątpliwie największe skupiają się na przedsiębiorstwach.

W teorii zarządzania działania związane z efektywnością energetyczną w przedsiębiorstwach można przypisać do pojęcia Zarządzanie Energią – Energy Management [8]. Wdrożenie systemu zarządzania energią zapewnia przedsiębiorstwu korzyści jak:

- przyrost efektywności energetycznej w danym przedsiębiorstwie,
- utworzenie systemu, dokonującego nieprzerwanego procesu doskonalenia,
- procesy monitorowania, pozwalające analizować zużycie energii w badanym czasie,
- w długotrwałych działaniach poprawa pozycji na rynku,
- poprawa statusu ekologicznego,
- dostosowanie się do panujących wymogów prawnych oraz norm.

Ważne jest także to, że system ten nie koliduje z żadnymi innymi systemami zarządzania często implementowanymi w przedsiębiorstwie. Możliwe jest zatem stosowanie go bez wprowadzania konfliktu w organizacji. Najczęściej spotykanym obszarem zarządzania energią jest proces uzyskiwania energii na potrzeby zakładu w ramach własnych procesów wytwarzania energii.

Poprawa stanu efektywności energetycznej jest możliwa w każdym przedsiębiorstwie, niezależnie od jego wielkości.

Podczas procesu poprawy czy też racjonalizacji w wykorzystaniu energii w przedsiębiorstwie wyróżnia się trzy etapy:

- poprawienie stanu obecnego,
- jego udoskonalenie,
- zmiany dokonywane w procesach.

Przy pierwszym kroku dba się o to, aby nie powstały dodatkowe koszty – liczy się fakt jak największej oszczędności oraz zerowego nakładu. Polega to na usprawnieniu zastanego stanu organizacji przy wykorzystaniu warunków panujących, bez ich zmiany.

W drugim etapie dopuszcza się generowanie kosztów, lecz takich, które nie przekraczają zakładanych na ten cel kwot. Dokonuje się wymiany danego elementu lub podzespołu na elementy pobierające mniej energii (wymiana oświetlenia na LED).

Ostatni etap dopuszcza opcje wprowadzenia nowych inwestycji techniczno-rozwojowych, odnotowujących wysokoprocentowe korzyści, ale cechujące się również kosztami, które należy ponieść. Udoskonalany jest proces lub zmieniane są maszyny lub nawet całe linie technologiczne [9].

3. Norma ISO50001. System zarządzania energią

Wdrożenie innowacyjnej normy PN-EN ISO 50001: System zarządzania energią pomaga przedsiębiorcom zarządzać efektywnością energetyczną zakładu. Istotą normy jest ograniczenie zużycia energii oraz określenie sposobu jej minimalnego wykorzystania. Celem głównym jest zatem racjonalne gospodarowanie posiadanymi zasobami energii w danej organizacji lub przedsiębiorstwie. Norma ta pojawiła

się dopiero w 2011 roku i wówczas to powyższy standard został uznany jako jeden z istotniejszych systemów zarządzania w przedsiębiorstwie. Norma ta ukierunkowana jest na szerokie zastosowanie w różnych branżach gospodarki, a jej wdrażanie może spowodować nawet redukcję o 60% światowego zużycia energii. Znajduje ona zastosowanie zarówno w przedsiębiorstwach produkcyjnych, jak i usługowych. Wdrażanie tej normy stało się jednym z podstawowych narzędzi, które decydują o ekologicznym przedsiębiorstwie. Szczególne zainteresowanie powinny wykazać przedsiębiorstwa, które całą swoją działalność skupiają na przebiegu dużych procesów energetycznych, co ułatwiłoby spełnienie im coraz bardziej rygorystycznych norm emisji [10].

Decydując się na wdrożenie normy ISO 50001 w przedsiębiorstwie, trzeba być przygotowanym na zmiany oraz na restrykcyjne przestrzeganie praw, związanych z polityką energetyczną państwa. Powszechnym zjawiskiem jest zatrudnianie firm zewnętrznych, które wykonują analizę stanu obecnego procesów energetycznych, co przybiera często formę audytu. Zaczynając natomiast wdrażanie normy, podejmowane są działania, które mają bezpośredni wpływ na personel, obiekty oraz działające systemy czy elementy, które są odpowiedzialne za zużycie energii. Opracowany plan działań często wdraża się podczas okresowych przeglądów energetycznych maszyn. Na tym etapie można ustalić pierwotne zużycie energii, jego źródła oraz ustalić poziom bazowy zużycia, odpowiedni do zamierzonych celów. Zebrane informacje powinny posłużyć jako wiedza, która umożliwi określenie działań ograniczających zużycie energii oraz kosztów, które muszą zostać poniesione.

W Polsce norma ISO 50001 jest uznawana za niszową, praktycznie niestosowaną. W latach 2012-2013 uzyskano jednak korzystny przyrost wdrożenia normy ISO 50001, wynoszący aż 83% w stosunku do lat uprzednich (tabela 1).

Tabela 1. Ilość wydanych certyfikatów ISO w Polsce w latach 2012-2013

Standard	Rok		Wzrost	Wzrost w procentach %
	2012	2013		
	Liczba wydanych certyfikatów			
ISO9001	10105	10527	467	5%
ISO14001	2014	2220	206	10%
ISO22000	659	640	-19	-3%
ISO/TS16949	505	538	33	7%
ISO/IEC27001	279	307	28	10%
ISO50001	12	22	10	83%

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z Międzynarodowej jednostki szkoleniowo-certyfikującej Quality Austria-Polska, <http://www.qualityaustria.com.pl>

Mimo to, w porównaniu do pozostałych wdrażanych standardów (ISO 9001 czy 14001), liczba wdrożeń jest stosunkowo niska. W samym tylko roku 2013, różnica w uzyskanych certyfikatach pomiędzy ISO 9001 a 50001 wynosiła aż 10505. Spowodowane jest to małą popularyzacją normy ISO 50001 oraz niewielką liczbą firm zdolnych do wykonania energetycznego audytu wstępnego.

W skali Europy nasz kraj nie stanowi nawet jednego procentu uzyskiwanych certyfikatów. W Europie w 2013 roku wydano natomiast 3728 certyfikatów ISO50001 [11]. Przedsiębiorstwa polskie często nie mają świadomości istnienia tej normy, a czasami rezygnują z jej wdrożenia przez obawy związane z biurokracją, nadmiarem księgowości lub wymaganymi kosztami do poniesienia.

Zainteresowanie wdrożeniem normy ISO 50001 w Polsce jednak stale wzrasta. W roku 2014 uzyskano 38 certyfikatów, a w 2015 aż 78. Kwestią czasu pozostaje popularyzacja tej normy wśród zakładów przemysłowych. Firmy, dążąc do ciągłego doskonalenia, będą chciały wdrażać kolejne systemy jakościowe, tak aby ich działalność oraz oferowane dobra były na najwyższym poziomie. Możliwości zaoszczędzenia energii w różnych procesach są ogromne. Mimo że wymagają często szerokiej gamy działań, to oferują również proporcjonalne korzyści. Przedsiębiorstwa jednak coraz częściej wdrażanie normy ISO 50001 traktują nie jak koszty, wynikające z mody na „działania ekologiczne”, ale przede wszystkim jako inwestycje, które mogą przynieść wymierne korzyści w przyszłości. Można założyć, że w dalszej perspektywie zarządzanie środowiskowe, wraz z zarządzaniem energią, będzie nieodłącznym elementem zarządzania każdą organizacją.

4. Analiza procesu produkcyjnego analizowanego przypadku

Przedsiębiorstwo z branży piekarniczej skupia się głównie na produkcji chleba pszennego, który jest produktem dominującym. Przedsiębiorstwo działa na rynku od roku 1993 i jest zarejestrowane w formie spółki cywilnej, prowadzonej przez jednego ze współników. Swoją działalność skupia całkowicie na dystrybucji produktów w województwie łódzkim. Produkcja chleba pszennego wynosi 800 sztuk na zmianę na dobę, a dochód uzyskany z jego sprzedaży generuje 75% zysków. Jest to produkt o najwyższym popycie, a proces produkcji odbywa się według tradycyjnej receptury i metodyki z zachowaniem jak największej staranności sztuki piekarniczej.

Początek procesu produkcyjnego to pobranie, na początku zmiany roboczej, przez jednego z pracowników worków ze składnikami (mąka, zboża, sól, mak, olej, zakwas chlebowy). Worki transportuje się za pomocą wózka do części zakładu zwanej „ciastownią”. Mąka poddawana jest procesowi przesiewania, przez specjalną maszynę, co ma na celu usunięcie ewentualnych zanieczyszczeń, powstałych przy procesie produkcji surowca oraz nadanie jej odpowiedniej pulchności, co uwarunkowuje wyrobienie odpowiedniego ciasta. Następnie w maszynie mieszającej (mieszarce), przypominającej wielką misę, zwanej dzieżą, dodawana jest odpowiednia ilość przesianej mąki, soli, oleju, drożdży oraz zakwasu celem wyrobienia ciasta. Czas pracy mieszarki zależy od rodzaju mąki, która reaguje w różnym czasie. Proces ten jest skończony po pozytywnej kontroli jakości ciasta. Uzyskane ciasto trafia do wielkich mis oraz poddawane jest procesowi dojrzwiania drożdży, który trwa około 20-30 minut. W kolejnym kroku ciasto pobierane jest z misy porcjami i wazone. Odpowiednia waga – 0,5 kg, przypada na jedną porcję

chleba. Porcje trafiają na stół, gdzie nadawany jest im odpowiedni kształt, a następnie smarowane są olejem oraz obsypywane makiem. Po zakończeniu tych czynności wydzielone porcje trafiają na wózek z ruchomą taśmą, ułatwiającą ich załadunek, jak i rozładunek. Wózek odbierany jest przez osobę obsługującą piec oraz odpowiedzialną za proces wypieku. Chleb baltonowski w stanie surowym transportowany jest przez pracownika do pieca przy użyciu łopat z kijem o długości 3 m. Pojemność całego pieca wynosi 420 bochenków chleba. Po zakończeniu procesu wypieku pracownik wyklada ponownie chleb na wózki transportowe. Czas pełnego pieczenia trwa około 70 minut.

Pracownik odpowiedzialny za właściwy wypiek chleba jest również odpowiedzialny za właściwą obsługę pieca piekarniczego. Wymagana jest bowiem codzienna konserwacja pieca oraz kontrola jego stanu. Piec jest czyszczony specjalistycznymi środkami chemicznymi. Źródłem energii, czyli paliwem do pieca jest ekogroszek, który znajduje się pod wiatą, sąsiadującą z kotłownią. Piec codziennie napełniany jest paliwem, do pełnego zapełnienia zasobnika automatycznego, podającego opał w sposób automatyczny. Pełny zasobnik zaspokaja potrzeby na czas pracy jednej zmiany, a pojemność zasobnika to 300 dm³. Czas nagrzewania pieca piekarniczego do właściwej temperatury rozpoczynającej wypiek to około 50 minut, a osiągnięta temperatura gwarantująca właściwy wypiek oscyluje w granicach 210-230°C.



Rys. 2. Widok na kotłownię, po lewej zasobnik na ekogroszek, po prawej widok na główne palenisko pieca piekarniczego
Źródło: opracowanie własne, marzec 2017.

Piec piekarniczy stosowany w przedsiębiorstwie jest klasycznym piecem typu RRK 32. Jest to piec ceramiczny wykonywany w dawnej technologii, lecz cieszący się bardzo dużym uznaniem wśród doświadczonych piekarzy, co spowodowane jest równomiernym dogrzewaniem komory wypieku oraz dobrym oddawaniem ciepła. Każdy piec ceramiczny wykonywany jest pod indywidualne zamówienie. Wśród piekarzy istnieje opinia, że nowoczesne piece zasilane elektrycznie, czy też gazowo, nie są tak dobre jak piece ceramiczne.

W analizowanym przedsiębiorstwie piec nie był rozbierany, nie wprowadzono żadnych zmian ingerujących w konstrukcję oraz jego lokalizację. W początkowej fazie działalności firmy do uzyskania energii cieplnej w piecu, jako surowiec wykorzystywano drewno. Sam proces składowania i transportu drewna na terenie zakładu wymagał dużej pracy fizycznej i często zaangażowania dwóch osób. Wyznaczona była również osoba czuwająca nad ciągłą pracą pieca. W roku 2000 właściciele spółki zdecydowali się na zmianę źródła zasilania pieca piekarniczego. Dzięki dostępowi gazu ziemnego do działki, na której znajduje się zakład, wykonano projekt przyłącza gazowego. Wówczas piec typu RRK 32 został przerobiony na zasilanie gazem, co nie wymagało zbyt dużej ingerencji w konstrukcję samego pieca. Zasilanie stanowiło bardzo wygodny system, przez praktycznie bezobsługowe działanie.

Jednak w 2011 roku sytuacja uległa ponownie zmianie, gdyż po wnikliwej analizie sytuacji na rynku paliw, możliwości technologicznych oraz dostępności nowych surowców, zdecydowano się na zasilanie pieca ekogroszkiem. Głównym czynnikiem przeważającym o zmianie paliwa była ówczesna cena workowanego ekogroszku, która była znacznie korzystniejsza pomimo kosztów przerobienia oraz dokupienia nowych elementów pieca oraz konieczności obsługi w większym stopniu niż przy ogrzewaniu gazowym.

Obecnie sytuacja cenowa na rynku paliw zmieniła się jednak na niekorzyść ekogroszku (cena workowanego ekogroszku wzrosła o blisko 250%). W takiej sytuacji rozważana jest zmiana źródła energii na bardziej korzystne finansowo oraz takie, które będzie spełniało restrykcyjne obecnie normy ekologiczne.

5. Pozyskiwanie energii cieplnej w przedsiębiorstwie

Analiza pod kątem zarządzania energią dla tego przedsiębiorstwa zostanie przeprowadzona pod kątem uzyskania ciepła na potrzeby procesów produkcyjnych – wypieku. Analiza możliwości przerobienia pieca RRK 32 tak, aby zmienić źródło zasilania na jak najbardziej efektywne, przy optymalnie niskich kosztach, uwzględnia następujące czynniki:

- stopień ingerencji w konstrukcję,
- możliwości wykorzystania wcześniejszych nieużytkowanych, ale wciąż obecnych istniejących przyłączy,
- czas realizacji inwestycji,
- okres zwrotu inwestycji,
- koszty środowiskowe.

Warunkiem koniecznym, który nie może ulec zmianie przy wprowadzaniu usprawnień energetycznych, są parametry pracy pieca, które muszą zapewnić wyrób produktu o najwyższej jakości.

Obecnie stan pieca ceramicznego RRK 32 jest bardzo dobry, zapewniając ciągle jego użytkowanie przy pełnej sprawności. Coroczny serwis prowadzony jest przez specjalistyczną firmę. Wytwarzanie energii cieplnej w piecu odbywa się poprzez spalanie ekogroszku, obecnie najbardziej popularnego opału stosowanego

w Polsce. Ekogroszek dostarczany jest do zakładu regularnie przez dostawcę zobowiązanego do regularnych transz, najczęściej w okresie comiesięcznym w ilości 5 ton, w postaci nieworkowanej. Jest to spowodowane dużym zużyciem paliwa, a zarazem korzystniejszą ceną zakupu opału luzem niż workowanego.

Produkcja ekogroszku odbywa się poprzez rozkruszanie oraz przesiewanie węgla przez specjalistyczne sита. Dąży się do osiągnięcia jego wilgotności poniżej 10% i granulacji na poziomie od 5 do 25 mm. Dokonuje się również wszelkich starań, aby poprzez najlepsze dostępne techniki oczyścić ekogroszek, tak aby poziom siarki nie przekroczył 1% [12].

Pełne zapalenie zasobnika pieca na początku zmiany pozwala na jego bezobsługową pracę przez całą zmianę. Umożliwia to dokonana modyfikacja pieca, polegająca na zamontowaniu podajnika, pobierającego ekogroszek bezpośrednio na palenisko i podającego odpowiednio określoną dawkę w określonych odstępach czasowych.

Wewnątrz pieca RRK 32, w każdej z komór, jest rozmieszczony system rur odpowiedzialny za przekazywanie ciepła. System ten, zwany rurami Perkinsa, oplata całe wnętrze komór, tworząc koła, które transportują ciec-z-wodę destylowaną.



Rys. 3. Po lewej widok na komorę piekarniczą z rurami Perkinsa, po prawej schemat rozmieszczenia rur Perkinsa w piecu RRK 32 – widok bez zabudowy ceramicznej

Źródło: opracowanie własne.

Swój początek rury mają w palenisku, gdzie dzięki spalaniu opału są podgrzewane, a wraz z nimi ogrzewana jest woda. Wytwarzana jest w rurach para wodna, a zwiększone w ten sposób ciśnienie podnosi w nich temperaturę wrzenia wody. Gdy temperatura komory wypiekowej wynosi 250-260°C temperatura wody w rurach wynosi około 310°C, a ciśnienie około 10 MPa. Woda pokonuje drogę ku wyższym poziomom i podgrzewa dwie następne komory do pieczenia produktów. Woda jest destylowana i jest w ciągłym ruchu. Podczas podgrzewania stopniowo traci temperaturę, przez co dochodzi do procesu skraplania i jednoczesnego powrotu na niższe poziomy, w tym do paleniska, w którym dochodzi do ponownego

podgrzania obiegu. Ciśnienie w układzie dochodzi do 10 MPa. Jedna z komór – dolna, jest ogrzewana w nieco inny sposób, poprzez ruch spalin wydobywających się z pieca, a po pokonaniu całego obiegu spaliny uwalniane są kominem systemowym, co zapewnia większą efektywność pieca i mniejszy koszt zużytego paliwa [14].

Przy dawnym rozwiązaniu – paliwie gazowym, rury spełniały to samo zadanie co przy ogrzewaniu ekogroszkiem. Jednak zastosowana instalacja gazowa generowała jeden zbyt duży płomień, opalający system rur w palenisku na wszystkich trzech poziomach.

Ostatnim elementem pieca piekarniczego RRK 32 jest elektroniczny sterownik palnika GH1IRA wyposażony w dodatkową opcję – sterowanie piecem z podajnikiem ślimakowym. Sterownik odpowiedzialny jest za proces podgrzewania danej cieczy, obsługę całego głównego obiegu działającego wewnątrz obiegu grzewczego oraz za regulację temperatury pracy, jaką dany użytkownik chce uzyskać. Sterownik pieca umożliwia współpracę z różnymi paliwami, takimi jak węgiel, ekogroszek, miał czy pellet. Jednak nie jest możliwe jego współdziałanie z paliwami ciekłymi, jak np. gaz ziemny.

Koszty pracy pieca zasilanego ekogroszkiem przy ciągłym działaniu zakładu piekarniczego oraz przy dwuzmianowym systemie produkcji składają się z:

- kosztów zużycia 5 t ekogroszku miesięcznie dla pieca o mocy 175 kW i spełnianiu normy PP/2008/DZ01,
- kosztów poboru energii przez sterownik (które w porównaniu z pozostałymi kosztami są niewielkie),
- kosztów związanych z korzystaniem ze środowiska (opłaty środowiskowe naliczane na okres roku).

Zużycie paliwa wyliczone zostało na podstawie danych zgromadzonych w ciągu ostatnich dwóch lat działania piekarni przez właścicieli spółki. Opłaty środowiskowe są naliczane, zależnie od stosowanego paliwa, a wyliczane na podstawie jego zużycia i emisji jaką powoduje zakład. Określone jest, jakie substancje emituje zakład do atmosfery i w jakiej ilości, a następnie w zależności od rodzaju zanieczyszczenia przydzielane są im należne stawki, tak jak przedstawiono w tabeli 2.

Całkowite koszty utrzymania działania pieca zasilanego ekogroszkiem zestawiono w tabeli 3.

Analizując tabele 2 i 3 można stwierdzić, iż opłata środowiskowa nie stanowi dużej części utrzymania całego pieca, stanowi jedynie 0,61% w stosunku do całej sumy kosztów. Koszt pracy pracownika nie został doliczony, gdyż pracownik opowiedziany za obsługę pieca odpowiedzialny jest również za wypiek pieczywa. W przypadku braku konieczności obsługi pieca (np. przy zmianie paliwa na gazowe) zyskałby 1,5 h, która normalnie przeznaczana jest na obsługę pieca. Obsługa pieca skupia się na ciągłym utrzymywaniu płomienia pieca, uzupełnianiu stanu zasobnika opału do pełna oraz na konserwacji pieca z czyszczeniem. Koszt całkowity miesięczny pracy pieca zasilanego ekogroszkiem z uwzględnieniem każdej czynności w skali roku wynosi 47997,12 zł brutto.

Tabela 2. Opłaty środowiskowe dla analizowanego zakładu piekarniczego

Charakterystyka źródeł powstania substancji wprowadzonych do powietrza					
Rodzaj instalacji/działalności: piec/ekogroszek oraz piec mięł, moc 175 kW		Pozwolenia:	Zużycie surowców		
		nie wymaga	74,0 Mg		
Wielkość emisji ze wskazanej instalacji lub działalności:					
Lp.	Nazwa i kod substancji:	Wskaźniki emisji/wyniki pomiarów	Wielkość emisji [kg]	Jednostkowa stawka opłaty [zł/kg]	Wysokość opłaty [zł]
1	22 dwutlenek siarki	6,24 kg/Mg	461,760000	0,53	244,73
2	59 dwutlenek azotu	7,15 kg/Mg	529,100000	0,53	280,42
3	58 tlenek węgla	11,95 kg/Mg	885,040000	0,110	97,35
4	11 benzo(a) piren	0,000273 kg/Mg	0,020202	381,36	7,70
5	23 dwutlenek węgla	Śr. = 1912 kg/Mg pomiar	141488,0	0,00029	41,03
6	53 pyły ze spalania paliw	1,17 kg/Mg	85,580000	0,35	30,30
Wysokość opłat ogółem [zł]:					701,53

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z roku 2016 udostępnionych przez właściciela spółki.

Tabela 3. Koszty (brutto) pracy pieca piekarniczego zasilanego ekogroszkiem

Zasilanie: ekogroszek					
Zużycie ekogroszku (miesięcznie):	Zużycie ekogroszku (rocznie):	Opłata środowiskowa (miesięcznie):	Opłata środowiskowa (rocznie):	Suma kosztów z (rocznie):	Obsługa pieca na zmianę: 1,5 h
5 ton – 3950 zł*	60 ton – 47400 zł	58,46 zł**	701,53 zł	48101,53 zł	
Emisja CO ₂ :***		Opłata środowiskowa bez innych czynników (miesięcznie):	Opłata środowiskowa bez innych czynników (rocznie):	Suma kosztów bez innych czynników (rocznie):	
Miesięcznie	Rocznie				
10650 kg	127800 kg	49,76 zł	597,12 zł	47997,12 zł	

Źródło: opracowanie własne na podstawie informacji uzyskanych od właściciela, marzec 2017.

* Cena ekogroszku kupowanego luzem od dostawcy zobowiązanego umową wynosi 790 zł brutto za tonę – stan ceny z marca 2017 roku.

** Opłaty środowiskowe pochodzą z wyliczeń urzędu marszałkowskiego na rok 2016.

*** Jedna tona opału w postaci ekogroszku emituje 2130 kg CO₂.

6. Usprawnienie energetyczne w przedsiębiorstwie

W celu lepszego i efektywniejszego zarządzania energią cieplną w przedsiębiorstwie przeprowadzono analizę usprawnienia pracy pieca, przy założeniu, że jego tradycyjna konstrukcja nie zostanie naruszona, a wszystkie właściwości wypieku zostaną zachowane. Istotę usprawnienia stanowić będzie zmiana surowca. Pośród źródeł energii dostępnych na lokalnym rynku w analizowanym przedsiębiorstwie istnieje możliwość zastosowania:

- ekogroszku – rozwiązanie obecnie stosowane,
- pelletu,
- gazu ziemnego – dostęp z sieci, przyłącze zrealizowane w poprzednich latach,
- oleju opałowego.

PELLET

Jeśli rozpatrujemy zastosowanie pelletu jako głównego opału, korzyścią dla piekarni jest brak konieczności modernizacji jakiegokolwiek elementu pieca. Piec na ekogroszek może jako surowiec używać także pellet odpowiedniego gatunku, wykorzystując również w pełni zasobnik oraz podajnik śrubowy, doprowadzający opał do głównego paleniska. Jednak w przypadku korzystania z pelletu, czas obsługi pieca wydłuży się średnio o 50%, co spowodowane jest większym zużyciem surowca oraz częstszą koniecznością uzupełnienia stanu zasobnika. Wymusi to zatrudnienie dodatkowego pracownika lub wypłacenia nadgodzin zatrudnionemu pracownikowi. Koszt wypłacenia nadgodzin miesięcznie dla pracownika wyniesie 378 zł, za 18 godzin odbytych w ponad wymiarowym czasie pracy (pracując 6 dni w tygodniu), przy stawce 14 zł brutto za godzinę podstawy, 21 zł brutto w przypadku nadgodzin. Wybierając pellet jako główny opał do pieca piekarniczego RRK 32, biorąc pod uwagę cenę pelletu na poziomie 570 zł brutto za 1 tonę w workach 20 kg (stan ceny kwiecień 2017 roku) oraz koszty środowiskowe, uzyskamy koszty całkowite 4124,10 zł brutto miesięcznie, co w skali roku daje 49484,20 zł brutto.

GAZ ZIEMNY

Gaz ziemny uważany jest za najbardziej czyste i bezproblemowe źródło zasilania, ze względu na niemal bezobsługową instalację. Sama istota obsługi pieca zasilanego gazem sprowadza się jedynie do kontroli instalacji oraz obsługi sterownika, odpowiedzialnego za pracę całego zespołu grzewczego. Decydując się na wykorzystanie gazu w produkcji chleba, otrzymujemy również emisję zanieczyszczeń na bardzo niskim poziomie. Zanieczyszczeniem podczas spalania jest jedynie dwutlenek węgla i para wodna, a obecność innych składowych, jak np. pyły zawieszane jest znikoma. Koszty modernizacji pieca RRK 32 w przypadku wprowadzenia zasilania pieca na gaz ziemny nie powinny być wysokie. Pozostały bowiem przyłącza i projekty zrealizowane na początku 2000 roku. Stan techniczny tej instalacji nadaje się do ponownego wykorzystania. W piecu mogą zostać natomiast zainstalowane palniki gazowe atmosferyczno-inżektorowe typu

PGIKP o mocy 140 kW. Posiadają one taką samą sprawność jak obecne rozwiązanie, lecz mają niższą moc pracy, niż w przypadku zastosowania innych źródeł. Ich zaletą jest zastosowanie jednocześnie wielu płomieni odpowiedzialnych za podgrzewania rur Perkinsa, dzięki temu uzyskujemy równomierne rozprowadzenie ciepła. Pozwala to uniknąć zjawiska przepalenia orurowania. Przewidywany koszt modernizacji wynosi 25215 zł brutto, obejmując zaprojektowanie oraz modernizację palnika PGIKP oraz szereg czynności typu: przystosowanie niezbędnych elementów instalacji doprowadzających gaz, zawory bezpieczeństwa, instalacje elektryczne, osłony z blachy odpornej na wysokie temperatury, koszt montażu, pełną regulację, testy zmierzonej wydajności, pomiar zużycia gazu, wykrywanie wad produkcyjnych, programowanie obecnego sterownika, obsługę formalności projektowych, przegląd po przepracowaniu 2000 godzin pieca oraz nadanie wymaganej certyfikacji. Palnik do pieca może zostać zaprojektowany w taki sposób, aby podgrzewał wszystkie trzy rzędy orurowania Perkinsa, znajdujące się na różnych poziomach, w odstępach 10 cm od siebie.

Przy zastosowaniu powyższego rozwiązania zużycie gazu, przy mocy pieca wynoszącej 140 kW, będzie na poziomie 72 m³ na jedną zmianę roboczą przy pełnym obciążeniu systemu grzewczego. W skali doby daje to 144 m³ (dla dwóch zmian roboczych), w skali miesiąca 3456 m³, a rocznie 41472 m³ gazu ziemnego. Uwzględniono w wyliczeniach także współczynnik konwersji wynoszący 11,1. Po uwzględnieniu wszystkich składowych otrzymujemy 38361,6 kWh zużycia miesięcznego oraz 460399,2 kWh rocznie, przy zasilaniu pieca gazem ziemnym. Cena gazu ziemnego w zależności od dostawcy wynosi średnio 9,5 groszy brutto za 1 kWh – oferta dla przedsiębiorców w taryfie W-5.

Oszczędności to redukcja etatu, który generuje 4032 zł brutto rocznie. Czas pracownika obsługującego piec zasilany gazem ziemnym zostanie skrócony jedynie do 15 minut. Dzięki temu pracownik zyskuje 1 h 15 minut czasu, który może zostać przeznaczony na wykonywanie innych czynności w zakładzie piekarniczym lub wsparcie innych pracowników w ich czynnościach.

Opłaty środowiskowe w przypadku korzystania z gazu ziemnego są jednymi z najkorzystniejszych spośród innych źródeł; spowodowane jest to mniejszą szkodliwością dla środowiska.

Decydując się na zmianę źródła zasilania na gaz ziemny uzyskamy koszty na poziomie 3678,08 zł brutto miesięcznie oraz 44136,96 zł brutto rocznie z uwzględnieniem kosztów środowiskowych. Do kosztów całkowitych należy dodać koszt modernizacji wynoszący łącznie 25215 zł brutto. Jednak porównując koszty gazu z ekogroszkiem, otrzymujemy zysk w wysokości 321,68 zł brutto na paliwie oraz 336 zł brutto na redukcji etatu osoby obsługującej piec. Sumując mamy oszczędności w wysokości 657,68 zł brutto miesięcznie, co w skali roku daje 7892,16 zł brutto. Koszt modernizacji pieca powinien zwrócić się po 3 latach i 3 miesiącach.

OLEJ OPAŁOWY

Olej opałowy na przestrzeni lat stał się surowcem, który nie znalazł się na liście popularnych paliw. Jednak modernizacja pieca w celu wykorzystania oleju opałowego w dużej mierze opiera się na takim samym systemie działania jak w przypadku zastosowania gazu ziemnego. W komorze spalania umieszczony może być nowoczesny system palników przystosowanych do pracy w oleju opałowym. Koszt tej inwestycji wyceniony został na 25215 zł brutto.

Niestety olej napędowy nie jest dostępny z sieci miejskiej, co wymusza zastosowanie zbiornika z odpowiednim przyłączem, dostarczającym paliwo do pieca. Firma musi zakupić lub wynająć zbiornik, który powinien zostać umieszczony na terenie działki zakładu. Wyróżniamy obecnie na rynku dwie opcje magazynowania oleju:

- zbiornik naziemny w kształcie beczki ułożonej poziomo, pojemność w granicach od 500 do nawet 25000 litrów. Jest to rozwiązanie kosztowne, wymagające pozwoleń oraz zrealizowania odpowiedniego projektu inwestycyjnego.
- zbiorniki umożliwiające transport o pojemności od 1000 litrów, które zależnie od warunków zakupu są najczęściej wynajmowane gratis przy zakupie oleju od konkretnego dostawcy. Zbiorniki te są wyprodukowane zgodnie z normami środowiskowymi oraz charakteryzują się niezawodnością oraz wysoką odpornością na warunki atmosferyczne.

Cena oleju opałowego wynosi średnio 2,67 zł brutto za litr paliwa krajowego, przy podpisaniu umowy długoterminowej.

Jednak w przypadku zastosowania oleju opałowego niezbędne są prace o charakterze modernizacyjnym. Konieczne jest doprowadzenie paliwa do kotła pieca. Umożliwi to specjalna instalacja wraz z pompą przystosowaną do pracy z paliwami. Olej opałowy może zostać doprowadzony systemem rur. Musi jednak zostać wyznaczone stałe miejsce na zbiornik, tak aby zapewnić tankowanie zbiornika bezpośrednio z samochodu dostawczego. Prace o charakterze budowlanym zostały wycenione na 2500 zł brutto (plus dodatkowe koszty materiałów w postaci systemu rur oraz pompy w wysokości 1000 zł brutto).

Szacowane zużycie oleju na jedną zmianę wynosi 39 l, a na dobę 78 l, natomiast w skali miesiąca 1872 l oleju opałowego. Cena oleju opałowego wynosi średnio 2,67 zł brutto za 1 l oleju opałowego i jest to oferta skierowana dla przedsiębiorców.

Całkowity czas obsługi pieca nie powinien przekroczyć 15 minut na jedną zmianę roboczą. Czas zaoszczędzony przez pracownika, może zatem zostać przeznaczony na wykonywanie innych czynności w zakładzie.

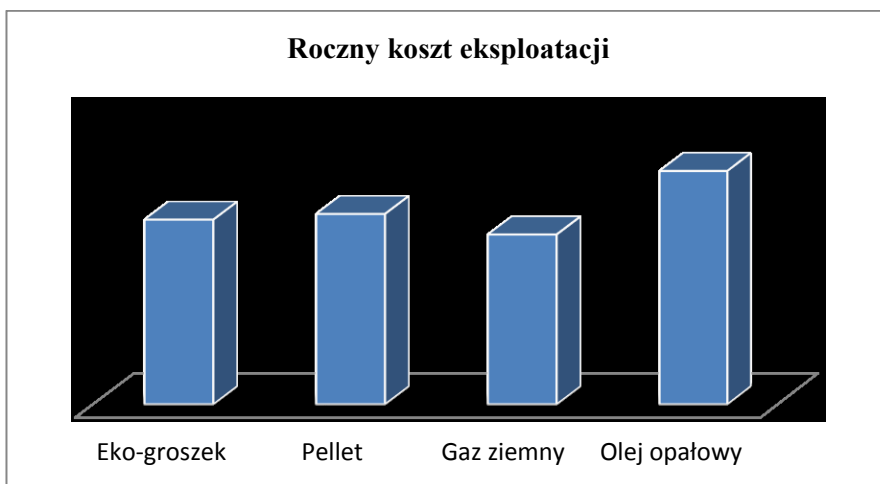
Opłaty środowiskowe w przypadku korzystania z oleju napędowego kształtują się na podobnym poziomie co ekogroszek oraz pellet – spowodowane jest to większą emisją niektórych substancji zanieczyszczających.

Modernizacja pieca pod kątem wykorzystania oleju opałowego generuje koszty na poziomie 5055,33 zł brutto miesięcznie oraz 60663,96 zł brutto rocznie. Do kosztów całkowitych należy dodać koszt modernizacji instalacji wynoszący

całkowicie 28715 zł brutto. Oszczędności znajdujemy w postaci redukcji etatu, który generuje 4032 zł brutto rocznie. Oferta stanowi nowe rozwiązanie rynkowe, powstałe w odpowiedzi na tendencję spadkową ceny oleju napędowego. Przyrównując koszty do systemu zasilanego ekogroszkiem otrzymujemy wyższą kwotę w skali miesiąca o 1055,57 zł brutto, w skali roku o 12666,84 zł brutto.

7. Podsumowanie

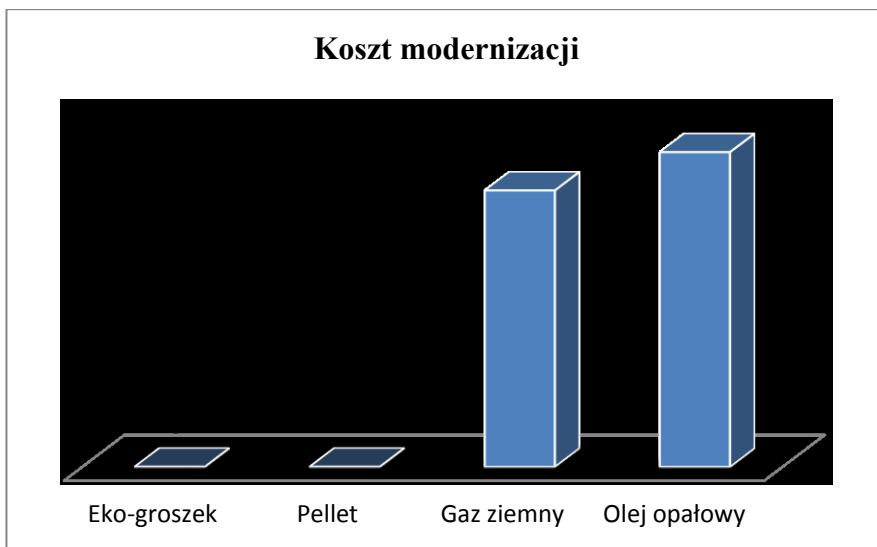
Na podstawie przeprowadzonej analizy stwierdzono, iż najniższy koszt pozyskiwania energii na potrzeby produkcyjne w analizowanym zakładzie piekarniczym jest przy zastosowaniu gazu ziemnego. Koszt ten kształtuje się na poziomie 44136,96 zł brutto, co pozwala stwierdzić, że jest to rozwiązanie najkorzystniejsze finansowo. Na drugim miejscu jest ekogroszek z wynikiem 47997,12 zł brutto miesięcznie, kolejny jest pellet 49484,20 zł brutto miesięcznie oraz na końcu olej opałowy w kwocie 60663,96 zł brutto miesięcznie.



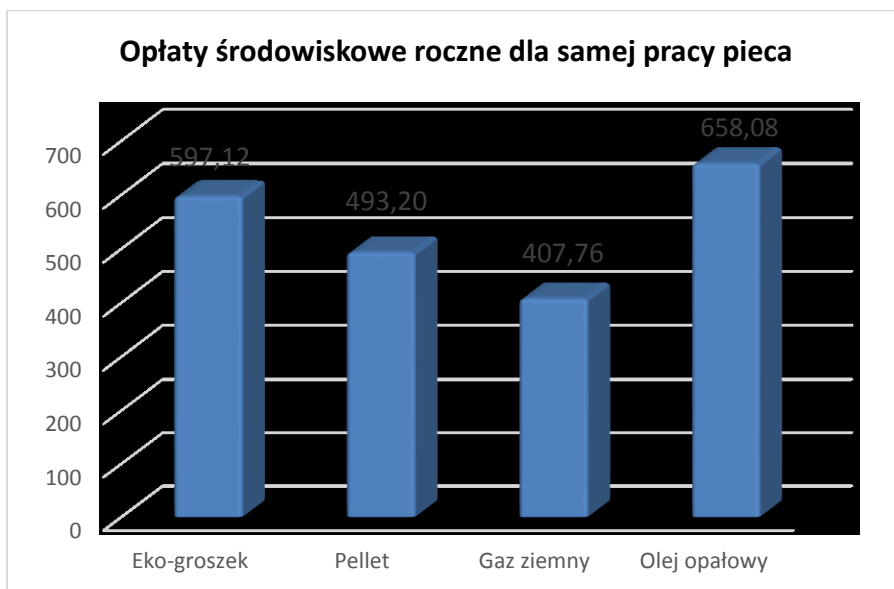
Rys. 4. Zestawienie rocznych kosztów eksploatacji pieca RRK 32 przy zastosowaniu różnych źródeł opału

Źródło: opracowanie własne na podstawie analizy rynkowej.

Analizując koszty związane z modernizacją pieca, zmianą najbardziej korzystną do wprowadzenia jest zastosowanie pelletu jako opału, ze względu na zerowy koszt modernizacji pieca. Następnym jest gaz ziemny z wynikiem 25215 zł brutto, co czyni tę ofertę atrakcyjniejszą niż w przypadku oleju opałowego droższego o 3500 zł brutto (ok. +13,88%), uzyskującego kwotę modernizacyjną rzędu 28715 zł brutto.



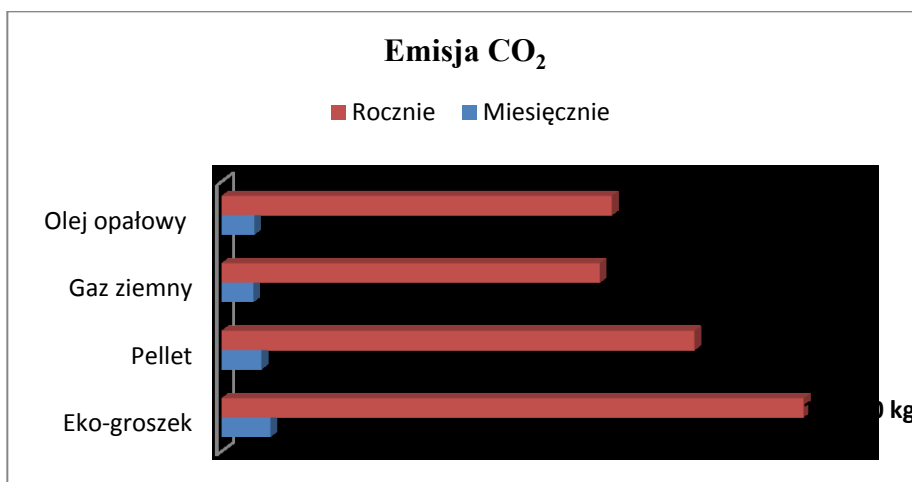
Rys. 5. Zestawienie kosztów całkowitych modernizacji pieca RRK 32 zależnie od źródła opału
Źródło: opracowanie własne.



Rys. 6. Zestawienie rocznych prognozowanych kosztów opłat środowiskowych pieca RRK 32 przy zastosowaniu różnych źródeł opału
Źródło: opracowanie własne.

Rozpatrując aspekt opłat środowiskowych z tytułu spalania paliwa zauważamy, iż w przypadku korzystania z gazu ziemnego opłaty są najniższe. Powinny one wynieść 407,76 zł brutto w skali roku. Kolejnym paliwem godnym uwagi jest pellet, za którego zużycie przedsiębiorstwo zapłaciłoby 493,20 zł brutto. Następnie już z dużą różnicą dalej plasuje się ekogroszek 597,12 zł brutto oraz olej opałowy z opłatami 658,08 zł brutto.

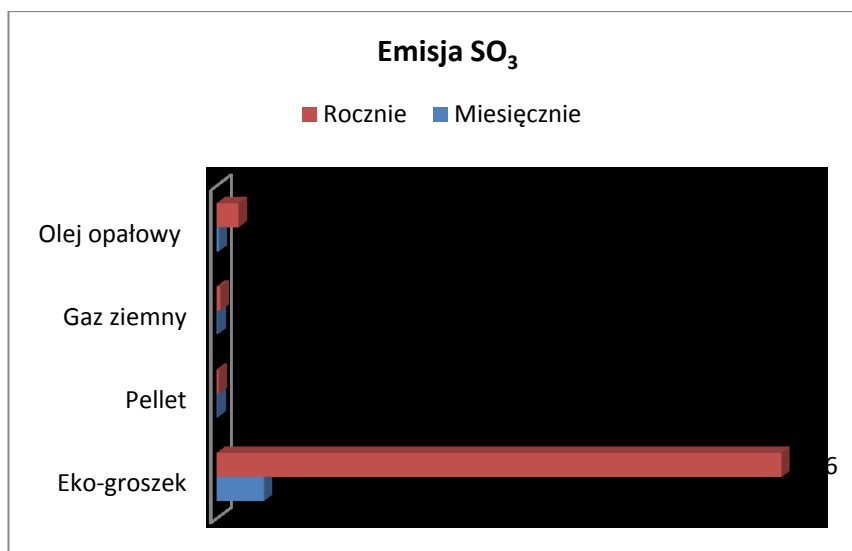
Emisja jak najmniejszej ilości zanieczyszczeń do atmosfery pozwala na uzyskanie korzystniejszej pozycji ekologicznej przedsiębiorstwa na rynku i wpisanie się w trendy efektywniejszego zarządzania energią. Najniższą emisją CO₂ legitymuje się gaz ziemny z wynikiem 6912 kg miesięcznie oraz 82944 kg rocznie. Olej opałowy z wynikiem 7131,43 kg miesięcznie oraz 82944 kg rocznie zajmuje drugą lokatę. Następny jest pellet z 8645 kg miesięcznie oraz 103740 kg rocznie. Ostatnie najmniej korzystne miejsce zajmuje ekogroszek z 10650 kg miesięcznie oraz 127800 kg rocznie.



Rys. 7. Zestawienie rocznej oraz miesięcznej emisji CO₂ w kg przy zastosowaniu różnych źródeł opału

Źródło: opracowanie własne.

Drugim istotnym zanieczyszczeniem są tlenki siarki, które odpowiadają za kwaśne deszcze. Analizując emisję dla SO₂ widoczna jest znaczna emisja tego zanieczyszczenia w przypadku zasilania pieca ekogroszkiem, gdyż osiąga 48 kg miesięcznie oraz 576 kg rocznie. Kolejnym paliwem jest olej opałowy z wynikiem 1,814 kg miesięcznie oraz 21,768 kg rocznie. Kolejny jest gaz ziemny z 0,276 kg miesięcznie oraz 3,312 kg rocznie, a najmniej szkodliwy jest pellet z wynikiem 0,13 kg miesięcznie oraz 1,56 kg rocznie.



Rys. 8. Zestawienie rocznej oraz miesięcznej emisji SO₃ w kg przy zastosowaniu różnych źródeł opału

Źródło: opracowanie własne.

Analiza modernizacji źródła ogrzewania pieca piekarniczego podyktowana jest chęcią zmniejszenia kosztów eksploatacji pieca przy zachowaniu tradycyjnego wypieku chleba z pieca RRK-32. Proponowane zmiany wykorzystywałyby maksymalnie posiadane zasoby firmy, tak aby przedsiębiorstwo nie musiało ponosić nadmiernych kosztów związanych z przystosowaniem pieca do nowego paliwa. W wyniku przeprowadzonej analizy uznano, iż najbardziej korzystnym paliwem dla badanego przedsiębiorstwa będzie gaz ziemny. Za tą decyzją przemawiają głównie najniższe koszty eksploatacji oraz stosunkowo niski koszt modernizacji pieca. Modernizacja ta jest opłacalna i ekologiczna. Stosowane obecnie paliwo ekogroszek emituje największą ilość CO₂ i SO₃ ze wszystkich analizowanych źródeł. Natomiast mniejsza emisja niesie ze sobą niższe koszty opłat środowiskowych, które przy stosowaniu gazu zostały zredukowane o prawie 32%.

Literatura

- [1] Europejski portal integracji i rozwoju, <http://europejskiportal.eu/ochrona-srodowiska-naturalnego>
- [2] Komisja Europejska, dostęp 2014, https://ec.europa.eu/environment/efe/themes/economics-strategy-and-information/here-2020-eu%E2%80%99s-new-environment-action-programme_pl
- [3] Polityka energetyczna Polski do 2030 roku, Warszawa 10.11.2009 r., (<http://www.me.gov.pl/files/upload/8134/Polityka%20energetyczna%20ost.pdf>)
- [4] Parczewski B., *Efektywność energetyczna w wybranych krajach UE, USA oraz w Polsce (trendy zmian, mechanizmy instrumenty polityki)*, wyd. I, Warszawa 2014.
- [5] Dane z GUS, Główny Urząd Statystyczny, dostęp 2015, <http://stat.gov.pl>

- [6] GCP – Global Carbon Project, dostęp 2015, <http://www.globalcarbonproject.org>
- [7] Dahlgaard J., Kristensen K., Kanji K., *Podstawy zarządzania jakością*, PWN, Warszawa 2004.
- [8] OungK., *Zarządzanie energią w przedsiębiorstwie*, PWN, Warszawa 2015.
- [9] Powiślańska Regionalna Agencja Zarządzania Energią, dostęp 2010, <http://praze.pl>
- [10] Eccleston Ch., March F., Cohen T., *Inside Energy – Developing and Managing an ISO 50001 Energy Management System*, CRC Press, Boca Raton 2012.
- [11] Opracowanie własne na podstawie ISO – International Organization for Standardization, <https://www.iso.org/the-iso-survey.html>, dostęp 2017.
- [12] Wikipedia, dostęp 2017, <https://pl.wikipedia.org/wiki/ekogroszek>
- [13] Ambroziak Z., *Produkcja piekarsko-ciastkarska. Część 1 oraz 2. Podręcznik dla technikum*, WSiP, Warszawa 2004.

Streszczenie

W artykule przedstawiono problem zarządzania energią w przedsiębiorstwie piekarniczym. Scharakteryzowano proces produkcji pieczywa oraz sposób jego wypieku. Opiszono stosowany w tym celu piec o tradycyjnej konstrukcji. Przeanalizowano rynek dostępnych dla przedsiębiorstwa paliw pod kątem ekonomicznej efektywności ich wykorzystania. Opracowano koncepcję modernizacji pieca na potrzeby zredukowania ilości stosowanego paliwa. Dokonano analizy ekologicznej możliwych do zastosowania paliw pod kątem ich szkodliwości emisyjnej oraz pod kątem ponoszonych opłat środowiskowych.

Słowa kluczowe: zarządzanie energią, paliwa, efektywność energetyczna.

ODZYSK CIEPŁA Z INSTALACJI CHŁODNICZYCH W ZAKŁADACH PRZEMYSŁOWYCH – STUDIUM PRZYPADKU

Tomasz Pawlik

1. Wstęp

W ostatnich latach społeczeństwo skłania się coraz częściej w stronę urządzeń ułatwiających życie i jednocześnie podnoszących jego komfort. Jednymi z takich urządzeń są urządzenia regulujące temperaturę otoczenia. Spotykamy się z nimi w zasadzie wszędzie, gdzie się poruszamy: dom (lodówka, klimatyzacja), samochód (klimatyzacja, schowki schładzające w samochodach), biura (klimatyzacja, lodówki), sklepy (lodówki, komory chłodnicze, zamrażarki), przedsiębiorstwa z branży spożywczej (chłodnie, klimatyzatory, sprężarki). Jednym z istotniejszych problemów jest właśnie obniżenie temperatury otoczenia, czyli chłodzenie.

Chłodzeniem, inaczej ziębieniem, nazywamy proces fizyczny, który ma na celu obniżenie temperatury otoczenia i jej utrzymanie w stanie przez nas pożądanym. Chłodzenie może się odbyć w sposób:

- naturalny (przy użyciu cieczy lub gazu o mniejszej temperaturze niż temperatura ochładzanego pomieszczenia),
- sztuczny (używając czynnika podlegającego procesowi termodynamicznemu).

W analizowanym przypadku skupimy się głównie na sposobie sztucznym. Jednak, aby wyobrazić sobie, na jakiej zasadzie działają takie urządzenia, będziemy musieli przypomnieć sobie prawa termodynamiki.

Pierwsza zasada termodynamiki, która jest zasadą zachowania energii, zapisana jest wzorem:

$$Q = \Delta U + L \quad (1)$$

gdzie: Q – ciepło dostarczane do układu,

ΔU – zmiana energii wewnętrznej układu,

L – praca zewnętrzna wykonana przez układ.

Jednak jeśli praca lub ciepło są dostarczane do ciała (układu ciała), to są one liczone ze znakiem plus, czyli są dodatnie. Jeżeli są odbierane od ciała (układu ciała), czyli jeśli to ciało/układ wykonuje jakąś pracę, to odpowiednie wartości będą ujemne.

Zgodnie z drugą zasadą termodynamiki, ciepło samorzutnie przepływa od ciała o temperaturze wyższej do substancji o temperaturze niższej. Zatem aby urządzenie chłodnicze mogło spełnić swoje zadanie, konieczne jest doprowadzenie do niego energii napędowej. Samorzutne oddawanie ciepła w takim przypadku jest niemożliwe.

Substancje wykorzystywane w chłodnictwie

Pomimo że urządzenia chłodnicze spotykamy w zasadzie wszędzie, to jednocześnie nie zdajemy sobie sprawy, iż realizowany przez nie proces jest procesem sztucznym. W przypadku tych urządzeń zasadniczo najbardziej interesuje nas stan skupienia, ciekły i gazowy substancji w nich używanych. Ważne są zatem substancje wykorzystywane w takich instalacjach, lecz musimy uświadomić sobie, iż w tych substancjach będą nas interesować ich własności fizyczne i termodynamiczne.

Do własności fizycznych możemy zaliczyć:

- ciśnienie (oznaczamy symbolem „p”, a jego jednostką jest Pascal [Pa], (pamiętajmy jednocześnie, iż $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s}^2)$),
- temperatura (temperaturę absolutną podajemy w kelwinach [K] i oznaczamy symbolem „T”, temperaturę względną zaś oznaczamy symbolem „t” i mierzymy w stopniach Celsjusza [$^{\circ}\text{C}$]),
- gęstość (oznaczamy „ ρ ” i jej jednostką jest $[\text{kg}/\text{m}^3]$, zaś objętość właściwą oznaczamy symbolem „v” w jednostkach $[\text{m}^3/\text{kg}]$).

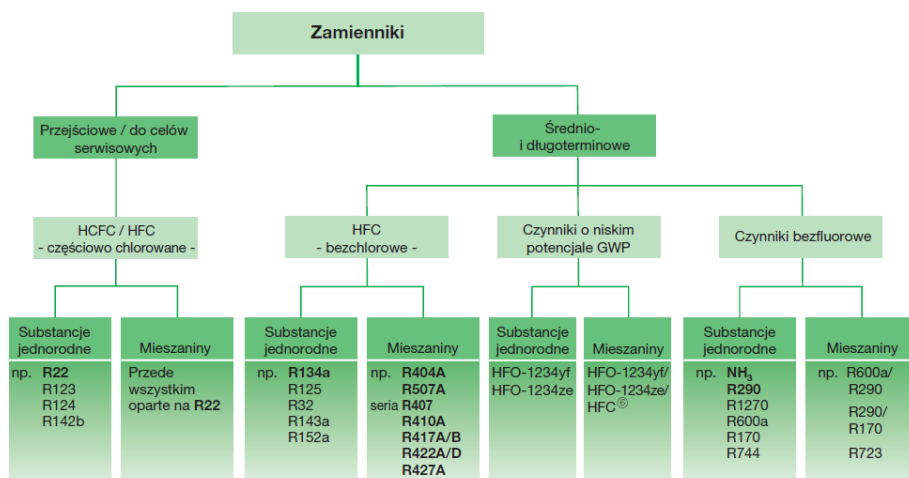
Do właściwości termodynamicznych zaliczamy:

- ciepło właściwe – będące współczynnikiem, określającym skłonność ciała do łatwiejszej lub trudniejszej zmiany temperatury pod wpływem dostarczonej energii cieplnej; jest ono ściśle związane ze wzorem na ilość energii cieplnej potrzebnej do ogrzania/ochłodzenia ciała;
- entalpia „z” – wielkość fizyczna będąca funkcją stanu mająca wymiar energii;
- entropia „s” – funkcja stanu, określająca kierunek przebiegu procesów spontanicznych (samorzutnych) w odosobnionym układzie termodynamicznym.

2. Czynniki chłodnicze

Czynniki chłodnicze zasadniczo dzielimy na dwie grupy, typu HCFC (wodorochlorofluorowęglowodory) i CFC (chlorofluorowęglowodory). Generalnie zaliczamy do nich czynniki termodynamiczne, których temperatura normalna wrzenia wyrażona w $^{\circ}\text{C}$ z reguły znajduje się od $+60^{\circ}\text{C}$ do -130°C .

Pierwszy czynnik, o którym należy wspomnieć to R22. Jest to czynnik należący do grupy HCFC, które obecnie są wycofywane z użytkowania w nowych instalacjach. Jako zwykli zjadacze chleba byliśmy jego użytkownikami w starych lodówkach (np. MINSK). Przy wykorzystaniu jednostopniowego układu chłodniczego temperatura parowania tego czynnika mogła wynosić powyżej -40°C .



Rys. 1. Ogólna klasyfikacja czynników chłodniczych

Źródło: *Czynniki chłodnicze. Raport, wydanie 18, Schiessl Polska, A-501-18, s. 4.*

Stosując już dwustopniowy spręż, mogliśmy osiągnąć temperatury rzędu -80°C . W czynniku R22 stosunkowo dobrze rozpuszcza się woda. Jest to istotne, gdyż każdy monter, jak i serwisant instalacji chłodniczych, wie iż wilgoć w układzie chłodniczym może prowadzić do błędów w działaniu urządzenia oraz nieprzyjemnych zapachów wydostających się podczas jej działania. Czynnik ten nie reaguje natomiast z miedzią, mosiądzem, niklem, staliwem, stalą i aluminium. Jednak reaguje dość silnie ze wszystkimi tworzywami sztucznymi, z wyjątkiem teflonu i magnezu. Jest to istotne, gdyż rurociągi instalacji chłodniczych freonowych buduje się z rur miedzianych w otulinie piankowej. Elementy w zaworach, urządzeniach i wziernikach zbudowane są z wymienionych metali, jako niereagujące z R22.

Innym czynnikiem już wycofanym z obiegu jest R11 (zakres roboczy temperatur od -50°C do $+55^{\circ}\text{C}$), a także R12 (zakres temperatur -70°C do $+115,5^{\circ}\text{C}$) oraz R23 (zakres temperatur -140°C do -70°C). Wszystkie one są szkodliwe dla środowiska, w związku z tym nie mogą być dłużej stosowane.

Nowszym czynnikiem, o którym należy wspomnieć, jest R134a. Z głównych właściwości fizykochemicznych tego czynnika możemy wyróżnić temperaturę topnienia wynoszącą -101°C oraz temperaturę wrzenia wynoszącą $-26,5^{\circ}\text{C}$. Jest to najpopularniejszy zamiennik czynnika R12. Spotykamy go w prostych domowych instalacjach chłodniczych, a także w samochodach. Tutaj ponownie trzeba nadmienić, iż wymieniony czynnik pochłania wilgoć z powietrza, np. podczas rutynowej kontroli czy też podczas napełniania instalacji nowym czynnikiem. W związku z taką sytuacją należy zapewnić znacznie większą szczelność instalacji, a przed pierwszym napełnieniem odpowiednie warunki próżni i usunięcie wilgoci. Unikanie wilgoci w nowych instalacjach jest istotne, ponieważ wilgoć powoduje wiele zjawisk, które są niekorzystnie związane z rozkładem oleju w instalacji.

Czynnik R134a nie reaguje chemicznie z miedzią i tworzywami sztucznymi, natomiast niekorzystnie oddziałuje w przypadku użycia cynku, magnezu, ołowiu.

Kolejnym czynnikiem, o którym należy również wspomnieć jest R410A, najczęściej stosowany w klimatyzacji i zastępujący czynnik R22. Stosuje się go zazwyczaj w domowych i handlowych urządzeniach chłodniczych. Znalazł również zastosowanie w pompach ciepła, o których jest coraz głośniejsze jako o instalacjach typu OZE, również z uwagi na możliwość zmniejszenia emisji szkodliwych substancji do atmosfery. Rozpuszczalność wody w R410A zwiększy się w miarę wzrostu temperatury. Ma on też dobrą zdolność do tworzenia roztworu z olejami. Z właściwości fizykochemicznych R 410A musimy wymienić temperaturę topnienia, która wynosi -103°C (dla C_2HF_5) i -136°C (dla CH_2F_2), zaś temperaturę wrzenia możemy określić na poziomie $-48,1^{\circ}\text{C}$ (dla C_2HF_5) i $-51,7^{\circ}\text{C}$ (dla CH_2F_2). Czynnik nie reaguje negatywnie z materiałami zaliczanymi do tworzyw sztucznych. Bardzo dobrze współdziała z miedzią.

Zakres temperatur w jakich pracują czynniki chłodnicze jest istotny, bo musimy wytworzyć ciśnienie w układzie/installacji, aby osiągnąć temperaturę parownika, który będzie oddawał nam temperaturę do środowiska (do pomieszczenia lub wnętrza lodówki). Układ chłodniczy działa bowiem na zasadzie sprężania i rozprężania czynników chłodniczych w instalacji.

3. Oleje chłodnicze

Oleje stosowane w instalacji chłodniczej znajdują się w sprężarkach danego układu, przy czym można nadmienić, że każda sprężarka może być przystosowana do innego czynnika chłodniczego. Olej taki powinien mieć odpowiednią lepkość, stabilność chemiczną i smarowność. Dodatkowo musi być przystosowany do pracy w środowisku wysokich ciśnień. Najważniejsze wymaganie, jakie istnieje co do oleju to jest jego czystość. Kiedy zauważamy jego zmętnienie lub ciemnienie od razu zakładamy, że znajdują się w nim zanieczyszczenia lub postępuje znacznie proces jego starzenia. Dzięki zastosowaniu w instalacji chłodniczej układu, w którym olej jest mieszany z freonem możemy stwierdzić, iż smarowanie całego układu jest o wiele lepsze.

Obecnie w instalacjach chłodniczych wykorzystujemy dwa rodzaje olejów:

- oleje mineralne (przeważają w nich związki naftowe),
- oleje syntetyczne (to oleje znacznie mniej uniwersalne niż oleje mineralne).

4. Budowa i działanie układu chłodniczego

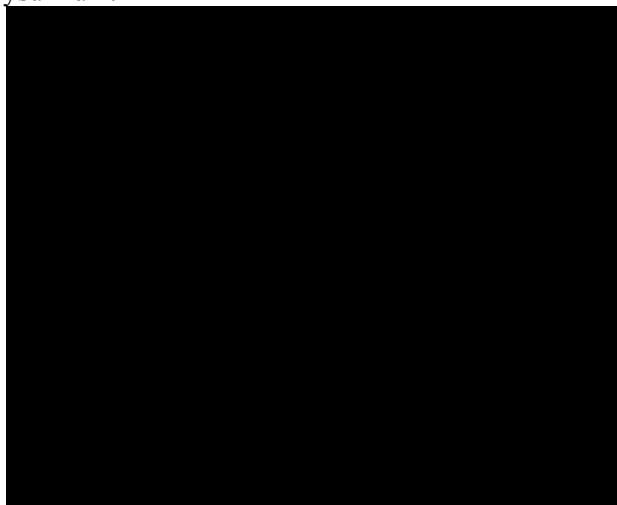
Urządzenia chłodnicze dzielimy na:

- urządzenia do przechowywania pewnych produktów w obniżonej temperaturze, najczęściej w zakresie temperatur od 0°C do $+15^{\circ}\text{C}$,
- urządzenia mrozące, gdy zakres temperatur ich pracy wynosi $(-14)^{\circ}\text{C}$ do $(-26)^{\circ}\text{C}$ lub od $(-18)^{\circ}\text{C}$ do $(-22)^{\circ}\text{C}$.

Inny podział mówi, że instalacje chłodnicze dzielimy na dwie podstawowe kategorie w zależności od budowy:

- urządzenia jednostopniowe,
- urządzenia dwustopniowe.

Generalnie instalacja chłodnicza składa się z następujących elementów przedstawionych na rysunku 2.



Rys. 2. Jednostopniowy obieg chłodniczy Lindego

Źródło: https://pl.wikipedia.org/wiki/Obieg_Lindego#/media/File:Linde-obieg_jednostopniowy.svg

Urządzenia tego typu działają na zasadzie sprężania i rozprężania czynnika chłodniczego w układzie. Sprężarka SPR (inaczej możemy ją nazwać silnikiem), posiada w swojej obudowie odpowiedni tłok, celem którego jest przetransportowania za pomocą przewodu tłocznego oparów czynnika (freonu). Opary poprzez przewód tłoczny trafiają do skraplacza SKR, w którym są skraplane, czyli zmieniają swój stan skupienia na ciecz. Skroplony czynnik jest przetransportowany przez panujące w układzie ciśnienie w stronę kapilary (rys. 3).

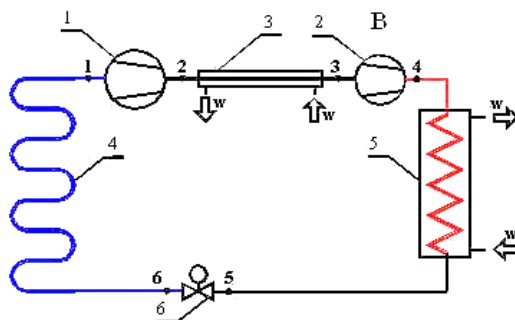


Rys. 3. Kapilara z nakrętkami

Źródło: opracowanie własne.

Kapilara to cienka rurka, która ma średnicę otworu wielkości główki od szpilki. W jej środku zachodzą zjawiska typowe dla przepływu kapilarnego (tzw. zjawiska kapilarne). Do tych zjawisk zaliczymy przepływ niezgodny z prawem Bernoulliego i zjawiska kondensacji kapilarnej. Skroplony freon trafia na początek kapilary, a ponieważ panuje już w układzie określone ciśnienie, zostaje zdławiony przez rurkę kapilarną i zmienia swój stan skupienia z cieczy na gaz. Następnie freon trafia do parownika PAR – urządzenia, w którym za pomocą wentylatorów oddaje chłód (w przypadku schładzania otoczenia) lub ciepło (w przypadku ogrzewaniu pomieszczenia). Następnie cały proces zachodzi od początku, czyli powtarza się. W urządzeniach klimatyzacyjnych inwerterowych możemy zauważyć, iż parownik nie tylko chłodzi, ale także grzeje. Wówczas na instalacji chłodniczej zostaje zainstalowany elektrozawór ZR, który odpowiada za odwracanie obiegu.

Układy dwustopniowe są bardzo podobne do układów jednostopniowych. Rozdzielamy w nich natomiast sprężarkę niskiego sprężu i wysokiego sprężu. Takie rozwiązanie jest bardzo przydatne w medycynie przy przechowywaniu materiałów biologicznych czy w niektórych specjalnych procesach technologicznych, kiedy potrzebujemy osiągnąć temperaturę powietrza w komorze rzędu -75°C . Najniższa temperatura w układzie jednostopniowym przy wykorzystaniu gazów R22 lub R404 wynosi $(-40)^{\circ}\text{C}/(-35)^{\circ}\text{C}$ przy ciśnieniu wrzenia czynnika 1 bar. Dzięki układowi dwustopniowemu możemy osiągnąć niższą temperaturę wrzenia czynnika żiebniejszego.



Rys. 4. Układ chłodniczy dwustopniowy:

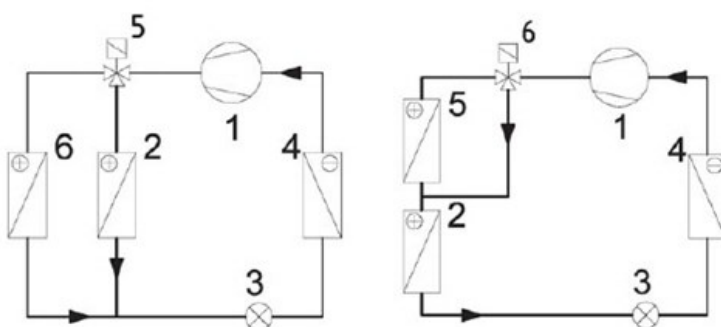
- 1 – sprężarka niskiego sprężu, 2 – sprężarka wysokiego sprężu, 3 – chłodnica międzystopniowa, 4 – parowacz, 5 – skraplacz, 6 – zawór

Źródło : <http://wentylacja.com.pl/news/dwa-obeigi-ziebnicze-w-jednym-czyli-koncepcja-kaskadowej-instalacji-niskotemperaturowej-z-jedna-sprezarka-32496.html>

Układy dwustopniowe wykorzystują wspomniane czynniki R22 lub R404A, umożliwiające osiągnięcie temperatury oziębianego pomieszczenia w granicach -60°C . Ciśnienie wrzenia freonu jest jednak znacznie niższe od atmosferycznego, a objętość skokowa sprężarek niskiego stopnia jest dość duża. Stosowanie w takim układzie semihermetycznych sprężarek dwustopniowych w instalacjach

małych komór niskotemperaturowych nie znajduje zatem uzasadnienia ze względów ekonomicznych.

Patrząc na tak działający układ można stwierdzić, iż zużywamy energię elektryczną i marnujemy dodatkowo ciepło, które zostanie wytworzone przez ten układ. Możemy mówić o tak zwanym ciepłe odpadowym. Dlaczego w takim przypadku na drodze układu między sprężarką a skraplaczem nie zastosować wymiennika ciepła z wodą (potocznie zwany bojlerem), w którym pierwsze ciepło zostanie oddane wodzie. Taka woda użytkowa zostałaby podgrzana już wstępnie do pewnej temperatury, a dalsza czynność związana z jej podgrzewaniem, poprzez np. grzałkę elektryczną czy inny system, nie pochłonięłaby aż tyle energii. Układ taki powinien wyglądać podobnie jak na poniższym rysunku.



Rys. 5. Schemat równoległy i szeregowy podłączenia wymiennika do odzysku ciepła
1 – sprężarka, 2 – skraplacz, 3 – zawór rozprężny, 4 – parownik, 5 – zawór trójdrogowy (rysunek po lewej stronie) lub wymiennik do odzysku ciepła (rysunek po prawej stronie), 6 – wymiennik do odzysku ciepła (rysunek po lewej stronie) lub zawór trójdrogowy (rysunek po prawej stronie)

Źródło: <https://www.hvacr.pl/aspekt-techniczno-ekonomiczny-odzysku-ciepła-w-instalacjach-chłodniczych-154>

Na rysunku 5 nie pojawia się tylko zbiornik z wodą. Jednak trzeba pamiętać o tym, iż musimy zastosować między skraplaczem a zbiornikiem ciepłego czynnika, regulator ciśnienia skraplania, zaś między przewodem tłocznym i zbiornikiem, regulator stabilizujący ciśnienie w zbiorniku. Powyższe rysunki przedstawiają połączenie równoległe i szeregowe. Połączenie równoległe różni się trochę od połączenia szeregowego, głównie zastosowaniem regulatora ciśnienia skraplania za skraplaczem w kierunku przepływu czynnika chłodniczego. Zapewnia on pierwszeństwo w działaniu naszego odzysku ciepła. Regulator taki otwiera zawór kiedy rośnie ciśnienie skraplania, zaś zamyka przy zmniejszaniu się ciśnienia. W przypadku potrzeby wytworzenia większego ciepła, skraplacz będzie całkowicie zalany czynnikiem. Ciśnienie skraplacza spowoduje otwarcie zaworu przez regulator i jego opróżnienie przy mniejszym zapotrzebowaniu. Zalety takiego układu:

- wymienniki do odzysku ciepła nie mogą być zalewane, dlatego w zbiorniku konieczna jest tylko niewielka ilość czynnika,

- w zbiorniku cieczy nie zawsze musimy stosować regulator ciśnienia,
- niewielkie są straty ciśnienia w strumieniu z uwagi na fakt, iż czynnik przepływa tylko przez jeden wymiennik ciepła.

Wady takiego układu:

- konieczne spadki geometryczne z wymiennika ciepła do zbiornika cieczy,
- wymagane wyższe wyposażenie techniczne układu, dla zapewnienia właściwego przepływu strumienia czynnika chłodniczego obiema równoległymi drogami.

Na rysunku 4 jest przedstawiony także układ podłączenia szeregowego wymiennika. Przy zastosowaniu takiego rozwiązania nie jest zalecane stosowanie skraplacza konstrukcji płaszczowo-rurowej z pękiem rur. Ze względu na znacząco większą pojemność nie może on zostać zalany ciekłym czynnikiem chłodniczym, ponieważ nie ma go w instalacji za wiele. Częściowe zalanie tego wymiennika jest konieczne przy chłodnej jeszcze wodzie w fazie rozruchu urządzenia. Zalety podłączenia szeregowego:

- proste i nieskomplikowane włączenie bez niebezpieczeństwa przemieszczania się czynnika chłodniczego,
- nie jest wymagany spadek geometryczny w stronę zbiornika dla obu wymienników.

Wady podłączenia szeregowego:

- znaczny spadek ciśnienia w strumieniu chłodniczym,
- skraplacz płaszczowo-rurowy z pękiem rur nie nadaje się do zalewania ciekłym czynnikiem.

Do takich układów bez większych przeszkód możemy stosować wymienniki płytowe, jak i płaszczowo-rurowe.

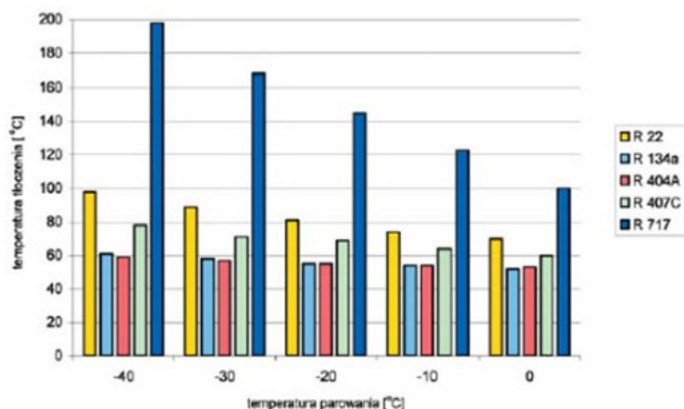


Rys. 6. Zbiornik wody zastosowany w odzysku ciepła w instalacji chłodniczej w zakładzie masarskim, instalacja zbudowana przez firmę Delta T

Źródło: opracowanie własne.

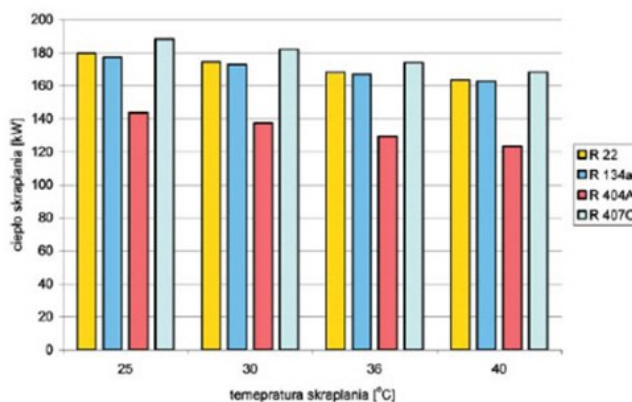
Zbiorniki stosowane do zbudowania takiej instalacji są w ofertach szeregu producentów. Zasadnicze jest pytanie, jeżeli już podgrzejemy wodę w wymienniku, to jaką możemy uzyskać temperaturę wody? Na podstawie książki Dominika Staniszewskiego i Waldemara Targańskiego pod tytułem „Odzysk ciepła w instalacjach chłodniczych i klimatyzacyjnych” możemy przeanalizować badania podobnej instalacji na różnych czynnikach chłodniczych.

Jeśli istnieje możliwość odzyskania ciepła z instalacji chłodniczych, to pozostaje pytanie: jakie zyski ciepła zostaną uzyskane? Musimy również przewidzieć wszelkie aspekty ekonomiczne, ale i jednocześnie nakładane na nas zaostżenia regulacyjne (prawne i instytucjonalne) przez uprawnione instytucje. Inwestycja taka może okazać się opłacalna, jak pokazano na poniższych rysunkach.



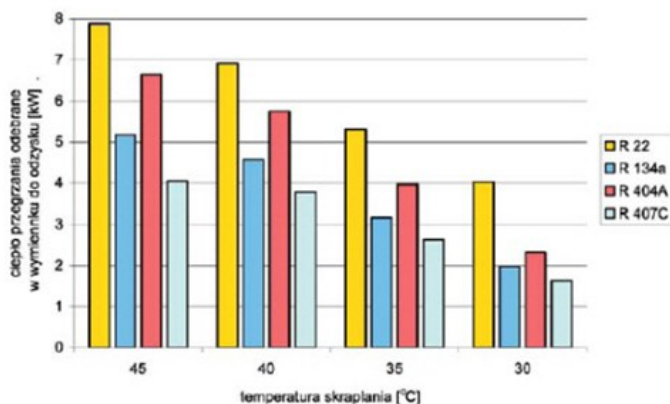
Rys. 7. Porównanie temperatury tłoczenia wybranych czynników chłodniczych w zależności od temperatury parowania

Źródło: <https://www.hvacr.pl/aspekt-techniczno-ekonomiczny-odzysku-ciepła-w-instalacjach-chłodniczych-154>



Rys. 8. Ciepło skraplania dla wybranych czynników chłodniczych w zależności od temperatury skraplania

Źródło: <https://www.hvacr.pl/aspekt-techniczno-ekonomiczny-odzysku-ciepła-w-instalacjach-chłodniczych-154>



Rys. 9. Porównanie ciepła przegrzania odebranego w wymienniku płaszczowo-rurowym od wybranych czynników chłodniczych w zależności od temperatury skraplacza

Źródło: <https://www.hvacr.pl/aspekt-techniczno-ekonomiczny-odzysku-ciepła-w-instalacjach-chłodniczych-154>

Analizując wykresy na rysunkach 6, 7, 8 możemy jednoznacznie stwierdzić, iż stosowane obecnie czynniki chłodnicze dają mniejsze możliwości uzyskania ciepła niż czynnik R22. Wśród obecnie stosowanych czynników chłodniczych z rodziny CFC największą temperaturą skraplania wyróżnia się czynnik R407C, a największym możliwym do odzyskania ciepła przegrzania czynnik R404A.

5. Instalacja odzysku ciepła

Instalacja tego typu została zamontowana w zakładzie masarskim. Jest ona złożona z urządzeń działających na czynnik R404A o nazwie BITZER LH124/4NES-14Y, BITZER LH104/4DES-7Y oraz dwa agregaty BITZER LH84-2CES-4Y. Skraplacze zostały odłączone od płyty nośnej agregatu i przeniesione na zewnątrz obiektu, co przedstawia rys.11. Rozwiązanie takie zostało zastosowane z dwóch powodów. Po pierwsze, agregaty chłodnicze zostały umieszczone na poddaszu zakładu. Z uwagi na fakt, iż w przeznaczonym miejscu jest znikoma wymiana powietrza, jak i bardzo mała powierzchnia pomieszczenia, konstruktor instalacji zdecydował, że aby osiągnąć prawidłową sprawność energetyczną urządzeń, należy wyeliminować przegrzewanie się agregatów, czego efektem jest zmiana umiejscowienia skraplaczy. Pomieszczenie, w którym znajdują się urządzenia (poddasze) nie posiada wentylacji i izolacji, a tylko pokrycie dachowe z blachy oraz membrana wodoszczelna. W cieplejsze dni blacha nagrzewa się do znacznych temperatur, powodując podniesienie temperatury powietrza. Te dwa czynniki spowodowałyby przegrzewanie się urządzeń i przełączenie się ich w tryb awaryjny. Konstruktor przewidział także, iż instalacja taka będzie wymagać dodatkowej armatury i rozwiązań sterowania przepływem czynnika. Zastosował w takim przypadku zawory KVR, które regulują przepływ czynnika w układzie.



Rys. 10. Agregat chłodniczy Bitzer LH124, bez skraplacza
Źródło: opracowanie własne.



Rys. 11. Agregat chłodniczy Bitzer LH84, na zdjęciu sprężarka, zbiornik ciecchy, elektrozawór oraz filtr
Źródło: opracowanie własne.



Rys. 12. Skraplacze wymienionych agregatów Bitzer umieszczone na zewnątrz zakładu

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 13. Zawór KVR firmy Danfoss, w tle elektrozawór

Źródło: opracowanie własne.

Rozbudowano jednocześnie instalację o niezbędną ilość styczników, zabezpieczeń przepięciowych, presostatów i wszelkiej potrzebnej armatury. Podczas testów skonstruowanej instalacji, po uruchomieniu wszystkich agregatów, osiągnięto temperaturę wody w wymienniku rzędu 40°C. Osiągnięcie takiej temperatury skutkuje mniejszym zużyciem energii w przypadku dalszego podgrzewania wody w wymienniku i jest rozwiązaniem ekonomiczniejszym dla przedsiębiorcy. Inwestor nie zrezygnował oczywiście z „tradycyjnych” urządzeń

cieplnych, a odzysk z instalacji chłodniczej traktuje jako pozytywne wykorzystanie energii, którą i tak musi wytworzyć.

Musimy wziąć jednak pod uwagę czynniki ekonomiczne instalacji, możliwości rozwiązań technicznych, jak również uwarunkowania prawne, np. efektywność energetyczną. Zgodnie z wytycznymi Unii Europejskiej każde przedsiębiorstwo powinno odzyskiwać ciepło z instalacji chłodniczej, ponieważ w innym przypadku dopuszcza się marnotrawstwa ciepła, które wytworzą nam agregaty chłodnicze.

6. Podsumowanie

Niniejszy artykuł poświęcony jest instalacjom chłodniczym przemysłowym i zachęca przedsiębiorców do odzyskiwania ciepła z tych instalacji z uwagi na troskę o nasze środowisko, jak i przestrzeganie wytycznych prawnych w zakresie efektywności energetycznej. W artykule omówiono podstawowe instalacje chłodnicze freonowe, gazy w nich wykorzystywane, ale i jednocześnie możliwość odzyskania ciepła, które zazwyczaj jest oddawane w dużej mierze do atmosfery. Świadomie unikano charakterystyki instalacji amoniakalnych, jak i wykorzystujących dwutlenek węgla, ponieważ są to czynniki wykorzystywane w dużych zakładach produkcyjnych. W pracy przedstawiono także koncepcję instalacji odzysku ciepła przy wykorzystaniu układu klimatyzacyjnego oraz omówiono jej konstrukcję. Układy tego typu powinny znaleźć zastosowanie w instalacjach chłodniczych małych i średnich przedsiębiorstwach.

Literatura

- [1] Kowalczewski S., *Urządzenia chłodnicze*, Wydanie 2 niezmienione, Warszawa 1957, Państwowe Wydawnictwo Techniczne.
- [2] Hundy G.F., Trott A.R., Welch T.C., *Refrigeration and Air-Conditioning*, 4th Edition, Butterworth-Heinemann, 2008.
- [3] Staniszewski D., Targański W., *Odzysk ciepła w instalacjach chłodniczych i klimatyzacyjnych*, IPPU MASTA 2007.
- [4] strona internetowa: <https://www.hvacr.pl/aspekt-techniczno-ekonomiczny-odzysku-ciepła-w-instalacjach-chłodniczych-154>

Streszczenie

W artykule przedstawiono problem odzysku ciepła z instalacji chłodniczych. Przedstawiono podstawy teoretyczne termodynamiki wraz z charakterystyką powszechnie stosowanych czynników chłodniczych. Omówiono zasady działania urządzeń chłodniczych i ich łączenia. Przedstawiono konstrukcję instalacji zastosowanej w zakładzie masarskim.

Słowa kluczowe: urządzenia chłodnicze, odzysk ciepła.

CONFORMAL COATING – INNOWACYJNA METODA NA PRZEDŁUŻENIE ŻYCIA WSPÓŁCZESNEJ ELEKTRONIKI

Paweł Milek

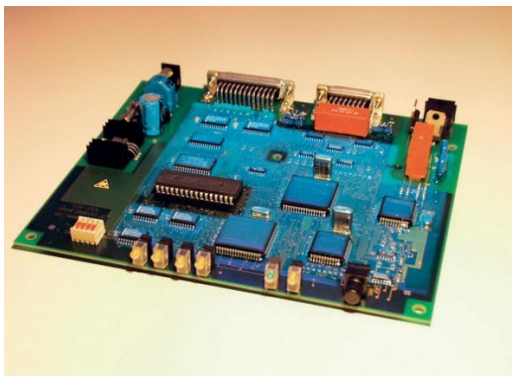
1. Czym jest conformal coating?

Conformal coating jest technologią stosowaną w przemyśle elektronicznym, polegającą na pokrywaniu płytki elektronicznej wraz z jej komponentami ochronną powłoką lakieru. Głównym celem tego procesu jest zabezpieczenie urządzeń elektronicznych przed negatywnym wpływem czynników środowiska zewnętrznego.

Conformal coating w produkcji elektroniki znacząco wpływa na niezawodność pracy urządzeń. Warstwa lakieru zabezpiecza płytkę elektroniczną przed absorpcją wilgoci atmosferycznej z otoczenia. Ponadto chroni komponenty elektroniczne przed przebiciami elektrycznymi, stanowi bardzo dobrą ochronę elektroniki pracującej w agresywnym środowisku, a także zabezpiecza powierzchnię płytki przed zanieczyszczeniami jonowymi oraz przyciąganiem kurzu.

Poprzez redukcję wpływu wilgoci oraz zanieczyszczeń, zmniejszamy ryzyko powstawania korozji ścieżek elektronicznych oraz połączeń lutowniczych. Zmniejszamy również niebezpieczeństwo rozrostu dendrytów, które z czasem prowadzą do zwarcia, a w konsekwencji, podobnie jak w przypadku korozji, awarii całych urządzeń.

Conformal coating stanowi również ochronę mechaniczną na przykład przed ścieraniem mechanicznym, wpływem obciążeń udarowych oraz wibracji. Zalecane jest, aby stosować ten proces wszędzie tam, gdzie wymagana jest wysoka niezawodność pracy urządzeń elektronicznych.



Rys. 1. Przykład płytki elektronicznej pokrytej warstwą lakieru ochronnego.
Widok w świetle UV

Źródło: <http://epp-europe.industrie.de/technology/products/fast-drying-conformal-coatings>

2. Historia rozwoju conformal coatingu

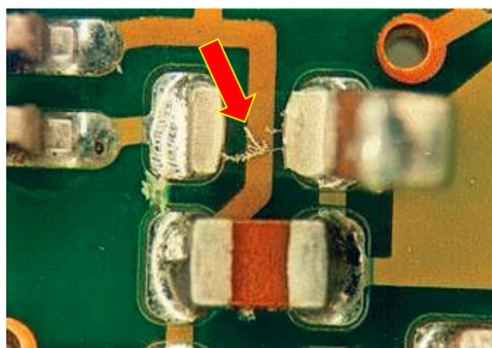
Technologia conformal coatingu istnieje już od blisko 50 lat, pomimo to cyklicznie jest udoskonalana, głównie za sprawą stosowania nowych materiałów. W początkowych fazach jej rozwoju była zarezerwowana wyłącznie dla przemysłu wojskowego i lotniczego, gdzie wymagana jest wysoka niezawodność pracy sprzętu elektronicznego. Wówczas do powlekania elektroniki stosowany był Polyparaxylen (handlowa nazwa Parylene) – materiał chemiczny zawierający w swym składzie polimery, mające dobre właściwości dielektryczne oraz stanowiące doskonałą barierę przed wilgocią. Zastosowanie conformal coatingu w innych gałęziach przemysłu było mało opłacalne ze względu na wysokie koszty procesu, jak i cenę samego materiału. Jeżeli producenci elektroniki z innych gałęzi przemysłu decydowali się na lakierowanie płytek, były to zazwyczaj moduły elektroniczne o szczególnie dużych wymaganiach związanych z niezawodnością działania.

W miarę postępu technologicznego pogłębia się również proces miniaturyzacji elektroniki. Produkowane urządzenia są coraz mniejsze, co bezpośrednio wpływa na gęstość rozmieszczenia komponentów na płytkach elektronicznych. Dodatkowo w dobie wciąż taniejącej elektroniki wiele producentów stara się utrzymać niskie koszty wytwarzania swoich produktów, korzystając z usług chińskich dostawców. Powyższe aspekty powodują, że dzisiejsza elektronika staje się coraz bardziej zawodna i wrażliwsza na czynniki zewnętrzne. To między innymi z tego powodu od kilku lat obserwowany jest ciągły wzrost zainteresowania na rynku technologiami związanymi z zabezpieczaniem elektroniki. Przykładem ciągłego wzrostu jest przemysł motoryzacyjny, gdzie wciąż rosnąca ilość urządzeń chroniących ludzkie życie wymaga od producentów gwarancji ich niezawodności pracy nawet przez 20 lat.

3. Dendryty w elektronice. Co to takiego?

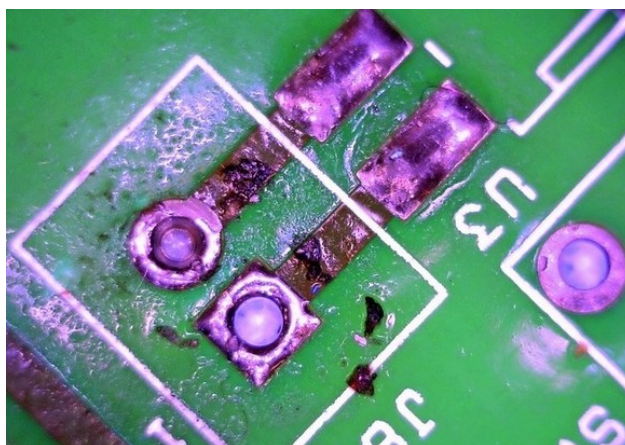
Dendryty? Czym one są i jaki związek z nimi ma proces conformal coating. Słowo dendryt wywodzi się z greckiego słowa „déndron”, czyli drzewo. Dendryty otrzymały taką nazwę, ponieważ swoim wyglądem przypominają gałęzie drzewa. Rozwojowi dendrytów sprzyjają zanieczyszczenia jonowe pozostawione na płytkach elektronicznych w trakcie procesów produkcji, ale nie tylko. Do zanieczyszczeń tych możemy zaliczyć nawet odciski palców. Dendryty tworzą się w wyniku migracji elektrochemicznej, czyli przemieszczania się jonów między metalowymi częściami o różnych potencjałach elektrycznych przy obecności elektrolitu, którym może być woda, para wodna lub inna substancja. Szybkość ich wzrostu zależy od wielu czynników, np. temperatury i może trwać od kilkudziesięciu minut do nawet kilku lat. Bez obecności elektrolitu czy metalowych elementów o różnych potencjałach elektrycznych, powstanie dendrytu nie będzie możliwe. Niewiele osób zdaje sobie sprawę, że przenosząc urządzenia elektroniczne z pomieszczeń o dużych różnicach temperatury, np. zimą wnosząc laptopa do mieszkania, powodujemy powstawanie pary wodnej, która skraplając się osiada

na komponentach elektronicznych, nawet wewnątrz obudowy. Zabezpieczeniem elektroniki przed tymi lub podobnymi zjawiskami jest właśnie proces conformal coatingu.



Rys. 2. Dendryt powodujący zwarcie pomiędzy ścieżką i dwoma polami komponentu SMT¹

Źródło: <http://epp-europe.industrie.de/technology/applications/reliable-electronic-assemblies/>



Rys. 3. Przykład skorodowanych ścieżek na płycie elektronicznej

Źródło: <http://epp-europe.industrie.de/allgemein/how-to-increase-end-product-lifetime-and-reliability/>

4. Metody powlekania płytek w conformal coatingu

Powłoki nakładane są różnymi metodami:

- przy użyciu pędzla lub przez wylewanie (*brush or flow coating*),
- natryskiem przy pomocy sprężonego powietrza (*spray coating*),
- zanurzeniowo (*dip coating*),

¹ SMT (ang. *Surface Mount Technology*, *SMT*) – sposób montowania podzespołów elektronicznych na płycie obwodu drukowanego.

- selektywnie z wykorzystaniem programowalnych dozowników (*select coating*),
- z użyciem dyszy igłowej (*needle dispensing*).

Nakładanie za pomocą pędzla, natryskiem może być wykonywane ręcznie. Jednak metoda z użyciem pędzla nie pozwala na jednoczesne pokrycie lakierem obydwu stron obwodu. Umożliwia to metoda zanurzeniowa. Jednak ta z kolei nie pozwala na pokrywanie selektywne, które pozostawia część elementów bez pokrycia. Metoda natryskowa powoduje znaczne straty lakieru, co praktycznie nie występuje w metodzie zanurzeniowej. Za najdoskonalsze uchodzą metody selektywne wykorzystujące tzw. kurtynę natryskową. Lakier podawany przez dyszę dozownika tworzy bardzo cienką kurtynę o regulowanej szerokości. Dysza, przemieszczając się nad obwodem, nakłada lakier w sposób ciągły i równomierny, a zmieniająca się w trakcie ruchu szerokość kurtyny powoduje, że jest on nakładany selektywnie, czyli pomija określone obszary płytki. Wadą tej metody jest konieczność stosowania bardzo zaawansowanych technicznie i drogich urządzeń.

5. Rodzaje powłok stosowanych do zabezpieczania elektroniki

Ze względu na technologię i skład chemiczny możemy wyróżnić 4 podstawowe rodzaje powłok stosowanych do zabezpieczania elektroniki.

- **Akryłowe**, lakiery akrylowe są materiałami jednokomponentowymi. Stanowią około 80% rynku. W swoim składzie posiadają polimery termoplastyczne, które zostały rozpuszczone w mieszaninie rozpuszczalników organicznych. Polimery termoplastyczne nie wykazują procesu sieciowania chemicznego, co oznacza, że lakiery akrylowe mięknią w podwyższonej temperaturze, a także są stosunkowo łatwo usuwalne za pomocą rozpuszczalników organicznych. Utwardzanie powłoki akrylowej odbywa się poprzez odparowanie rozcieńczalnika z jej składu.

Zaletą lakierów akrylowych jest łatwość ich aplikacji, wysoka odporność na wilgoć, szybkie utwardzanie oraz łatwość naprawy płytek poprzez usunięcie warstwy lakieru rozpuszczalnikiem. Z drugiej zaś strony brak odporności na działanie rozpuszczalników możemy uznać za wadę tych powłok.

Do wad możemy również zaliczyć samą obecność rozpuszczalnika w składzie lakieru, który podczas odparowywania emitowany jest do atmosfery, co ma negatywny wpływ na zanieczyszczenie atmosfery i globalne ocieplenie.

Przykłady zastosowania w przemyśle:

- sterowniki systemów bezpieczeństwa, np. AIR BAG,
- sterowniki silników,
- kontrolery wind,
- sprzęt komunikacyjny.

- **Epoksydowe**, lakiery na bazie żywic epoksydowych najczęściej występują w dwóch odmianach: na bazie rozpuszczalnika oraz bezrozpuszczalnikowe. Mogą być termoutwardzalne, utwardzane światłem UV oraz w przypadku lakierów dwukomponentowych utwardzane poprzez wymieszanie bazy i utwardzacza w odpowiednich proporcjach. Lakiery na bazie żywic są bardzo trwałymi materiałami, przeważnie nieprzezroczystymi. Charakteryzuje je bardzo wysoka odporność na temperaturę, chemię, rozpuszczalniki oraz wilgoć.

W przypadku materiałów dwukomponentowych (baza i utwardzacz) natychmiast po wymieszaniu dwóch składników rozpoczyna się reakcja chemiczna, na skutek której następuje stopniowy wzrost lepkości powłoki.

Jedną z charakterystycznych cech tego procesu jest „czas życia” mikstury określanej przez producentów jako „Pot life”. Jest to dozwolony czas przetwarzania materiału od chwili rozpoczęcia reakcji chemicznej. Po tym czasie lepkość materiału gwałtownie wzrasta, a po ostatecznym utwardzeniu jego usunięcie za pomocą rozpuszczalników, czy większości środków czyszczących, nie jest możliwe.

W powłokach zabezpieczających na bazie żywic epoksydowych występuje proces sieciowania chemicznego, dzięki temu mają bardzo dobrą wytrzymałość mechaniczną oraz są odporne na ścieranie. Niestety, jak wyżej wspomniano, ich usunięcie jest praktycznie niemożliwe, co znacząco utrudnia ewentualną naprawę płytki. Dodatkowo z uwagi na to, że niektóre powłoki po utwardzeniu osiągają wysoką twardość mechaniczną, mają one ograniczone zastosowanie w procesie zabezpieczania elektroniki.

- **Poliuretanowe**, w większości występują jako materiały jednoskładnikowe na bazie rozpuszczalników. Mają podobne właściwości wytrzymałościowe jak powłoki na bazie epoksydy. Wadą ich jest długi czas utwardzania. Poliuretanowe UV, odmiana tradycyjnych powłok poliuretanowych, utwardzane są światłem UV. Zaletą to brak rozpuszczalników w ich składzie, a także szybkość utwardzania, co znacząco przyspiesza cały proces produkcyjny. Etap utwardzania wymaga wysoko wydajnej lampy UV.
- **Silikonowe**, są odporne na ścieranie oraz bardzo elastyczne, co wiąże się z niskimi naprężeniami występującymi na płytce i jej komponentach. Stanowią dobre zabezpieczenie przed wysokimi temperaturami. Utwardzanie następuje w temperaturze pokojowej w wyniku reakcji z wilgocią atmosferyczną lub pod wpływem podwyższonej temperatury. Zaletą jest to, że nie zawierają w swym składzie rozpuszczalników. Wadą jest niska odporność mechaniczna, a także stosunkowo wysoka cena. Należy również pamiętać, że powłoki silikonowe przepuszczają parę wodną, więc nie dają one tak dobrego zabezpieczenia przed wilgocią jak powłoki akrylowe czy poliuretanowe. W przypadku konieczności naprawy płytki, usunięcie powłoki silikonowej jest prawie niemożliwe.

Żywotność 1-składnikowych silikonów jest tak długa jak długo przechowujemy je w chłodnych i pozbawionych wilgoci warunkach. Do wad możemy zaliczyć niską odporność mechaniczną.

Lakiery silikonowe ze względu na proces sieciowania chemicznego (utwardzania) dzielą się na 3 typy:

- RTV 1 – utwardzane w temperaturze pokojowej, 1-składnikowe.
- RTV 2 – utwardzane w temperaturze pokojowej, 2-składnikowe.
- HTV – utwardzane w wysokiej temperaturze, 1-składnikowe.

Czas schnięcia silikonów RTV 1 jest stosunkowo długi i wynosi około 1 mm/dzień. Przyspieszenie schnięcia poprzez podniesienie temperatury jest możliwe wyłącznie w ograniczonym stopniu.

W przypadku silikonów RTV 2 proces sieciowania jest silnie zależny od temperatury. Przykładowo, jeśli utwardzanie silikonu trwa 1 dzień w temperaturze pokojowej, możemy przyspieszyć ten proces podnosząc temperaturę do 150°C.

Silikony RTV 1 oraz HTV są stosowane głównie jako powłoki ochronne, natomiast RTV 2 dominują w procesach zalewania całych urządzeń.

Przykłady zastosowania w przemyśle:

- przemysł wiertniczy/wydobywczy,
- elektronika pracująca w wysokich temperaturach.

Tabela 1. Grubość powłok po utwardzeniu

Rodzaj powłoki	Grubość
Akrylowa	25-75 μm
Epoksydowa	25-75 μm
Poliuretanowa	25-75 μm
Silikonowa	50-200 μm

Źródło: opracowanie własne.

Warto wspomnieć jeszcze o **lakierach UV**, ich ogromną zaletą jest szybkość utwardzania, mogą być one błyskawicznie utwardzane światłem UV. Lakiery UV stosowane są głównie w masowej produkcji elektroniki, gdzie szybkość procesu jest szczególnie ważna.

6. Który rodzaj powłoki ochronnej jest najlepszy?

Oczywiście to wszystko zależy od przeznaczenia i warunków w jakich będzie pracowało dane urządzenie, jednakże na podstawie poniższej tabeli możemy wyłonić faworyta, chociaż nie będzie to rozwiązanie idealne.

Tabela 2. Podsumowanie właściwości lakierów ochronnych

Rodzaj powłoki	Akrylowa	Poliuretanowa	Epoksydowa	Silikonowa	Utwardzana światłem UV
Łatwość aplikacji	Zależne od technologii	Zależne od technologii	Zależne od technologii	2	4
Czas utwardzania	4	3	3	1	5
Odporność chemiczna	1	4	5	4	5
Odporność na wilgoć	5	4	5	4	5
Możliwość łatwego usunięcia	5	3	1	0	2
Przyjazna środowisku	Zależne od technologii	Zależne od technologii	Zależne od technologii	5	5
Główna zaleta	Ogólne przeznaczenie	Odporność chemiczna	Odporność mechaniczna i chemiczna	Odporność na wysokie temperatury	Szybkość procesu utwardzania

Źródło: opracowanie własne, skala ocen od 1(najniższa ocena) do 5 (najwyższa ocena).

Powłoki akrylowe są odporne na wilgoć, mają szybki czas utwardzania i łatwo je usunąć, gdyż miękną w podwyższonej temperaturze. Jedynym ich mankamentem jest słaba odporność na substancje chemiczne. Powłoki poliuretanowe mają nieco gorsze właściwości niż akrylowe, lecz cechują się wysoką odpornością chemiczną. Natomiast odpornością chemiczną i mechaniczną wykazują się powłoki epoksydowe. Są one odporne na ścieranie i wytrzymałe mechanicznie, lecz nie do usunięcia z płytki po utwardzeniu. Naprawa uszkodzonej płytki staje się wówczas dużym problemem. Natomiast powłoki silikonowe charakteryzują się doskonałymi właściwościami mechanicznymi, elektrycznymi i chemicznymi. Mogą one pracować w wyższych temperaturach niż inne rodzaje pokryć. Najlepsze pod kątem czasu utwardzania są lakiery UV. Są idealne jeżeli chodzi o właściwości, gdyż mają bardzo dobrą odporność na wilgoć, doskonałą izolację elektryczną i odporność chemiczną. Rynek tych powłok nieustannie się rozwija.

Ze względu na aspekty ekologiczne zostały opracowane i wdrożone lakiery na bazie wodnej. Mają one jednak tendencję do zbyt wolnego odсыхания, a pokrycia mają zbyt dużą grubość. Poza tym cechy chemiczne pokryć tego typu ograniczają ich zastosowanie.

7. Korzyści dla producentów

Conformal coating zapewnia długotrwałą i niezawodną pracę urządzeń, zmniejsza ryzyko ich przedwczesnej awarii. Co za tym idzie, daje możliwość oferowania producentom dłuższej gwarancji niż konkurencyjne firmy, a także zwiększa postrzeganie producenta przez konsumentów jako wytwórcę wysokiej jakości sprzętu elektronicznego.

Dzisiejsza technologia conformal coatingu, oparta na bazie lakierów akrylowych, daje możliwość zabezpieczenia elektroniki niedużym kosztem. Na przykład zabezpieczenie elektroniki radia samochodowego to koszt rzędu ok. 0,50 zł, co stanowi ok. 0,1-0,2% kosztów całego urządzenia. Jest to naprawdę niewiele w porównaniu do tego ile producent może stracić w wyniku przedwczesnych awarii jego produktów. W najlepszym przypadku, gdy problem jest jednostkowy, producent ponosi jedynie koszty wymiany urządzenia na nowe, jednak w sytuacji gdy problem staje się masowy, poza wyżej wymienionymi kosztami, firma traci reputację i zaufanie ze strony konsumentów, które w skrajnych przypadkach mogą prowadzić nawet do bankructwa.

8. Przyszłość conformal coatingu

Głównym kierunkiem rozwoju procesu conformal coating w najbliższych latach będzie ograniczenie emisji szkodliwych rozpuszczalników do atmosfery. Planowany jest wzrost popularności powłok utwardzanych światłem UV. Przewiduje się także dalszy rozwój wyrobów akrylowych, szczególnie tych w wersjach nietoksycznych, a także rozwój lakierów całkowicie bezrozpuszczalnikowych, na bazie wody, które będą cechowały się takimi samymi właściwościami jak obecnie stosowane materiały.

Literatura

- [1] Suppa M., *Conformal Coatings for Electronics Applications*, 1st edition, 2012.
- [2] www.epp-europe.industrie.de/technology/applications/reliable-electronic-assemblies/
- [3] www.epp-europe.industrie.de/allgemein/how-to-increase-end-product-lifetime-and-reliability/

Streszczenie

W artykule przedstawiono problem związany z wyborem powłok do powlekania płytek w elektronice. Przedstawiono historię rozwoju techniki conformal coating, opisano metody stosowane w powlekanii płytek oraz scharakteryzowano najczęściej stosowane rodziny powłok, jak: akrylowe, poliuretanowe, epoksydowe, silikonowe i jedne z nowszych – lakiery UV. Dokonano przeglądu ich wad i zalet, w aspekcie wytrzymałościowym, odporności na temperaturę, odporności chemicznej i wpływu na środowisko.

Słowa kluczowe: conformal coating, powłoki.

ZASADY DZIAŁANIA ORAZ PROCES TECHNICZNO-PRODUKCYJNY URZĄDZEŃ CIĘGŁOWO-ZDERZNYCH NA BAZIE POJAZDU SZYNOWO-DROGOWEGO ORION 9C160

Konrad Puławski, Paulina Palmowska

1. Wstęp

Obecnie rozwój kolejnictwa jest jednym z istotniejszych planów strategicznych naszego kraju. W dobie samochodów, tirów, samolotów, kolej stała się jednak mało atrakcyjna. Wszelkie zatem działania firm z branży we współpracy z rządem i samorządami, zarówno już te podjęte oraz planowane, skierowane są na podniesienie konkurencyjności kolei. Jej wyznacznikiem są koszty, komfort podróżowania, czas przejazdu oraz bezpieczeństwo pasażerów. Możliwe jest to dzięki wszelkim innowacjom, które w branży kolejowej się rozwijają. Rozwój skupiony jest na usprawnieniu organizacji, technologii, a także na odpowiedniej promocji. W celu zwiększenia konkurencyjności potrzebna jest współpraca i wspólne działania pomiędzy stronami typu: zarządcy infrastruktury i dworców, przewoźnicy oraz organy odpowiedzialne za bezpieczeństwo w transporcie kolejowym. Jednak w Polsce istnieje duży potencjał dla rozwoju kolejnictwa, a w najbliższym czasie zintensyfikowane zostaną również działania na kolej aglomeracyjną i między-aglomeracyjną. W 2013 r. za pomocą uchwały przyjętej przez Radę Ministrów wyznaczono kierunki działań w zakresie rozwoju kolei, a w tym zwiększenie jej dostępności, efektywności oraz bezpieczeństwa. Nie można zapominać, że dla pasażera konkurencyjny, w stosunku do innych środków transportu, jest komfort jazdy, czyli wygoda podróżowania, ale także punktualność, bezpieczeństwo i szybka obsługa w ruchu manewrowym. Zmiany te są systematycznie wdrażane, a jednym z przykładów jest dworzec kolejowy w Łodzi. Stał się on wizytówką miasta, gdyż jest to przykład dworca nowoczesnego i przyjaznego dla podróżujących [1].

Jedną ze spółek z branży kolejowej – PKP Intercity podaje, że obecnie dysponuje już w 70% nowym lub zmodernizowanym taborem, a z założenia, na polskich torach, ma poruszać się ponad 300 nowych składów. Zmiany widoczne są również w Przewozach Regionalnych. PKP Przewozy Regionalne zmodernizują pojazdy, budynki użyteczności publicznej oraz bazy serwisowe dla taboru. W tym obszarze działają nie tylko PKP Przewozy Regionalne, ale również samorządowi przewoźnicy, jak Łódzka Kolej Aglomeracyjna, Koleje Mazowieckie, Śląskie i wiele innych. Niewątpliwie, ciągle dużym problemem jest średnia prędkość transportu kolejowego w stosunku do transportu samochodowego czy lotniczego. W tym celu podjęto działania mające na celu zmniejszenie tych wąskich gardeł, które powodują przestoje i opóźnienia. Planowane jest wdrożenie instalacji nowoczesnych urządzeń sterowania ruchem kolejowym, zwiększenie maksymalnej długości

kolei oraz zwiększenie nacisku na oś. Dzięki 5 mld euro, które będą zainwestowane w kolej, zostaną wyremontowane linie kolejowe i tabor, co spowoduje wzrost średniej prędkości na trasach towarowych o ponad 20%.

Kolejne działania skumulowane zostaną na zwiększenie możliwości oferowania klientom kompletnego łańcucha dostaw produktów, czyli door to door oraz just in time, które mogą być dowożone kolejami. Największy potencjał widoczny jest w przewozach intermodalnych, czyli takich, które wykorzystują więcej niż jeden środek transportu, przy wykorzystaniu tylko jednej jednostki ładunkowej, np. naczepa, bez konieczności przeładunku na trasie. Odciążą to niewątpliwie transport drogowy. Jednak niezbędne do tego są terminale kolejowe, w których odbywa się przeładunek towarów lub zmiana środków transportu oraz miejsce działalności usługowej. Obiekty te usytuowane są najczęściej na trasach transportu intermodalnego, a także przystosowane do szybkiego i sprawnego przeładunku intermodalnych jednostek transportowych, tj. kontenerów, nadwozi wymiennych i naczep samochodowych. Wykonuje się oczywiście na tych jednostkach inne operacje, jak składowanie czy ich użytkowanie. Występują również różne systemy terminalowe.

1. System jednoterminalowy występuje wówczas, gdy istnieje jeden centralnie umiejscowiony terminal wraz z kilkoma terminalami lokalnymi, zajmującymi się odbiorem i dystrybucją towarów. W takich terminalach ma miejsce tylko i wyłącznie przeładunek między pojazdami, które dostarczają towary, a jednostkami ładunkowymi, które kursują między terminalem lokalnym a klientem. Natomiast w terminalu centralnym odbywa się sortowanie towarów. Terminal taki przystosowany jest do przyjęcia dużych strumieni towarów.
2. System wieloterminalowy, przystosowany do dużej ilości mniejszych paczek. Jest to kilka terminali równych sobie pod względem hierarchii. Nie wszystkie terminale w tym systemie muszą być ze sobą połączone. Można rozróżnić różne typy terminali. Istnieją terminale zbożowe, przykładem jest Bałtycki Terminal Zbożowy w Gdyni. Powierzchnia magazynowa wynosi tu ok. 71 tys. ton. Posiada dwa nabrzeża, które wyposażone są w urządzenia do przeładunku ładunków masowych pochodzenia rolnego, tj. nasion oleistych, zbóż, surowców paszowych. Jest to największy terminal zbożowy w kraju. Kolejnym typem terminali jest terminal gazowy. Przykładem jest Terminal LNG w Świnoujściu. Jest to port umożliwiający przeładunek i regazyfikację skroplonego gazu ziemnego. Jeszcze innym przykładem jest terminal węglowy. Przykładem takiego portu jest Port Gdańsk. Wyposażony jest w rozbudowaną bocznice kolejową, wywrotnicę wagonów, rozmrażalnię wagonów, układ przenośników, automatyczną próbobiernię. Umożliwia to przeładunek węgla w eksporcie z wagonów na statek lub w relacji bezpośredniej z wykorzystaniem placów składowych. Innym jeszcze przykładem może być terminal drobnicowy. Z tego typu ładunkami wiąże się jednak konieczność posiadania wysoko wyspecjalizowanej załogi w zakresie technik przeładunku, mocowania ładunków wraz ze wszelkiego rodzaju sprzętem dostosowanym do różnych parametrów

ładunków. Tego typu terminale oferują również możliwość składowania, konfekcjonowanie, sortowanie, znakowanie i ważenie towarów [2, 3, 4].

Na wszystkich rodzajach terminali pracują pojazdy pomocnicze, inaczej zwane szynowo-drogowymi. Wysokie koszty serwisowania starych i wyeksploatowanych lokomotyw manewrowych zmuszają operatorów bocznie do wymiany sprzętu na wszechstronne i nowoczesne pojazdy szynowo-drogowe. Konkuruje one ze standardowymi lokomotywami manewrowymi przede wszystkim ceną, interdyscyplinarnością pojazdu – prace manewrowe i komunalne możliwe są na torach, drogach i terenach nieutwardzonych, mają system przestawnych rolek, dzięki którym pojazdy mogą pracować na torze o rozstawach z zakresu 1435-1520 mm. Niskie są koszty serwisowania tych urządzeń na wszystkich poziomach utrzymania pojazdu [5].

2. Przeznaczenie pojazdów szynowo-drogowych

Pojazdy szynowo-drogowe, jak wspomniano wcześniej, przystosowane są do poruszania się zarówno po drogach publicznych, jak i po szynach trakcji kolejowej, tramwajowej, metra etc. Głównym przeznaczeniem tych pojazdów są prace manewrowe, związane na przykład z przemieszczaniem towarów oraz przetaczanie całych wagonów na bocznicach trakcyjnych. Pojazdy dwudrogowe, na przykład typu 9C 160 ORION, przystosowane są do poruszania się po torze o rozstawie wewnętrznym (normalnym) 1435 mm lub (szerokim) 1520 mm w zależności od przeznaczenia pojazdu. Pojazd przystosowany jest do pchania lub ciągnięcia wagonów z wszelkimi zaczepami. Konstrukcja pojazdu zapewnia dużą funkcjonalność przy niskich kosztach eksploatacji. Pojazd dzięki swojej konstrukcji może zastąpić standardowe lokomotywy manewrowe, gdyż dodatkowo pojazd ORION 9C160 [6] posiada bezterminowe świadectwo typu nr PL 59 2017 0005, wydane przez Urząd Transportu Kolejowego do poruszania się torach kolejowych (tabela 1).

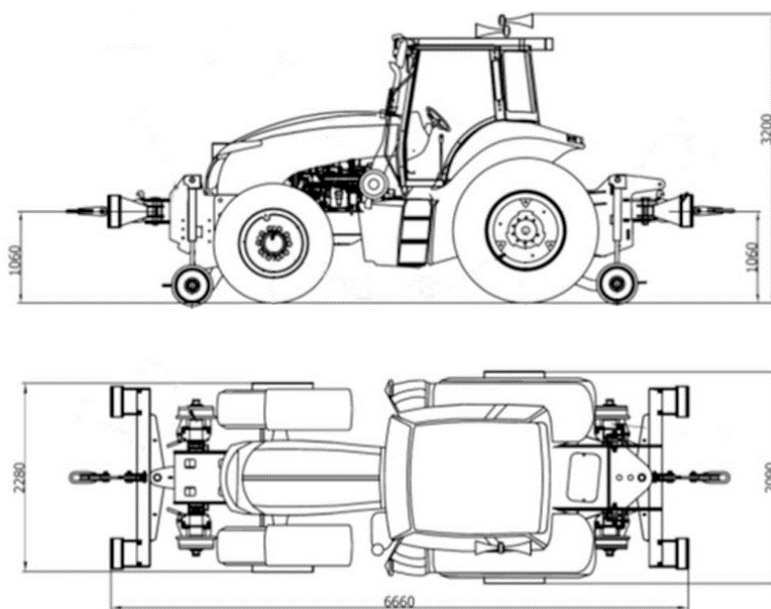
Tabela 1. Specyfikacja techniczna podzespołów kolejowych

Dopuszczalna prędkość jazdy traktora po drodze	20 km/h
Minimalna prędkość jazdy po torze	0,3 km/h
Dopuszczalna prędkość jazdy po torze prostym bez wagonów	20 km/h
Dopuszczalna prędkość jazdy po torze prostym z wagonami bez hamulca pneumatycznego	5 km/h
Dopuszczalna prędkość jazdy po torze prostym z wagonami, z hamulcem pneumatycznym	10 km/h
Dopuszczalna ilość wagonów (80 Mg) holowanych na torze poziomym, bez hamulca pneumatycznego	4
Dopuszczalna ilość wagonów (80 Mg) holowanych, na torze poziomym, z hamulcem pneumatycznym	10
Maksymalna siła uciągu – na drodze/na torze	45/35 kN
Rozstaw wewnętrzny, tor normalny/szeroki	1435/1520 mm

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych producenta.

Pojazd szynowo-drogowy ORION 9C160 zbudowany jest w oparciu o ciągnik rolniczy ORION 160, lecz poszerzony o dodatkowe podzespoły, tj.:

- układ pneumatycznego hamowania wagonów – układ hamowania wagonami, wspomagany jest dwuobwodową sprężarką, która spręża powietrze do pięciu zbiorników, natomiast zaawansowany system sterowania oblicza i dostosowuje ciśnienie w układzie maszyny oraz agregowanych urządzeniach zewnętrznych,
- hydrauliczny układ docisku rolek – przeznaczony jest do wznoszenia bądź opuszczania rolek kolejowych. Podczas prac manewrowych baterie hydrauliczne dociskają rolkę do szyny, uniemożliwiając wysunięcie się rolek z szyn. Podczas jazdy po drodze rolki znajdują się w pozycji uniesionej,
- układ ciągłowo-zderzany to konstrukcja przenosząca siły między pojazdem szynowym a zaczepionym wagonem. Zderzaki kolejowe amortyzują bowiem siły zderzane, działające na pojazd podczas pracy,
- zaczepy kolejowe, służące do podłączenia pojazdu z wagonem typu „sprzęg śrubowy”, hak pociągowy bądź zaczep SA-3,
- uniwersalna płyta DIN, umożliwiająca podłączenie maszyn peryferyjnych, jak pług odśnieżny, posypywarke piasku bądź opryskiwacz chwastów.



Rys. 1. Pojazd szynowo-drogowy ORION 9C160

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych udostępnionych przez firmę produkującą pojazd ORION 9C160.

Dane techniczne pojazdu przedstawiono w tabeli 2 [6].

Tabela 2. Specyfikacja techniczna pojazdu szynowo-drogowego C9 160 ORION

Opis parametru	Jednostka	Wartość
Moc silnika wysokoprężnego przy 2200 obr/min	kW	116
Silnik Sisu Diesel spełnia normy emisji spalin	EURO	IIIB
6-biegowa skrzynia biegów z 4-krotnym przełożeniem pod obciążeniem (z super reduktorem)	-	40/40
Oznaczenie koła przedniego	-	400/80 R28
Oznaczenie koła tylnego	-	480/80 R38
Max., konstrukcyjna prędkość jazdy	km/h	30
Drogowa prędkość jazdy	km/h	20
Pojemność zbiornika paliwa	l	200
Max. zużycie paliwa	g/kWh	208
Rozstaw osiowy kół jezdnych	mm	1500
Elektroniczna zmiana kierunku jazdy	-	przód-tył
Zaczep transportowy (opcja)	-	zaczep do przyczep
Kabina (klimatyzacja w opcji)	-	CRYSTAL
Sprzęgło główne	-	wielotarczowe, mokre
Hamulce	-	tarcze cierne w kąpielii olejowej

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych producenta.

3. Urządzenia ciągnowo-zderzne

Pojazd szynowo-drogowy powinien być wyposażony w ciągnia (sztangi) sprzęgające go z tylną częścią, czyli na przykład z wagonem oraz w urządzenia zderzne, których działanie polega na absorbcji siły w momencie styku zderzaków wagonu ze zderzakami pojazdu szynowo-drogowego. Pod względem rodzajów urządzeń ciągnowo-zderżnych rozróżnia się takie, gdzie urządzenia sprzęgowe montowane są niezależnie od zderzakowych oraz takie, gdzie stanowią one zintegrowany element. W pierwszym przypadku na czołach ostoi pojazdów zabudowuje się w osi wzdłużnej pojazdu urządzenie ciągnowe ze sprzęgiem śrubowym, a po obu jego stronach zabudowują się urządzenia zderzakowe. W drugim przypadku w ostoi zabudowuje się sprzęgi samoczynne, czyli urządzenia, w których zintegrowana jest funkcja ciągnowa, sprzęgająca i zderzakowa [7].

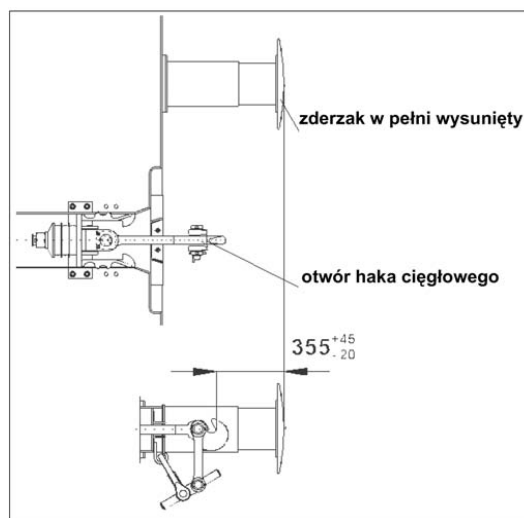
Konstrukcja mechanizmu ciągnowo-zderżnego pojazdu C9 160 ORION opiera się na przedniej i tylnej ramie wykonanej z blach konstrukcyjnych. Mocowanie przylega do przedniego wspornika osi oraz z tyłu do korpusu zespołu jezdnych. Ciągło holownicze i amortyzator zderzeniowy mocowany jest na konstrukcji i poprzecznym kształtowniku.

Urządzenia zderzne

W skład układu sprzęgającego mechanizm zderzny wchodzi następujące elementy:

- hak pociągowy znajdujący się po stronie ciągniętego składu,
- sworzeń mocujący zderzak,
- zamek spinki haka,
- element łączny spinki,
- gumowe panele, które pełnią rolę amortyzatora i niwelatora drgań, a ich grubość zapewnia operatorowi bezpieczną i ergonomiczną pracę podczas łączenia wagonów.

Łączenie pojazdu szynowo-drogowego z wagonem odbywa się poprzez założenie spinki na hak pociągowy. Panele zakończone są metalową płytą i lakierowane wg wymaganego oznaczenia. Metalowy ogranicznik ma za zadanie zredukować zużycie gumowej powierzchni panelu podczas zderzenia. Zderzak oparty jest na podkładkach, które służą do ustalenia wysokości zderzaka w celu zniwelowania różnic wysokości pomiędzy sprzęgiem pojazdu szynowo-drogowego a sprzęgiem wagonu. Wymiary urządzeń ciągłowo-zderznych opisuje norma PN-EN 15551+A1:2011 / TSI 2011/291/UE, przy czym wymiar zderzaka kolejowego mierzonego od osi zderzaka do główki szyny musi wynosić $980 \div 1065$ mm dla strony, gdzie znajduje się stanowisko maszynisty A i maszynisty B [8].

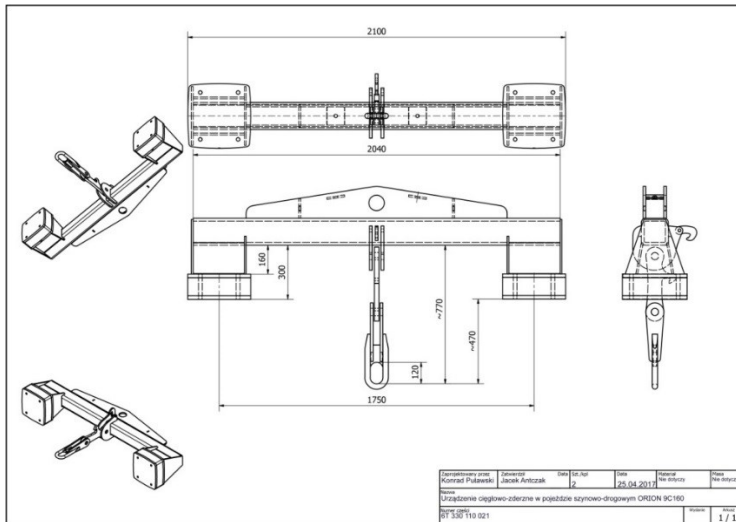


Rys. 2. Wymiary urządzeń ciągłowo-zderznych dla wagonów kolejowych

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych udostępnionych przez firmę produkującą pojazd ORION 9C160.

Rozstaw zderzaków, zgodnie z powyższą normą, zarówno dla strony stanowiska maszynisty A oraz strony B winien wynosić 1750 ± 10 mm. Odległość osi sprzęgu powinna mieścić się w zakresie $950 \div 1045$ mm. Usytuowanie haka pociągowego od czoła nieściśniętych zderzaków musi wynosić 355 z tolerancją górną

+45 mm i tolerancją dolną -20 mm. Standardowo w większości produkowanych pojazdów szynowo-drogowych, poruszających się po polskich torach kolejowych, wysokość osi spinki od główki szyn wynosi 1060 ± 20 mm. Pojazd C9 160 ORION dostał dopuszczenie w oparciu o powyższą normę (rys. 3).



Rys. 3. Urządzenie ciągnikowo-zderzne wykorzystywane w pojeździe szynowo-drogowym ORION 9C160

Źródło: opracowanie własne.

Łączenie i rozłączenie pojazdu szynowo-drogowego z wagonem kolejowym następuje w wyniku sprzęgania bądź rozsprzęgania urządzeń ciągnikowych i połączeniu pneumatyki wagonowej. Aby wykonać tę operację operator musi przedostać się pomiędzy 2 zderzakami obu łączonych pojazdów (rys. 4).



Rys. 4. Ilustracja obrazuje ryzyko dla operatora podczas sprzęgania pojazdów bez zderzaków kolejowych

Źródło: opracowanie własne.

Czynność ta niesie za sobą ryzyko zgniotu operatora na przykład w wyniku niefortunnego zderzenia łączonych obiektów. Istotną zatem kwestią są normowane wytyczne dla konstruowania, wykonania i mocowania zderzaków kolejowych. W wyniku styku 2 przeciwnych zderzaków, zyskujemy pewną bezpieczną przestrzeń (tzw. strefę zgniotu), pozwalającą operatorowi na bezpieczną pracę wewnątrz zderzaków i prawidłowe prowadzenie ruchu kolejowego.

Urządzenia ciągłowe

Pojazd szynowo-drogowy przeznaczony jest głównie do przetaczania wagonów. Do przeniesienia siły służy hak pociągowy, czyli zderzak ze sprzęgiem haka pociągowego oraz sprzęg automatyczny typu SA-3 lub SCHAKU. Sprzęg automatyczny SA-3 lub SCHAKU zamontowany jest w części tylnej pojazdu i przeznaczony do sprzęgania z wagonami wyposażonymi w identyczny sprzęg automatyczny. Sprzęganie pojazdu szynowo-drogowego z wagonem jest automatyczne w przypadku SA-3 i SCHAKU. W czasie powolnego dojazdu pojazdu szynowo-drogowego do wagonu z prędkością nie większą niż 3 km/h, następuje kolejno jego zatrzymanie i sprawdzenie prawidłowego, wzajemnego położenia sprzęgów, a w ostatniej fazie dynamiczne połączenie dwóch sprzęgów (pojazdu szynowo-drogowego i wagonu). Jazdę po torze można rozpocząć dopiero po odhamowaniu wagonów ciągniętej jednostki. Pojazd szynowo-drogowy niewyposażony w system hamulców pneumatycznych może ciągnąć lub pchać maksymalnie 2 załadowane lub 4 puste wagony. Pojazd szynowo-drogowy wyposażony w system hamulców pneumatycznych może ciągnąć lub pchać maksymalnie 10 załadowanych lub 15 pustych wagonów. Holowanie maksymalnej ilości wagonów wymaga zastosowania balastów: tylnego i przedniego na kołach pojazdu szynowo-drogowego.

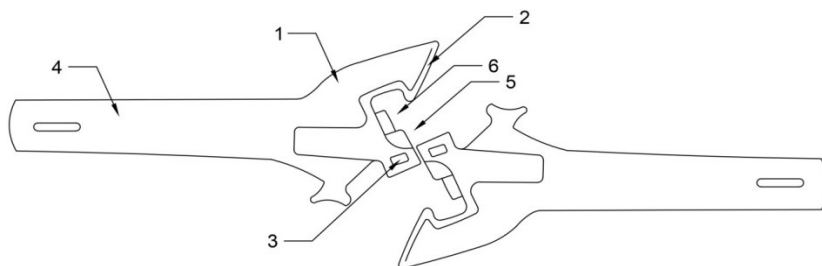
Mechanizmy do holowania przyczep drogowych

Jako dodatkową opcję w pojazdach typu C9 160 ORION przewiduje się zamontowanie zaczepu transportowego przeznaczonego do holowania przyczep drogowych. Wówczas pojazd szynowo-drogowy wyposażony jest dodatkowo w zbiornik wyrównawczy i dodatkowe złącze pneumatyczne i elektryczne do podłączenia przyczepy. Wykorzystanie pojazdu szynowo-drogowego do holowania przyczep wymaga jednak zabezpieczenia układów jezdnych, torowych oraz zdemontowania sprzęgu, jak dla jazdy drogowej. Holowanie przyczepy transportowej wymaga bowiem zaczepienia ramy przyczepy w zaczepie transportowym pojazdu szynowo-drogowego, podłączenia instalacji pneumatycznej hamowania przyczepą oraz podłączenia elektrycznego oświetlenia przyczepy.

Sprzęg automatyczny SA-3

Działanie tego rodzaju sprzęgu przy spinaniu wagonów następuje w momencie dopchnięcia do siebie wagonów z prędkością między 1-2 m/s, poprzez zsunięcie się po ukośnych płaszczyznach zębów mniejszych do niszy zaczepu, z której wystaje zapadka ryglowa (rys. 5). Wciskając tę zapadkę do korpusu głowicy zostają zwolnione rygle, które pod działaniem własnego ciężaru lokują się między tymi zębami i ryglują głowicę sprzęgu. Rozłączenie wagonów odbywa się ręcznie za

pomocą rękojeści, wysuniętej na zewnątrz wagonu. Następuje wciągnięcie rygli do ich gniazd oraz nastawienie zapadki do ponownego sprzęgnięcia jej z rygłem. Po wysunięciu się zębów z niszy zaczepów i uwolnieniu zapadki na zewnątrz, sprzęg jest doprowadzony do stanu wyjściowego. Sprzęg typu SA-3 może być lokowany z przodu, jak i z tyłu pojazdu. Warunkiem ograniczającym jego stosowanie jest konieczność demontażu urządzeń zderznych, których to rolę właśnie przejmuje sprzęg.



Rys. 5. Zaczep SA-3 wykorzystywane w pojeździe szynowo-drogowym ORION 9C160
1 – głowica, 2 – ząb większy, 3 – ząb mniejszy, 4 – tylna część sprzęgu, 5 – rygiel

Źródło: opracowanie własne.

Sprzęg SA-3 oparty jest na podkładkach, które umożliwiają jego wychylanie w pionie w celu kompensacji różnic w wysokości położenia sprzęgów SA-3 pomiędzy pojazdem szynowo-drogowym a ciągniętą jednostką. Dodatkowo służą do ustalenia wymaganej wysokości nad główką szyny na poziomie 1060 ± 20 mm. Dla zapewnienia wymaganego położenia sprzęg SA-3 podparty jest na belce podparcia, której wysokość jest ustalana za pomocą sprężyn podparcia sprzęgu SA-3 przez nakrętki nakręcane na śruby nośne.

4. Proces produkcyjny urządzeń ciągłowo-zderznych

Prace nad przygotowaniem produkcji urządzeń ciągłowo-zderznych rozpoczyna się od wykonania trójwymiarowego modelu 3D, odpowiadającego założeniom eksploatacyjno-użytkowym obiektu. Zakład produkcyjny wykorzystuje w tym celu oprogramowanie Autodesk Inventor. Program ten zawiera profesjonalne narzędzia do projektowania 3D elementów mechanicznych, tworzenia dokumentacji, a także do symulacji dynamicznej produktów. Zaawansowane moduły oprogramowania pozwalają przeprowadzić analizę wytrzymałościową całej konstrukcji, dobrać korzystne, z punktu widzenia wytrzymałościowego i ekonomicznego, materiały.

Główną funkcją mechanizmu ciągłowo-zderznego jest przekazanie odpowiedniej siły pociągowej z pojazdu bądź absorpcji sił w wyniku zderzenia, przekazanej z wagonu. Wymienione funkcje mogą spełniać liczne materiały konstrukcyjne. W praktyce jednak materiałem powszechnie stosowanym jest materiał S355 JR, zarówno

dla kształtowników, jak i elementów osadzonych wykonanych z arkusza blachy, głównie ze względu na stabilność jego struktury, koszty i łatwość obróbki. Materiałem absorbującym siły powstałe podczas pracy jest dodatkowo gumowy panel zbrojony drutem.

Detale wchodzące w skład konstrukcji wykonuje się w oparciu o dwie technologie:

- cięcie laserowe, tzw. cięcie HD wykorzystujące energię oraz gazy techniczne do wytworzenia wiązki laserowej,
- cięcie wodą, czyli cięcie za pomocą strumienia wody i materiału ściernego w postaci garnetu.

Elementy wykonane z blachy o grubości do 20 mm (stal S355) wykonuje się na wykrawarce laserowej (AMADA FO) – rys. 6. Do programowania tej maszyny służy oprogramowanie PUNCH5, za pomocą którego programista dedykuje prędkości cięcia, ciśnienie gazów, rodzaje „wypaleń”. Alokacja części odbywa się w trybie automatycznym bądź ręcznym. Oprogramowanie posiada moduły do symulacji cięcia, poprawiające bezpieczeństwo obróbki oraz moduły, kalkulujące proces produkcyjny na maszynie. Wadą obróbki laserowej jest niezdatność cięcia materiałów szybko topliwych, jakimi jest guma wykorzystywana do budowy paneli absorbujących w pojeździe szynowo-drogowym.



Rys. 6. Proces cięcia laserowego na wykrawarce laserowej CO2 4000 kW

Źródło: opracowanie własne.

Wykrawarka wodna 3D STM Waterjet wykorzystywana w procesie produkcyjnym oferuje tzw. „zimne cięcie”, eliminując jednocześnie deformacje i odkształcenia materiału, spowodowane bardzo wysoką temperaturą cięcia – rys. 7. Jest to jednocześnie cięcie przyjazne środowisku – bez trujących gazów i oparów. Wiązka wody z domieszką garnetu o ciśnieniu 4000 bar bezproblemowo tnie najtwardsze materiały powszechnie spotykane w przemyśle. Element zaczepu spinki

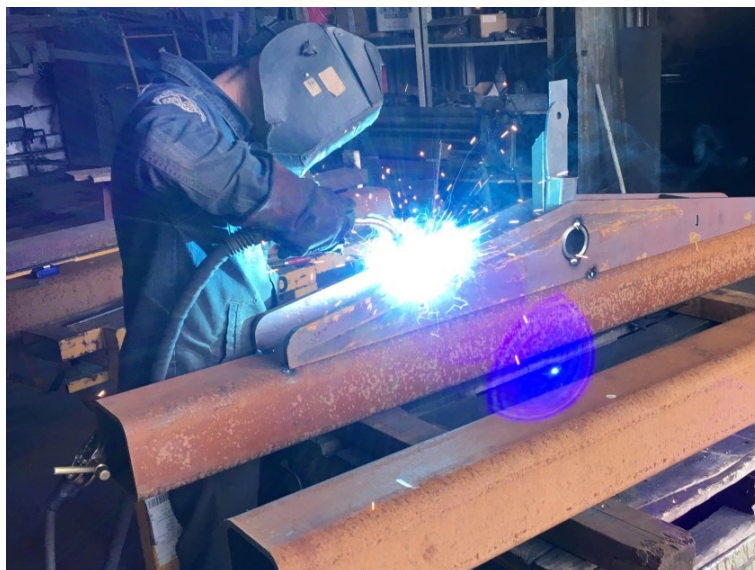
haka wykonany jest z materiału S355 o grubości 30 mm. Jakość otworów przelotowych musi wynosić 0,5. Cięcie wodą przy użyciu technologii 2D charakteryzuje się stożkowatymi otworami i koniecznością rozwiercania otworów na maszynach frezerskich. Kompensacja stożka w maszynach Waterjet 3D eliminowana jest poprzez pochył głowicy o kąt kompensacji, który jest wynikiem obliczenia prędkości cięcia, ciśnienia wody i grubości danego materiału. Dodatkową zaletą wykorzystania ruchomej głowicy jest tworzenie faz spawalniczych pod kolejną obróbkę.



Rys. 7. Proces cięcia cięgieł na wykrawarce wodnej z gannetem mesh 80
Źródło: opracowanie własne.

Wysokie wymagania stawiane pojazdom wykorzystywanym w kolejnictwie obligują producentów pojazdów szynowo-drogowych do stosowania systemu zarządzania jakością spawania *EN 15085: Spawanie pojazdów szynowych i ich części*. Spawanie to podstawowy proces technologiczny łączenia detali. Upřednio przygotowane detale spawane są w technologii MIG/MAG w osłonie gazów obojętnych – mieszanek gazowych Ar/He. Wobec powyższego proces ich produkcji wymaga doboru nie tylko właściwej technologii, ale również rygorystycznych procedur kontrolnych we wszystkich fazach wytwarzania – rys. 8.

Konstrukcja zderzana osadzona jest na profilu 200 × 200 mm – rys. 9 o grubości 8 mm. Profil cięty jest na wymiar na pilach taśmowych. Następnie trafia na obróbkę w centrum obróbczym, gdzie wycinane są otwory i zatrzaski na konstrukcję blachową. Oprogramowanie FAGOR umożliwia programowania 5-osiowej obrabiarki, która precyzyjnie wytnie skomplikowane otwory technologiczne na promieniach obrabianego profilu. Wszelkiego rodzaju sworznie wykonywane są za pomocą tokarek.



Rys. 8. Spawanie ramy konstrukcji blachowej dla urządzeń ciągnowo-zderznych

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 9. Obróbka profilu – belki na centrum obróbczym

Źródło: opracowanie własne.

Spinka haka wykonywa jest z pręta gatunku 25CrMo4 zgodnego z normą *PN-EN 10083-1: Stale do ulepszania cieplnego – Część 1: Ogólne warunki techniczne dostawy*. Materiał charakteryzuje się dobrymi parametrami wytrzymałościowymi, a jednocześnie materiał nie jest bardzo twardy, lecz odporny na pęknięcia. Pręt

rozgrzewa się w piecu do temperatury 700°C, następnie wyginany jest na zaginarnce. Pręt po uzyskaniu pożądanego kształtu hartuje się do uprzednio wyciętej blachy.

Kontrola procesu odbywa się za pomocą urządzeń skanujących Faro Arm. Ramię pomiarowe Faro Arm to przenośne współrzędnościowe urządzenie pomiarowe, które umożliwia producentom weryfikację jakości produktów dzięki kontroli dotykowej (za pomocą ceramicznej kulki) i bezdotykowej (za pomocą skanera 3D). Urządzenie przekazuje pomiary do oprogramowania, które dzięki metodzie inżynierii odwrotnej jest w stanie porównać wszelkie odchyłki z bazowym modelem – rys. 10.

Pospawana i skontrolowana konstrukcja trafia do komory piaskującej, gdzie zdzierany jest lekki materiał wierzchni (np. osady i zgorzel powstały w wyniku spawania) z powierzchni za pomocą ścierniwa pod ciśnieniem rzędu 8 bar – rys. 11. Następnie konstrukcja jest odtłuszczana i malowana proszkowo – rys. 12. Przygotowana konstrukcja trafia na montaż, gdzie montowane są wszystkie podzespoły urządzenia wg specyfikacji klienta. Finalnie konstrukcja jest ponownie poddawana procesowi kontroli jakości.



Rys. 10. Pospawana konstrukcja blachowa

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 11. Konstrukcja po procesie piaskowania

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 12. Pomalowany proszkowo zderzak do urządzeń ciągnowo-zderznych

Źródło: opracowanie własne.

Gdy proces produkcyjny urządzenia ciągnowo-zderznego jest zakończony, konstrukcja montowana jest na pojeździe szynowo-drogowym ORION 9C160 i jeśli jest prawidłowo eksploatowana, pełni zadaną funkcję aż do czwartego poziomu utrzymania P4 dla pojazdów kolejowych – rys. 13 i rys. 14.



Rys. 13. Prace manewrowe pojazdu ORION 9C160

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 14. Prace manewrowe pojazdu ORION 9C160 ze sprzęgiem SA-3

Źródło: opracowanie własne.

5. Usprawnienia procesu produkcyjnego

Podczas procesu produkcji urządzenia zaobserwowano prace, które wymagają usprawnienia w zakresie organizacyjnym i technicznym.

Należałoby zastosować znaczniki monterskie.

Przy wykorzystaniu technologii laserowej technologii cięcia wodą i obróbce skrawania, zastosowanie oznaczeń monterskich wyeliminuje błąd montażu czy błąd wykonania (w przypadku omawianej konstrukcji – spawanie). Wygrawerowanie takich znacznik nie jest w tym przypadku problemem, a znacznie ułatwi pracę. W ten sposób ograniczony zostaje czas na zbędne konsultacje, straty materiałowe i poprawki.

Innym problemem jest wybór najkorzystniejszych materiałów o danych grubościach. Konstrukcja składa się z szeregu równych rodzajów grubości blach. Wyeliminowanie poszczególnych grubości i zastąpienie ich zbliżonymi i jednolitymi grubościami spowodowałyby szybszy przepływ materiałów w poszczególnych etapach produkcyjnych i czas oczekiwania na daną pozycję. Przy realizacji zlecenia na urządzenia ciągliwo-zderzne, programista programuje kod na arkusze grubości 5; 6; 8; 12; 15; 20; 30 mm. Operator natomiast dobiera i kalibruje dyszę tnącą do danej grubości blachy. Czas przeznaczony na operacje przebrojenia maszyny jest dłuższy od czasu przeznaczonego na obróbkę małoseryjną. Powoduje to znaczne straty czasowe, które przekładają się na niekorzystny wynik ekonomiczny. Należy zastanowić się nad doбором blach do cięcia, tak aby operator jak największą ilość elementów jednej blachy wykroił jedną dyszą. Można zatem zainwestować w przystawkę do rur i profili przeznaczoną do wykrawarki laserowej AMADA FO, co wyeliminowałoby pracę centrum obróbczego. Przystawka do rur i profili ciętych laserowo zautomatyzowałaby proces, eliminując szereg narzędzi wykorzystywanych podczas obróbki skrawaniem. Laser wykorzystujący jedno narzędzie do danej grubości blachy, tnie dowolną geometrię, natomiast przystawka do rur obraca detal wg ciętej geometrii. Dysza tnąca standardowo pracuje w układzie trójwymiarowym XYZ.

Innym problemem jest także cięcie na maszynie Waterjet. Detale o jednokowej płaszczyźnie należy również ciąć wspólnym cięciem. Podczas procesu cięcia na wykrawarce wodnej grubych detali, czas poświęcony na obróbkę jest nieproporcjonalnie wydłużony w porównaniu z obróbką cięcia laserowego. Podczas projektowania detalu należy zatem uwzględnić możliwość cięcia jednakowych elementów (jednak jest to możliwe tylko w produkcji wieloseryjnej). W przypadku wykrawania haka ciągliwego, geometria kształtu nie pozwala na zmiany technologiczne, natomiast w przypadku cięcia gumowych paneli, detal można już tak przeprojektować, aby maszyny numeryczne wykrawały detal, tnąc na przykład 2 detale wspólnym cięciem. Zyskuje się dzięki temu czas, mniejsze jest zużycie garnetu, dysz tnących oraz części eksploatacyjnych maszyny.

6. Podsumowanie

W procesie produkcji pociągów oraz urządzeń przeznaczonych do ich ciągnięcia najczęściej wykorzystujemy blachę stalową. Blacha ta jest profilowana, wycinana laserowo, a poszczególne elementy są spawane w większe segmenty i łączone ze sobą. Zanim z blachy zostanie uformowany produkt finalny, jest ona wprawdzie wyginana, rozcinana, wytłaczana oraz spawana.

W niektórych zakładach do obróbki blach stosuje się zautomatyzowane procesy, ze względu na mniejsze koszty produkcji. Jednak w przypadku produkcji elementów wielkogabarytowych na indywidualne zamówienie często jest to niemożliwe do zastosowania. Należy wówczas tak zoptymalizować proces produkcji, aby na poszczególnych jego etapach było jak najmniej przestoi. Odpowiednio dostosowane stanowisko cięcia elementów z blachy do produkcji urządzeń ciągnozderżnych w omawianym przypadku minimalizuje przestoje w razie częstej zmiany parametrów cięcia lub materiałów blach, co jest korzystne ekonomicznie dla przedsiębiorstwa.

Literatura

- [1] <https://www.log24.pl/artykuly/intermodalny-terminal-kolejowy>, 4072, 2017.
- [2] <http://www.port.gdynia.pl>, Bałtycki Terminal Zbożowy sp. z o.o.
- [3] <https://www.portgdansk.pl>, Zarząd Morskiego Portu Gdańsk Spółka Akcyjna.
- [4] <http://www.otport.gdynia.pl/> OT Port Gdynia Sp. z o.o.
- [5] <http://www.kolejnictwo-polskie.pl> © 2016 Całość praw autorskich – Antoni Bochen.
- [6] Pojazd szynowo drogowy ORION 9C160 – oferta techniczno-handlowa CRYSTAL TRAKTOR SP. Z O. O z dnia 04. 2017 r.
- [7] <http://www.transportszynowy.pl/kolurzpoczderzne.php>
- [8] PN-EN 15551+A1:2011 / TSI 2011/291/UE

Streszczenie

W artykule przedstawiono problem związany z produkcją urządzeń ciągnozderżnych na indywidualne zamówienie. We wstępie opisano problematykę rozwoju kolejnictwa w Polsce. Następnie scharakteryzowano urządzenia ciągnozderżne, ich parametry konstrukcyjne oraz proces produkcji. Zaproponowano w ramach pracy kilka usprawnień w procesie produkcji tych urządzeń.

Słowa kluczowe: kolej, urządzenia ciągnozderżne, produkcja.

INNOWACYJNE ROZWIĄZANIA W PROCESIE PRODUKCJI CUKRU BIAŁEGO Z BURAKÓW CUKROWYCH

Kinga Baryga

1. Wstęp

W przemyśle cukrowniczym podstawowym surowcem do produkcji cukru białego w naszym regionie jest burak cukrowy. Sacharoza powstaje w liściu buraka w wyniku fotosyntezy. Liście w pełni rozwoju transportują sacharozę do zmagazynowania w korzeniu oraz do młodszych, rozwijających się liści, aby podtrzymać metabolizm niezbędny do wzrostu. Dojrzałe liście są głównym dostawcą sacharozy transportowanej do korzenia. W korzeniu buraka sacharoza znajduje się w soku komórkowym w przestrzeniach otoczonych błonami komórkowymi. Proces produkcji cukru polega na wydobyciu soku komórkowego z korzenia buraka cukrowego, zawierającego sacharozę, na który składa się szereg procesów jednostkowych, takich jak:

- oczyszczanie i krajanie buraków,
- ekstrakcja sacharozy z krajanki buraczanej,
- oczyszczanie i zagęszczanie soków,
- krystalizacja sacharozy,
- odwirowanie oraz obróbka cukru [1].

2. Oczyszczanie i krajanie buraków

Po dostarczeniu i dokładnej analizie jakościowej buraków następuje ich mycie oraz dokładne oczyszczenie ze wszystkich zanieczyszczeń mineralnych (ziemia, kamienie, piasek) i organicznych (liście, chwasty). Najważniejszą operacją oczyszczania jest mycie buraków przed wejściem do przerobu. Odbywa się ono w płuczkach buraczanych. Umyte i oczyszczone buraki trafiają na stację krajalnic. Krajanie buraków polega na ich rozdrobnieniu w długie cienkie pasemka, czyli krajankę.

3. Proces ekstrakcji – klasyczne ekstraktory korytowe

Ekstrakcja buraka cukrowego polega na wydobyciu sacharozy w największej ilości z krajanki buraczanej do wody wysładzającej, ale przy najmniejszym wydobyciu niecukrów. Podczas ekstrakcji następuje wyrównanie stężeń podczas

zetknięcia dwóch faz – fazy stałej, którą jest krajanka buraczana oraz fazy ciekłej, którą stanowi woda zasilająca [2].

Po zetknięciu się tych dwóch faz następuje wyrównanie ich stężeń. Wydobywanie cukru z krajanki odbywa się poprzez procesy: denaturacji tkanki (plazmolizy), procesu dyfuzji, osmozy i dializy cukru zachodzących pod wpływem działania wysokiej temperatury [3]. Zgodnie z prawem Ficka, ilość przedyfundowanego cukru jest wprost proporcjonalna do różnicy stężeń cukru wewnątrz krajanki i w soku otaczającym krajankę, do powierzchni krajanki, czasu i temperatury. Ilość ta jest tym mniejsza, im grubsza jest krajanka i odwrotnie [4, 5]. Proces ten uwarunkowany jest następującymi czynnikami: temperaturą, czasem przebywania krajanki w ekstraktorze, jakością krajanki, składem chemicznym wody zasilającej ekstraktor oraz wielkością odciążu soku [6]. Ważnym elementem jest jak najcieńsza krajanka, aby udało się wydobyć z niej jak najwięcej cukru, w jak najszybszym czasie [7]. Występująca korelacja pomiędzy temperaturą a czasem w zasadniczym stopniu wpływa na miąższ buraków cukrowych [8]. Błona protoplazmatyczna buraka cukrowego nie przepuszcza sacharozy, dlatego niezbędna jest jej denaturacja, a następnie dyfuzja soku z komórek [4, 5]. Sok opuszczający stację ekstrakcji nosi nazwę soku surowego lub soku dyfuzyjnego. Skład chemiczny otrzymanego soku uwarunkowany jest jakością surowca wprowadzonego do procesu oraz przebiegiem procesu ekstrakcji. Stężenie soku surowego wynosi 14-16%, zaś jego pH 5,8-6,5. Podstawowe składniki suchej substancji w soku surowym to sacharoza oraz inne substancje, zwane niecukrami.

4. Proces ekstrakcji – innowacyjne ekstraktory wieżowe

Proces ten wykorzystuje zasadę przeciwprądowego ruchu krajanki i wody, który prowadzi się głównie w ciągłym aparacie korytowym. Jednak obecnie aparaty te są zastępowane ekstraktorami wieżowymi (BMA, Cordonniera), które są znacznie wydajniejsze i charakteryzują się głównie:

- dużą możliwością przerobu dobowego burków do wielkości nawet 12 000 t/d,
- zmniejszeniem strat cukru w wysłódkach,
- zmniejszeniem zużycia energii cieplnej,
 - zmniejszeniem emisji zorganizowanej,
 - przerobem buraków o różnej jakości – wartości technologicznej,
 - uzyskaniem soku surowego o maksymalnej zawartości cukru.

Stacja ekstrakcji składa się z przeciwprądowego zaparzalnika oraz wieży. W środkowej części zaparzalnika krajanka jest podgrzewana gorącym sokiem cyrkulacyjnym zawracanym z ekstraktora. To działanie nazywa się właśnie zaparzeniem, w czasie którego następuje denaturacja błony komórkowej buraków, co umożliwia dyfundowanie cukru z krajanki buraczanej do soku. W tylnej części zaparzalnika mieszanina krajanki i soku jest pobierana przez pompę i kierowana do dolnej części ekstraktora wieżowego.

Ekstraktor wieżowy pracuje w oparciu o zasadę przeciwwądownego przepływu krajanki i wody – rys. 1. Zmieszana z sokiem krajankę transportuje się do góry za pomocą ramion stałych, zamocowanych na zewnętrznym płaszczy i ramion mieszających, zamocowanych na obracającym się wale ekstraktora. Wieża jest wypełniona jednolitą mieszaniną krajanki i soku, której gęstość jest regulowana przez zmianę prędkości obrotowej wału i poziom cieczy w wieży. Właściwa gęstość gwarantuje optymalną ekstrakcję cukru i krajanki. Ta gęstość, nazywana „zagęszczeniem krajanki w soku”, musi być utrzymywana na możliwie stałym poziomie.



Rys. 1. Nowe rozwiązanie w produkcji cukru – ekstraktor wieżowy

Źródło: <https://firma.polski-cukier.pl/332,obszar-technologiczny>

Dla zapewnienia właściwej temperatury ekstrakcji, woda świeża, woda wosłodkowa oraz mieszanina soku i krajanki wprowadzane są do ekstraktora w ściśle określonych temperaturach. Zmieszane wody przepływają w dół, podczas gdy krajanka podawana jest do góry. Woda stopniowo wypłukuje cukier z krajanki, a jednocześnie stopniowo opada. Zawierający cukier sok wychodzi z wieży przez sita poziome i pionowe zainstalowane w dnie ekstraktora wieżowego. Ten sok nazywa się cyrkulacyjnym. Grawitacyjnie wypływa z ekstraktora i trafia do cyklonowego łapacza piasku, a stamtąd wraca do zaparzalnika. W przedniej części zaparzalnika następuje wymiana ciepła między gorącym sokiem surowym i zimną krajanką. Schłodzony sok surowy przechodzi przez sito zaparzalniaka i kierowany jest do dalszej obróbki w cukrowni [9].

5. Oczyszczanie soku surowego

Wydobyty z krajanki sok surowy, po wstępnym oczyszczaniu mechanicznym (łapacz piasku i miazgi), jest poddawany procesowi chemicznemu, a ściślej fizykochemicznemu oczyszczaniu. Istotne jest uzyskanie soku o wysokiej czystości i termostabilności (potrzebnej podczas jego zagęszczania) [10, 11].

Proces oczyszczania soku ma na celu poprawienie jego składu przez usunięcie niektórych związków chemicznych, czyli zmianę pewnych własności soku. Aby proces technologiczny przebiegał prawidłowo, muszą być zachowane następujące warunki:

- sacharoza powinna przechodzić do dalszej produkcji bez strat,
- niecukry pozostałe w soku należy tak zmieniać, aby nie tworzyły szkodliwych związków i nie utrudniały dalszych procesów ,
- wytrącony osad z zaadsorbowanymi niecukrami powinien posiadać dobre właściwości filtracyjne,
- należy zwrócić uwagę , aby w czasie oczyszczania soków nie tworzyły się ciała barwne, które są trudne do usunięcia.

Oczyszczanie soku przeprowadza się za pomocą wodorotlenku wapnia (nawapnianie) i gazu saturacyjnego CO₂ (saturacja). Podstawowymi operacjami na stacjach związanych z oczyszczaniem soku są następujące czynności:

- defekacja wstępna,
- defekacja główna,
- saturacja I,
- filtracja I,
- saturacja II,
- filtracja II,
- filtracja uzupełniająca [10].

6. Defekacja wstępna

Podstawowymi celami defekacji wstępnej są:

- zneutralizowanie kwaśnego odczynu soku surowego i nadanie mu odczynu alkalicznego,
- wytrącenie niecukrów, tworzących z jonami wapnia nierozpuszczalne związki (sole wapniowe),
- wytrącenie maksymalnej ilości substancji koloidowych, znajdujących się w soku surowym drogą właściwej koagulacji,
- wytrącenie maksymalnej ilości substancji koloidowych oraz mikroorganizmów znajdujących się w soku surowym drogą adsorpcji przez tworzące się lub dodatkowo wprowadzone osady wapniowe,
- wytrącenie pektyn po ich deestryfikacji wraz z częścią substancji białkowych [12].

7. Defekacja główna

Za podstawowe cele defekacji głównej uważa się:

- wprowadzenie do soku takiej ilości wapnia, aby potem ilość węglanu wytworzona podczas pierwszej saturacji była dostateczna do oczyszczenia soku i uzyskania dobrej zdolności filtracyjnej osadów,
- rozkład inwertu i amidów aminokwasowych, aby zapewnić należytą termostabilność soku rzadkiego [5].

Reakcje chemiczne zachodzące podczas nawapniania głównego, polegające na rozkładzie inwertu, przebiegają trzema drogami. Pierwszą grupę produktów alkalicznej degradacji inwertu, tj. rozkładu na mniejsze cząsteczki, stanowią kwasy organiczne, głównie kwas mlekowy, łączące się z wapniem w rozpuszczalne sole wapniowe [5, 13].

Druga grupa produktów rozkładu to melanoidydy powstałe wskutek reakcji Maillarda między inwertem a aminokwasami, będąca przyczyną ciemnienia artykułów żywnościowych [5, 14].

Najmniejsze znaczenie ma trzecia grupa produktów rozkładu inwertu – bezazotowe wielkocząsteczkowe substancje barwne tworzące się wskutek przegrupowań, kondensacji i reakcji odwodnienia.

Stopień rozkładu niecukrów jest funkcją trzech głównych parametrów procesu defekacji głównej:

- dawki wapnia,
- temperatury,
- czasu defekacji [5].

8. Saturacja I

Głównym celem tej operacji jest wytrącenie nadmiaru wapnia dodanego podczas defekacji albo w czasie defekosaturacji i utworzenie węglanu wapniowego [2].

Tworzenie się osadu węglanu wapniowego na saturacji można przedstawić bardzo prostym równaniem chemicznym [2, 15]:



W zależności od sposobu prowadzenia saturacji otrzymuje się osad o różnej wielkości kryształów, a tym samym o różnych właściwościach filtracyjnych [10]. Sok saturacyjny zawiera 3-4% nb. krystalicznego CaCO_3 , w cukrownictwie stosuje się dwie metody oddzielania osadu: sedymentację i filtrację. Sok po saturacji I jest kierowany do dekantatora pospiesznego, w którym następuje proces sedymentacji powstałych cząstek osadu.

Przyspieszenie tego procesu uzyskujemy po dodaniu do soku flokulanta. Składowany sok odbierany jest przez wewnętrzny pierścień w korpusie dekantatora i sphywa (grawitacyjnie) rurociągami do zbiornika dekantatu.

Sok w zbiorniku może być dowapniany poprzez dodanie mleka wapiennego. Celem tej czynności jest: rozłożenie resztek inwertu i dodatkowej ilości amidów, wytworzenie podczas II saturacji dodatkowej ilości węglanu wapniowego, który oczyszcza sok jako adsorbent, wytworzenie większej ilości CaCO_3 , aby zmniejszyć przesylenie w soku po II saturacji. Zauważa się poprawę efektu oczyszczania (obniżenie zabarwienia soku i zawartości soli wapniowych) w przypadku przerabiania buraków o gorszej jakości. Obfity osad CaCO_3 niweluje szkodliwy wpływ resztek błota przedostającego się przez dekantatory i filtry po saturacji I. Dowapnianie zmniejsza w sokach zawartość cytrynianu wapniowego i saponiny w cukrze białym.

9. Saturacja II

Celem drugiej saturacji jest obniżenie pH soku i zmniejszenie zawartości soli wapniowych [5]. Podczas saturacji drugiej zostaje zobojętniony nadmiar $\text{Ca}(\text{OH})_2$, a wodorotlenki K i Na przechodzą w węglany, które reagują z rozpuszczalnymi solami wapniowymi z wytrąceniem CaCO_3 .

10. Filtracja II

Sok po II saturacji przepływa do zbiornika retencyjnego, zwanego rekrystalizatorem. Do rekrystalizatora dodawany jest roztwór sody amoniakalnej w przypadku niskiej alkaliczności soku gęstego lub za wysokiej zawartości soli wapniowych w soku rzadkim. Z rekrystalizatora pompa podaje sok do filtrów, np. typu Diastar (wyposażonych w worki filtrycyjne o przepustowości $70 \text{ l/dm}^2/\text{min}$ i zdolności separacji zawiesin o rozmiarze $25 \mu\text{m}$). Po tym procesie filtracji uzyskujemy sok rzadki [12].

11. Proces zagęszczania – innowacyjne wyparki opadowe

Do uzyskania soku gęstego wykorzystuje się oczyszczony sok rzadki, który jest roztworem nienasyconym w stosunku do sacharozy, w związku z tym nie można wykrystalizować z niego cukru. Proces ten jest możliwy dopiero po zagęszczeniu go do stanu przesylenia, poprzez odparowanie wody od zawartości 14% do 72% suchej substancji [16].

Proces zagęszczenia prowadzi się na stacji wyparnej, która pracuje w trybie ciągłym lub okresowym. Stacje wyparne składają się z szeregu korpusów połączonych ze sobą rurociągami, które mogą pracować w układzie współprądowym, przeciwprądowym lub mieszanym.

W zakładach produkcyjnych wykorzystywana jest wyparka Roberta. Jest to wyparka z pionowymi rurkami, składająca się z dwóch głównych części, tj.: komory grzejnej i parowej.

Komora grzejna składa się z pionowych rurek o średnicy 33 mm i wysokości od 2 do 4 m. W centrum tej komory umieszczona jest rura cyrkulacyjna, która zajmuje ok. 20% przekroju całej komory. Drugą część wyparki stanowi przestrzeń parowa, skąd są odprowadzane opary.

W cukrowniach zaczęto wykorzystywać aparaty wyparne z długimi rurkami nazywanymi aparatami wyparnymi cienkowarstwowymi lub opadowymi. Wyparki cienkowarstwowe są stosowane, gdy standardowe sposoby wymiany ciepła nie mogą być wykorzystane ze względu na małą odporność termiczną roztworu, dużą lepkość, obecność w roztworze składników mogących powodować blokowanie powierzchni grzejnych lub powstawanie piany. Cechą charakterystyczną aparatu opadowego jest odparowywanie wody z cienkiej warstwy wrzącego soku, spływającego po wewnętrznych ściankach rurek komory grzejnej, ogrzewanych z zewnątrz parą returową lub pochodzącą z poprzedniego działu.



Rys. 2. Wyparki firm Noton

Źródło: <http://www.noton.com.pl/index.php?aparaty-wyparne-opadowe,53>

Aparat wyparny opadowy charakteryzuje się pionową budową. Posiada on długie pionowe rurki o długości 5,5-9,7 m i 33 mm zewnętrznej średnicy. Do aparatu roztwór doprowadzany jest od góry. Mieszanina cieczy i oparów z dużą prędkością spływa z rurek u dołu wyparki. Zalety wyparki opadowej to:

- praca przy niższej, użytecznej różnicy temperatur ze względu na brak słupa hydrostatycznego soku,
- mniejsza pojemność sokowa, a tym samym krótszy, średni czas przebywania soku szczególnie w wyższych temperaturach i wynikające z tego mniejsze straty oraz przyrost zabarwienia,
- znacznie korzystniejsze warunki przenikania ciepła, głównie przy sokach o wyższym stężeniu,

- duża szybkość mieszanki sokowo-parowej w rurkach sprzyja samooczyszczaniu rurek,
- dzięki wykorzystaniu długich rurek można budować aparaty o dużej powierzchni wymiany na niewielkiej powierzchni zabudowy.

Sok z VI-go dz. wyparki o gęstości 65-72% suchej substancji jest tłoczony do zbiornika soku gęstego. Zbuforowany sok w zbiorniku pompą tłoczony jest do filtrów workowych (o zdolności separacji 10 μm), w których oczyszczany jest z zanieczyszczeń fizycznych. Przefiltrowany sok spływa do zbiornika soku gęstego, z którego pompą tłoczony jest w pierścieniu klarujące w wirówkach BMA K-2400 II cukrzycy i wirówki afinacyjnej – rozpuszczając produkowaną mączkę II i afinacyjną. Nadwyżka soku ze skrzyni przelewem napływa do klarownicy [15].

12. Krystalizacja

W klarownicy sok gęsty miesza się z klarówką (mączka II + mączka afinacyjna+ odciek I jasny), tworząc syrop standard. Syrop standard w I stopniu grzania przepływa (cyrkuluje) przez płytowy wymiennik ciepła. Po ogrzaniu syrop o temp. 85-87°C napływa do filtrów woreczkowych typu FTR-6S (wyposażonych w woreczki włókninowe – jednostronnie kalandrowane o zdolności separacji 5 μ). W końcowej fazie oczyszczony syrop standard ulega schłodzeniu do temp. 80-83°C na ogrzewaczu płytowym. Ochłodzony syrop standard kierowany jest do zbiornika dociągowego przed warnikami [17].

Przefiltrowany syrop standard gromadzony jest w zbiorniku dociągowym, z którego dociągany jest okresowo do warników cukrzycy I oraz do warników cukrzycy I zarodowej. W warnikach zarodowych gotuje się cukrzycę zarodową, która w dalszym etapie służy do szczepienia pełnego w warnikach roboczych. Zarabianie przez częściowe szczepienie polega na zagęszczeniu roztworu aż do przesylenia w strefie pośredniej i wciągnięciu do warnika porcji cukru (zaszczepki – pasty zarodowej).

Po odpowiednio dobranym czasie formowania kryształu przerywa się nukleację indukowaną, aby w roztworze pozostała zamierzona liczba kryształów. Czas gotowania cukrzycy wynosi ok. 3-6 godz., końcowy Bx 89-90%. Po zrzucie do mieszańca spustowego, cukrzyca zarodowa pompowana jest do mieszańca rozdzielczego. Z mieszańca cukrzyca zarodowa jest pobierana do warnika roboczego (w którym roztwór ma przesylenie odpowiadające strefie metastabilnej) w porcjach 3-5 m³ – odmierzanych przez przepływomierz. Ilość nabranych zarodków (w porcji cukrzycy zarodowej) powinna odpowiadać liczbie kryształów, jaką ma zawierać war gotowej cukrzycy po ugotowaniu.

Oddzielenie cukru od syropu macierzystego następuje podczas procesu wirowania na wirówkach. Wszystkie operacje każdego cyklu wirowania: napełnianie, odwirowanie odcieku I wraz z jego dzieleniem, zabielenie syropem standard i wodą, wyładowywanie cukru odbywają się automatycznie wg ustawionego programu (sekwencji). Czas jednej szarży wirówki wynosi ok. 3 min. Oddzielony

w wirówkach odciek I ciemny i I jasny sływa do zbiorników usytuowanych pod wirówkami. Do zbiornika odcieku ciemnego dodawana jest w sposób ciągły porcja wody, której celem jest likwidacja stanu przesylenia cukru w odcieku. Cukier biały z wirówki trafia na przenośnik, za pomocą którego kierowany jest do procesu suszenia i chłodzenia. Do tych zabiegów pobiera się powietrze z odpowiedniego miejsca jakim jest czerpnia powietrza, gdzie jest ono filtrowane przez włókninę, tkaniny oraz filtry.

Wysuszony i schłodzony cukier kierowany jest do silosu, w którym następuje jego składowanie. Konfekcjonowanie cukru odbywa się w pakowni zlokalizowanej w bezpośrednim sąsiedztwie silosu – rys. 3. Asortyment opakowań ustalany jest na podstawie analizy rynku, czyli w jakich opakowaniach klienci oczekują na produkt jakim jest cukier [18].



Rys. 3. Konfekcjonowanie cukru

Źródło: <http://rir.info.pl/327804,Cukier-nie-zawsze-slodki.html>

13. Podsumowanie

Ważnym aspektem związanym z produkcją spożywczą jest uzyskanie gotowego wyrobu o jak najwyższych parametrach jakościowych, bezpiecznego dla konsumenta. W związku z tym koncerny cukrownicze aplikują nowoczesne technologie, usprawniając proces produkcyjny, wprowadzają nowe asortymenty, a także podnoszą jakość produkowanego wyrobu. Zmiany te wpływają także na ograniczenie kosztów produkcyjnych związanych głównie ze zużyciem materiałów pomocniczych.

Literatura

- [1] Jedlińska E., *Przetwarzanie buraków cukrowych*. Wydawca Instytut Technologii Eksploatacji – PIB, Radom 2006 r., ss. 7-21.
- [2] McGinnis R.A., *Cukrownictwo*. WNT, Warszawa 1976, ss. 95, 118-119, 125-128, 161-171, 316-318.
- [3] Laudański A., *Wybrane zagadnienia układu cieplno-technologicznego ekstrakcji cukru z krajanki buraczanej*. Gazeta Cukrownicza 2001 (1), 2. Część I.
- [4] Nikiel S., *Produkcja, część surowa*, [w:] *Poradnik inżyniera*. Cukrownictwo. Red. J. Dobrzycki. Wydawnictwo WNT, Warszawa 1988, ss. 99-159.
- [5] Dobrzycki J., *Chemiczne podstawy technologii cukru*. Warszawa WNT, 1984, ss. 117-121, 134-137, 241-253.
- [6] Dąbrowski H., *Kształt krajanki buraczanej do ciągłych dyfuzorów typu korytowego*. Gazeta cukrownicza, 1973.
- [7] Żero M., *Wpływ procesu ekstrakcji na jakość soków cukrowniczych*. Gazeta Cukrownicza 2004 (112), ss. 280-284.
- [8] Strona internetowa www.zuckerverbande.de
- [9] Instrukcja – ekstraktor wieżowy.
- [10] Schiweck H., Cronewitz T., Witle G., *Uwagi dotyczące klasycznej metody oczyszczania soku*. Sug. J. 1985 R. 87, ss. 18-22, ref. Informator STC, 1985, s. 16.
- [11] Zagrodzki S., Kurkowska A., *Próby zastosowania chromatografii do badania warunków wydobywania kwasu glutaminowego z melasu*. Zeszyty Nauk. PŁ, Chemia Spoż. 1961, z. 6, s. 173.
- [12] Jaworowski T., *Technologiczna koncepcja procesu defekacji wstępnej*. Warszawa STC, 1988 ss. 10-11.
- [13] Praca zbiorowa, *Poradnik inżyniera cukrownictwa*. Warszawa WNT, 1988.
- [14] Kączkowski J., *Podstawy biochemii*. Warszawa WNT, 1970, s. 261.
- [15] Pomarański A., *Defekacja i saturacja*. Warszawa WNT, 1978, ss. 18-27.
- [16] Nikiel S., *Cukrownictwo*. Bydgoszcz WSZiP, 1983, ss. 81-95.
- [17] Strona internetowa <http://www.noton.com.pl/index.php?aparaty-wyparne-opadowe>
- [18] *Proces krystalizacji, suszenia i chłodzenia cukru – instrukcja technologiczna 2016 r.*

Streszczenie

W artykule przedstawiono proces produkcji cukru w polskich przedsiębiorstwach. Opisano proces wytwarzania cukru od wejścia surowca do gotowego produktu. Omówiono również innowacyjne w ostatnich czasach ekstraktory wieżowe oraz wyparki oporowe, najczęściej instalowane podczas modernizacji linii technologicznych w cukrowniach. Zaprezentowano wady i zalety rozwiązań klasycznych i przy zastosowaniu nowoczesnych urządzeń.

Słowa kluczowe: produkcja cukru, ekstraktor wieżowy, wyparki Robertsa.

MAPOWANIE STRUMIENIA WARTOŚCI STANU OBECNEGO W PRZEDSIĘBIORSTWIE PRODUKCYJNYM

Paweł Patorski

1. Wprowadzenie

W ciągu ostatnich dziesięcioleci filozofia Lean Manufacturing znalazła zastosowanie w zdecydowanej większości firm produkcyjnych. Stała się ona tak istotna dla systemu produkcji jak produkcja masowa w XX wieku. Lean może być postrzegane na wiele sposobów w zależności od rodzaju podejścia. W praktyce najczęściej definiuje się tę filozofię jako zestaw narzędzi i technik produkcyjnych, które mają na celu zwiększenie wydajności produkcji, redukcję procesu oraz stabilizację czasu jego przepływu. Głównym i najważniejszym celem „*lean thinking*” jest jednak jak najlepsze spełnienie oczekiwań klienta poprzez odkrycie marnotrawstwa w procesie produkcyjnym oraz ciągłą jego eliminację. Wprowadzanie Lean jest konieczne na wszystkich szczeblach organizacji, ponieważ chcąc zwiększyć szanse na sukces, należy właściwie standaryzować wszystkie istotne procesy, dokonywać pomiarów, wprowadzać korekty na bieżąco w przypadku wykrycia nieprawidłowości, a także kontynuować doskonalenie aktualnego procesu.

Celem artykułu jest przedstawienie jak przebiega ciągłe doskonalenie procesów w przedsiębiorstwie poprzez zastosowanie narzędzia Lean Management jakim jest Mapowanie Strumienia Wartości VSM (z ang. Value Stream Mapping) zainicjowanej bezpośrednio przez Toyotę. W niniejszym artykule skupiono się na opisanie mapowania stanu obecnego strumienia wartości w firmie produkcyjnej. Niezbędnym do zrozumienia całej metody Value Stream Mapping będzie najpierw zapoznanie się z terminami, które bezpośrednio występują w procesie tworzenia analizy VSM.

2. Podstawowe pojęcia występujące podczas Mapowania Strumienia Wartości

Pojęcie marnotrawstwa i wartości dodanej

W całym procesie produkcyjnym ciężko jest określić jedną definicję marnotrawstwa, gdyż możemy zauważyć bardzo wiele jego rodzajów. Ponadto występuje ono we wszelkich działaniach, które przynoszą bezpośrednio wartość dodaną i nie są marnotrawstwem, więc zdefiniowanie, a tym bardziej dostrzeżenie go staje się sporym problemem. Najlepszym sposobem na określenie definicji marnotraw-

stwa może być zrozumienie czym jest wartość dodana. Najprościej mówiąc, wartością dodaną możemy nazwać wszelkie czynności, które prowadzą do otrzymania oczekiwanej wartości przez klienta, tj. przekształcenie surowca w gotowy produkt i dostarczenie go nabywcy. Na podstawie tego spróbujemy określić czym w procesie produkcyjnym jest marnotrawstwo. Marnotrawstwem są zatem wszystkie działania, które nie stanowią wartości dodanej. Najczęściej jest to wszystko, co prowadzi do wzrostu kosztów i wydłużenia czasu produkcji, a nie dodaje żadnej wartości do procesu. Możemy wyróżnić siedem głównych rodzajów marnotrawstwa [1]. Określamy je jako MUDA (z jap.), a są nimi:

- nadprodukcja,
- nadmierne zapasy,
- braki na linii produkcyjnej,
- nadmierny transport,
- zbędny ruch,
- oczekiwanie.

Analizując wszelkie działania zachodzące podczas produkcji należy zawsze określić celowość poszczególnych procesów, zastanowić się, czy podejmowane działania przynoszą wartość dodaną. Jeżeli tak się nie dzieje, trzeba starać się je eliminować bądź szukać alternatywnych rozwiązań, które przyniosą wartość. Identyfikacja tego wszystkiego co jest wartością dodaną w procesie produkcyjnym znacznie ułatwia odnalezienie w nim marnotrawstwa i umożliwia działania zmierzające do jego eliminacji. Po jego zdefiniowaniu należy zadać pytanie: Jakie są przyczyny powstawania marnotrawstwa? Dopiero wtedy, gdy odpowiemy na to pytanie i zrozumiemy jego pojęcie, można podjąć działania zmierzające do eliminacji złego wykorzystania potencjału produkcji.

Pojęcie strumienia wartości i przepływu ciągłego

Strumieniem wartości określamy wszystkie działania, wykonywane w odpowiedniej kolejności, które dostarczają wartość klientowi. Są nimi wszelkie kroki, umożliwiające pozyskanie informacji i wykonanie całego procesu. Strumieniem wartości są zatem działania, dodające wartość dodaną, jak i zarówno wszystkie te, które jej nie dodają [2]. Analizując strumień wartości, możemy zobaczyć cały przepływ produkcji, począwszy od surowego materiału, kończąc na dostarczeniu gotowego wyrobu do klienta oraz przepływ projektowy, zaczynając od jego koncepcji do wypuszczenia wyrobu na rynek. Strumień wartości dzielimy na górną i dolną jego część. Mówiąc o górnej części mamy na myśli wszystko co występuje od surowców do procesu (źródło). Natomiast dolną częścią jest wszystko od procesu do gotowego wyrobu (ujście).

Przepływ ciągły (ang. *One Peace*) możemy określić jako ruch każdej pojedynczej sztuki obrabianego wyrobu między kolejnymi stanowiskami roboczymi bez żadnego postoju. Na każdym etapie obróbki są wykonywane te czynności, które są niezbędne w kolejnym etapie. Jest to najbardziej efektywna forma produkcji. Przepływ ciągły dotyczy zarówno zautomatyzowanych linii montażu, jak i tych manualnych. W niektórych przypadkach stworzenie przepływu ciągłego staje się

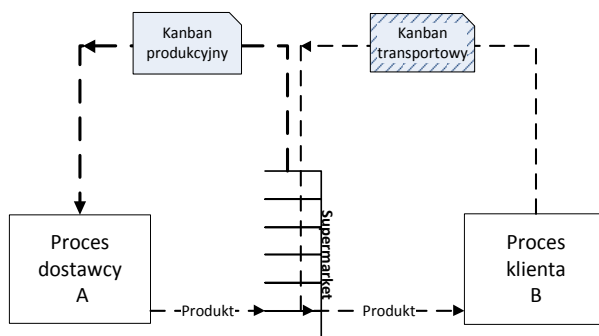
niemożliwe. Dzieje się tak na przykład, gdy procesy mają krótki czas cyklu bądź występuje w nich więcej niż jedna rodzina produktów. Innym powodem może być odległość między dostawcą i klientem. Można wtedy zastosować przepływ wyrobu partiami. Sprawia to, że system produkcji stanie się systemem ssącym (z ang. *Pull system*).

System ssący i pchany (z ang. *Pull and Push system*)

Wyróżniamy dwie metody sterowania produkcją: system ssący i system pchany. Pierwszy z nich polega na tym, że górny strumień wartości odbiera sygnał o zapotrzebowaniu wysłany przez dolną jego część. Odbywa się to przy użyciu narzędzia sygnalizacyjnego Lean manufacturing jakim jest Kanban. Informuje o tym, co jest potrzebne, w jakim czasie i ilości oraz na jakim stanowisku. Kanban dzielimy na dwa rodzaje:

1. Kanban produkcyjny – dostarcza informację dostawcy na temat zapotrzebowania i powoduje produkcję,
2. Kanban transportowy – jest sygnałem dla magazyniera, że magazyn trzeba napęlić w momencie, kiedy jest pusty. Informuje jakie wyroby musi on dostarczyć na stanowisko robocze, gdzie będą wykorzystane.

W systemie ssącym chodzi o ciągłą eliminację zapasów, gdyż dostawca nie produkuje niczego dopóki odbiorca nie zgłosi na to zapotrzebowania. Wszędzie tam, gdzie wymagany jest przepływ wyrobu partiami stosuje się system ssący, który działa na zasadzie supermarketu [3].



Rys. 1. System ssący supermarket

Źródło: opracowanie własne.

Jest to pewnego rodzaju bufor pomiędzy dwoma procesami. W momencie pobrania potrzebnej części przez klienta z supermarketu zostaje wysłany komunikat do dostawcy (kanban produkcyjny), który uzupełnia to co zostało pobrane. Wysłany kanban generuje potrzebę produkowania u dostawcy. Przeciwną metodą sterowania produkcją jest system pchany. Polega on na jak najszybszym przetworzeniu półwyrobów i dostarczeniu ich do dalszych procesów, gdzie będą wykorzystane. Odbywa się to na zasadzie prognozowania zapotrzebowania. Uniemożliwia to zatem przepływ ciągły, gdyż nigdy nie jest możliwe dokładne określenie, jaka

ilość przygotowanych półwyrobów zostanie wykorzystana na dalszych stanowiskach roboczych. W dół strumienia wartości spływają całe partie, które nie mogą być wykorzystane ze względu na brak możliwości przerobowych kolejnych procesów. W praktyce dąży się do eliminacji tej metody, ponieważ generuje ona często zbyt duże zapasy, co stanowi przeciwieństwo istoty działania „szczupłej produkcji”.

3. Czym jest mapowanie strumienia wartości (Value Stream Mapping)?

Tak jak większość narzędzi Lean Manufacturing, Value Stream Mapping zapoczątkowane zostało w fabrykach Toyoty. Obecnie metoda ta znajduje zastosowanie w niemal każdej znanej firmie produkcyjnej. Potocznie mapowanie strumienia wartości możemy określić jako „rysowanie za pomocą ołówka i kartki” przepływu informacji i materiałów, które są niezbędne do przetworzenia i dostarczenia pożądanego produktu w trakcie procesu. Jest to możliwie jak najprostszy schemat, który obrazuje drogę, jaką przebywa produkt począwszy od zamówienia do dostarczenia do klienta [4]. Value Stream Mapping opisuje techniki dla wdrożenia i utrzymania filozofii Lean. W mapowaniu strumienia wartości tworzy się mapę stanu obecnego, która przedstawia bieżącą sytuację ścieżki produktu od zamówienia do dostawy w przedsiębiorstwie. Mapa stanu obecnego ma służyć obserwacji przepływu materiału w czasie rzeczywistym do finalnego klienta i obrazowaniu w czytelny sposób za pomocą prostych symboli graficznych strat, powstających podczas tego przepływu.

Głównym tego celem jest z pomocą kadry operacyjnej znalezienie szans na doskonalenie i eliminację strat. Na podstawie analizy stanu obecnego i identyfikacji marnotrawstwa w procesie, tworzymy mapę stanu przyszłego (z ang. Value Stream Design), która opisuje możliwości doskonalenia przepływu materiałów i informacji. Wdrożenie wszystkich zaproponowanych usprawnień ma na celu osiągnięcie lepszych wyników w przyszłości. Największą zaletą metody VSM jest jej prostolinijność. Nie jest ona tylko zestawem narzędzi Lean, ponieważ po jej zastosowaniu mamy kompletny przewodnik do tego jak osiągnąć stan przyszły całkowicie oparty o filozofię „szczupłego zarządzania”. Oto kilka zalet, potwierdzających użyteczność metody Value Stream Mapping:

1. Pozwala zobaczyć cały przepływ materiałów i informacji, a nie tylko jego fragmenty.
2. Jest uniwersalnym narzędziem wśród organizacji wdrażających Lean, dzięki któremu można dyskutować na temat procesów produkcyjnych.
3. Pokazuje jednocześnie przepływ materiałów i informacji, ukazując związek między nimi.
4. Pozwala na łączenie narzędzi Lean Manufacturing przy projektowaniu stanu obecnego.
5. Umożliwia uniknięcie błędnych decyzji, pokazuje szczegóły jakie zachodzą w procesie.
6. Umożliwia identyfikację marnotrawstwa i dotarcie do jego źródła.

Aby mapowanie strumienia wartości było efektywne należy mapować tylko ten strumień, w którym chce się wprowadzić zmiany, nie należy tego robić dla wszystkich strumieni jednocześnie. Cała metoda Value Stream Mapping składa się z czterech podstawowych:

1. Wybranie jednej rodziny produktów – aby uniknąć komplikacji, tworząc mapę strumienia wartości należy skupić się na jednej rodzinie produktów, którymi zainteresowani są klienci.
2. Mapowanie stanu obecnego – należy przedstawić graficznie wszystkie dostępne środki i zachodzące procesy. Przeprowadzając analizę, niezbędne jest określenie, które z nich nie przynoszą wartości dodanej i są zbędne w przepływie strumienia wartości. Następnie należy rozważyć w jakich szczegółach procesu można wprowadzić Lean.
3. Mapowanie stanu przyszłego – na podstawie analizy stanu obecnego należy wprowadzić ustalone udoskonalenia w oparciu o Lean i przedstawić graficznie pożądany przyszły stan procesu.
4. Określenie planu działań zmierzających do osiągnięcia pożądanego stanu przyszłego – należy określić podział prac, które wykonywane stopniowo i sukcesywnie będą prowadzić do osiągnięcia założonego stanu przyszłego.

Value Stream Mapping jest narzędziem uniwersalnym, które może znaleźć zastosowanie w całej strukturze przedsiębiorstwa. Przy tworzeniu VSM zawsze obowiązują te same standardy.

4. Pojęcie rodziny produktów

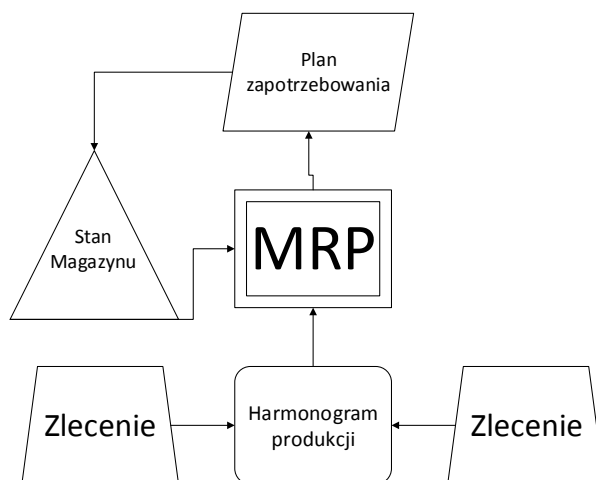
Przy każdym opracowywaniu map VSM niezbędne jest wybranie rodziny produktów. Mówiąc o rodzinie produktów, mamy na myśli grupę produktów, które mają wspólną lub chociaż podobną ścieżkę w procesie ich wytwarzania [5]. Rozumiemy przez to wytwarzanie ich za pomocą podobnego wyposażenia i metod. Rodziny produktów identyfikuje się z punktu widzenia klienta, gdyż istotne dla nas jest jakie jest zapotrzebowanie z jego strony oraz częstość sprzedaży produktu. Mapowanie strumienia wartości odbywa się na zasadzie przedstawienia graficznego wszystkich etapów procesu produkcyjnego od początku do końca w odniesieniu tylko do jednej rodziny produktów. Odbywa się to tylko w perspektywie „od drzwi do drzwi”, co oznacza, że dotyczy to tylko operacji, dziejących się w obrębie fabryki. Mapowanie strumienia jednej rodziny produktów powinno odbyć się w krótkim czasie. W przypadku, gdy mamy do czynienia z szerokim asortymentem, chcąc zidentyfikować rodzinę produktów, przydatnym rozwiązaniem jest macierz rodziny produktów. Opracowuje się ją na podstawie spisu produkowanych wyrobów i kolejnych działań w procesie produkcyjnym

5. Odpowiedzialność za strumień wartości – rola Menedżera

Biorąc pod uwagę funkcjonalną strukturę podziału większości przedsiębiorstw, tj. gdy są one podzielone na działy odpowiedzialne za poszczególne procesy, z pewnością zauważymy brak kompetentnych osób, które by znały cały przepływ strumienia wartości. Aby doskonalenie przebiegało sprawnie, konieczne jest wyznaczenie Menedżera Strumienia Wartości. Jego kompetencje powinny być odpowiednie, powinien on znać przebieg całego procesu produkcyjnego. Wszystkie decyzje nie mogą być zatem podejmowane przypadkowo. Korzystne dla optymalizacji strumienia wartości jest również, aby Menedżer miał odpowiednio wysokie uprawnienia. Pozwoli to mu bez jakichkolwiek przeszkód dokonywać pożądaných zmian w procesie, jeżeli zajdzie taka potrzeba. Sugeruje się, aby najlepiej podlegał on bezpośrednio dyrektorowi firmy. Na samym początku działań Menedżera Strumienia Wartości bardzo istotne jest zebranie przez niego informacji dotyczących: czasu trwania produkcji, rodzaju produkcji, wymagań dostawców, dostępności maszyn i ich liczebności, metod planowania produkcji, sposobów komunikacji, dostępności stanowisk roboczych.

6. Planowanie zapotrzebowania materiałowego (MRP)

Planowanie zapotrzebowania materiałowego obejmuje systemy oprogramowania, wspomagające planowanie produkcji i kontrolę zapasów, używane w zarządzaniu procesami produkcyjnymi. System łączy dane z planów produkcji oraz zapasów, uwzględniając koszty materiałów (ang. *BOM- bill of materials*) [6]. Wszystko to służy kalkulacji wszelkich planów zakupowych i określeniu transportu części, które są niezbędne do wytworzenia produktu. Głównym zadaniem systemu MRP jest uniknięcie niedoborów. Działanie systemu musi zapewniać wszystkie niezbędne dla klientów materiały. Planowanie zapotrzebowania materiałowego prowadzi do eliminacji nadmiernych zapasów, a tym samym redukcji strat, gdyż istotą jest przechowywanie w magazynach jak najmniejszej ilości niezbędnych materiałów. MRP pomaga w harmonogramowaniu produkcji. Analizując popyt i zamówienia klientów, system określa ile i w jakim okresie produkować. Aby system MRP był funkcjonalny, muszą być zawsze znane aktualne zapasy w magazynie i status bieżących zamówień. Konieczna jest też kontrola terminowości dostaw. Wprowadzenie pełnego systemu MRP skutecznie wspiera cały proces planowania produkcji [7]. Podstawowym problemem powstającym w planowaniu zapotrzebowania materiałowego jest integralność danych. Jeżeli występują błędy w danych dotyczących zapasów, harmonogramu produkcji, to system oprogramowania również wykaże błędy po wprowadzeniu tych danych wyjściowych. Najczęstszym powodem błędu integralności jest czynnik ludzki.

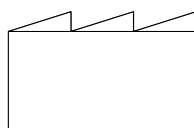


Rys. 2. Zasada działania systemu MRP

Źródło: opracowanie własne.

7. Podstawowe symbole używane podczas mapowania strumienia wartości

W celu lepszego i uniwersalnego rozumienia metody VSM wprowadzono standaryzację, dotyczącą oznakowania poszczególnych elementów nanoszonych na mapę. Poniżej zostały przedstawione podstawowe ikony używane w każdym Mapowaniu Strumienia Wartości.



Przedsiębiorstwo – za pomocą tego oznaczenia przedstawia się wszystkich klientów, dostawców oraz wszystkie przedsiębiorstwa, które pośrednio lub bezpośrednio biorą udział w przepływie strumienia wartości.

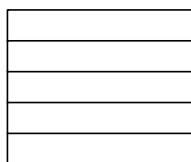
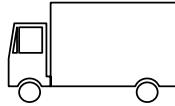
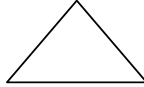


Tabela danych – wpisuje się w niej wszelkie informacje dotyczące procesów, takie jak np. czasy cyklu, czas taktu, czas operatorów itd.



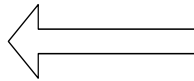
Transport samochodowy – ikona oznaczająca transport samochodowy gotowego wyrobu do odbiorcy lub materiały przybywające do fabryki. Zawsze należy podawać przy niej częstotliwość dostaw.



Zapasy – oznaczenie stosowane do przedstawienia wszelkiego rodzaju składowania surowców, półwyrobów lub gotowych wyrobów. Notujemy przy niej zawsze wielkość składowanego materiału.



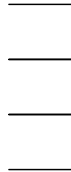
Przepływ materiału – ikona charakterystyczna dla „pchanego” sterowania produkcją. Obrazuje przemieszczenie półwyrobu na kolejne stanowisko robocze, zanim wystąpi na niego zapotrzebowanie.



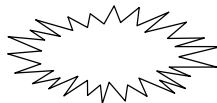
Przepływ wyrobów gotowych – transport gotowego produktu do klienta



Fizyczne ciągnięcie (ssanie) – ilustruje pobranie materiałów (najczęściej z supermarketu).



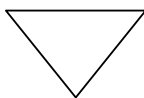
Supermarket – znajdujące się przy każdym procesie zapasy półwyrobów, umożliwiające przepływ ciągły



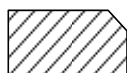
Działania kaizen – prezentuje wszystkie sugerowane usprawnienia, prowadzące do osiągnięcia założonego przyszłego stanu idealnego.



Kanban produkcyjny – ikona sygnalizująca zapotrzebowanie na produkt w supermarkecie po jego pobraniu przez klienta w dole strumienia wartości.



Kanban sygnalizacyjny – ikona odnosząca się do całej partii produkcyjnej. Sygnalizuje moment rozpoczęcia produkcji kolejnej partii po osiągnięciu punktu zamawiania. Występuje najczęściej w przypadku przebrojeń przy maszynach.



Kanban transportowy – karta informująca o konieczności transportu wyrobu z supermarketu do klienta w dole strumienia wartości, gdzie zostaje wykorzystany.



Karty kanban w partiach



Sygnal ssący na żądanie – ikona zawierająca instrukcję o natychmiastowym zapotrzebowaniu na konkretny typ i ilość produktu.



Skrzynka na karty kanban



Elektroniczny przepływ informacji

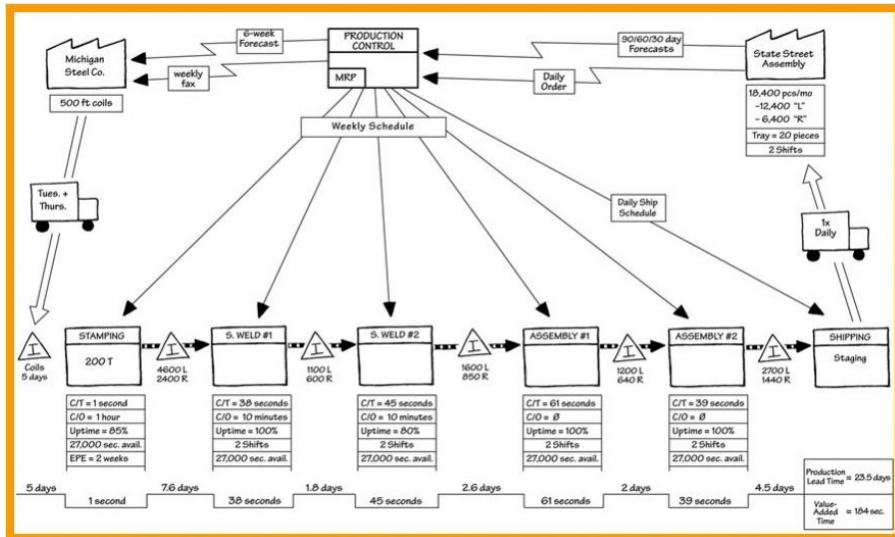


Przepływ informacji



Pracownik/operator maszyn

8. Mapowanie stanu obecnego strumienia wartości



Rys. 3. Przykładowa mapa VSM stanu obecnego

Źródło: opracowanie udostępnione przez przedsiębiorstwo dla którego wykonywany był VSM.

Jest to podstawowy i najważniejszy etap, który dostarcza nam informacji jak aktualnie przebiega dany proces oraz jakie jest działanie całego systemu. Pierwszym etapem w tworzeniu stanu obecnego jest określenie wymagań klienta. Na każdej mapie musi być zaznaczony reprezentujący go znak. Muszą być na nim opisane jego oczekiwania odnośnie realizacji zamówienia, takie jak np. częstotliwość i wielkość zapotrzebowania itp.

Najtrudniejszym momentem przy wprowadzaniu jakichkolwiek wdrożeń jest określenie wartości dostarczanego produktu z perspektywy klienta finalnego. Najbardziej istotne jest to, gdzie w przepływie naszego strumienia wartości powstaje ta wartość, której on oczekuje. W całym przepływie strumienia wartości zawsze występuje kilka procesów, które trzeba uwzględnić. Będzie to drugim etapem tworzenia mapy strumienia wartości. Zaznaczając na mapie ikonę procesu, ilustrujemy przepływ ciągły. Następny proces rozpoczyna się w momencie zatrzymania przepływu. Analizując występujące procesy, należy zawsze zaczynać od dołu strumienia wartości, czyli od tych procesów, które są najbliższe klienta, np. od magazynu wyrobów gotowych. Rysując na mapie procesy, konieczne jest umieszczenie informacji ich dotyczących. Należy wpisać je wewnątrz ikony, za pomocą której oznaczamy na mapie stanu obecnego występujący proces. Do podstawowych informacji należą:

- czas cyklu,
- czas taktu,
- czas dostępności maszyny,
- czas cyklu wyprodukowania każdej sztuki produktu,

- wskaźnik dostępności maszyn (OEE),
- liczba zmian,
- liczba pracowników/operatorów w danym procesie,
- ilość wyprodukowanych sztuk produktu na zmianę.

Wszystkie dane i informacje dotyczące procesu należy zbierać regularnie. Aktualizacja danych pomoże lepiej monitorować przebieg procesu i określić jaki jest status w osiągnięciu zamierzonego celu [8]. W przepływie strumienia wartości występują obszary, gdzie gromadzą się zapasy. Są to materiały lub informacje, które znajdują się między etapami przetwarzania. Wskazują one te miejsca, gdzie przepływ się zatrzymuje. Mogą one być klasyfikowane na podstawie przeznaczenia lub umiejscowienia w strumieniu wartości. Jeżeli chcemy uniknąć nieporozumień w mapowaniu naszego procesu, bardzo istotne jest, aby dokładnie określić każdy typ występujących zapasów. Na każdej mapie stanu obecnego należy nanosić tyle ikon, oznaczających składowanie zapasów, ile faktycznie ich występuje w procesie produkcyjnym [9].

Następnym etapem rysowania mapy stanu bieżącego jest zaznaczenie przepływu materiałów. Przez przepływ materiałów rozumiemy fizyczne przemieszczenie ich w obrębie strumienia wartości z jednego stanowiska na drugie. Dostrzeżemy wtedy z jaką metodą sterowania produkcją mamy do czynienia. Najczęściej w przypadku stanu obecnego przed wszelkimi wdrożeniami, będzie to produkcja „pchana”, gdyż materiał jest dostarczany do kolejnych procesów.

Kiedy oznaczamy już przemieszczanie się materiałów przez kolejne procesy, istotne będzie określenie w jaki sposób przebiega ich przepływ. Rysujemy zatem za pomocą odpowiednich strzałek, opisanych wyżej, przepływ informacji. Przepływem informacji jest wszelka wymiana danych dotyczących zamówień klienta. Jak wspomniano wcześniej należy nanosić na mapę wszelkie informacje, począwszy od dolnej części strumienia wartości, idąc w górę. Każdy przepływ informacji rozpoczyna się w momencie złożenia przez klienta zamówienia. Jeżeli zbieramy wszystkie informacje i je analizujemy, to możemy lepiej sprostać oczekiwaniom klienta dotyczącym wartości dostarczanego do niego wyrobu. Przepływ informacji uświadamia nas co i w jakim czasie należy produkować, aby spełnić oczekiwania klienta. Na jego podstawie można sprawdzić czy produkcja realizowana jest bezpośrednio na zamówienie, czy przebiega w oparciu o harmonogramy. Kiedy uwzględnimy już na mapie przepływ informacji oraz określimy jaką drogą są one przekazywane, należy rozpocząć rysowanie przepływu materiałów, zaczynając od górnej części strumienia wartości. Tworząc mapę stanu obecnego, należy skupić się zawsze na kliencie. Aby budować długotrwałe relacje biznesowe z klientami należy przedstawić im swoją ofertę wartości, która zawiera: czas, jakość i koszty. Dobra oferta wartości dla klienta będzie wtedy, gdy przepływ informacji i materiałów będą się nawzajem uzupełniać. Podsumowaniem bieżącego stanu strumienia wartości jest zawsze linia czasu rysowana na dole mapy. Przetwarza ona wszystkie czasy cyklu (C/T) w poszczególnych procesach oraz informuje nas ile wynosi czas przejścia jednej gotowej sztuki wyrobu przez cały proces produkcyjny od momentu przywiezienia surowego materiału do fabryki, gdzie został on

przetworzony, aż do momentu otrzymania go przez klienta finalnego. Pomaga ona ocenić ile czasu zostało zmarnowane w poszczególnych procesach. W praktyce jeżeli obserwujemy krótki czas przejścia, oznacza to szybszą zapłatę za zakupiony surowiec, z którego powstał gotowy produkt. Aby analiza VSM przyniosła rezultaty, konieczne jest zaangażowanie kierownictwa. Musi być ono nastawione na doskonalenie do osiągnięcia zamierzonego stanu przyszłego. Kierownictwo powinno przede wszystkim rozumieć podstawę danej analizy VSM, dzielić się swoją wiedzą, angażować się w zadawanie pytań i dyskusje oraz udzielać wszelkiego rodzaju wsparcia.

9. Analiza przykładowej mapy VSM

Oto przykłady zastosowania omawianych wcześniej pojęć i znaków na przykładzie przedstawionej wyżej mapy strumienia wartości stanu obecnego w analizowanej firmie. Firma ta zajmuje się produkcją pewnych komponentów plastikowych. Produkcja przebiega w dwóch wariantach. Jak omawiane było wcześniej, mapę stanu bieżącego powinniśmy zaczynać zawsze od określenia wymagań klienta. Na rysunku widać reprezentujący go znak, gdzie opisane są jego wymagania dotyczące dostaw. W ikonie w prawym górnym rogu widzimy, że jego wymagania dotyczące dostarczanego wyrobu gotowego wynoszą 12 000 sztuk w ciągu miesiąca. Ponadto klient oczekuje 5000 sztuk w wariantcie pierwszym oraz 7000 sztuk w wariantcie drugim.

Po sprecyzowaniu oczekiwań klienta przechodzimy do odwzorowania istniejących procesów. W firmie tej surowy materiał przechodzi kolejno przez takie procesy, jak:

1. Wtryskiwanie.
2. Obróbka.
3. Drukowanie (Tampo).
4. Zgrzewanie.
5. Złożenie.
6. Pakowanie.
7. Wysyłka do klienta.

Każde stanowisko jest oddzielnym procesem. W ikonach powyżej przedstawione zostały dane dla każdego z procesów. Analizując przykładowo proces tłoczenia widzimy, że czas cyklu (C/T) wynosi 86 sekund. Przebrojenie maszyny (C/O) na tym stanowisku zajmuje 25 minut. Dostępność wtryskarki wynosi 93%, z czego wynika, że jest ona dostępna 27 000 sekund w ciągu jednej zmiany. Na rysunku 5 widać także obszary, gdzie gromadzone są zapasy.

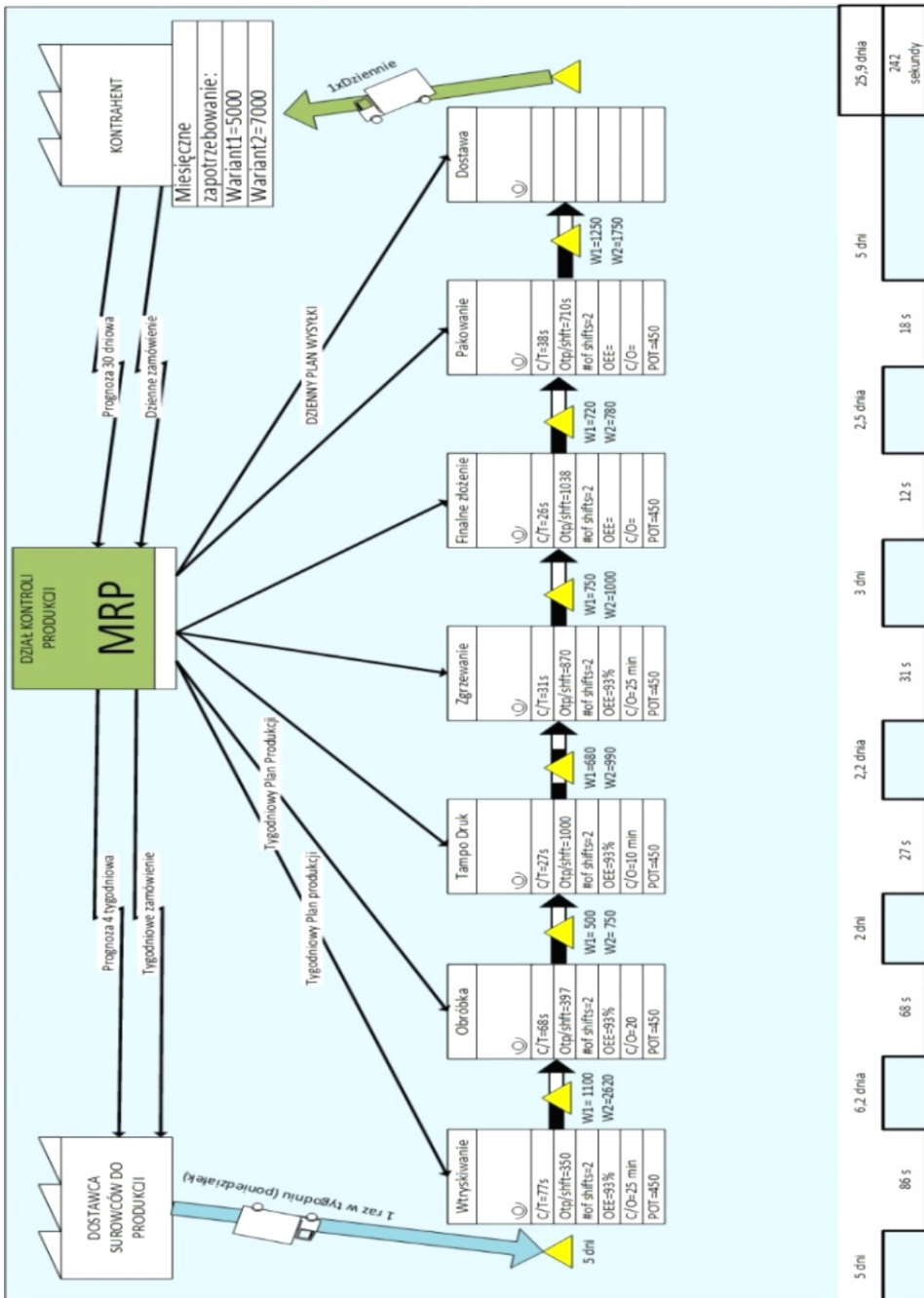
Następnym etapem w tworzeniu mapy jest przepływ materiałów. Ikona ciężarówka widoczna na rysunku oznacza transport samochodowy, natomiast ikona szerokiej strzałki oznacza przepływ gotowych wyrobów do klienta. Do firmy raz w tygodniu (poniedziałek) przybywa surowiec od dostawcy. Jak symbolizuje

ikona trójkąta oznaczająca zapasy, po dostarczeniu zostaje on umieszczony w magazynie i składowany przez 5 dni. Na rysunku po prawej stronie został przedstawiony proces wyjścia wyrobu gotowego z firmy. Gotowe komponenty zostają spakowane i są wysyłane raz dziennie transportem samochodowym do kontrahenta. Przepływem materiału w przedstawionej na rysunku firmie jest również jego fizyczne przemieszczenie między kolejnymi procesami, tak jak ilustrują na rysunku strzałki pchania. Materiał porusza się w dół strumienia wartości na skutek pchania przez kolejne procesy, które są producentami.

Przepływ odbywa się na podstawie harmonogramów ustalonych przez Dział Sterowania Produkcją wspomagany systemem MRP. Na tym etapie tworzenia mapy stanu obecnego strumienia wartości mamy do czynienia z przepływem informacji.

Przedsiębiorstwo przesyła każdego dnia informacje do Działu Sterowania Produkcją firmy na temat dziennego zapotrzebowania oraz prognoz zapotrzebowania w najbliższym miesiącu. Następnie informuje swojego dostawcę o prognozach czterotygodniowych na zapotrzebowanie surowca oraz wysyła tygodniowe zamówienie. Dział sterowania produkcją dostarcza również informacji na linii produkcyjną na temat zapotrzebowania materiałów w poszczególnych procesach. Na samym dole mapy strumienia wartości umieszczona jest linia czasu. Widzimy, że łączny czas przejścia jednej sztuki (Production Lead Time) wyrobu gotowego przez cały proces produkcyjny wyniósł 25,9 dnia, natomiast czas przynoszący wartość dodaną (Value Addend Time) wynosi 242 sekundy.

Mając gotową mapę stanu obecnego, łatwiej jest dostrzec źródła marnotrawstwa oraz błędy w przepływie informacji w przedsiębiorstwie produkcyjnym. Widzimy, że można wprowadzić kilka wdrożeń z zakresu Lean Manufacturing udoskonalających cały proces produkcyjny, takich jak chociażby system kanban oraz wprowadzić supermarkety pomiędzy kolejnymi procesami, eliminując tym samym system pchania, który generuje duże zapasy.



Rys. 4. Przykładowa mapa strumienia wartości stanu obecnego w przedsiębiorstwie produkcyjnym

Źródło: opracowanie własne.

Należałoby zmienić również sposoby przepływu informacji w firmie oraz organizację transportu. Należy rozważyć także relokacje stanowisk, aby skrócić drogę przepływu materiału przez strumień wartości. Najistotniejszym marnotrawstwem w procesie jest niewłaściwe wykorzystanie potencjałów produkcji. Widzimy, że w procesie wtryskiwania w ciągu jednej zmiany firma jest w stanie wyprodukować 350 sztuk półwyrobu jednego z wariantów, a więc tyle ile dokładnie potrzebuje klient danego dnia. Jeżeli chodzi o wariant drugi, to stanowisko robocze będzie produkować zapasy, gdyż w procesie gotowego wyrobu zostanie wytworzone 100 sztuk ponad codzienne zapotrzebowanie klienta. Niewłaściwe wykorzystanie potencjału występuje również na kolejnych stanowiskach. W procesie drukowania maszyna jest w stanie wyprodukować aż 1000 sztuk w ciągu zmiany, podczas gdy wymaganą ilością, zaspokajającą potrzeby klienta jest maksymalnie 350 sztuk. Podobna sytuacja występuje również w procesie zgrzewania. W przebiegu strumienia wartości marnowany jest także potencjał ludzki na stanowiskach montażu i pakowania, gdyż pracownicy są w stanie wykonać pracę dla dużo większej ilości sztuk niż jest ona wymagana przez kontrahenta.

Wszystkie te omówione wyżej oraz pozostałe wykryte po wnikliwej analizie mapy stanu obecnego powinny być umieszczone na mapie stanu przyszłego przepływu strumienia wartości. To od nas zależy jak widzimy wizję naszego stanu doskonałego strumienia wartości. Dlatego też samo opracowanie mapy stanu obecnego nie przyniesie żadnych rezultatów i nie pomoże w doskonaleniu procesu, jeśli nie opracujemy mapy stanu przyszłego. To na jej podstawie można dopiero wprowadzać zmiany, eliminujące wszelkie marnotrawstwo oraz umożliwiające zapewnienie ciągłego przepływu, który jest jednym z głównych celów produkcji najtrudniejszych do osiągnięcia.

10. Podsumowanie

W dzisiejszych czasach implementacja narzędzi Lean Manufacturing w przedsiębiorstwie produkcyjnym jest niezbędna w optymalizacji wszystkich zachodzących procesów. Value Stream Mapping to metoda, która pozwala określić w jakim stopniu można spełnić oczekiwania klienta oraz jak dostarczyć mu oczekiwaną przez niego wartość. Dzięki temu narzędziu mamy podgląd nie tylko na pojedynczy proces, ale na całość od momentu przywiezienia surowca do fabryki, przez jego przetworzenie wewnątrz firmy, aż do dostarczenia gotowego wyrobu do kontrahenta.

Aby najlepiej zrozumieć przepływ strumienia wartości, mapy powinny być tworzone za pomocą ołówka i kartki, nie zaleca się używania w tym celu komputera. Mapowanie strumienia wartości umożliwia implementację udoskonaleń w procesie, które pomagają lepiej spełniać oczekiwania klienta. W tworzeniu analizy VSM niezbędne jest przestrzeganie kolejnych etapów, takich jak:

1. Wybór rodziny produktów.
2. Wyznaczenie Menedżera Strumienia Wartości.
3. Narysowanie mapy stanu obecnego.

4. Narysowanie mapy stanu przyszłego.
5. Określenie planu wprowadzania stanu przyszłego.

Należy również zaznaczyć na mapie wszystkie obszary między kolejnymi etapami przetwarzania, gdzie gromadzą się zapasy. Kolejnym etapem jest przedstawienie na mapie przepływu materiałów, czyli ich fizyczne przemieszczenie z jednego stanowiska na drugie lub od dostawcy do klienta. Następnie zajmujemy się przepływem informacji, aby określić w jaki sposób funkcjonuje przemieszczanie się materiałów. Zapisujemy na strzałkach wszystkie istotne dane, dotyczące częstotliwości dostaw lub ich wielkości. Na samym końcu rysujemy linię czasu, która podsumowuje łączny czas przejścia jednej sztuki przez całą drogę strumienia wartości. Po opracowaniu mapy stanu bieżącego należy zacząć identyfikować wszelkie marnotrawstwo, występujące we wszystkich procesach i zastanowić się nad wdrożeniami, które pomogą w jego eliminacji. Na tej podstawie rysujemy dopiero mapę stanu przyszłego oraz określamy plan wprowadzania wszelkich udoskonaleń. Przy tworzeniu mapy stanu obecnego strumienia wartości konieczne jest zaangażowanie kierownictwa, które powinno udzielać możliwie jak największego wsparcia. Wszystkie te i inne przyszłe działania pomagają w osiągnięciu satysfakcji klientowi.

Literatura

- [1] The Productivity Press Development Team, *Identyfikacja marnotrawstwa na hali produkcyjnej*, ProdPress.Com, Wrocław 2008.
- [2] Rother M., Shook J., *Naucz się widzieć*, Wydawnictwo Lean Enterprise Institute Polska, Wrocław 2009.
- [3] Borris S., *Strategic Lean Mapping: Blending Improvement Processes for the Perfect Solutio*, McGraw-Hill Education, New York 2012.
- [4] Shook J., Schroeder A., *Leksykon Lean. Ilustrowany słownik pojęć z zakresu Lean Management*, pod red. Cheta Marchwińskiego, Wydawnictwo Lean Enterprise Institute Polska, Wrocław 2010.
- [5] Bertolini M., Braglia M., Romagnoli G., Zammori F., Extending value stream mapping: the synchro-MRP case. *International Journal of Production Research* [online]. 2013, vol. 51, 5499-5519 [dostęp 16 października 2015]. Dostępny w Internecie: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207543.2013.784415>
- [6] Rohac T., Januska M., *Value Stream Mapping Demonstration on Real Case Study*. *Procedia Engineering* [online]. 2015, vol. 100, 520-529 [dostęp 16 października 2015]. Dostępny w Internecie: <http://212.51.210.219/han/ebSCO/www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705815004269>
- [7] Agyapong-Kodua K., Ajaefobi J.O., Weston R.H. and Ratchev S., *Development of a multi-product cost and value stream modelling methodology*. *International Journal of Production Research* [online]. 2012, vol. 50, 6431-6456 [dostęp 16 października 2015]. Dostępny w Internecie: <http://212.51.210.219/han/ebSCO/eds.a.ebSCO-host.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=5&sid=ca7a12c8-440f-449e-8a5f-282436f88770@sessionmgr4002&hid=4213>

- [8] Dal Forno A.J., Pereira F.A., Forcellini F.A., Kipper L.M., *Value Stream Mapping: a study about the problems and challenges found in the literature from the past 15 years about application of Lean tools*. The international Journal of Advanced Manufacturing Technology [online]. 2014, Vol. 72, 779-790 [dostęp 16 października 2015]. Dostępny w Internecie:
<http://rd.springer.com/article/10.1007%2Fs00170-014-5712-z#page-1>
- [9] Wolniak R., Skotnicka-Zasadzien B., *The use of value stream mapping to introduction of organizational innovation in industry*. Metallurgy [online]. 2014, Vol. 53 [dostęp 17 października 2015]. Dostępny w Internecie:
<http://hrcak.srce.hr/122228?lang=en>

Streszczenie

W artykule zostało przedstawione praktyczne wykorzystanie filozofii Lean Manufacturing w przedsiębiorstwach produkcyjnych na przykładzie zastosowania narzędzia Value Stream Mapping. W pierwszej części omówiono w sposób ogólny całą filozofię Lean, by przybliżyć Czytelnikowi na czym polega jej zastosowanie. Aby lepiej zrozumieć metodę VSM, wzięte pod lupę zostały podstawowe pojęcia dotyczące bezpośrednio Lean oraz Mapowania Strumienia Wartości, takie jak: marnotrawstwo, wartość dodana, strumień wartości, rodzina produktów, przepływ ciągły, system ssący oraz pchany. Omówiono termin i rolę Menedżera Strumienia Wartości, a także działanie systemu planowania zapotrzebowania materiałowego MRP. Następnie zaprezentowano i przybliżono wszystkie symbole stosowane przy tworzeniu map. W dalszej części artykułu opisany został cały proces tworzenia mapy stanu obecnego strumienia wartości, uwzględniając kolejność poszczególnych etapów. W ostatniej części kolejno została zaprezentowana i objaśniona przykładowa mapa VSM stanu bieżącego na przykładzie firmy ACME Stamping.

Słowa kluczowe: produkcja cukru, ekstraktor wieżowy, wyparki Robertsa.

INNOWACYJNE ROZWIĄZANIA ORGANIZACYJNE W PROCESIE WYBORU DOSTAWCÓW USŁUG TRANSPORTOWYCH

Ewa Junkiert, Barbara Galińska

1. Wstęp

Procesy transportowe, będące jednym z głównych elementów procesów logistycznych, odgrywają istotną rolę we współczesnych systemach gospodarczych. Wpływają one w znaczny sposób na wzrost efektywności działania firm oraz na ich konkurencyjność. Aby osiągnąć sukces w sferze zarządzania procesami logistycznymi, należy mieć szeroką wiedzę w zakresie technik i metod logistycznych. Poza tym należy stale szukać oryginalnych rozwiązań, które mogą zmienić sytuację przedsiębiorstwa i co najważniejsze – ustalić strategię jego działania.

Celem strategicznym logistyki jest i zawsze będzie znalezienie najbardziej racjonalnych rozwiązań w zakresie organizacji, technologii czy wielu innych płaszczyzn, które pozwalają optymalizować przepływ informacji oraz dóbr materialnych. Nie zawsze najlepsze rozwiązanie oznacza to najtańsze. Bardzo często odpowiedni sposób wykonywania różnego rodzaju czynności, zadań czy procesów wiąże się z ponoszeniem dużych kosztów.

W dzisiejszych czasach, kiedy to gospodarka pracuje w coraz szybszym tempie, bardzo ważnym aspektem jest profesjonalizm i specjalizacja. To właśnie dobór odpowiednio wyspecjalizowanej firmy i zlecenie jej wykonania usługi spedycyjno-transportowej, wpływa na wizerunek przedsiębiorstwa produkcyjnego. Dzięki temu rodzajowi inwestycji można zbudować rzetelne i trwałe relacje, pozwalające na podnoszenie wizerunku u klientów [4].

2. Istota procesu transportowego

Transport jest podstawowym ogniwem, dzięki któremu możliwe jest przemieszczanie ludzi, dóbr czy usług z miejsca nadania do miejsca przeznaczenia. Jeśli czynności te zostaną wykonane zgodnie z zasadą 7W (Właściwy produkt, we Właściwej ilości, we Właściwym stanie, do Właściwego miejsca, we Właściwym czasie, do Właściwego klienta i po Właściwej cenie), to można stwierdzić, że logistyka spełnia oczekiwania bezpośredniego konsumenta, a także wspomaga realizację koncepcji zarządzania, np. Just in Time [12].

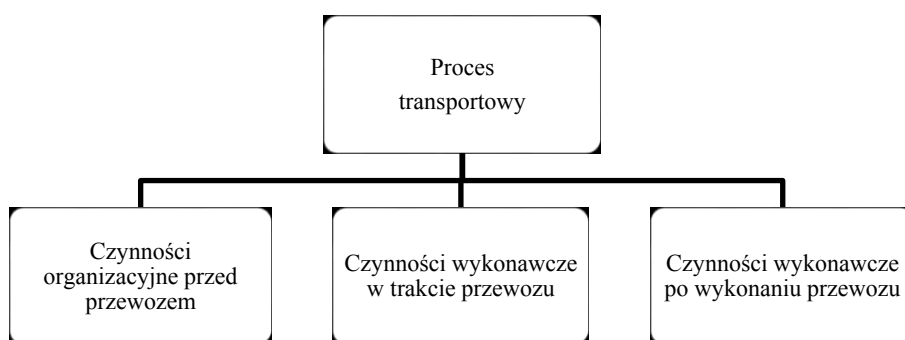
Transport jest działalnością usługową, która polega na przemieszczaniu dóbr, osób oraz informacji z punktu A do punktu B. Jest to usługa transportowa, która nie ma uprzedmiotowionej postaci. Główną jej cechą jest fakt, że stanowi

pewnego rodzaju łącznik między produkcją a konsumentem w aspekcie: czasu, miejsca i rozmiaru. Do pozostałych cech charakterystycznych transportu zalicza się także [9]:

- niewystępowanie rzeczowego charakteru produkcji transportowej,
- niemożliwość produkcji usług transportowych na zapas.

Brak możliwości produkowania usług transportowych na zapas powoduje wystąpienie określonych skutków, zarówno u przewoźników, jak i zleceniodawców.

Proces transportowy jest definiowany jako szereg czynności organizacyjnych, wykonawczych oraz handlowych, mający na celu przemieszczanie różnych ładunków. Na rysunku 1 przedstawiono podział procesu transportowego.



Rys. 1. Podział procesu transportowego

Źródło: opracowanie własne na podstawie M. Hajdul, M. Stajniak, M. Foltiński, A. Koliński, P. Andrzejczyk, Organizacja i monitorowanie procesów transportowych, Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań 2015, ss. 14-16.

Czynności organizacyjne wykonywane przed przewozem dotyczą przede wszystkim:

- doradztwa w jaki sposób nadawca powinien zabezpieczyć ładunek przy wyborze danego sposobu transportu i przeładunku,
- kalkulacji kosztów,
- znajomości gałęzi transportu, przewoźników oraz trasy,
- sporządzenia umów na przewóz,
- zamówienia środka transportu na dzień wykonania procesu przewozowego,
- ubezpieczenia ładunku,
- przygotowania oraz oznakowania ładunku,
- sporządzenia i wydania dokumentów przewozowych,
- organizacji usług dodatkowych, takich jak: magazynowanie, przeładunek czy usługi celne,
- przepływu informacji o postępie procesu przewozowego ładunku.

Czynności wykonawcze w trakcie procesu przewozu odnoszą się do realizacji samego przewozu, czyli do wykonywania procesu przewozowego, który jest kluczowym elementem procesu transportowego. Składa się on z czynności, które bezpośrednio angażują pojazd, tj.:

- dojazd środka transportu do miejsca załadunku,
- załadunek towaru,
- przewóz,
- składowanie,
- przeładunek,
- przepakowanie,
- wyładunek,
- powrót środka transportowego do bazy bądź do nowego miejsca załadunku,
- monitoring poprawności wszystkich czynności wykonywanych w procesie.

Po zakończonym procesie przewozowym występuje kolejny etap związany z dokonaniem formalności administracyjno-biurowych, jak również innych czynności związanych z zamknięciem procesu transportowego. Dotyczą one wszelkich formalności celnych, potwierdzenia przez przewoźnika i kierowcę dostarczenia przesyłki do odbiorcy oraz rozliczenia należności (wystawienie faktury) [4].

Producent, który zleca wyspecjalizowanej firmie transport swego ładunku powinien osiągać szereg korzyści, które dotyczą przede wszystkim:

- poradnictwa,
- dokumentacji transportowej,
- transportu zorganizowanego zgodnie z zasadą 7 W,
- pomocy przy organizacji formalności celnych.

Podczas realizacji usługi transportowej zleceniodawca nie zawsze powinien osiągnąć korzyści finansowe, gdyż niekiedy niska cena może oznaczać słabą jakość realizowanego przewozu. Należy zatem zwracać uwagę na inne atuty przewoźników, gdyż wpływają one na wizerunek producenta, który wybrał daną firmę transportową.

3. Czynniki determinujące konkurencyjność dostawców usług transportowych

Pozycja konkurencyjna, rozumiana jako wynik konkurowania, może być określana według kilku różnych kryteriów, których zastosowanie musi być jednak zawsze poprzedzone wcześniejszym jej (pozycji) pomiarem. W gronie teoretyków zarządzania strategicznego istnieje – poza wyjątkami – dość duża zgodność poglądów co do tego, że wśród pozycji konkurencyjnej powinny się znaleźć: osiągnięta pozycja rynkowa i sytuacja finansowa przedsiębiorstwa. Przy czym te dwa wskaźniki należy – w opinii wielu badaczy – rozpatrywać łącznie, z tej przyczyny,

że osiągnięta pozycja rynkowa może być także uzyskiwana przy ujemnej efektywności ekonomicznej (np. przy stosowaniu cen niepokrywających kosztów). Pozycja rynkowa może być mierzona udziałem w rynku, zaś sytuację finansową można przedstawić za pomocą wskaźników finansowych. Trzeba jednak od razu zaznaczyć, że pomiar udziału w rynku – w dobie globalizacji rynków – staje się zadaniem niezwykle trudnym, a na poziomie analiz prowadzonych przez same przedsiębiorstwa często też niewykonalnym. Dlatego w praktyce, zamiast udziału w całym rynku, bardziej przydatne są wskaźniki cząstkowe: udział w rynku przedsiębiorstwa do połączonej sprzedaży trzech największych konkurentów albo jako relacja sprzedaży własnej do sprzedaży głównego konkurenta.

Konkurencja jest zjawiskiem, w którym jego uczestnicy rywalizują między sobą w dążeniu do podobnych bądź identycznych celów, co oznacza, że działania podejmowane przez jednych, dla osiągnięcia określonych celów, uniemożliwiają realizację takich samych celów przez innych [11]. Przedsiębiorstwa konkurują między sobą przede wszystkim: ceną, jakością, formą płatności, terminowością dostaw, wykorzystywaną technologią, poziomem obsługi klienta czy też wizerunkiem firmy, reklamą i promocją. Konkurencja jest podstawą gospodarki rynkowej [5].

Cechą uczestników konkurencji jest konkurencyjność. W celu skutecznego konkurowania oraz osiągnięcia założonych celów, mimo przeszkód tworzonych przez konkurentów, należy być konkurencyjnym [1]. Przewagę konkurencyjną organizacji zapewniają zasoby [13]:

- cenne, gdy pozwalają na sprawne działanie i adaptację do otoczenia oraz umożliwiają wytwarzanie produktów niepowtarzalnych, przynoszących unikatową wartość użytkową dla klienta,
- rzadkie, gdy nie są powszechnie dostępne na rynku i ograniczona jest ich substytucja,
- trudne do imitacji, czyli skopiowania przez konkurentów, a tym samym zapewniające trwałość przewagi konkurencyjnej,
- dobrze zorganizowane, gdy organizacja jest zdolna do efektywnego wykorzystania swych zasobów poprzez formalne struktury, systemy kontroli,
- elastyczne, gdy można dostosować je do nowych sytuacji, przez co jest większe prawdopodobieństwo zapewnienia trwałej przewagi konkurencyjnej,
- niezawłaszczane, gdy generowane przez nie zyski nie mogą zostać przechwycone (zawłaszczane) przez innych.

Rywalizacja między przedsiębiorstwami może dotyczyć różnych obszarów oferowanych towarów bądź usług, między innymi może opierać się o wiele cech oferty rynkowej. Aspekt ten wyznacza również cechy konkurencyjności, do których należy zaliczyć [7]:

- relatywny udział w rynku,
- rentowność,
- zdolność do konkurowania w zakresie kosztów i jakości,

- silne i słabe strony firmy,
- jakość zarządzania,
- umiejętności marketingowe,
- dystrybucję,
- szeroki asortyment,
- cenę,
- jakość,
- formę płatności,
- terminowość dostaw,
- wykorzystywaną technologię,
- poziom obsługi klienta.

Cechy te, a zwłaszcza ich wysoka jakość, świadczą nie tylko o konkurencyjności firmy, ale budują również jej przewagę konkurencyjną.

Na podstawie analizy rynku firm transportowych, polegającej na przeglądzie literatury, prasy oraz wywiadach z przewoźnikami, można uzyskać jedynie ogólne dane dotyczące kształtowania się cen. Przewoźnicy podają tylko orientacyjne stawki, nie udzielając rzeczywistych informacji, zasłaniając się tajemnicą handlową. Wysoki poziom konkurencji na rynku usług transportowych skutkuje obniżaniem marży, oferowaniem dłuższych terminów płatności i krótszych czasów realizacji. Zjawiska te mogą prowadzić do zmniejszenia rentowności firm przewozowych oraz powodować zagrożenia związane z warunkami pracy zatrudnionych pracowników i jakością utrzymania technicznego pojazdu [9].

W transporcie ładunków do głównych instrumentów konkurencji należą [9]:

- cena – wykorzystywana jako instrument konkurencyjny, co jest spowodowane spowolnieniem gospodarczym,
- dostępność i różnorodność usług oferowanych przez przewoźników, czyli: rodzaje wykonywanych przewozów lub też przewożonych ładunków,
- moce przeładunkowe, przepustowość,
- oferowana infrastruktura, którą przedstawia odpowiedni stan taboru w przewozach międzynarodowych, ładowność samochodu, jego rodzaj oraz dodatkowe urządzenia,
- spełnienie ograniczeń środowiskowych, ujętych w przepisach,
- dystrybucja usług zgodnie z zasadą 7W,
- promocja polegająca na udziale w targach czy różnego rodzaju reklamach, np. akwizycja, public relations, nawet sponsorowanie wybranych wydarzeń lub też – w przypadku małych przedsiębiorstw – ulotki czy reklamy internetowe,
- personel – kompletność, komunikatywność, tempo pracy, elastyczność,
- proces świadczenia usług w jak najlepszej jakości, zwłaszcza możliwość śledzenia przesyłek,
- wizerunek i wiarygodność przedsiębiorstwa.

W przypadku firm transportowych technologie są zbliżone i nie stanowią tak istotnego instrumentu konkurencji. Większość przedsiębiorstw jest nastawiona na strategię przywództwa kosztowego. Z punktu widzenia zleceniodawców wybierających firmę, która będzie realizowała usługę transportową, równie istotna co cena są czas realizacji zlecenia oraz terminowość dostaw. W przypadku braku możliwości wykonania dostawy w zaawizowanym wcześniej terminie, bardzo ważna jest informacja do klienta, by ten mógł zareagować i wykonać pewne działania w swoim przedsiębiorstwie. Transport jest zagadnieniem bardzo ruchomym, na które wpływa bardzo dużo czynników zewnętrznych, nie zawsze zależnych od wykonawcy. Z tego też względu przewoźnik bądź spedytor powinien na bieżąco informować zlecającego, na jakim etapie jest realizacja jego usługi.

4. Ocena konkurencyjności firm transportowych

Proces wyboru dostawcy usług transportowych jest jednym z najważniejszych aspektów działania przedsiębiorstwa. Przy jego realizacji nie należy kierować się zasadą przyzwyczajęń czy szybkich decyzji. Zdarza się bowiem, że firmy transportowe, z których usług korzysta się sporadycznie, okazują się przodującymi wśród całej grupy – w świetle znaczących kryteriów oraz na podstawie oceny dotychczasowej współpracy. Natomiast obecni przewoźnicy wypadają słabo, ze względu na negatywne oceny w najważniejszych obszarach kooperacji. Zadaniem kompleksowej oceny dostawców jest zwrócenie uwagi na tego typu błędy oraz próba wyselekcjonowania najlepszych przewoźników, według określonych kryteriów wyboru.

Obecnie relacje między dostawcą a odbiorcą oparte tylko na ofercie cenowej nie mogą zostać zaakceptowane przez menedżerów działów zakupów. Nawiązanie współpracy wiąże się z koniecznością uwzględnienia wielu czynników jakościowych i ilościowych. Oprócz ceny, istotnymi aspektami przy wyborze partnera strategicznego są: jakość, niezawodność czy elastyczność dostaw. Jednocześnie złożoność zagadnienia wiąże się z koniecznością rozpatrywania problemu oceny i wyboru dostawcy jako zadania niezwykle złożonego. Z pomocą przychodzi tu analiza kluczowych czynników sukcesu. Jest to metoda, której genezą jest reguła „80/20”, mówiąca o tym, że w organizacji 20% nakładów decyduje o 80% efektów oraz odwrotnie, czyli że 80% nakładów przyczynia się do 20% efektów. Z zasady wynika, że nie należy badać wszystkich zasobów wpływających na konkurencyjność badanych firm transportowych, ale wybrać tylko 20% najważniejszych, które są odpowiedzialne za spełnienie oczekiwań dotyczących realizacji usługi i następnie analizować je wnikliwie.

Analiza kluczowych czynników sukcesu należy do zespołu metod analizy wnętrza przedsiębiorstwa, dających podstawy do oceny jego siły oraz wyznaczenia pozycji konkurencyjnej. W celu zagwarantowania jak najwyższej jakości transportu produktów należy wejść do wnętrza firm, z którymi zleceniodawca chciałby współpracować. Według wybranych przez organizację najważniejszych czynników należy

przebadac kandydatów do współpracy i sprawdzić, czy w wystarczający sposób spełniają oczekiwania, a przede wszystkim wymagania odbiorców [2, 10].

Sukces metody zależy od prawidłowego opracowania listy, czyli wskazania, jakie czynniki w badanym sektorze mają strategiczne znaczenie. W szczególności należy tu wymienić takie grupy kryteriów oceny przedsiębiorstwa, jak:

- cena asortymentu wraz z warunkami płatności,
- dostępność materiałów informacyjnych,
- kompetencje pracowników,
- jakość oferowanych produktów czy usług,
- sposoby rozwiązywania problemów na płaszczyźnie firma-klient,
- współpraca przedsiębiorstwa z kontrahentami,
- reklama przedsiębiorstwa,
- wizerunek przedsiębiorstwa na tle firm o podobnym profilu działalności,
- zgodność wykonanych prac w stosunku do pierwotnych założeń,
- terminowość dostaw.

Metoda analizy kluczowych czynników sukcesu polega przede wszystkim na ustaleniu i zbadaniu wybranych cech organizacji, które decydują o jej powodzeniu i przewadze. Ocena tych aspektów powinna być konstruowana w odniesieniu do niemalże idealnego profilu kluczowych czynników sukcesu, za pomocą czego można uzyskać ocenę obiektywną. W ten sposób można określić, czy badane przedsiębiorstwo jest na lepszej czy gorszej pozycji w stosunku do konkurencji [14].

Jednym z najważniejszych elementów w doborze firm transportowych jest czas realizacji procesu przewozowego. Ponadto istotne są także stosunki między przewoźnikiem a firmą produkcyjną. Czas realizacji zlecenia uwarunkowany jest m.in. dostępną infrastrukturą transportową. Czynnikiem, którego nie można pominąć przy doborze odpowiedniej firmy transportowej jest dostępność taboru i jego odporność na zakłócenia – czynniki losowe. Bardzo istotna jest tutaj dostępność środków zastępczych, gwarantujących terminowość dostaw w przypadku awarii lub inne zabezpieczenia, na skutek np. reklamacji bądź kar umownych za nieterminowość dostaw [6].

Wyszczególnione czynniki, mające wpływ na wybór firm transportowych, są powiązane z kosztami, jakie należy uwzględnić podczas realizacji usługi. Zmniejszenie kosztów transportu inspirowane do ciągłego poszukiwania stosunkowo niedrogich systemów transportowych, co przyczynia się do zwiększenia konkurencyjności produktów logistycznych.

5. Organizacja zadań transportowych na przykładzie przedsiębiorstwa

Organizowanie zadań transportowych jest bardzo ważnym procesem działalności przedsiębiorstw produkcyjnych, spedycyjnych czy też samych przewoźników. Ich głównym celem jest dostarczenie towaru z punktu nadania do punktu odbioru.

Jedne z nich oczekują, że towar będzie przemieszczony szybko, tanio oraz bezpiecznie, inne natomiast na działaniach transportowych chcą uzyskać maksymalny zysk. W związku z tym, aby mogła istnieć wymiana handlowa, dla każdego transportu każdorazowo należy prowadzić szczegółową analizę kosztów oraz czasów przewozu ładunku. Kalkulacje te nie powinny ograniczać się jedynie do jednej gałęzi transportu.

Badane przedsiębiorstwo prowadzi działalność we wszystkich obszarach branży metalowej, a w szczególności ślusarskiej i tokarskiej: obróbka mechaniczna elementów metalowych (PKD 25.62.Z). Podklasa ta obejmuje [3]:

- wiercenie, toczenie, frezowanie, wiórkowanie, struganie, szlifowanie, przeciąganie, polerowanie, cięcie, ostrzenie, spawanie, nitowanie itp. elementów metalowych,
- wycinanie i pisanie na metalach za pomocą wiązki laserowej.

W badanej firmie logistyka odgrywa kluczową rolę. To właśnie dzięki niej zachowana jest harmonia i współpraca obszarów zaopatrzenia, produkcji i magazynowania.

W celu wyboru jak najbardziej korzystnego wykonawcy usługi transportowej, powinny zostać wykonane różne czynności. Ponadto powinny być one przeprowadzane systematycznie, co pewien okres czasu, gdyż nawet przy współpracy z tymi samymi firmami ich oferta może dynamicznie się zmieniać.

Zgodnie z jednym z mierników funkcjonowania systemu zarządzania jakością, organizacja powinna monitorować informacje dotyczące percepcji klienta co do tego, czy spełniła jego wymagania. Należy określić metody uzyskiwania i wykorzystywania tych danych [8]. Przydatna jest tu ocena kluczowych czynników sukcesu, która jest wspierana przez specjalny kwestionariusz ankietowy. W wyniku jej zastosowania można otrzymać szereg wskazówek od klientów czy innych kooperantów. Metoda pozwala określić, jakie wartości dodane do produkowanego wyrobu ważne są dla odbiorców. Czynniki te odnoszą się do aspektów, które oferują firmy transportowe realizujące proces przewozu produktu gotowego od producenta do odbiorcy.

W przedstawionym przykładzie, w celu wykonania analizy, została przeprowadzona ankieta, która została wypełniona przez dziesięciu ostatnich klientów zakładu, korzystających w bieżącym roku z jego usług. Ocenie zostały poddane takie kryteria, jak:

- 1) warunki płatności oferowane przez badaną firmę, które mogą być uzależnione od wyboru firmy realizującej dostawę,
- 2) dostępność informacji o statusie realizacji zamówienia,
- 3) sposoby rozwiązywania problemów,
- 4) jakość realizacji usług transportowych i spedycyjnych,
- 5) wizerunek firmy transportowej na tle innych o podobnym profilu,
- 6) terminowość dostaw,
- 7) cena transportu,
- 8) wykorzystywana technologia przez firmy transportowe,

- 9) kompetencje pracowników na wszystkich szczeblach realizacji zlecenia,
10) kontakt z firmą realizującą transport.

Kwestionariusz został przekazany drogą elektroniczną do dziesięciu klientów, którzy współpracowali z badanym przedsiębiorstwem w przeciągu ostatnich trzech miesięcy. Respondenci w pierwszej kolejności określili wagi poszczególnych kryteriów oceny przewoźników (tabela 1). Następnie przyznali oceny poszczególnym czynnikom.

Tabela 1. Wagi kryteriów przyznane przez poszczególnych ankietowanych

Kryterium	Wagi poszczególnych kryteriów										Suma	Waga (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	20	8	20	12	8	20	16	16	16	16	152	12,15
2	9	6	15	15	15	12	15	15	15	15	132	10,55
3	15	15	15	15	15	15	12	15	15	6	138	11,03
4	16	20	16	20	20	20	20	20	20	16	188	15,03
5	5	5	5	5	5	5	4	5	3	5	47	3,76
6	12	15	15	15	15	15	15	15	15	15	147	11,75
7	10	10	10	10	8	10	10	10	10	10	98	7,83
8	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	49	3,92
9	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	200	15,99
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	100	7,99
										Suma	1251	

Źródło: opracowanie własne.

Dzięki możliwości określenia wag przez respondentów otrzymano informację, co jest dla nich ważne podczas realizacji zleceń transportowych. Dopiero po określeniu ważności kryteriów respondenci ocenili jakość realizacji poszczególnych czynności – przyznając oceny każdemu z kryteriów, w skali od 1 do 5 punktów (tabela 2).

W przedstawionej powyżej tabeli 2 zamieszczona została średnia wszystkich wyników dla poszczególnych ocen. Analiza tych danych wskazuje, że żaden z klientów nie ocenił poszczególnych aspektów źle. Większość not waha się między 4 a 5 punktów. Już na tym etapie badania można zauważyć, że niekiedy zdarza się, że czynniki mało ważne dla klientów są realizowane w bardzo wysokiej jakości oraz odwrotnie: czynniki, na które odbiorcy zwracają szczególną uwagę wymagają poprawy.

Tabela 2. Oceny poszczególnych ankietowanych

Kryterium	Oceny poszczególnych ankietowanych										Średnia arytmetyczna (punkty)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	5	2	5	3	2	5	4	4	4	4	3,8
2	3	2	5	5	5	4	5	5	5	5	4,4
3	5	5	5	5	5	5	4	5	5	2	4,6
4	4	5	4	5	5	5	5	5	5	4	4,7
5	5	5	5	5	5	5	4	5	3	5	4,7
6	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4,9
7	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	4,9
8	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	4,9
9	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Źródło: opracowanie własne.

W tabeli 3 przedstawiono obliczenia umożliwiające wnikliwą interpretację otrzymanych danych.

Tabela 3. Ocena otrzymanych wyników z przeprowadzonego badania

	Pytanie	Waga (%)	Punkty	CSI
1	Warunki płatności	12,15%	3,8	0,46
2	Dostępność informacji o statusie realizacji zamówienia	10,55%	4,4	0,46
3	Sposoby rozwiązywania problemów	11,03%	4,6	0,51
4	Jakość realizacji usług transportowych i spedycyjnych	15,03%	4,7	0,71
5	Wizerunek firmy transportowej na tle innych o podobnym profilu	3,76%	4,7	0,18
6	Terminowość dostaw	11,75%	4,9	0,58
7	Cena transportu	7,83%	4,9	0,38
8	Wykorzystywana technologia	3,92%	4,9	0,19
9	Kompetencje pracowników	15,99%	5	0,8
10	Kontakt z firmą	7,99%	5	0,4
	Średnia waga:	10,00%	Suma CSI:	4,67

Źródło: opracowanie własne.

6. CSI (ang. *customer satisfaction index*) – badanie satysfakcji klienta

Z przeprowadzonego badania kluczowych czynników sukcesu można wnioskować, że klienci analizowanego zakładu bardzo cenią sobie jakość realizacji usług transportowych i spedycyjnych. Wynika z tego, że ważna jest nie tylko jakość produkowanych wyrobów i fakt, że są one zgodne z pierwotnymi założeniami, ale i jakość wartości dodanej, jaką stanowi transport. Odbiorcy cenią sobie także kompetencje pracowników, którzy są w stanie określić, na jakim etapie jest realizacja zlecenia. Zauważyć można również, że ważnym czynnikiem są warunki płatności. Wprowadzenie możliwości płatności za pobraniem bądź kartą płatniczą przy odbiorze dostawy, za pośrednictwem firm transportowych, jest dla nich szczególnie interesujące. Podczas wyboru przedsiębiorstw realizujących transport warto zwrócić uwagę na możliwe warunki płatności, gdyż aspekt ten może w dużej mierze wpłynąć na wizerunek zakładu.

Bardzo ważne dla klienta jest uzyskanie rzetelnych informacji, niezależnie od tego, czy są one pozytywne, czy też nie. Odbiorca, świadomy aktualnego stanu realizacji zamówienia może tak zaplanować procesy produkcyjne, by uniknąć zbędnych przestojów i kosztów. Istotne są zatem kompetencje, zarówno pracowników firmy produkcyjnej, jak i transportowej. Kryterium to jest bardzo ważne w przypadku jakichkolwiek komplikacji, gdzie wymagana jest natychmiastowa interwencja, np. podczas problemów z terminowością dostawy. W tym przypadku firma transportowa powinna niezwłocznie skontaktować się ze zleceniodawcą, w celu poinformowania o niespodziewanych, niekorzystnych zdarzeniach. Ten zaś powinien przekazać takie informacje odbiorcy. Przedsiębiorstwo produkcyjne i transportowe powinny mieć także opracowane propozycje rozwiązywania problemów, gdyż respondenci uznali to także za wartościowe kryterium. Funkcję informacyjną, jaką gwarantują wyspecjalizowani pracownicy, wspierać powinna też dostępność informacji o statusie realizacji zamówienia, np. poprzez tracking na stronach internetowych.

Ważną kwestią jest samodoskonalenie się organizacji. Nie należy utrzymywać cały czas jednego poziomu, a dążyć do wypracowania jak najlepszego wizerunku firmy na rynku.

W każdej organizacji należy nieustannie dążyć do polepszania pozycji konkurencyjnej oraz zwiększania satysfakcji klienta, który w dzisiejszych czasach staje się coraz bardziej wymagający. Dzięki dostępności informacji i przeprowadzonym badaniom rynku można rozpocząć współpracę z bardzo wyspecjalizowanymi kontrahentami. Istotnym czynnikiem jest także pozycja na rynku, gdyż pozwala określić konkurencyjność oferowanych towarów i usług oraz zainteresować inne zakłady właśnie tym dostawcą.

7. Podsumowanie

Każda współczesna organizacja powinna podejmować działania, które mają jej pomóc utrzymać się na rynku. Cele firmy jasno określają kierunek działania i są pewnego rodzaju drogowskazem, który ukazuje ścieżkę, którą powinna ona

obrać. Należy zwrócić uwagę, że utrzymanie się na rynku wymaga wszechstronnej wiedzy z zakresu działania konkurencji oraz kształtowania się wskaźników ekonomicznych. Każde przedsiębiorstwo powinno ciągle się rozwijać i dążyć do doskonałości.

Należy jednak zwrócić uwagę, że zarówno cele, jak i rozwiązania technologiczne w transporcie samochodowym powinny być dopasowywane do kondycji firmy. Jest to bardzo istotne z punktu widzenia finansowego. Organizacja mająca problemy finansowe nie powinna ustalać wygórowanych celów, które mogłyby zaburzyć jej dalsze funkcjonowanie. Wszelkie ustalenia powinny być jasno określone oraz podparte dogłębną analizą zastanej sytuacji.

We współczesnych czasach bardzo ważne jest usprawnianie usług transportowych. Przedsiębiorstwo powinno wykonywać częste badania rynku przewozowego, dzięki czemu będzie w stanie zastosować najlepsze rozwiązania w logistyce transportu. Wybór racjonalnego sposobu działania nie tylko wpływa za sferę ekonomiczną firmy, ale przede wszystkim zwiększa zadowolenie jej klientów.

Bardzo ważnym aspektem jest także wyspecjalizowana i kompetentna kadra przedsiębiorstwa, która jest chętna i gotowa do informowania klientów o poszczególnych etapach realizowanej usługi, w tym o ostatnim, czyli transporcie. Aspekt ten rzutuje bezpośrednio na relacje z nabywcami oraz na ich wybór co do realizacji dalszych zleceń.

Dzięki dobrze zorganizowanym procesom logistycznym, poprzez planowanie oraz ciągłą analizę rynku, można podnieść jakość oferowanych wartości dodanych (w tym m.in. przewozu) dla klientów. Wyniki przeprowadzonych badań potwierdzają, że wraz z logistyczną wartością dodaną produktu – jaką jest transport – zwiększa się podatność organizacyjna, a liczba barier sprawnego przepływu zmniejsza się.

Literatura

- [1] Adamik A., Nowicki M., *Budowa konkurencyjności małych i średnich przedsiębiorstw*, [w:] Matejun M. (red.), *Zarządzanie małą i średnią firmą*, Difin, Warszawa 2012, s. 92.
- [2] Czapla T., *Metody analizy wnętrza organizacji*, [w:] Błaszczak W. (red.), *Metody organizacji i zarządzania. Kształtowanie relacji organizacyjnych*, PWN, Warszawa 2008, s. 28.
- [3] <https://prod.ceidg.gov.pl/CEIDG/ceidg.public.ui/SearchDetails.aspx?Id=e9e810f3-fd7f-4796-bb69-fb8ee18a493c>, 01.04.2017
- [4] Januga E., *Podstawy transportu i spedycji*, Difin, Warszawa 2015, s. 17.
- [5] Komosa A., *Szkolny słownik ekonomiczny*, Ekonomik 1998, Warszawa 1998, s. 66.
- [6] Magiera M., *Metoda selekcji dostawców i środków transportu dla sieci dostaw*, *Automatyka*, nr 2/2011, s. 308.
- [7] Pierścionek Z., *Zarządzanie strategiczne w przedsiębiorstwie*, PWN, Warszawa 2011, s. 201.
- [8] PN-EN ISO 9001:2009, *Systemy zarządzania jakością*
- [9] Rosa G., *Konkurencja na rynku usług transportowych*, C.H. Beck, Warszawa 2013, s. 45.

- [10] Samul J., Matwiejczuk W., *Przewaga konkurencyjna w małych przedsiębiorstwach budowlanych*, *Ekonomika i Organizacja Przedsiębiorstwa*, nr 1/2011, s. 47.
- [11] Stankiewicz M., *Konkurencyjność przedsiębiorstwa*, Dom Organizatora, Toruń 2005, s. 18.
- [12] Szymonik A., *Ekonomika transportu dla potrzeb logistyki(I)*, Difin, Warszawa 2013, s. 9.
- [13] Urbanowska-Sojkin E., Banaszyk P., Witczak H., *Zarządzanie strategiczne przedsiębiorstwem*, PWE, Warszawa 2007, s. 178.
- [14] Zakrzewska-Bielawska A., *Zarządzanie strategiczne w przedsiębiorstwach wysokich technologii*, [w:] Werewska J. (red.), *Zarządzanie projektami w przedsiębiorstwie informatycznym. Metodologia i strategia zarządzania*, Wydawnictwo AGH, Kraków 2012, s. 96.

Streszczenie

W artykule zostały przedstawione badania satysfakcji klientów przedsiębiorstwa produkcyjnego. Badane przedsiębiorstwo prowadzi działalność we wszystkich obszarach branży metalowej, a w szczególności ślusarskiej i tokarskiej: obróbka mechaniczna elementów metalowych. W wyniku przeprowadzonych ankiet, badających zadowolenie klientów z usług transportowych firmy, można było zdefiniować obszary wymagające poprawy w tym zakresie. Kluczową rolę odgrywa tu kadra menadżerska.

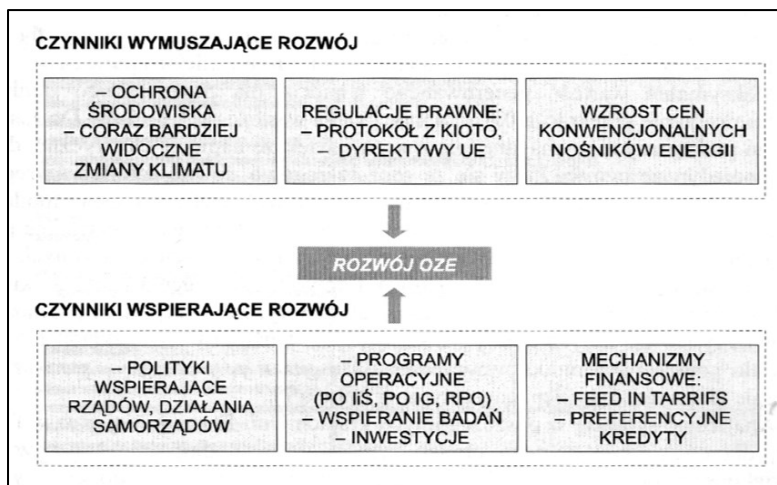
Słowa kluczowe: transport, badanie satysfakcji klienta.

ROZWÓJ INSTALACJI FOTOWOLTAICZNYCH

Kamil Stelmaszewski

1. Wstęp

Dynamiczna i zmienna sytuacja gospodarcza wielu krajów, w tym także Polski, narzuca społeczeństwu konieczność poszukiwania coraz doskonalszych pod względem wydajności, jak i opłacalności, rozwiązań dla sektora energetyki. Szacuje się, że zużycie energii elektrycznej w krajach rozwiniętych wzrasta rocznie o 1%, podczas gdy w krajach rozwijających się – o około 5% [1]. Wymusza to jednocześnie proces odchodzenia od konwencjonalnych źródeł energii na rzecz OZE. Zatem istnieje coraz więcej przesłanek sprzyjających rozwojowi energetyki opartej o źródła odnawialne, jak regulacje prawne, polityka proekologiczna na poziomie lokalnym, państwowym, jak i międzynarodowym, programy współfinansowania inwestycji, wzrost cen paliw konwencjonalnych i wiele innych. Ważnym bodźcem wpływającym na zainteresowanie odnawialnymi źródłami energii jest wzrost świadomości społeczeństw co do konieczności ograniczenia emisji szkodliwych substancji. Troska o ochronę środowiska, która na przełomie ostatnich lat eskaluje w ogromnym tempie, zapewnia rozwój proekologicznych technologii. Jednym z rozwiązań proponowanych przez branżę energetyczną jest technologia ogniw fotowoltaicznych (PV), wykorzystująca zjawisko absorpcji i konwersji energii promieniowania słonecznego na energię elektryczną.



Rys. 1. Czynniki wymuszające i wspierające rozwój OZE

Źródło: Krawiec F., *Odnawialne źródła energii w świetle globalnego kryzysu energetycznego – wybrane problemy*, Difin S.A., Warszawa 2010, s. 147.

Do produkcji energii elektrycznej w systemach fotowoltaicznych – PV, jak i w innego rodzaju elektrowniach potrzeba paliwa. W tym przypadku jego emitentem jest Słońce, będące głównym źródłem energii, docierającej do Ziemi, w czasie zaledwie ośmiu minut. W każdą sekundę wyrzuca ono w przestrzeń kosmiczną energię równą $3,8 * 10^{26}$ J. Do górnej powierzchni atmosfery ziemskiej dociera zaś około $1,5 * 10^{21}$ W*h energii słonecznej[2]. Z punktu widzenia ochrony środowiska, w porównaniu do produkcji energii elektrycznej w oparciu o paliwa kopalne, każdy kW instalacji fotowoltaicznej pozwala zaoszczędzić do 16 kg NO_x i 9 kg SO_x, a jednocześnie od 600 do 2300 kg CO₂, w zależności od składu paliwa i natężenia promieniowania słonecznego [3].

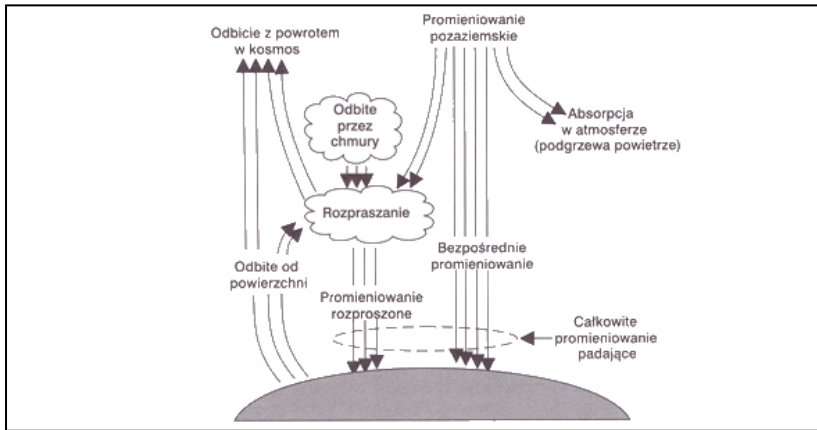
Praktyczne wykorzystanie energii promieniowania słonecznego wymaga oszacowania potencjalnych i rzeczywistych zasobów energii słonecznej w danym rejonie. Na podstawie wieloletnich badań ustalono, iż z geograficznego punktu widzenia możliwości wykorzystania energii fotowoltaicznej w Polsce są podobne do tych panujących w Niemczech, gdzie systemy PV są powszechne zarówno u odbiorców indywidualnych, jak i w użyteczności publicznej. Z drugiej strony warunki meteorologiczne w Polsce cechują się nierównomiernym rozkładem promieniowania słonecznego w cyklu rocznym: 80% całkowitej rocznej sumy nasłonecznienia przypada na sześć miesięcy sezonu wiosenno-letniego, a czas operacji słonecznej waha się pomiędzy szesnastoma godzinami w lecie a ośmioma w zimie. Najwięcej potencjalnej energii użytecznej w Polsce należy spodziewać się w pasie wybrzeża bałtyckiego, zaś najmniej na Śląsku (w wyniku największego stopnia zanieczyszczenia powietrza). Sytuacja energetyczna Polski nakłania potencjalnych inwestorów do czerpania inspiracji z krajów wysoko rozwiniętych, gdzie inwestycje z obszaru fotowoltaiki odnotowują coroczny progres.

Tabela 1. Potencjalna użyteczna energia promieniowania słonecznego w kWh/m²/rok w wyróżnionych rejonach Polski

Rejon	Rok (I-XII)	Półrocze letnie (IV-IX)	Sezon letni (VI-VII)	Półrocze zimowe (X-III)
Pas nadmorski	1076	881	497	195
Wschodnia część Polski	1081	821	461	260
Centralna część Polski	985	785	449	200
Zachodnia część Polski z górnym dorzeczem Odry	989	785	438	204
Południowa część Polski	962	682	373	280
Południowo-zachodnia część Polski obejmująca obszar Sudetów z Tuchowem	950	712	393	238

Źródło: Krawiec F., *Odnawialne źródła energii w świetle globalnego kryzysu energetycznego – wybrane problemy*, Difin S.A., Warszawa 2010, s. 150.

Ważnym aspektem związanym z praktycznym umiejscowieniem inwestycji fotowoltaicznych jest przejrzystość powietrza, która ma bezpośredni wpływ na ilość promieniowania słonecznego docierającego do Ziemi. Parametr ten przyjmuje wartości od 0,5 do 0,75 w chłodnej porze roku, zaś w ciepłej 0,45-0,7. Poza wahaniami okresowymi, jego wartości zmieniają się w ciągu doby. Rano potencjał przejrzystości maleje w związku z zamgleniami oraz nagromadzeniem zanieczyszczeń nad miastami po bezwietrznej nocy. Z kolejnymi godzinami zauważa się wzrost współczynnika spowodowany ożywieniem wiatru, choć tendencje może wyhamowywać zwiększanie się temperatury, na skutek której przyrasta intensywność parowania. Chmury, stanowiące zbiór kropelek wody lub kryształów powstających w efekcie kondensacji zawartej w powietrzu pary wodnej, ograniczają i rozpraszają promieniowanie słoneczne, dochodzące do Ziemi w postaci promieniowania rozproszonego, a nie bezpośredniego. Po osiągnięciu maksimum po południowym wroście zauważa się ponowny spadek współczynnika.



Rys. 2. Wpływ atmosfery na promieniowanie słoneczne docierające do powierzchni Ziemi

Źródło: Klugmann-Radziemska E., *Fotowoltaika w teorii i praktyce*, BTC, Legionowo 2010, s. 20.

2. Ogniwo fotowoltaiczne – budowa, działanie, rodzaje

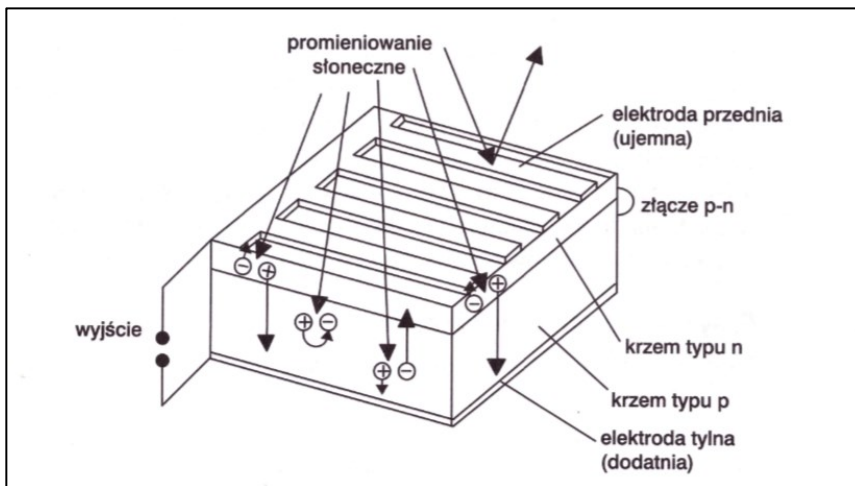
Dzisiejsza technologia PV bazuje na praktycznym wykorzystaniu zjawisk fizycznych odkrytych w XIX i XX wieku. Sam zakres prac nad zjawiskiem fotowoltaicznym, czyli absorpcją światła w półprzewodnikach rozpoczął rozkwit dopiero w momencie narodzin mechaniki kwantowej, która pozwoliła wytłumaczyć zjawiska, dla których przewidywania mechaniki klasycznej nie sprawdzały się.

Podstawowym materiałem wykorzystywanym w produkcji ogniw fotowoltaicznych jest krystaliczny krzem. Cechujący się dużą dostępnością (tlenek krzemu buduje około 1/3 skorupy ziemskiej), nietoksycznością, względnie łatwą obróbką

doprowadzającą do formy krystalicznej, stałością własności elektrycznych do temperatury 125°C. Krzem jest półprzewodnikiem o skośnej przerwie energetycznej, a jego współczynnik absorpcji optycznej zwiększa się wraz ze wzrostem ilości fotonów ponad krawędź absorpcji. Szerokość pasma zabronionego w temperaturze 300 K równa jest 1,12 eV. Absorbpcja światła w ogniwach zachodzi przez uwalnianie elektronów z międzyatomowych wiązań chemicznych. Aby powstał elektron swobodny w materiale półprzewodnikowym, należy dostarczyć do niego energię równą co najmniej energii przerwy energetycznej. Uwolniony w ten sposób elektron pozostawia za sobą dziurę z ładunkiem dodatnim, zdolną do poruszania poprzez dyfuzję lub pod działaniem pola elektrycznego. Jeżeli z obszarów półprzewodnika typu p i typu n utworzy się złącza p-n, to nośniki ładunku przemieszczą się w taki sposób, że poziom Fermiego będzie jednakowy w całym kryształ. W wyniku zachodzących w obszarze złącza p-n zjawisk powstaje różnica potencjałów, umożliwiającą dla obwodu zamkniętego powstanie prądu fotoelektrycznego.

Budowę ogniwa fotowoltaicznego charakteryzuje kilka podstawowych elementów:

- płytka krzemowa poli- lub monokrystaliczna, z wytworzonym złączeniem p-n,
- kontakty (elektroda przednia i tylna),
- warstwa antyrefleksyjna pokrywająca przednią powierzchnię ogniwa.



Rys. 3. Schemat budowy i działania ogniwa fotowoltaicznego

Źródło: Klugmann-Radziemska E., *Fotowoltaika w teorii i praktyce*, BTC, Legionowo 2010, s. 51.

Ważnym czynnikiem mającym decydujący wpływ na sprawność ogniwa jest wartość współczynnika odbicia światła od jego powierzchni, który poprzez zastosowanie warstwy odblaskowej staramy się zminimalizować. Dla krzemu w czy-

stej postaci jego wartość wynosi 33-54%. Poprzez różnorodne techniki nanoszenia jednej lub dwu warstw ARC (antireflective coating) współczynnik ten spada o 10-20%. Powierzchnie te wykonywane są np. z tlenków tytanu, siarczków cynku, azotku krzemu i innych. Zastosowanie ARC odpowiada za różne barwy ogniw: od niebieskiej dla ogniw polikrystalicznych i ciemnoniebieskiej lub czarnej dla monokryształów. Ze względów architektonicznych można obecnie wytworzyć różne kolory ogniw, jednak często odbija się to na ich sprawności.

Przyjmowana maksymalna wartość napięcia, jakie jest w stanie generować pojedyncze ogniwo krzemowe nie przekracza 0,6 V, a moc waha się od 1 do 2 W [2]. Napięcie wyjściowe jest słabo zależne od natężenia promieniowania, podczas gdy natężenie prądu wzrasta istotnie. Napięcie wyjściowe zależy zaś istotnie od temperatury ogniw, ich podwyższona temperatura skutkuje mniejszą mocą, czyli mniejszą sprawnością. Sprawność konwersji fotowoltaicznej zdefiniowana jest jako stosunek maksymalnej mocy elektrycznej wyjściowej do całkowitej mocy padającego promieniowania. Inaczej mówiąc określa ona, jaką część energii padającego promieniowania zamienia się na użyteczną energię elektryczną i wyrażana jest w procentach. Na sprawność ogniwa ma wpływ wiele czynników, np.: rodzaj ogniwa, rodzaj materiału półprzewodnikowego, konstrukcja ogniwa, temperatura pracy, odbicie promieniowania.

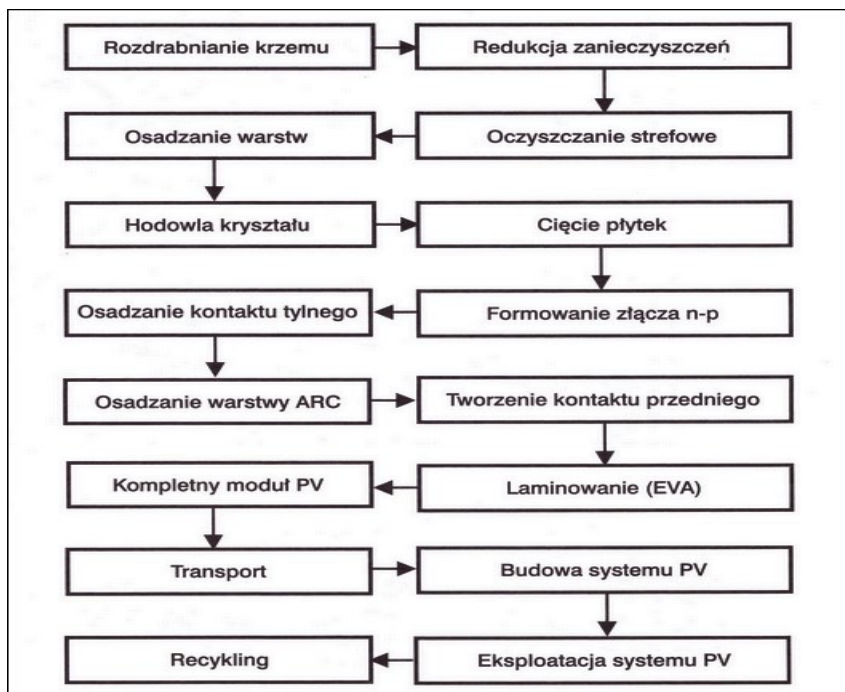
Na rynku istnieje wiele bardziej lub mniej znanych rodzajów ogniw fotowoltaicznych, do najpopularniejszych należą:

1. Ogniwa monokrystaliczne – najpopularniejszą metodą hodowania krystalu jest metoda Czochralskiego (polski chemik i metaloznawca). Produkt krystalizacji odznacza się dużą dyslokacją w budowie oraz nie wprowadzaniem naprężeń mechanicznych. Ogniwa tego typu mają bardzo dobre własności i wysoką sprawność, choć ich koszty wytworzenia są relatywnie duże.
2. Ogniwa polikrystaliczne – w procesie produkcji materiał krzemowy zostaje zmielony, a następnie odlewany w prostopadłościan. Kontrolowane warunki temperaturowe przyczyniają się do ułożenia jednorodnych kryształów w jednym kierunku. Wyjściowy krzem polikrystaliczny jest ogrzewany do 1500°C i chłodzony do 1412°C, kiedy formuje się z niego płytki ogniw. Własności płytek są nieco pogorszone w stosunku do poprzednich w wyniku większej ilości defektów w budowie.

W praktyce ofertowej stosuje się zazwyczaj powyższy podział ogniw czy modułów. Należy zauważyć jednak, iż istnieje duża różnorodność technik produkcji mono- czy polikryształów, a na bieżąco dochodzą kolejne bardziej wyrafinowane metody mające na celu zwiększenie sprawności produktu finalnego przy jednoczesnym ograniczeniu kosztów.

3. Moduły fotowoltaiczne i ich cykl życia

Moduły powstają w wyniku połączenia materiałem przewodzącym elektrody ujemnej jednego ogniwa z elektrodą dodatnią sąsiedniego. W produkcji przemysłowej ogniwa łączy się maszynowo w łańcuchy. W standardzie moduł łączy od 36 do 216 ogniw, z których tworzy się 2 lub 3 łańcuchy, które przeciwnie do modułów łączy się równolegle. Natężenia w każdym z ogniw są takie same, zaś ich napięcia sumują się. Całość układu mocuje się do podłoża, jakim najczęściej jest szkło, tworzywo lub płyta metalowa. W celu ograniczenia wpływu warunków atmosferycznych oraz naprężeń mechanicznych ogniwa umieszcza się w przezroczystej powłoce, będącej jednocześnie izolacją elektryczną. Do najbardziej rozpowszechnionych laminatów należą: EVA – kopolimer etylenu i octanu winylu, PVB – poliwinylbutyral czy teflon. Rodzaj wypełnienia podyktowany jest miejscem i sposobem montażu modułów, ceną oraz technologią, jaką posiada wybrany producent. Jak wcześniej wspomniano z zewnątrz moduł pokrywa się warstwą antyrefleksyjną w celu redukcji odbić promieniowania, będących stratą z punktu widzenia systemu PV.



Rys. 4. Etapy produkcji modułu z krystalicznego krzemu

Źródło: Klugmann-Radziemska E., *Fotowoltaika w teorii i praktyce*, BTC, Legionowo 2010, s. 94.

Systemy fotowoltaiczne, jako zaliczane do OZE, nie powinny wywierać negatywnego wpływu na środowisko. Wymagane są zatem długoterminowe strategie

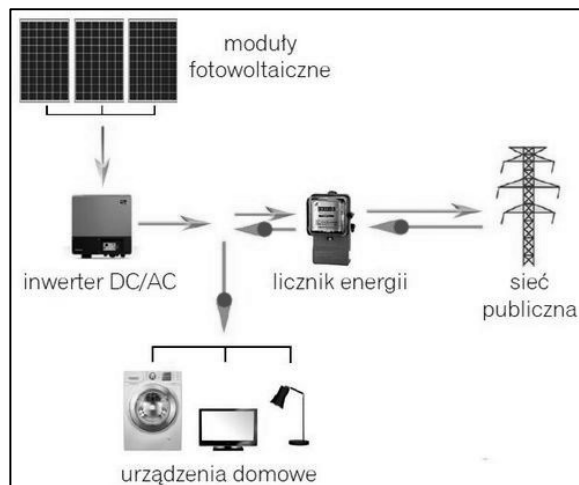
zarządzania tym działem gospodarki. Mowa tu oczywiście o tzw. kompletnym cyklu życia, ponieważ jak każda rzecz, tak i ogniwa PV ulegają wyeksploatowaniu. Większość elementów stosowanych do produkcji modułów nadaje się do ponownego wykorzystania lub przetworzenia, dlatego warto już dziś poszukać solidnego rozwiązania dotyczącego recyklingu zużytych części. Jako kraj wprowadzający dopiero tę technologię mamy czas, aby przygotować scentralizowany program zarządzania odpadami, który pozwoli sprawnie zaadaptować zużyte już instalacje.

4. Systemy PV

Instalacje fotowoltaiczne dzielą się zasadniczo na dwie grupy:

1. Podłączone do sieci elektroenergetycznej (on-grid).
2. Systemy samodzielne (off-grid).

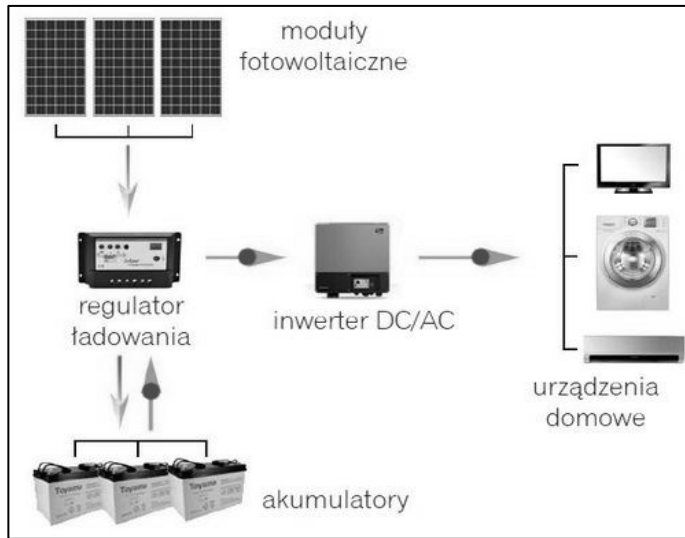
Pierwsze rozwiązanie jest stosunkowo proste i składa się z: paneli fotowoltaicznych, inwertera, czyli falownika zamieniającego prąd stały na zmienny o napięciu sieciowym 230 V/50 Hz, dwóch liczników – produkcji i zużycia prądu lub jednego dwukierunkowego oraz przyłączenia do sieci i zabezpieczeń. Taka instalacja pozwala na bieżące korzystanie z prądu produkowanego przez fotoogniwa oraz odsprzedaż jego nadwyżek do sieci. Minusem jest fakt, iż systemy tego rodzaju są uzależnione od istniejącej sieci energetycznej, tzn. że w momencie awarii sieci elektrycznej inwerter powoduje odłączenie paneli od instalacji, dlatego urządzenia elektryczne znajdujące się w domu przestają działać. Z praktycznego użytkownika instalacji on-grid należy mieć świadomość, iż 1 kWh energii wprowadzona do sieci pozwoli użytkownikowi na odebranie około 0,8 kWh.



Rys. 5. Schemat systemu fotowoltaicznego podłączonego do sieci elektroenergetycznej

Źródło: www.budujemydomy.pl/kolektory-sloneczne/-10.04.2017.r.

W drugim rozwiązaniu generowana przez panele fotowoltaiczne energia elektryczna jest magazynowana w akumulatorach. Rozwiązanie to świetnie sprawdza się w odizolowanych regionach lub wszędzie tam, gdzie podłączenie do sieci jest nieuzasadnione ekonomicznie. Systemy tego typu, nazywane potocznie układami „wyspowymi”, zapewniają całkowitą autonomię względem sieci elektroenergetycznej oraz zwalniają z obowiązku rozliczania się z zakładem elektroenergetycznym. Przy tym rozwiązaniu należy jednak mieć na uwadze wzrost kosztów, związany z zakupem jednostek magazynujących.



Rys. 6. Schemat samodzielnego systemu fotowoltaicznego
Źródło: www.budujemydomy.pl/kolektory-sloneczne/-10.04.2017.r.

Obecnie o wiele częściej, korzysta się z rozwiązania podłączającego instalacje PV do sieci elektroenergetycznej. Wynika to głównie ze znacznie wyższych kosztów systemu off-grid. Należy zauważyć, że są one nie tylko generowane podczas samego zakupu, lecz także w trakcie użytkowania, ponieważ cykl życia akumulatorów jest niewystarczający w porównaniu do cyklu życia instalacji fotowoltaicznej. Dodatkowo, aby zminimalizować ewentualne braki w dostawach prądu w przypadku niesprzyjających warunków atmosferycznych, należałoby wyposażać obiekt z instalacją wyspową w inne źródło energii, np. wiatraki, tworząc w ten sposób rozwiązanie hybrydowe.

5. Aspekty ekonomiczne instalacji PV

Pierwsza, a zarazem najważniejsza – faza projektowa przedsięwzięć związanych z instalacją modułów fotowoltaicznych decyduje o zasadności jej uruchomienia i późniejszych korzyściach, jakie powinna przynieść. Wybór niewłaściwego rozwiązania grozi nieopłacalnością całego projektu. Na początku inwestor, przy

wspieraniu specjalistów, powinien określić rodzaj instalacji, na jaką się decyduje: samodzielną czy podłączoną do sieci oraz stacjonarną czy nadążną (np. płaszczyzna modułu śledząca ruch słońca). Podstawowym kryterium wyboru jest także moc nominalna instalacji, którą szacować należy na podstawie rocznego zużycia energii np. w gospodarstwie domowym. Równie ważna okazuje się powierzchnia dostępna do zagospodarowania, ponieważ powierzchnia instalacji o mocy 1 kW może zawierać się w przedziale od kilku m² dla modułów z krzemu monokrystalicznego, po nawet 20 m² dla krzemu amorficznego. Każdy wybór znacząco wpływa na budżet kompletnego rozwiązania.

Producenci modułów podają dla swoich produktów nominalną moc wyjściową wyrażoną w W_p (peak Watt), czyli moc uzyskaną przez dany model w warunkach testowych. Odpowiadają one w 25°C – natężeniu promieniowania słonecznego 1000 W/m² oraz warunkach imitujących bezchmurne niebo w południe. Dlatego należy pamiętać, że realne warunki nasłonecznienia są zmienne, a moc wyjściowa oscyluje w granicach 80-90% mocy nominalnej.

Dobór odpowiedniej ilości modułów bywa dość kłopotliwy bez posiadania wiedzy specjalistycznej w tym zakresie. W miarę prostą metodą ogólnego szacowania inwestycji jest zestawienie zapotrzebowania dziennego zużycia energii (najlepiej dla dnia w sezonie letnim oraz zimowym) do wszystkich strat, jakie zmniejszają moc wyjściową instalacji. Do strat należą między innymi:

- średnia dzienna liczba godzin słonecznych w warunkach testowych; parametr związany jest ściśle z miesiącem roku i umiejscowieniem instalacji,
- współczynnik dotyczący temperatury modułu,
- współczynnik związany z odchyleniem od płaszczyzny poziomej,
- współczynnik biorący pod uwagę spadki napięcia w przewodach oraz wahania napięcia w warunkach zmiennego nasłonecznienia.

Takie rozwiązanie stosowane jest szczególnie dla systemów off-grid, gdzie często są one przewymiarowane dla sezonu letniego, kiedy to generują więcej energii przy jednoczesnym mniejszym zużyciu. Dla instalacji podłączonych do sieci, uproszczone kalkulatory generują proponowaną moc na podstawie sumy rocznego zużycia energii. Wtedy to dostawca prądu gwarantuje stałość dostaw oraz zagospodarowanie nadwyżek. Znając model modułu i posiadając dane techniczne od dostawcy, można sporządzić kalkulację pozostałych części systemu, tj.: falownika, kontrolera, okablowania, transportu itp.

Często dla uproszczenia przyjmuje się, że sprawność fotowoltaiczna równa jest ok. 90% sprawności nominalnej w ciągu pierwszych 10 lat eksploatacji i 80% podczas kolejnych 15 lat. Oferowane przez producentów ogniwa mają najczęściej od 20 do 30 lat gwarancji minimalnej sprawności, malejącej z upływem czasu. Po okresie 25 lat może się okazać, iż konieczna jest wymiana modułów na nowe.

Energia fotowoltaiczna mimo upływu lat oceniana jako jedna z najdroższych form pozyskiwania tzw. „zielonej energii”. Choć w krajach, w których istnieją systemy wsparcia finansowego takich inwestycji, ich sytuacja jest korzystniejsza. Dodatkowo wiele państw oferuje korzystne kredytowanie czy system taryf feed-in, który zapewnia preferencyjną stawkę zakupu energii z OZE.

6. Podsumowanie

Fotowoltaika jest dynamicznym obszarem w energetyce. Choć istota zjawiska, które wykorzystuje nie zmieniła się od wielu lat, to producenci gotowych rozwiązań prześcigają się pod względem parametrów technicznych i niezawodności produktów. Dlatego przy podejmowaniu decyzji o zakupie systemu PV, należy pogłębić swoją wiedzę o jej sposobie działania i użytkowaniu, tak aby w przyszłości zamiast rozczarowań przynosiła ona zyski w postaci tańszej i „czystszej” energii.

Wbrew pozorom koszty produkcji energii elektrycznej z instalacji fotowoltaicznej, od początku jej wykorzystywania jako komercyjnej, odnotowują ciągłe spadki. Wydaje się więc, iż w perspektywie kilku lat oferta, która dziś często przewyższa możliwości finansowe sektora prywatnego, może być bardzo atrakcyjna. Istotny jest więc dalszy rozwój energii słonecznej, jako ogromny potencjał do wykorzystania w zakresie samodzielności energetycznej kraju. Należy przypomnieć o prawie odpowiadających sobie warunkach nasłonecznienia w Polsce i Niemczech, gdzie udział instalacji PV jest znaczący.

Jednoznaczna odpowiedź na pytanie o słuszność, czy wyższość, systemów fotowoltaicznych nad innymi formami produkcji energii odnawialnej jest obciążona sporą nadinterpretacją. Dlatego osoby zainteresowane OZE powinny poszukiwać rozwiązania najbardziej dopasowanego do indywidualnych potrzeb, zachowując rozwagę przy oddzielaniu informacji naukowych od nowinek sprzedażowych czy rozpowszechnianych stereotypów.

Literatura

- [1] Muneer T., Asif M., Munawwar S., *Sustainable production of Solar electricity with particular reference to the Indian economy*, Renewable Sustainable Energy Review, Vol. 9, 2005.
- [2] Klugmann-Radziemska E., *Fotowoltaika w teorii i praktyce*, BTC, Legionowo 2010.
- [3] Krawiec F., *Odnawialne źródła energii w świetle globalnego kryzysu energetycznego – wybrane problemy*, Difin S.A., Warszawa 2010.

Streszczenie

W artykule przedstawiono zagadnienia związane z rozwojem instalacji fotowoltaicznych w Polsce w aspekcie nowej ustawy OZE i perspektyw związanych z rozwojem OZE. Przedstawiono podstawy budowy ogniwa fotowoltaicznego, podział ogniw, zasady łączenia paneli w moduły oraz różne opcje podłączenia do sieci energetycznej gotowych układów instalacji solarnych. Dodatkowo omówiono aspekty ekonomiczne wyboru instalacji na potrzeby indywidualne.

Słowa kluczowe: energia słoneczna, fotowoltaika, systemy PV.

ENERGETYKA SŁONECZNA – WYMAGANIA PRAWNE A INNOWACJE

Dominik Malinowski, Paulina Helbik

1. Wstęp

W XXI wieku trudno, a wręcz jest to niemal niemożliwe, wyobrazić sobie życie bez codziennego, praktycznie ciągłego dostępu do energii elektrycznej. Jest ona obecna wszędzie – w baterii telefonu komórkowego, w domu podczas gotowania obiadu w kuchence elektrycznej, w lampach ulicznych w czasie wieczornego spaceru. Człowiek średnio w ciągu roku zużywa blisko 5 tys. kWh [1] energii, co dla samej Polski stanowi roczne zapotrzebowanie na energię elektryczną na poziomie blisko 162 tys. GWh [2]. Produkcja tak ogromnej ilości energii elektrycznej wiąże się z wykorzystaniem surowców naturalnych, jak i odnawialnych źródeł energii. Wciąż w największym stopniu do produkcji aż 63% energii wykorzystuje się paliwa typu węgiel, ropa naftowa czy pierwiastki promieniotwórcze, np. wzbogacony uran. Niestety, prognozuje się, że złoża tych dóbr wystarczą jedynie na około 200 lat w skali globalnej. Skończoność tych źródeł to nie jedyne negatywne zjawisko, towarzyszące produkcji energii elektrycznej. Konwencjonalna produkcja energii stwarza ogromne niebezpieczeństwo dla środowiska naturalnego oraz zdrowia i życia człowieka, poprzez przedostawanie się szkodliwych substancji do atmosfery. Towarzyszy temu ogólny wzrost temperatur na świecie oraz o wiele częstsze występowanie chorób spowodowanych podwyższoną zawartością CO₂ w powietrzu. Pogłębianie się negatywnych skutków zanieczyszczenia środowiska powoduje, że od wielu lat na świecie czyni się starania, by do produkcji energii elektrycznej wykorzystywać, w coraz większym stopniu, Odnawialne Źródła Energii.

Definicji pojęcia Odnawialnych Źródeł Energii (OZE) nie da się jednoznacznie przedstawić, gdyż nie jest ona definiowana żadnym dokumentem prawnym. OZE są to źródła, których zasób odnawia się, w krótkim czasie, a ich wykorzystywanie nie wiąże się z ich długotrwałym brakiem. Oznacza to energię pochodzącą z naturalnych, powtarzających się procesów przyrodniczych, pozyskiwaną z niekopalnych źródeł. Grupa Robocza ds. odnawialnych nośników energii, powołana przez IEA (The Renewable Energy Working Party – REWP) przyjęła następującą szeroką definicję: *„odnawialna energia jest tą ilością energii jaką pozyskuje się w naturalnych procesach przyrodniczych stale odnawialnych. Występując w różnej postaci, jest generowana bezpośrednio lub pośrednio przez energię słoneczną lub z ciepła pochodzącego z jądra Ziemi. Zakres tej definicji obejmuje energię generowaną przez promieniowanie słoneczne, wiatr, z biomasy, geotermalną cieków wodnych i zasobów [3].*

Obecnie najchętniej oraz najczęściej wykorzystywanym naturalnym, odnawialnym źródłem do produkcji energii elektrycznej jest wiatr oraz słońce. Mimo dość popularnemu i skutecznemu wykorzystaniu elektrowni wodnych i wiatrowych najszybciej rozwijającą się gałęzią przemysłu energetycznego jest produkcja energii z promieniowania słonecznego. Słońce to jedna z miliardów gwiazd we wszechświecie. Dla Ziemi, jako planety ma ona ogromne znaczenie. W ciągu roku jądro Słońca generuje promieniowanie elektromagnetyczne o mocy ponad 85 petrawatów. Szacuje się, iż około 30% jest rozproszone i odbijane od atmosfery ziemskiej, a 45% jest zamieniane na ciepło, służące do ogrzania Ziemi. W ciągu godziny przez atmosferę dociera większa ilość promieniowania niż ludzkość jest w stanie zużyć przez cały rok. Jest to zatem niekończące się i najbardziej obfite źródło, pozwalające wytworzyć zarówno energię cieplną, jak i elektryczną. Słońce jest w stanie wyprodukować energię wynoszącą 173 tys. TWh. Bezpośrednio pojawia się zatem na Ziemi od 1325 do 1420 W/m² energii słonecznej. Średnią wartość tej energii nazywamy stałą słoneczną i wynosi ona 1366 W/m² w Polsce. Dane te są na bieżąco weryfikowane, ponieważ wartość natężenia słonecznego zmienia się co 11 lat i jest zależna od aktywności Słońca [4].

Tak duża ilość energii słonecznej dostarczanej do Ziemi powoduje, że rośnie zainteresowanie jej wykorzystaniem. W 2015 roku łączna moc zainstalowanych ogniw fotowoltaicznych na całym świecie wyniosła ponad 230 GW (wzrost o 50GW w stosunku do roku 2014). Produkcja przy wykorzystaniu słońca rozwija się w tempie wzrostu o 40% w stosunku do lat ubiegłych. Również malejące koszty jej pozyskiwania, przekonały analityków i specjalistów z branży energetycznej, że będzie ona odgrywać największą rolę w globalnym wyścigu po alternatywne źródła energii [5]. W Polsce w 2014 roku wytworzono około 18 TWh energii elektrycznej przy wykorzystaniu Odnawialnych Źródeł Energii [6].

2. Energia słoneczna na świecie i w Polsce

Ciężko jest jednoznacznie określić jaka jest realna wartość emitowanej energii, ponieważ nie jest to stała wielkość, a rozbieżności wynikają m.in. z takich czynników jak pora roku i kąt nachylenia płaszczyzny Ziemi do promieni słonecznych. Kąt padania promieni słonecznych wpływa bowiem na nierównomierne nagrzewanie Ziemi.

Zagłębiając się w tematykę energetyki słonecznej, warto scharakteryzować podstawowe wielkości opisujące zasoby energii słonecznej, jak:

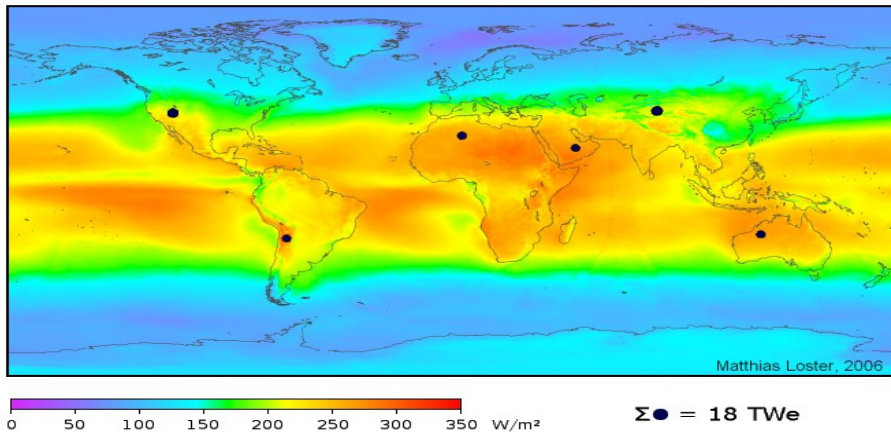
- natężenie promieniowania słonecznego – to chwilowa wartość gęstości mocy promieniowania słonecznego padającego w ciągu jednej sekundy na powierzchnię jednego metra kwadratowego, która jest prostopadła do kierunku promieniowania. Wartość ta podawana jest zazwyczaj w W/m² lub kW/m². Do granicy atmosfery Ziemi dociera ze słońca w sposób ciągły strumień energii o mocy 1366 W/m². Jest to tak zwana stała słoneczna, która w rzeczywistości nie jest do końca wielkością stałą. Natężenie promieniowania słonecznego docierające do powierzchni Ziemi na różnych

szerokościach geograficznych ulega ciągłym zmianom zazwyczaj w przedziale 100-800 W/m² w ciągu dnia. Najwyższe wartości notowane są w słoneczne bezchmurne dni i mogą osiągać nawet 1000 W/m²;

- nasłonecznienie – to suma natężenia promieniowania słonecznego w danym czasie (godzina, doba, miesiąc, rok) i na danej powierzchni (zazwyczaj m²). Nasłonecznienie najczęściej wyrażane jest w Wh/m², kWh/m², MJ/m², GJ/m² na dzień, miesiąc lub rok;
- usłonecznienie jest definiowane jako liczba godzin słonecznych, czyli czas podany w godzinach, podczas którego na powierzchnię Ziemi padają bezpośrednio promienie słoneczne. Generalnie jest to parametr, opisujący głównie warunki pogodowe W energetyce słonecznej wykorzystuje się go do szacowania warunków pracy instalacji, np. do wyliczania godzin pracy pompy cyrkulacyjnej w instalacji kolektorów słonecznych. Warunki klimatyczne, które między innymi opisuje usłonecznienie determinują zarówno możliwości wykorzystania energii słonecznej, jak również limitują opłacalny okres eksploatacji instalacji słonecznych. W Polsce średnia wieloletnia wartość usłonecznienia jest największa dla Kołobrzegu i wynosi 1624 h/rok, odpowiednio dla Warszawy jest to 1579 h/rok, zaś dla Zakopanego 1467 h/rok [7].

Z danych literaturowych obrazujących cykl roczny i dobowy nasłonecznienia kuli ziemskiej wynika, iż najbardziej nasłoneczniony jest obszar równikowy, gdzie właśnie usłonecznienie wynosi 3000 godzin, a nasłonecznienie 2200 kWh/m² (rys. 1). O wiele gorsze warunki występują na obszarach okołobiegunowych. Mapa przedstawiona na rys. 1 zabarwiona jest na kilka odcieni, które obrazują średnie miejscowe nasłonecznienie przez 24 godziny na dobę w latach 1991-1993, uwzględniając zachmurzenia według pomiarów satelitarnych. Miejsca zaznaczone czarnymi kropkami na tym rysunku wskazują tereny, do których docierają promienie słoneczne, mogące w przyszłości zasilać energią słoneczną cały świat. Jeśli konwersja ogniw słonecznych w tych miejscach wyniosłaby tylko 8%, to i tak będzie produkować średnio 18 TW mocy elektrycznej i jest to więcej niż łączna moc dostępna dla całej kuli ziemskiej ze wszystkich obecnych źródeł energii (węgiel, ropa naftowa, gaz, energia jądrowa i wodna). Oznacza to, że cała współcześnie zużywana energia, w tym ciepło oraz energia elektryczna, mogłaby zostać wytworzona w postaci prądu przez ulokowane tam ogniwa słoneczne. Badania te zostały przeprowadzone kilkakrotnie, a obszary zostały zlokalizowane w tym samym miejscu za każdym razem. Jeśli w przyszłości Total Primary Energy Supply – całkowita podaż energii pierwotnej (TPES) miała zostać wygenerowana w całości przez Słońce, to pewna część powierzchni Ziemi będzie potrzebna do ich przechwytywania. Wielkość w tej, tzw. „strefie przechwytywania” w dużej mierze zależy od efektywności technologii konwersji. Naukowo wyznaczono sześć miejsc na Ziemi, z których każde jest dostatecznie duże, aby wytworzyć średnią moc 3 TW. Zazwyczaj są to pustynie i obszary na powierzchni Ziemi,

które mają mnóstwo światła słonecznego oraz małą populację. Lokalizacje (głównie tereny pustynne), ich rozmiary, średnia intensywność światła słonecznego, wymienione zostały w poniższej tabeli 1.



Rys. 1. Badane w latach 1991-1993 nasłonecznienia kuli ziemskiej z uwzględnieniem wpływu atmosfery ziemskiej

Źródło: http://www.ez2c.de/ml/solar_land_area/ - dane z dnia 22.03.2006 r.

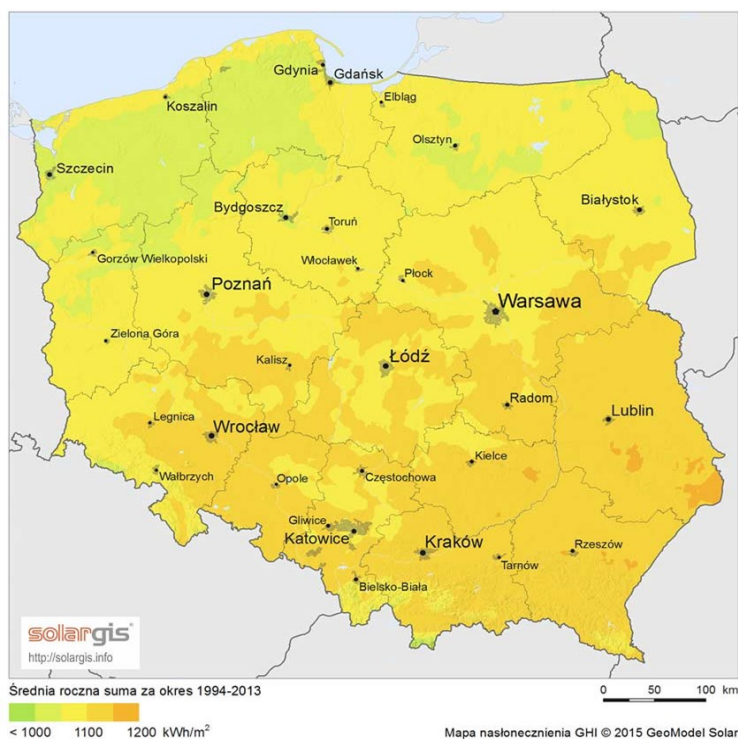
Tabela 1. „Strefy przechwytywania” promieni słonecznych na powierzchni Ziemi

Lokalizacja/ Pustynia	Wielkość pustyni [km ²]	Obszary wymagane [km ²]	Natężenie promieniowania [W/m ²]
Africa, Sahara	9,064,960	492,100	260
Australia, Great Sandy	388,500	141,509	265
China Takla Makan	271,950	178,571	210
Middle-East Arabian	2,589,910	138,889	270
South America Atacama	139,860	136,364	275
U.S.A. Great Basin	492,100	170,455	220

Źródło: opracowanie własne.

Sumaryczna energia, jaka dociera w ciągu całego roku w Polsce waha się od 930 do 1100 kWh/(m² × rok) [8]. Jeżeli chcemy w naszym kraju wykorzystać energię słoneczną, musimy liczyć się z bardzo dużą jej zmiennością w ciągu roku. Najwięcej energii dociera na terenie Polski w porze letniej w miesiącu czerwcu i lipcu, kiedy wartość energii przekracza 150 kWh/m². Natomiast zimą w naszym kraju dni są o wiele krótsze, a wartość promieni słonecznych niewielka. W letni

dzień nasłonecznienie jest niemal 7-krotnie większe niż zimą. Pozyskanie energii słonecznej w okresie 6 miesięcy wiosenno-letnich wynosi około 80%, natomiast pozyskanie w miesiącach czerwiec-sierpień stanowi około 40-50% całej rocznej dawki promieniowania. Rozbieżności wynikają z takich czynników, jak: klimat, szerokość geograficzna, ukształtowanie powierzchni i wysokość nad poziomem morza [8].



Rys. 2. Rozkład nasłonecznienia na obszarze Polski w latach 1994-2013 w kWh/m²/rok

Źródło: <http://solaris18.blogspot.com/2011/09/nasonecznienie-usonecznienie-i.html>

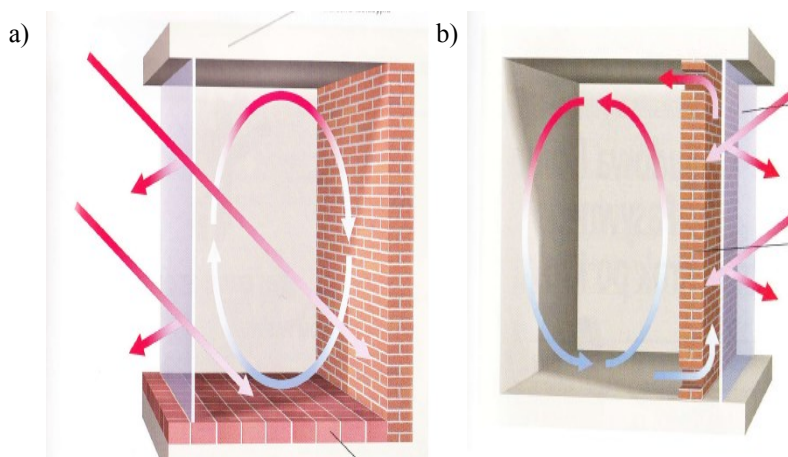
Analizując dane fal elektromagnetycznych w naszym kraju, stwierdzono, że najlepsze warunki promieniowania słonecznego występują na Polesiu, Lubelszczyźnie i Zamojszczyźnie, natomiast najgorsze w okolicach Górnego i Dolnego Śląska.

Pomimo wielu niezaprzeczalnych zalet tej czystej formy energii, jak dostępność, brak konsekwencji dla środowiska, małe koszty eksploatacji ma ona jednak pewne wady. Wśród nich należy wymienić cykliczność dzienną i roczną, niskie natężenie promieniowania, stwarzające konieczność budowy dużych powierzchni kolektorów słonecznych, a także konieczność magazynowania energii.

3. Instalacje słoneczne, czyli pozyskanie energii ze Słońca

Proces pozyskania energii ze Słońca możliwy jest za pomocą dwóch metod. Pierwsza z nich to *metoda pasywna*. Stosuje się ją w celu zmniejszenia zapotrzebowania na energię ogrzewającą budynki. Za pomocą różnych rozwiązań możliwe jest zredukowanie zapotrzebowania na ciepło, a nawet tak zwana samowystarczalność energetyczna. Pasywna metoda nie wymaga żadnych działań ze strony użytkującej osoby. System pozyskiwania ciepła dzieli się na dwa podsystemy:

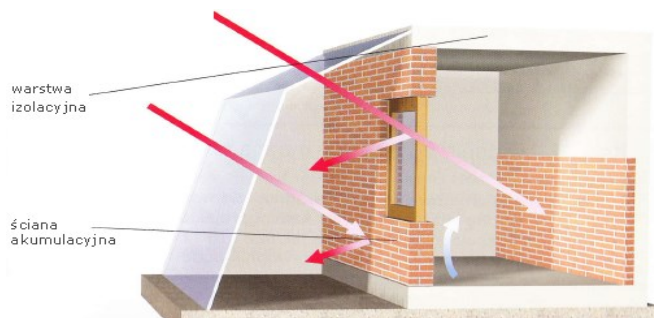
- zysków bezpośrednich, który polega na umiejscowieniu systemu grzewczego na południowej części budynku. Całkowicie przeszklona ściana w tym kierunku umożliwi docieranie bezpośrednio promieni słonecznych do wnętrza. Tam są one pochłaniane i magazynowane, a tym samym podnosi się temperatura wewnątrz budynku. Niezbędnym elementem w instalacji jest okap, który chroni przed przegrzaniem budynku w okresie letnim, a zatrzymuje ciepło w budynku zimą. System ten posiada jednak defekty, jak chwilowość trwania, w której temperatura pomieszczeń jest ściśle związana z promieniami słonecznymi padającymi w ciągu dnia. Często również dochodzi przez to do dużego wahania temperatur. Aby ich uniknąć, stosuje się układy magazynujące o dużej pojemności i przewodności cieplnej. Promienie słoneczne pochłaniane są we wnętrzu pomieszczenia, dlatego system jest na ogół uzupełnieniem słonecznych lub konwencjonalnych systemów grzewczych. Przy stosowaniu tej metody należy pamiętać, że ściana akumulacyjna powinna być wykonana z materiału łatwo przewodzącego ciepło. System ten najczęściej stosowany jest w produkcji rolnej, a przykładem takiego układu jest szklarnia,
- system zysków pośrednich, który odizolowuje pomieszczenie od promieni słonecznych. Wahania temperatur, jakie spowodowane są absorpcją promieni przez pomieszczenie mogą być uciążliwe dla człowieka. Aby nie występowały tak odczuwalne różnice w temperaturze, a także aby była możliwość przesunięcia okresu dostarczenia ciepła o parę godzin, stawia się w pomieszczeniu grubą ścianę. Przeniknięcie ciepła przez taką ścianę jest niewielkie. W konstrukcjach takiej ściany, zwanej ścianą Trombe'a, wykorzystuje się szczeliny wentylacyjne między nasłonecznioną powierzchnią a szybą osłaniającą. Proces nasłonecznienia polega na przechodzeniu promieni słonecznych przez szklaną szybę i pochłanianiu ich przez ciemną ścianę akumulacyjną. Następnie w celu ogrzania wnętrza budynku otwierane są kanały łączące pomieszczenie ze szczeliną między szybą a ścianą i dopiero wtedy następuje przepływ ciepłego powietrza przez szczelinę. Poprzez otwieranie i zamykanie kanałów wentylacyjnych można regulować temperaturę w pomieszczeniu w godzinach dziennych. W ścianach przeważnie stosowane są zewnętrzne pokrywy izolacyjne, których zadaniem jest ochrona przegrody przed utratą energii i zwiększenie zysków energii (rys. 3) [9].



Rys. 3. Zasada działania systemu zysków bezpośrednich (a) oraz zasada działania systemu zysków pośrednich ze ścianą Trombe'a (b)

Źródło: http://www.efektywniej.pl/artykuly/pozyskiwanie_energii_slonecznej

Te dwa systemy, pomimo ich wspólnego przeznaczenia jakim jest ogrzanie budynku, charakteryzują się zupełnie innymi technikami. Obecnie na rynku ma zastosowanie jeden innowacyjny system, łączący dwa powyżej wspomniane, nazywany systemem Balcomba, który jest układem zintegrowanym (rys. 4). W systemie tym od strony południowej ogrzewana jest masywna ściana, której celem jest magazynowanie energii, w odizolowanej od otoczenia całkowicie oszklonej werandzie. Weranda zostaje również ogrzewana w sposób bezpośredni, czyli poprzez promienie słoneczne docierające do niej przez szklaną ścianę. Na tym etapie występują duże wahania temperatur, a przestrzeń mieszkalna pozyskuje energię w sposób pośredni.



Rys. 4. System Balcomba

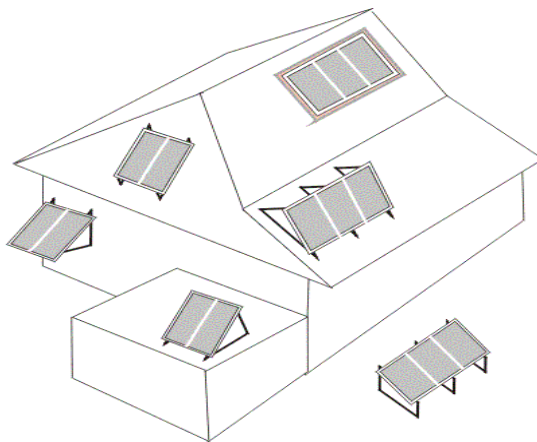
Źródło: http://www.efektywniej.pl/artykuly/pozyskiwanie_energii_slonecznej

Druga metoda pozyskiwania energii ze Słońca – aktywna, polega na zamianie energii słonecznej na energię cieplną lub prąd. Zamiana energii słonecznej na cieplną realizowana jest w kolektorach i stawach solarnych. Zamiana energii

słonecznej na energię elektryczną dokonywana jest w specjalnych urządzeniach – fotoogniwach, elektrowniach i kominach słonecznych.

Kolektory słoneczne

Jednym z najpopularniejszych urządzeń do pozyskania ciepła są kolektory słoneczne. Wyposażone są w wysokiej jakości absorber miedziany, który pokryty jest specjalną emalią pochłaniającą promienie słoneczne i światło rozproszone. Zazwyczaj montowane są na dachach domów lub budynków użytkowych. Na ogół zakładane są na południowej ścianie budynku lub są obiektami wolno stojącymi (rys. 5) [10].



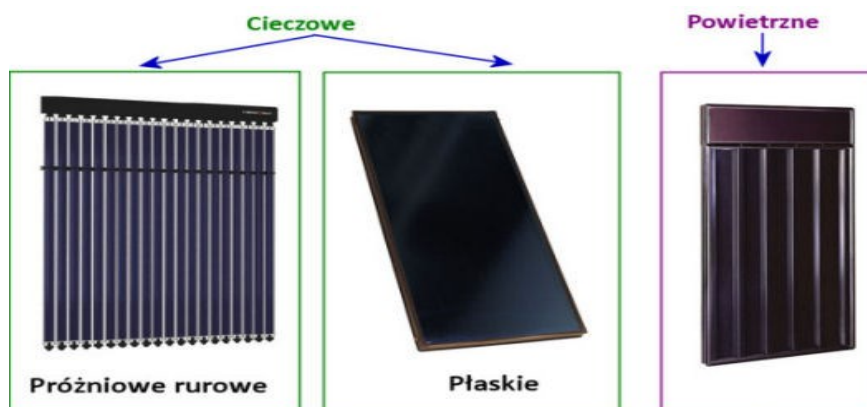
Rys. 5. Sposób montażu kolektorów słonecznych

Źródło: opracowanie własne na podstawie <http://www.arka-wroclaw.eu/kolektory-słoneczne/montaz-kolektorow>

Trzeba jednak pamiętać o tym, aby miejsce posadowienia kolektorów było dobrze nasłonecznione, a promienie słoneczne dostarczane do nich przez największy możliwy czas w ciągu całego roku. Dodatkowo w okresie letnim kąt nachylenia powierzchni kolektora do poziomu powinien być mniejszy niż zimą. Optymalny kąt nachylenia powinien wynosić 45 stopni, aby proces przebiegał poprawnie. Podczas wyboru kolektora słonecznego do zastosowania w domach jednorodzinnych lub na potrzeby zakładu można brać pod uwagę kilka istotnych parametrów instalacji solarnej: jej budowa, czynnik wymieniający ciepło, parametry pracy kolektora słonecznego. Energia słoneczna zamieniana jest w kolektorach na energię cieplną głównie za pomocą cieczy (tj. glikol, woda) lub gazu (np. powietrza). Generalnie kolektory można podzielić na (rys. 6):

- płaskie;
 - cieczowe,
 - gazowe,
 - dwufazowe,
- płaskie próżniowe;

- próżniowo-rurowe (nazywane próżniowymi, w których rolę izolacji spełniają próżniowe rury);
- skupiające (prawie zawsze cieczowe);
- specjalne (np. oko termiczne) [11].



Rys. 6. Podział kolektorów słonecznych

Źródło: http://www.zielonaenergia.eco.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=169:kolektory-soneczne-produkcja-ciepa-ze-soca&catid=51:slonce&Itemid=214

Kolektor płaski cieczowy jest najprostszym i najpopularniejszym kolektorem. Służy do przygotowywania ciepłej wody. Natomiast rzadziej wspomaga ogrzewanie centralne. Kolektory te budowane są w postaci paneli połączonych ze sobą szeregowo lub równolegle. Liczba paneli połączonych szeregowo jest ograniczona ze względu na wzrost oporów przepływu czynnika grzewczego. Często jednak łączy się ze sobą dużą liczbę paneli w sposób mieszany. Kolektor ten składa się z trzech podstawowych elementów: absorbera z układem rurek, izolacji oraz pokrywy (szyby solarnej) (rys. 7). Kolektory płaskie mogą być stosowane przez ponad 25 lat.

Najważniejszym jego elementem jest absorber, a wielkość pochłanianej energii zależy od jego wielkości i pokrycia. Absorber wykonywany jest z blach stalowych lub aluminiowych, powlekanych materiałem o jak największej selektywności w stosunku do współczynnika emisji promieniowania, który zależy od długości fali i wartości współczynnika emisji promieniowania z rozgrzanej płyty. Przy wyborze tego selektywnego materiału trzeba wziąć pod uwagę właściwości kosztowe i jakościowe tj. koszt wytwarzania, możliwość pracy w wysokich temperaturach (nawet do 300 stopni), odporność na starzenie się i na czynniki atmosferyczne. Działanie kolektora polega na wykorzystaniu zjawiska pochłaniania promieni przez ciemne powierzchnie. Specjalna przestrzeń powlekana zostaje przez czarne lakiery lub matowe farby. Farby te otrzymywane są na bazie poliestrów z dodatkiem pigmentów typu czerń chromowa, czarny nikiel i inne. Współcześnie najczęściej stosowane są dwa rodzaje warstw: czarny chrom oraz tytan

i krzem, oznaczony jako $TiNO_x$. Warstwa $TiNO_x$ w porównaniu z czarnym chromem zwiększa sprawność kolektora o ok. 10%, zwłaszcza zimą. Natomiast czarny chrom jest materiałem wytrzymałym i miękkim, co daje możliwość nałożenia go na blachę stalową lub aluminiową, a następnie można łatwo go kształtować bez obaw o uszkodzenie. Zaletą czarnego chromu jest jego szansa użycia powtórnie, po okresie zużycia, natomiast $TiNO_x$ nie daje nam takich możliwości.

Dalszy proces wykorzystania energii słonecznej polega na przepuszczaniu jej przez szklaną pokrywę, a umieszczony wewnątrz poczerniony absorber pochłania ją. W ten sposób nagrzana płyta przekazuje ciepło do czynnika roboczego przepływającego w rurkach przymocowanych do absorbera. Temperatura czynnika jest związana z intensywnością promieniowania i natężeniem przepływu czynnika w rurkach. Wewnątrz kolektora dochodzi do „efektu szklarniowego”, który polega na wnikięciu ciepła do wnętrza kolektora, absorpcji długofalowego promieniowania cieplnego emitowanego przez pochłaniacz. Ogranicza to konwekcyjne straty ciepła do otoczenia.



Rys. 7. Kolektor płaski ze zbiornikiem do ciepłej wody (a), kolektor próżniowy ze zwierciadłem doświetlającym (b)

Źródło: <http://www.solartechnology.pl/technologie/kolektory-sloneczne/>

Jako wymiennik ciepła działają przeważnie rurki miedziane, które służą do przepływu czynnika roboczego i mogą być przymocowane za pomocą: klejenia, lutowania, spawania laserowo lub zgrzewania ultradźwiękiem. Rurki mocuje się w układzie równoległym, zwanym harfowym lub w układzie z podwójną harfą lub w układzie meandrowym, w postaci węzownicy. Najczęściej stosowany i najtańszy jest układ równoległy, jednak bardziej efektywny jest układ z podwójną harfą, ponieważ umożliwia on osiągnięcie wyższej temperatury czynnika roboczego. Ważnym elementem kolektora jest jego izolacja. Materiały izolacyjne muszą mieć małą przewodność ciepła, niską gęstość i wysoką temperaturę pracy. Do takich tworzyw należą włókna szklane, wełna mineralna, pianki poliuretanowe lub styropian.

Ostatnim elementem budowy jest pokrywa szklana, która charakteryzuje się dużą przepuszczalnością promieniowania słonecznego oraz trwałością na oddziaływanie czynników atmosferycznych. Płyta posiada również odpowiednią wytrzymałość na działanie wysokiej temperatury. Do budowy tej części stosuje się teflon, poliamid i szkło słoneczne o niskiej zawartości Fe_2O_3 [12].

Kolektory rurowo-próżniowe składają się głównie z rur próżniowych, w których absorber zbierający ciepło znajduje się w próżni rzędu 0,1 Pa. Próżnia ta pełni funkcję izolacji cieplnej zmniejszającej straty ciepła. W takim układzie absorber nie jest uzależniony od temperatury, w związku z tym sprawdza się on również w zimowe dni. Na powierzchni kolektora znajduje się powłoka absorpcyjna, która nie różni się od tej w kolektorach płaskich. Różni się zaś czynnik roboczy, który przepływa zazwyczaj przez kanały w kształcie litery „U”, umieszczone wewnątrz kolektora. Kolektory próżniowe mają dwie podstawowe konstrukcje: z obiegiem bezpośrednim i z tak zwaną „rurką cieplną”. Kolektory z obiegiem bezpośrednim działają tak samo jak płaskie kolektory cieczowe. Panele w tym kolektorze składają się z określonej liczby rur, które są zgrzane współosiowo. Rury mogą mieć pojedynczą ściankę bądź mogą być też rurami dwuwarstwowymi. Kolektory z rurką cieplną mają podobną budowę, wyróżniają się jednak tym, iż ich przyjmowanie ciepła do absorbera odbywa się za pomocą substancji o niskiej temperaturze wrzenia, zamkniętej w rurce. Substancja ta ulega ciągłym przemianom fazowym. Dodatkowo w celu zwiększenia efektywności pracy montuje się zwierciadła naświetlające nośnik od strony osłonecznionej. Instalacja ta ma wiele dodatknych cech. Do najważniejszych należy bardzo dobra wymiana ciepła, mniejsza powierzchnia kolektora, mniejsza awaryjność, łatwość montażu.

Kolektory rurowo-próżniowe są mniej odporne na czynniki atmosferyczne, jak np. grad. Pomimo że ich wydajność jest większa od płaskich, jednak koszt wytworzenia takiego kolektora jest większy.

Kolektory gazowe wykorzystują gazy, a najczęściej powietrze, które jest powszechnie dostępne, nietoksyczne, nie zamarza i nie działa na nie żadna korozja. Warto mieć jednak na uwadze, iż wykorzystanie ciepła z powietrza jest mniej efektywne niż w przypadku kolektorów cieczowych. Powietrze ma małe ciepło właściwe, które jest konieczne w celu napędzenia kolektora. Podczas ich wykorzystania trzeba wygospodarować większy obszar niż w przypadku pozostałych kolektorów, średnio od 5 do 1000 m², a i tak ich dzienny przyrost temperatury czynnika roboczego wynosi 10°C-30°C. Dla porównania w kolektorach cieczowych jest to 30°C-50°C. Kolektory mogą być budowane w postaci indywidualnych paneli, jak również mogą być elementem pokryć przegród budowlanych, umieszczanych na pionowej ścianie budynków, co pozwala na optymalne wykorzystanie ich w porze zimowej. Kolektor tego typu znalazł zastosowanie w układach grzewczych budynków, stanowiąc element systemu wentylacyjnego oraz w suszarnictwie.

Wykorzystanie kolektorów słonecznych do pozyskania ciepłej wody jest ściśle związane z powierzchnią, jaką on zajmuje. Dla powierzchni 6 m² pokrytej panelami możliwe jest prawie pełne pokrycie zapotrzebowania na ciepłą wodę w okresie 6 miesięcy (kwiecień-wrzesień), co w skali rocznej wynosi 60% zapotrzebowania energetycznego budynku jednorodzinne.

Jednak w skali roku wykorzystanie kolektorów słonecznych dla całej instalacji grzewczej budynku (ciepła woda i ogrzewanie) starcza tylko do max. 20%. W związku z tym istotne jest zbadanie mocy nasłonecznienia, a w określonych warunkach i przy braku strat ciepła ocenia się sprawność optyczną kolektora

(wydajność). W celu prawidłowych wyliczeń używa się wzoru na sprawność rzeczywistą kolektora słonecznego [13]:

$$\eta = \eta_0 - \frac{k_1 \times \Delta T}{E_g} - \frac{k_2 \times \Delta T^2}{E_g} \quad (1)$$

gdzie: η_0 – sprawność optyczna,

k_1 – współczynnik strat ciepła liniowych [W/m²K] – sezon letni,

k_2 – współczynnik strat ciepła liniowych [W/m²K] – sezon jesienno-zimowy,

ΔT – różnica temperatur między absorberem a otoczeniem kolektora [K],

E_g – natężenie promieniowania słonecznego [W/m²].

Wydajność kolektora zależy zatem zarówno od jego parametrów technicznych, jak i konstrukcyjnych.

Fotowoltaika

Kolektory słoneczne służą do zamiany energii słonecznej na ciepłą i daje to nam wiele korzyści przy codziennym użytkowaniu. Inną branżą, która na świecie obecnie intensywnie się rozwija jest fotowoltaika, czyli produkcja energii elektrycznej ze słońca. Proces fotowoltaiczny daje możliwość głównie zredukowania kosztów za prąd. Jednak podejmując decyzję o założeniu paneli fotowoltaicznych, trzeba pamiętać, iż jest to zakup kosztowny. Pomimo to koszty poniesione podczas zakładania paneli fotowoltaicznych są jednorazowe i wahają się w zależności od rodzaju paneli, ich jakości, marki, jakości inwertera oraz sposobu montażu.

Z danych pozyskanych od firmy SUNSOL z Gdańska [14], zajmującej się instalacjami fotowoltaicznymi, otrzymano wycenę dwóch instalacji o różnej wielkości mocy. Dla porównania pierwsza z instalacji o mocy 40 kW kosztuje 231 057,59 zł, natomiast druga instalacja o mocy 150 kW aż 972 204,80 zł. W ofercie wzięto pod uwagę m.in sprzęt, materiał i montaż oraz założono, że układ będzie skierowany na południe.

W ofercie zawarto innowacyjne panele Q-Cells, w której mają zastosowanie dwie nowoczesne technologie przeciwdziałające uszkodzeniu paneli: technologia Anti-PID oraz technologia Hot Spot Protect [13]. Ważnym elementem przy montażu instalacji jest ułożenie paneli na konkretnym dachu, gdyż cena zależy od tego jaka jest konstrukcja dachu (tabela 2).

Tabela 2. Przykładowe oferty paneli fotowoltaicznych z wyposażeniem i montażem

Lp.	Nazwa	Ilość	Jednostka	Netto [zł]	Brutto [zł]
OFERTA 1- instalacja fotowoltaiczna o mocy 40kW					
1	Panele Q-Cell Q Plus G 240 W	144	sztuk	140965,56	173387,64
	Aluminiowa konstrukcja mocująca, dach skośny, klemy anodyzowane czarne				
2	Fronius Symo 17.5-3-M	2	sztuk	25008,14	30760,01

3	transport, montaż, okablowania, zabezpieczenia typu DC typ I +II Jean Muller; zabezpieczenie typu AC Legrand; złączki MC4 firmy Multicontact; przyłączenie do energetyki (formalności)	1	sztuk	21878,00	26909,94
Razem brutto					231057,59
OFERTA 2- instalacja fotowoltaiczna o mocy 150,08 kW					
1	Panele Q-Cell Q Plus G4 280 W	536	sztuk	553956,00	681365,88
	Aluminiowa konstrukcja mocująca, dach skośny, klemy anodyzowane czarne				
2	Fronius Symo 20.0-3-M	7	sztuk	13650,41	16790,00
3	transport, montaż, okablowania, zabezpieczenia typu DC typ I +II Jean Muller; zabezpieczenie typu AC Legrand; złączki MC4 firmy Multicontact; przyłączenie do energetyki (formalności)	1	sztuk	222804,00	274048,92
Razem brutto					972204,80

Źródło: opracowanie własne na podstawie <http://www.sunsol.pl> - informacje od Best Regards, inż. energetyk Małgorzata Otłowska, dział handlowy firmy SUNSOL [14].

Pomimo bardzo kosztownej inwestycji wiele osób decyduje się na stosowanie paneli PV. Należy wziąć pod uwagę fakt, że instalacja PV pozwoli nam na uniezależnienie się od wzrostu cen energii elektrycznej.

Nasze rachunki za prąd są w tym przypadku o wiele mniejsze, a dodatkowo również można na tej energii zarabiać, odsprzedając jej nadmiar do sieci. Panele słoneczne mają wiele korzyści, np.: nie powodują drgań, nie hałasują, a przede wszystkim nie są szkodliwe dla środowiska.

4. Normy prawne regulujące OZE

W XXI wieku niemal wszystkie dziedziny życia regulowane są odpowiednimi aktami prawnymi – zarówno krajowymi, jak i międzynarodowymi. Odpowiednimi aktami prawnymi – konwencjami, dyrektywami, ustawami, rozporządzeniami czy normami, regulowane są także zasady wytwarzania, dystrybucji oraz wykorzystania energii. Obecnie odpowiednie regulacje prawne mają na celu jak największą dywersyfikację źródeł wytwarzania energii. Poprzez odpowiednie przepisy wymusza się na wszystkich krajach dążenie do jak najmniejszego wykorzystania

tradycyjnych źródeł produkcji energii, obniżania poziomu wytwarzanego CO₂, nakazując tym samym stopniowe zwiększanie produkowania energii metodami alternatywnymi. Dzieje się tak nie tylko z powodu dbałości o środowisko i poprawy świadomości ekologicznej społeczeństw. Główny powód to ekonomia oraz poprawa bezpieczeństwa energetycznego wszystkich krajów. W ostatnich latach obserwujemy również szybki rozwój technik poboru energii ze źródeł odnawialnych – tzw. OZE (wiatr, słońce, geotermia). W dobie zawirowań polityczno-ekonomicznych ceny tradycyjnych źródeł energii (ropa, gaz, węgiel) niestety rosną. W obecnej dobie rozwoju technologicznego, urządzenia do pozyskiwania i przetwarzania „zielonej energii”, czyli OZE, stają się niewątpliwie wydajniejsze, a także tańsze w produkcji i eksploatacji. Stwarza to odpowiednie warunki do tego, by energia pochodząca z OZE mogła trafiać do szerszej grupy potencjalnych odbiorców.

W Polsce wykorzystywanie Odnawialnych Źródeł Energii do produkcji energii elektrycznej wymuszone jest poprzez prawo państwowe oraz prawo obowiązujące w Unii Europejskiej.

W UE zapisy dotyczące bezpieczeństwa energetycznego i ochrony środowiska z tym związanej, pojawiły się po raz pierwszy w 1997 roku, kiedy to Komisja Europejska opublikowała dokument „*Biała Księga. Energia dla przyszłości – odnawialne źródła energii*” [15]. Plan działania przedstawiony w Białej Księdze zakładał stworzenie odpowiednich warunków rynkowych dla rozwoju OZE bez nadmiernych obciążeń finansowych dla państw członkowskich. Jego podstawowe założenie to 12% udziału OZE w zaspokojeniu zapotrzebowania Unii Europejskiej na energię pierwotną w 2010 r. Dodatkowo przyjęta została dyrektywa nr 2001/77/EC (znowelizowana dyrektywą nr 28/2009/WE) w sprawie wspierania produkcji na rynku wewnętrznym, energii wytwarzanej ze źródeł odnawialnych. Zapisane zostały w niej połączone cele, jak:

1. Wspólne ramy dla promowania energii ze źródeł odnawialnych.
2. Obowiązkowe krajowe cele ogólne w odniesieniu do całkowitego udziału energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii brutto i w odniesieniu do udziału energii ze źródeł odnawialnych w transporcie.
3. Zasady dotyczące:
 - a. statystycznych przekazów określonej ilości energii z OZE między państwami członkowskimi,
 - b. wspólnych projektów między państwami członkowskimi a państwami trzecimi,
 - c. gwarancji pochodzenia,
 - d. procedur administracyjnych,
 - e. informacji i szkoleń,
 - f. dostępu energii ze źródeł odnawialnych do sieci elektroenergetycznej.
4. Kryteria zrównoważonego rozwoju dla biopaliw i biopłynów [16].

Jednocześnie w tym samym czasie, Komisja Europejska opublikowała Zieloną Księgę, poświęconą problemom wytwarzania energii i skutkom nadmiernego wykorzystywania konwencjonalnych źródeł do jej produkcji. Zgodnie z przedstawionymi w dokumencie symulacjami, poziom zależności od importowanych nośników energii sięgnie w 2030 r. ok. 70%. W związku z tak pesymistycznymi wynikami analiz, Komisja zasugerowała wiele działań zapobiegawczych. Jednym z nich jest zwiększenie wytwarzania energii elektrycznej pochodzącej ze źródeł odnawialnych – RESE (Renewable Energy Sources Electricity) [17].

W Polsce nie zawsze wykorzystanie energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych było dobrze uwarunkowane prawnie. Jednak od 1 maja 2004 roku Polska jest członkiem Unii Europejskiej i musi stosować się do jej prawa również w zakresie OZE. Obecnie każdy z tworzonych w Polsce aktów prawnych konstruuje własną definicję pojęcia odnawialnych źródeł energii, nie troszcząc się zbytnio o jego zgodność z innymi dokumentami (Polskimi czy Unii Europejskiej) [18]. Jednak podpisując traktat akcesyjny zobowiązano się do zwiększenia udziału Odnawialnych Źródeł Energii w produkcji elektrycznej z poziomu 1,7% w 1997 r. do poziomu minimum 7,5% w 2010 roku. Dodatkowo nasz kraj zobowiązał się do uzyskania minimum 15% udziału produkcji energii z OZE w 2020 r. Cele, które zostały postawione przed Polską nie są proste do osiągnięcia. Komisja Europejska w 2015 roku sygnalizowała, że Polska może nie wywiązać się z zobowiązań nałożonych dyrektywą 28/2009/WE. W 2014 roku w Polsce wyprodukowano blisko 18 TWh energii z OZE. Oznacza to, że do 2020 roku powinniśmy zwiększyć produkcję z OZE do poziomu około 24 TWh.

Ujęte w znowelizowanej w 2016 roku ustawie o Odnawialnych Źródłach Energii zapisy nie sprzyjają niestety wsparciu dla energii wytwarzanej między innymi z promieni słonecznych. Największe wsparcie na podstawie tej ustawy przysługuje źródłom, które wytwarzają energię stabilnie, np. biogazowniom czy współspalaniu biomasy z węglem. Pojawiła się definicja prosumenta, którym jest: „odbiorca końcowy dokonujący zakupu energii elektrycznej na podstawie umowy kompleksowej, wytwarzający energię elektryczną wyłącznie z odnawialnych źródeł energii w mikroinstalacji w celu jej zużycia na potrzeby własne, niezwiązane z wykonywaną działalnością gospodarczą”. Zatem prosumentem nie mogą być przedsiębiorcy, co znacznie utrudnia wykorzystanie OZE w przedsiębiorstwach. Prosumenci nie mogą sprzedawać nadwyżek wyprodukowanej energii, ale w zamian mogą czerpać korzyści ze swoistej wymiany barterowej z zakładem energetycznym, uzyskując opusty na odbieraną energię – przy uwzględnieniu określonego współczynnika przeliczeniowego. Jednak wprowadzono tzw. „opłatę OZE” w przypadku, której istnieje np. ryzyko, że jeżeli prosument wyjedzie i nie będzie przez dłuższy czas odbierał energii, to po powrocie nie będzie mógł wykorzystać opustu od całej energii wprowadzonej do sieci, bo ta wprowadzona rok wcześniej będzie się anulować. Ponadto należy domniemywać, że po upływie 15 lat, zgodnie z ustawą, prosumenci wszelkie nadwyżki lub całość wyprodukowanej energii oddają sprzedawcy za darmo [19]. Obecnie trwają prace nad nowelizacją

ustawy o OZE. Zakłada się, że z nową ustawą zostaną wprowadzone taryfy gwarantowane (FiT), które zapewniają prosumentom sprzedaż energii elektrycznej produkowanej w małych, domowych instalacjach OZE, po cenach gwarantowanych przez 15 lat.

Na dywersyfikację źródeł energii oraz zmniejszenie emisji CO₂ próbują oddziaływać również instytucje światowe. Jedną z nich jest Organizacja Narodów Zjednoczonych. W 2015 roku instytucja ta podjęła inicjatywę o dumnej nazwie: „Sustainable Energy for All – Zrównoważona Energia dla Wszystkich”. Głównym dążeniem inicjatywy jest przyspieszenie działań na rzecz celów, które powinny zostać osiągnięte do 2030 r., tj.:

- zapewnienie powszechnego dostępu do energii,
- istotna poprawa efektywności energetycznej,
- zwiększenie udziału energii ze źródeł odnawialnych w globalnym miksie energetycznym.

Odpowiedni poziom wsparcia i koordynacja działań pozwoli uwolnić potencjał przemysłu w celu zapewnienia powszechnego dostępu do energii, istotnej poprawy efektywności energetycznej, zwiększenia zużycia energii wytworzonej ze źródeł odnawialnych oraz rozwoju bardziej zrównoważonych produktów i usług [20].

5. Innowacje w procesie produkcji energii z promieniowania słonecznego

W obecnej, dynamicznej dobie rozwoju myśli technologicznej nikogo nie dziwi szybki rozwój różnych zagadnień związanych z energetyką. Na rynku pojawiają się coraz to nowsze produkty, związane z pozyskiwaniem energii słonecznej. Szczególnie perspektywy rozwoju fotowoltaiki są imponujące i ma ona bardzo dobrą passę. Takie rzeczy jak kalkulatory na słońce, lampki solarne, powerbanki zasilane energią słoneczną są już powszechnie stosowane. Pojawiły się również solarne torby, plecaki [21], pojazdy [22], obrazy (panele ilustrowane) [23], panele dachowe czy okiennice [24], jak również innowacyjne słoneczne panele polimerowe w postaci elastycznych włókien. Docelowo mają one pozwolić efektywniej ładować urządzenia elektryczne przy stosunkowo niskich kosztach pozyskania energii w sposób przyjazny dla środowiska [25].

Jednak najbardziej interesuje nas pozyskiwanie energii ze słońca w dużych ilościach. Elektrownie słoneczne wykorzystują różne technologie: panele fotowoltaiczne albo CSP, czyli energię skoncentrowaną. Łączy je natomiast jedno – wytwarzają ogromne ilości energii całkowicie przyjaznej środowisku.

Najbardziej efektywne są elektrownie działające na zasadzie wieży solarnych. Powietrze w takich urządzeniach nagrzewa się w ogromnym kolektorze słonecznym, następnie unosi się w górę i ucieka poprzez wysoką wieżę – komin. Poruszające się powietrze napędza turbiny, które produkują energię elektryczną. Pierwsze wzmianki na temat tego typu konstrukcji pojawiły się już w roku 1903 w magazynie „La energia electrica” [26]. Teoretyczne podstawy konstrukcji zostały opracowane przez Hansa Günthera, niemieckiego badacza w roku 1931, a dopiero

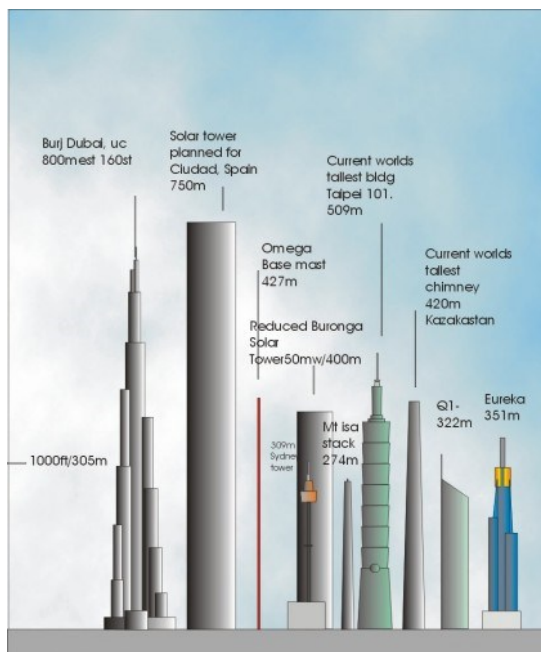
w 1975 roku Robert E. Lucier przedstawił patenty na wieżę słoneczną. Pierwszy obiekt tego typu został zbudowany w 1982 r. w Hiszpanii. Konstrukcja składała się z kominu o wysokości 195 m i średnicy 10 m oraz kolektora o całkowitej powierzchni 46000 metrów kwadratowych, dając na wyjściu moc elektryczną 50 kW. Konstrukcja pilotażowa pracowała około 8 lat, lecz z powodu niestabilności kominu musiała zostać rozebrana w roku 1989 [26].



Rys. 8. Wieża solarna zbudowana w Hiszpanii w 1982 r.

Źródło: <http://ioze.pl/energetyka-wiatrowa/aktualnosci/w-arizonie-stanie-najwieksza-solarna-wieza-swiata>

Wydajność energetyczna wieży słonecznej zależy pośrednio od dwóch czynników: wielkości kolektora oraz wysokości kominu. Przy dużym kolektorze, większa objętość powietrza ulega nagrzaniu, co powoduje jego większą prędkość przepływu przez komin. Przy wyższym kominie następuje z kolei większa różnica ciśnień wywołana przez tzw. efekt kominowy, co z kolei wymusza większą prędkość przepływającego powietrza. Zakłada się, że optymalna wysokość kominu, dla dużej elektrowni, powinna wynosić około 1000 metrów. Wadą wież słonecznych jest konieczność pracy w obszarach silnie nasłonecznionych oraz zajęcie znacznej powierzchni pod kolektor. Tereny nadające się do budowy to tereny o niskiej wartości, takie jak np. pustynie. Według szacunków, wieża słoneczna o mocy 200 MW wymaga kolektora o średnicy 7 km i kominu wysokości 1000 metrów. Instalacja ta może zapewnić energię dla 200 tysięcy typowych gospodarstw domowych. W przypadku tradycyjnych elektrowni, produkcja tej energii spowodowałaby wydzielanie do atmosfery 900 tys. ton gazów cieplarnianych w ciągu roku. Wydajność takiej elektrowni szacuje się na około 5 W/m^2 . Obecnie największa elektrownia tego typu powstaje w Arizonie [27].



Rys. 9. Rozmiary niektórych najwyższych budynków na świecie w porównaniu z istniejącymi i projektowanymi wieżami słonecznymi

Źródło: <http://planetaoze.blog.pl/files/2013/08/w2.jpg>

Najnowszym osiągnięciem w dziedzinie produkcji energii elektrycznej, pochodzącej z promieniowania słonecznego, są lustrzane konstrukcje elektrowni solarnych. Jest to innowacyjna i o wiele bardziej wydajna technologia produkcji energii niż wieże solarne. Najśłynniejsza taka konstrukcja powstała na amerykańskiej pustyni Mojave i wytwarza 392 MW energii – elektrownia Ivanpah Solar Plant. Zajmuje ona powierzchnię niemal 9 km², a składa się z 300,000 luster, które skupiają światło na trzech 130-metrowych wieżach. W każdej z nich znajduje się ogromny zbiornik wody, w którym dzięki temperaturze pochodzącej ze skupionych promieni słonecznych (około 540°C) wytwarzana jest para napędzająca następnie turbiny produkujące prąd. Elektrownia dostarcza prąd do 140,000 kalifornijskich gospodarstw domowych [28]. Odwiedzających elektrownię Ivanpah najbardziej zaskakuje panująca tam kompletna cisza. Przerywa ją jedynie delikatny odgłos silników elektrycznych, które sterowane komputerowo co kilkadziesiąt sekund korygują kąt nachylenia 170 tys. zwierciadeł, dostosowując go do położenia Słońca. Podobna konstrukcja powstaje również w Maroko, która ma produkować 160 MW energii.

Elektrownie słoneczne w Polsce wytwarzają oczywiście dużo mniej energii. Pomimo umiarkowanego nasłonecznienia, rynek fotowoltaiki w Polsce prężnie się rozwija. Ostatnio pojawiły się również zapowiedzi Ministerstwa Energii, które chce do 2020 roku zwielokrotnić moc elektrowni słonecznych w Polsce. Związane

jest to z raportem przygotowanym w 2016 roku przez Polskie Sieci Elektroenergetyczne w sprawie konieczności wprowadzenia 20. stopnia zasilania. Innym aspektem jest spadek cen modułów fotowoltaicznych, które stanowią największy udział kosztów w całej instalacji, głównie za sprawą Chin [30]. Obecnie w Polsce największą elektrownię słoneczną w gminie Czernikowo koło Torunia uruchomiła Grupa Energa – o mocy prawie 4 MW. Przedsiębiorstwo Energetyczne Gubin również uruchomiło, w Gubinie, farmę solarną o powierzchni 2,6 ha i mocy 1,5 MW, która pozwala na zaspokojenie potrzeb na energię elektryczną około 800 gospodarstw domowych. Cała inwestycja będzie natomiast obejmowała łączną moc elektrowni rzędu 4 MW, na powierzchni 7 ha. Kolejna z rzędu farma fotowoltaiczna mieszcząca się w Wierzchosławicach ma moc 1 MW. Podobnie farma fotowoltaiczna w Kukince w gminie Ustronie Morskie na terenie byłego wysypiska śmieci również ma moc 1 MW i powierzchnię 2 ha. Natomiast elektrownia słoneczna w Rudzie Śląskiej ma moc 311 kW, elektrownia w Polkowicach – 100 kW, a 82 kilowaty – elektrownia w Łodzi należąca do Wojewódzkiego Specjalistycznego Szpitala im. dra Wł. Biegańskiego.

6. Podsumowanie

Dynamiczny rozwój produkcji energii z odnawialnych źródeł energii to ogromna szansa na poprawę bezpieczeństwa energetycznego wielu państw. Dodatkowo jest to szansa na zdecydowane obniżenie emisji zanieczyszczeń – pyłów i CO₂ do atmosfery. Należy dążyć do jak największej produkcji energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii, by prognozowane wyczerpanie się paliw kopalnych w 2250 roku odsunąć jak najdalej w czasie i uniezależnić się energetycznie od tych źródeł. Dużą rolę pełnią tutaj międzynarodowe organizacje, państwa, korporacje oraz wszyscy obywatele, których świadomość pochodzenia energii, którą użytkują również jest ogromnie ważna.

W artykule przybliżono tematykę pozyskiwania energii ze słońca. Jest to obecnie bardzo stabilne i dostępne źródło, w którym pokładane są nadzieje ludzkości w pozyskiwaniu energii. W zasadzie każdego dnia powstają nowe urządzenia i technologie, które wykorzystują energetykę słoneczną. Rozwój energetyki słonecznej jest również szansą na rozkwit państw afrykańskich, które powinny wykorzystać swój potencjał geograficzny w tym zakresie (lub które można w tym wspomóc). W ostatnich latach potencjał ten znakomicie wykorzystywały Chiny, stając się w 2016 roku największym producentem energii słonecznej na świecie. Nowoczesne technologie, które pomagają obniżyć koszty wytworzenia urządzeń do produkcji tego typu energii oraz wzrost wydajności takich urządzeń to szansa dla całego globu. W tym celu należy bezwzględnie pogłębiać badania nad wykorzystaniem słońca do produkcji energii poprzez zwiększenie nakładów finansowych na takie badania oraz odpowiednie uwarunkowanie prawne takich przedsięwzięć. Ważne jest również stworzenie warunków do implementacji tych rozwiązań w przedsiębiorstwach, które dzięki temu mogą znacznie obniżyć koszty energii tak niezbędnej w procesach produkcyjnych.

Literatura

- [1] www.worldbank.org
- [2] www.pse.pl
- [3] Renewables in Global Energy Supply. An IEA Fact Sheet. International Energy Agency. November 2002. Renewables Information 2002 (with 2000 data). International Energy Agency. November 2002.
- [4] Dec B., Krupa J., *Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii w aspekcie ochrony środowiska*, Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania w Rzeszowie Katedra Turystyki i Rekreacji, 2016.
- [5] <http://blogs.worldwatch.org/revolt/growth-of-global-solar-and-wind-energy-continues-to-outpace-other-technologies>
- [6] www.ure.gov.pl
- [7] <http://solaris18.blogspot.com/2011/09/nasonecznienie-usonecznienie-i.html>
- [8] <https://poradnikprojektanta.pl/energia-sloneczna-w-polsce-nasonecznienie/>
- [9] http://www.efektywniej.pl/artykuly/pozyskiwanie_energii_slonecznej
- [10] <http://www.arka-wroclaw.eu/kolektory-sloneczne/montaz-kolektorow>
- [11] www.zielonaenergia.eco.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=169:kolektory-soneczne-produkcja-ciepa-ze-soca&catid=51:slonce&Itemid=214
- [12] www.solartechnology.pl/technologie/kolektory-sloneczne/
- [13] www.hewalex.pl/porady-i-wiedza/kolektory-sloneczne/sprawnosci-kolektora-slonecznego.html
- [14] www.sunsol.pl - informacje od Best Regards, inż. energetyk Małgorzata Otlowska, dział handlowy firmy SUNSOL
- [15] Oniszk-Popławska A., *Trendy i przewidywane zmiany w prawodawstwie Unii Europejskiej dotyczące odnawialnych źródeł energii*, Wokół Energetyki – kwiecień 2005, <http://www.cire.pl/pliki/2/oniszk.pdf>
- [16] Dyrektywa 28/2009/WE w sprawie wspierania produkcji na rynku wewnętrznym energii wytwarzanej ze źródeł odnawialnych
- [17] Bolesta K., *Polityka w dziedzinie energii, Wspieranie rozwoju energetyki odnawialnej w państwach UE*, Biuletyn Informacyjny, Wspólnoty Europejskiej, nr 1 (124), 2002, Instytut Koniunktur i Cen Handlu Zagranicznego, Centrum Badań Struktur Europejskich, Warszawa, s. 40.
- [18] Norwisz J., Musielak T., Boryczko B., *Odnawialne źródła energii – polskie definicje i standardy*, Rynek Energii – nr 1/2006.
- [19] www.green-projects.pl/2016/07/nowa-ustawa-o-odnawialnych-zrodlach-energii/
- [20] www.ure.gov.pl
- [21] www.green-projects.pl/2017/03/fotowoltaika-innowacje-perowskity/
- [22] <http://solarkurier.pl/news/160340/1306-na-wisle-zwodowano-lodz-agh-solar-boat-video.html>
- [23] <http://solarkurier.pl/news/160939/innowacyjne-ilustrowane-panele-sloneczne-wideo.html>
- [24] Nowak W., Stachel A., *Kolektory słoneczne i panele fotowoltaiczne jako źródło energii w małych instalacjach ciepłych i elektroenergetycznych*, Elektro-innowacje, nr 4, 2016, ss. 55-64.
- [25] www.odnawialnezrodlaenergii.pl/energia-sloneczna-aktualnosci/item/3262-slascy-naukowcy-pracuja-nad-nowa-generacja-ogniw-fotowoltaicznych

- [26] <http://ioze.pl/energetyka-wiatrowa/aktualnosci/w-arizonie-stanie-najwieksza-solarna-wieza-swiata>)
- [27] www.enviromission.com.au/IRM/content/concept.aspx?RID=303
- [28] http://wyborcza.pl/1,75400,15465562,Amerykanie_wybudowali_najwieksza_elektrownie_sloneczna.html?disableRedirects=true
- [29] www.chip.pl/2013/09/w-kaliforni-uruchomiono-najwieksza-na-swiecie-elektrownie-sloneczna/
- [30] <http://gramwzielone.pl/energia-sloneczna/24070/2017-najlepszym-rokiem-polskiej-fotowoltaiki-4-powody>

Streszczenie

W artykule przedstawiono problem pozyskiwania i wykorzystania energii słonecznej. Przedstawiono podstawy teoretyczne związane z pozyskiwaniem tej energii. Opisano kolektory o różnych parametrach konstrukcyjnych i zasadach działania, jak również przedstawiono problematykę fotowoltaiki. Odniesiono się do przepisów prawnych obowiązujących w UE i w Polsce. Wskazano również innowacyjne rozwiązanie w zakresie energetyki słonecznej.

Słowa kluczowe: energia słoneczna, kolektory, fotowoltaika.

WDRAŻANIE INNOWACYJNYCH ROZWIĄZAŃ A KOMERCJALIZACJA WYNIKÓW BADAŃ NAUKOWYCH – PODSUMOWANIE

Jacek Karczewski

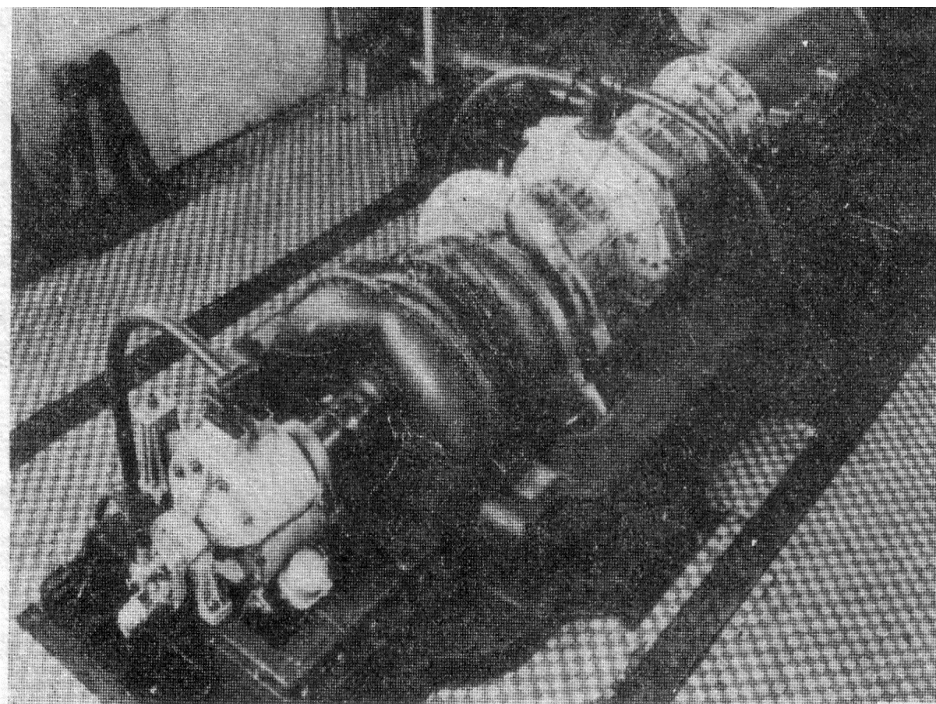
1. Wstęp

Jednym z priorytetów polityki naukowej Polski jest doprowadzenie do sytuacji, w której innowacyjne rozwiązania opracowywane w ośrodkach naukowo-badawczych wdrażane będą w przemyśle, przyczyniając się w ten sposób do rozwoju poszczególnych działów gospodarki narodowej, a co za tym idzie do rozwoju gospodarczego Polski [1, 3]. Dąży się do tego, by współpraca nauka – biznes opierała się na dwóch podstawowych zasadach:

1. Prowadzenie prac naukowych powinno być odpowiedzią na rzeczywiste zapotrzebowanie gospodarki. Nauka powinna rozwiązywać realne problemy występujące w przemyśle, uwzględniając konkretne uwarunkowania i specyfikę pracy poszczególnych rozwiązań.
2. Innowacyjne rozwiązania opracowywane w uczelniach i instytutach naukowych powinny być szybko „wchłaniane” przez przemysł i wdrażane w gospodarce, przyczyniając się nie tylko do rozwoju technologicznego, ale również do rozwoju pod kątem organizacyjnym przedsiębiorstw.

Chodzi zatem o to, by nie tworzyć „prac na półkę”, ale doprowadzić do ścisłej współpracy przemysłu i nauki. Służy temu m.in. polityka przyznawania różnego rodzaju grantów naukowych, w której dąży się do tworzenia konsorcjów złożonych z przedstawicieli nauki i przedsiębiorców przy czym ci ostatni powinni współuczestniczyć w procesie finansowania badań naukowych. W ten sposób wymusza się niejako ukierunkowanie badań naukowych na konkretne zapotrzebowanie przemysłu.

Oddział Techniki Ciepłej w Łodzi, Instytutu Energetyki, będący kontynuatorem działającego w latach 1948-2008 Instytutu Techniki Ciepłej w swojej 70-letniej działalności zawsze kierował się zasadą prowadzenia prac badawczych o charakterze utylitarnym [2]. Powstanie Instytutu tuż po II wojnie światowej, związane było właśnie z rozwiązaniem dwóch konkretnych problemów, które postawione zostały przed naukowcami: opracowanie prototypów parowego ciągnika dla rolnictwa oraz eksperymentalnej turbiny gazowej o mocy 1000 kW (rys. 1).



Rys. 1. Eksperymentalna turbina gazowa o mocy 1000 MWskonstruowana w latach pięćdziesiątych XX wieku w Instytucie Techniki Ciepłej w Łodzi

Źródło: prace własne Instytutu Techniki Ciepłej w Łodzi.

W kontekście tematyki niniejszego artykułu warto prześledzić jakie były losy jednego z tych projektów. Turbina gazowa o mocy 10000 kW została wykonana w Zakładach Cegielskiego w Poznaniu i zlokalizowana na terenie laboratorium w Politechnice Łódzkiej. Urządzenia pomocnicze, elementy instalacji i sterowania oraz bogato oprzyrządowane stanowisko pomiarowe wykonane było samodzielnie przez ITC. W 1958 roku nastąpił próbny rozruch siłowni, aby w ciągu następnych trzech lat prowadzić liczne badania na wybudowanym obiekcie, zdobywając wiedzę i doświadczenie. Wobec jednak braku dalszego zainteresowania ówczesnego resortu energetyki rozwojem turbin gazowych, prace zostały zaniechane! Warto sobie to uzmysłowić w obecnej chwili, kiedy turbiny gazowe są tematem bardzo „modnym” i powszechnie lansowanym. Rozwój nauki zawsze bowiem wyprzedzał zapotrzebowania przemysłu. Podobnie rzecz się miała z innymi, rozwijanymi w Instytucie obszarami. Przykładowo w latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku działał, liczący ponad 70 osób, Zakład Energetyki Jądrowej, w którym opracowano wiele innowacyjnych urządzeń obiegu pierwotnego i wtórnego elektrowni jądrowych, jak wytwornice pary, wymienniki ciepła, stabilizatory ciśnienia. Również w tym przypadku prace naukowe i opracowane technologie nie zostały wykorzystane w Polsce, lecz niektóre z nich przekazano do ówczesnego Związku Radzieckiego.

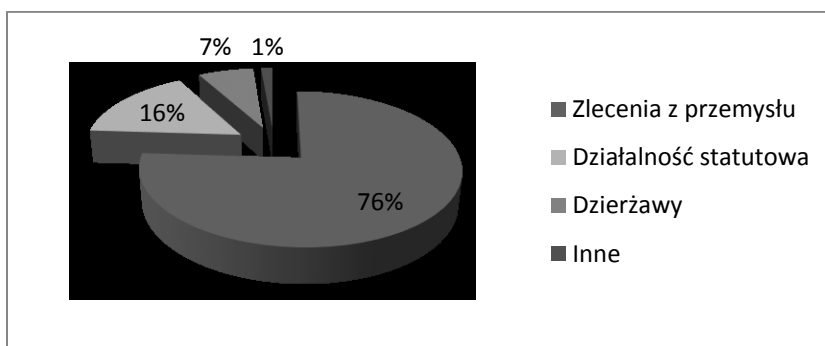
Oczywiście istnieje wiele przykładów, w których rozwiązania prototypowe, wynalezione przez kadrę naukową ITC „dotarły” do przemysłu i były powszechnie wykorzystywane. Przykładem mogą tu być:

- zdmuchiwacze parowe, służące do czyszczenia powierzchni ogrzewalnych kotłów,
- liczniki do pomiaru ciepła w parze,
- wentylatory i dmuchawy do szerokiego zastosowania w przemyśle i energetyce,
- tłumiki wydmuchu pary i wiele innych.

W dalszej części artykułu zostaną opisane wybrane dziedziny, które stanowią bardzo dobre przykłady transferu wiedzy z jednostek naukowych do zastosowań praktycznych.

2. Uwarunkowania działalności jednostki badawczej oraz ryzyka prowadzenia prac B+R

W Instytutach Badawczych znakomita większość prac wykonywana jest na zlecenie przemysłu. Innymi słowy Instytut musi „walczyć” o klienta, bo to on jest podstawowym źródłem dochodów jednostki. Warto zwrócić uwagę na to, że rynek usług badawczych i wdrożeniowych, jak w przypadku „OTC” w Łodzi, podlega okresowym fluktuacjom. Omówione w poprzednim rozdziale „historyczne” przykłady są tego najlepszym dowodem. Również w obecnej sytuacji rynkowej trzeba być bardzo elastycznym i dostosowywać się do podejmowania nowych wyzwań. Na rysunku 2 przedstawiono strukturę przychodów Oddziału Techniki Ciepłej Instytutu Energetyki.



Rys. 2. Struktura przychodów typowego instytutu badawczego

Źródło: dane własne Instytutu Energetyki, OTC w Łodzi, 2016 r.

Aby jednostka naukowa mogła świadczyć usługi w nowych segmentach rynku, konieczne jest zatrudnianie młodych pracowników. Wynika to zarówno z potrzeby istnienia „zmienników” w zakresie badań naukowych, jak również z konieczności wymiany pokoleń. Istotne jest również dalsze podnoszenie

„naukowości” realizowanych prac, co wiąże się np. z publikacjami, czy też wystąpieniami na konferencjach.

Odrębną sprawą jest dbanie o ochronę własności intelektualnej (ochrona patentowa). Oczywiście sprawą jest to, że działalność naukowa, nakierowana na transfer wiedzy do zastosowań praktycznych, związana jest z wieloma ryzykami. Czynniki ryzyka i zagrożenia można podzielić na:

- ryzyka zewnętrzne – załamanie gospodarki, skutkujące utratą zleceń, zmiana zasad finansowania nauki itp.,
- oraz wewnętrzne – wynikające z bieżącej sytuacji organizacyjno-finansowej jednostki naukowej.

Poniżej przedstawiono analizę SWOT dla OTC IEn w Łodzi, która w dużej mierze jest typowa dla innych instytucji badawczych tego typu.

Tabela 3. Słabe i mocne strony IEN OTC „ITC” w Łodzi

MOCNE STRONY	SŁABE STRONY
1) Wiedza i doświadczenie. 2) Uznana marka. 3) Potencjał naukowy rozszerzany o nowe obszary. 4) Szeroki zakres działalności. 5) Możliwość wykonywania kompleksowych usług (projekt, wykonawstwo, prototyp, wdrożenie, badania). 6) Wysoka jakość świadczonych usług. 7) Innowacyjność, udowodniona nagrodami z danej dziedziny. 8) Możliwość rozwiązywania problemów z „otoczenia przemysłu”, w przypadku Instytutu Energetyki mogą to być np. osłony akustyczne wentylatorów, ochrona środowiska (utylicacja odpadów) itp. 9) Możliwość dostaw „pod klucz” (nie tylko opracowanie innowacyjnych rozwiązań, ale również wykonanie ich i uruchomienie). 10) Silna pozycja na rynku lokalnym (Instytuty postrzegane są jako eksperci dla władz lokalnych i samorządowych w danej branży). 11) Instytut może być partnerem dla małych i średnich przedsiębiorstw oraz innych jednostek naukowych podczas tworzenia konsorcjów, przy realizacji programów finansowanych centralnie.	1) Niższe, niż w innych dziedzinach gospodarki, zarobki. 2) Wymiana pokolenia pracowników.

Tabela 3 (cd.)

SZANSE	ZAGROŻENIA
1) Pozyskiwanie zleceń wynikających z prowadzenia w OTC „modnych” dziedzin (ochrona środowiska, efektywność energetyczna, biogaz(OZE), walka z hałasem). 2) Współpraca w ramach Instytutu Energetyki (np. wykorzystanie biogazu w ogniach paliwowych, budowa kotła na baloty z drzew owocowych). 3) Współpraca z władzami lokalnymi i samorządowymi (Urząd Marszałkowski). 4) Nawiązanie współpracy międzynarodowej (eksport urządzeń, udział w międzynarodowych projektach). 5) Pozyskiwanie grantów i projektów zamawianych. 6) Pozyskiwanie funduszy unijnych.	1) Opanowanie rynku przez duże międzynarodowe koncerny. 2) Zmiana zasad finansowania instytutów badawczych. 3) Załamanie kadrowe (utrata kluczowych pracowników po ich przejściu na emeryturę). 4) Trudności w pozyskaniu młodych pracowników, którzy rozwiną działalność OTC w perspektywie kilku lat.

3. Komercjalizacja badań naukowych (od pomysłu do wdrożenia)

Najważniejszym elementem procesu: „od pomysłu do wdrożenia” jest ciągła i bieżąca współpraca nauki i przemysłu [3]. Może to dotyczyć przykładowo udostępnienia obiektu (np. bloku energetycznego) przez zakład do badań i testowania prototypu realizowanego przez jednostkę naukowo-badawczą. Oczywiście sprawą są bieżące konsultacje i robocze spotkania. Na rysunku 3 przedstawiono schemat postępowania podczas komercjalizacji wyników badań naukowych. Współpraca nauka-przemysł, choć z różną intensywnością, powinna mieć zatem miejsce w każdym etapie prac.



Rys. 3. Schemat postępowania podczas komercjalizacji wyników badań naukowych

Źródło: opracowanie własne.

Bez rozeznania rynku, czyli posiadania wiedzy na temat realnych potrzeb przedsiębiorstw, a w przypadku Instytutu – branży energetycznej, nie byłaby możliwa działalność badawcza. Bardzo istotna jest więc ciągła „obecność” naukowców w elektrowniach i poznawanie bieżących problemów występujących w procesie produkcyjnym/wytwórczym. Z drugiej strony istotne jest również, aby umieć przekonać potencjalnych inwestorów do podejmowania wyzwań, związanych z wdrażaniem innowacyjnych rozwiązań. Zespół badawczy musi być niezwykle elastyczny, aby sprostać tym zadaniom.

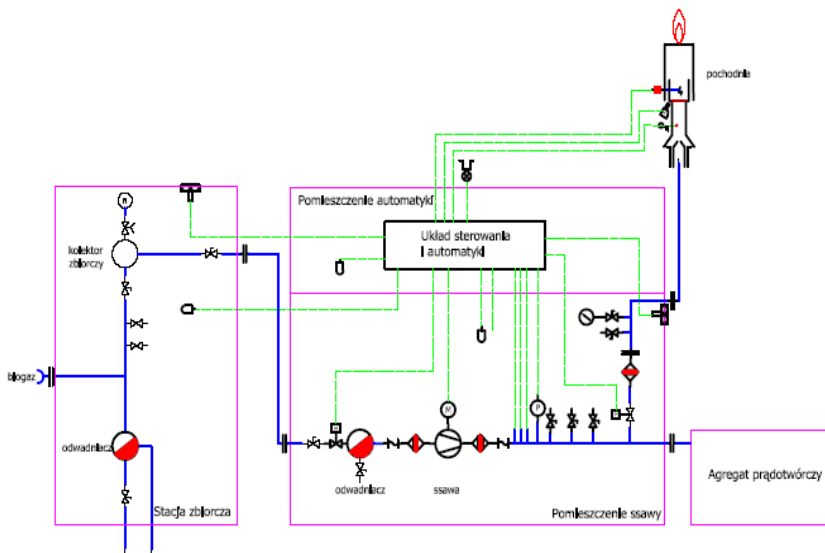
Niezwykle istotne jest zatem mądre i racjonalne wykorzystanie środków budżetowych przyznawanych jednostkom naukowym, przeznaczonych na działalność statutową jednostki badawczo-rozwojowej. Podczas wyboru tematów realizowanych w ramach działalności statutowej powinno brać się pod uwagę następujące kryteria:

- 1) Merytoryczna wartość zgłaszanego tematu (innowacyjność, nowatorski charakter, wartości poznawcze).
- 2) Związek z zapisaną w statucie jednostki lub opracowaną wewnętrznie tematyką prowadzenia prac badawczych.
- 3) Odniesienie do istniejącego stanu wiedzy dotyczącego tematu pracy,
- 4) Doświadczenie zakładu, laboratorium, instytutu oraz bezpośredniego kierownika pracy w dziedzinie, której tematyka statutowa dotyczy.
- 5) Utylitarny charakter pracy – możliwość wykorzystania wyników pracy do zastosowań praktycznych.
- 6) Możliwość poszerzenia działalności badawczej jednostki o nowe obszary badań,
- 7) Możliwość poszerzenia zakresu akredytacji laboratoriów badawczych jednostki.
- 8) Możliwość zdobycia doświadczenia, które wykorzystane będzie później podczas prac o charakterze komercyjnym.
- 9) Możliwość „skonsumowania” zdobytej wiedzy (publikacje, udział w konferencjach, promocja jednostki).
- 10) Możliwość wykorzystania badań jako podstawy do złożenia wniosków na grant, projektu celowego i rozwojowego („grant na grant”).
- 11) Możliwość wykorzystania badań w prowadzonych pracach doktorskich i habilitacyjnych (np. materiał służący do otwarcia przewodu doktorskiego).
- 12) Możliwość nawiązania współpracy z wiodącymi ośrodkami naukowymi w kraju i za granicą.
- 13) Możliwość prowadzenia wspólnych badań przez różne komórki organizacyjne (zakłady naukowo-badawcze, laboratoria) jednostki naukowej.
- 14) Możliwość poszerzenia i odnowienia bazy laboratoryjno-sprzętowej.
- 15) Kontynuacja tematyki statutowej z lat poprzednich w celu rozszerzenia zdobytej wiedzy.

4. Implementacje do energetyki innowacyjnych prac, będących wynikiem dociekań naukowych w Oddziale Techniki Ciepłej Instytutu Energetyki

Instalacje biogazowe

Aktywność IEn OTC w zakresie techniki biogazowej datuje się od lat 90. XX wieku i jest systematycznie rozszerzana o nowe obszary wiedzy. Przykładem takich działań może być np. instalacja do utylizacji biogazu ze składowisk odpadów komunalnych [4]. Metan powstający na tych składowiskach, wydostając się do atmosfery zagraża życiu ludzi, zwierząt i roślin, może być powodem pożarów, a także wpływa na efekt cieplarniany. Na rys. 4 przedstawiono schemat technologiczny stacji zbiorczej, stacji ssąco-tłoczącej i pochodni, zainstalowanych na jednym ze składowisk odpadów. Wszystkie te elementy zostały opracowane i wykonane w OTC IEn.



Rys. 4. Schemat technologiczny wykorzystania (lub utylizacji) biogazu z wysypiska odpadów

Źródło: technologia opracowana przez IEN OTC „ITC” w Łodzi.

Zadaniem stacji ssąco-tłoczącej biogazu jest:

- wytworzenie w studniach gazowych podciśnienia pozwalającego na pobranie wytworzonego biogazu z rejonu działania studni,
- transport biogazu od studni do ssawo-dmuchawy,
- wytworzenie wymaganego ciśnienia biogazu w rurociągu tłocznym umożliwiającącego jego transport i zasilanie pochodni, kotła lub agregatów prądotwórczych.

Na fotografiach (rys. 5 i 6) przedstawiono stację ssąco-tłoczącą i elementy jej wyposażenia.



Rys. 5. Kontener stacji ssąco-tłoczącej

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 6. Ssawa do biogazu

Źródło: opracowanie własne.

Zadaniem stacji zbiorczej biogazu jest:

- odwodnienie rurociągów przesyłowych biogazu ze studni do stacji,
- połączenie wielu strumieni biogazu zasysanych ze studni gazowych w jeden wspólny strumień,
- zapewnienie możliwości pomiaru własności biogazu oraz regulacji strumienia biogazu dla każdej oddzielnie studni.

Natomiast przeznaczeniem pochodni jest możliwie całkowite utlenienie termiczne metanu zawartego w biogazie w warunkach, w których emisja zanieczyszczeń do atmosfery z tego procesu będzie jak najniższa. Zaprojektowana i wykonana w OTC IEn pochodnia zaprezentowana jest na rys. 7.



Rys. 7. Pochodnia do spalania biogazu

Źródło: opracowanie własne.

Powstający na wysypisku biogaz w 30-45% można wykorzystać do produkcji energii elektrycznej oraz ciepła. Aby biogaz mógł być wykorzystany do celów energetycznych, musi być odpowiednio przygotowany. Jednym z warunków wykorzystania biogazu jest jego wstępne osuszenie. Na rysunku 8 przedstawiono widok, opracowanej w OTC IEn, instalacji do osuszania biogazu.



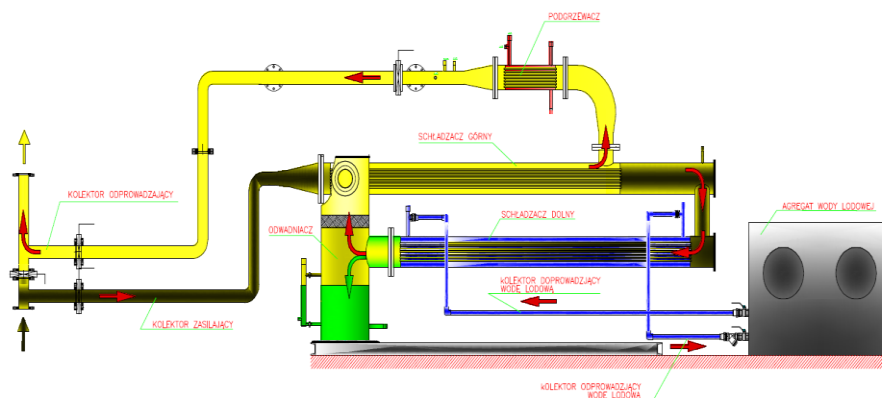
Rys. 8. Prototypowa instalacja osuszania biogazu zamontowana w elektrowni biogazowej

Źródło: opracowanie własne.

Przedstawiona instalacja osuszania biogazu została zaprojektowana na maksymalną wydajność około 500 m³/h. W jej skład wchodzi następujące zespoły [4]:

- wymienniki rurowe schładzające biogaz, w tym wymiennik chłodzenia biogazu (biogaz/woda lodowa) oraz rekuperator chłodu (biogaz zimny/biogaz ciepły),
- wymiennik podgrzewacza odwodnionego biogazu (biogaz/gorący płyn z układu chłodzenia silnika),
- kolektor, doprowadzający biogaz surowy z wysypiska,
- kolektor, odprowadzający biogaz osuszony z instalacji do silnika,
- instalacja wody lodowej: agregat wody lodowej wraz z instalacją hydrauliczną (obiegu wody lodowej),
- instalacja hydrauliczna obiegu czynnika grzewczego,
- odwadniacz kondensatu, składający się z filtra demisterowego, automatycznego układu usuwania kondensatu oraz układu chroniącego przed zamrażaniem kondensatu.

Ponadto instalacja jest wyposażona w mierniki ciśnienia, temperatury oraz wskaźnik wilgotności biogazu, a także posiada króćce, umożliwiające podłączenie instalacji filtrów na węgiel aktywny np. do usuwania związków krzemu i/lub siarki. Działanie instalacji zilustrowano schematycznie na rys. 9.



Rys. 9. Schemat instalacji osuszania biogazu

Źródło: opracowanie własne.

Wilgotny biogaz o temperaturze 25°C-35°C (zależnie od pory roku) jest tłoczony do kolektora zasilającego i dalej do rurek wymiennika I stopnia (rekuperatora), gdzie następuje jego częściowe schłodzenie przez biogaz odwodniony o niskiej temperaturze, tj. około 6°C-8°C, który opuszcza instalację. Następnie wilgotny biogaz płynie rurkami wymiennika II, stopnia chłodzonego wodą lodową o temperaturze około 2-4°C, i poprzez odwadniacz oraz przestrzeń pomiędzy rurkami rekuperatora (gdzie się ogrzewa) płynie do podgrzewacza i dalej do silnika. Z biogazu, podczas jego schładzania się w rurkach wymienników, wykrapla się na ściankach wilgoć i w postaci kondensatu sływa do odwadniacza,

skąd poprzez otwierany automatycznie zawór elektromagnetyczny jest okresowo usuwana na zewnątrz. Biogaz w odwadniaczu płynie poprzez filtr demisterowy (jest to „placek” o grubości ok. 100 mm utworzony z wielu warstw tkaniny wykonanej z cienkich włókien polipropylenowych o mikroporowatej strukturze), który zatrzymuje aerozolowe cząsteczki wilgoci i zanieczyszczeń stałych, unoszonych przez strumień biogazu. Cząsteczki te łączą się w większe i pod własnym ciężarem spływają w dół odwadniacza. Natomiast biogaz, opuszczając odwadniacz, ma nadal wilgotność względną niemal 100%. Płynąc zatem dalej przez rekuperator, a następnie przez podgrzewacz, gdzie ogrzewany jest do temperatury, przy której jego wilgotność względna, spada do żądanej lub też zadanej wartości, np. do 10% lub do 30%. Zaletą takiego rozwiązania (z rekuperacją chłodu) jest bardzo niskie zużycie energii, a tym samym zmniejszenie kosztów eksploatacyjnych osuszania biogazu.

Odwodniony biogaz, o niskiej wilgotności względnej, w przypadku zanieczyszczenia np. lotnymi związkami krzemu, które są bardzo niebezpieczne dla pracy silnika turbogeneratorskiego, może być skierowany dodatkowo do kolejnego stopnia oczyszczania (na węglu aktywnym) lub bezpośrednio do silnika.

Przedstawione powyżej rozwiązania są jedynie przykładowymi instalacjami prototypowymi, wykonywanymi w IEn OTC w szeregu prac związanych z dziedziną biogazową. Oprócz nich istnieje wiele innych problemów związanych z tą tematyką, a istotnych z punktu widzenia naukowego, jak:

- wykorzystania ciepła odpadowego z elektrowni biogazowej do oczyszczania odcieków ze składowiska,
- wykorzystania ciepła odpadowego w biogazowni rolniczej do obróbki pofermentu w celu zmniejszenia kosztów jego magazynowania lub rozszerzenia możliwości jego zagospodarowania jako wartościowego nawozu.

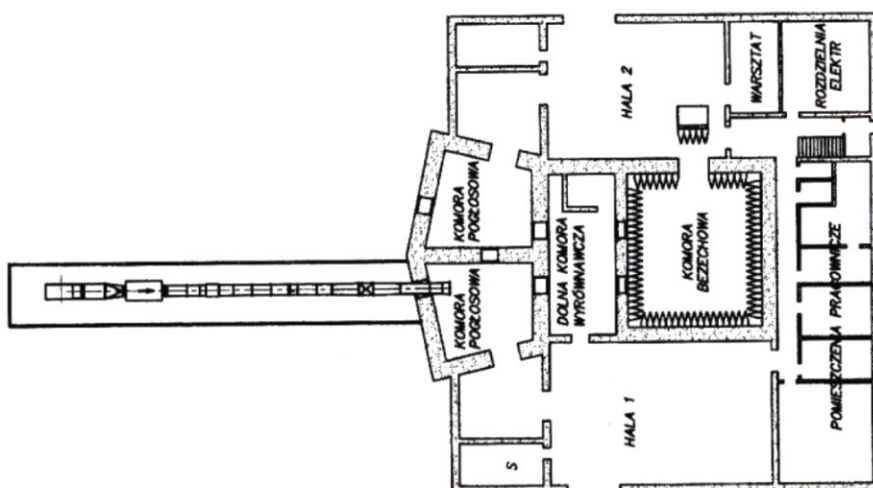
Ochrona przed hałasem

Dziedziną wymagającą szerokiej uwagi, również na polu naukowym, jest ochrona środowiska. Oddział Techniki Ciepłej „ITC” Instytutu Energetyki realizuje wiele prac w tym temacie [2]. Na szczególną uwagę zasługują prace związane z badaniami akustycznymi. We współczesnym świecie hałas stanowi czynnik środowiska, którego wpływ jest niezwykle istotny z punktu widzenia zdrowia i komfortu życia ludzi. Prace badawcze realizowane w IEn OTC z zakresu ochrony przed hałasem dotyczą dwóch głównych obszarów:

- badanie emisji hałasu przez wybrane urządzenia, głównie pracujące w energetyce – wentylatory, transformatory, sprężarki, turbogeneratory, procesy transportowe,
- tłumienie hałasu – obejmujące opracowywanie metod i urządzeń, których celem jest ograniczenie jego poziomu.

Dzięki unikalnej w skali kraju infrastrukturze możliwe jest prowadzenie licznych prac z omawianej dziedziny. Pomieszczenia badawcze Laboratorium Badań Akustycznych (LBA) zlokalizowane są w wydzielonym budynku (rys. 10). Najważniejszymi elementami LBA są:

- komora bezechowa (rys. 11) o objętości 350 m^3 , w której realizowane są badania w warunkach swobodnego pola akustycznego. Wszystkie płaszczyzny komory (łącznie z sufitem i podłogą) wyłożone są klinami pochłaniającymi o długości 1,2 m, a nad podłogą rozciągnięta jest elastyczna siatka. W komorze zainstalowano podest, na którym możliwe jest ustawienie badanego obiektu. Komora posiada dwa otwory, umożliwiające budowanie tzw. stoisk przepływowych z możliwą regulacją strumienia objętości przepływającego powietrza;
- dwie bliźniacze komory pogłosowe (rys. 11) – każda o kubaturze 237 m^3 , łączące się z komorą bezechową przestrzenią dylatacyjną. W komorach tych występuje pole rozproszone o równomiernym rozkładzie energii akustycznej w całej przestrzeni, ponieważ wszystkie płaszczyzny komór pogłosowych są nierównoległe i charakteryzują się średnim współczynnikiem odbicia α wynoszącym 0,01.



Rys. 10. Schemat pomieszczeń badawczych Laboratorium Badań Akustycznych

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 11. Komora bezechowa (lewa strona rysunku) i pogłosowa (prawa strona rysunku)

Źródło: opracowanie własne.

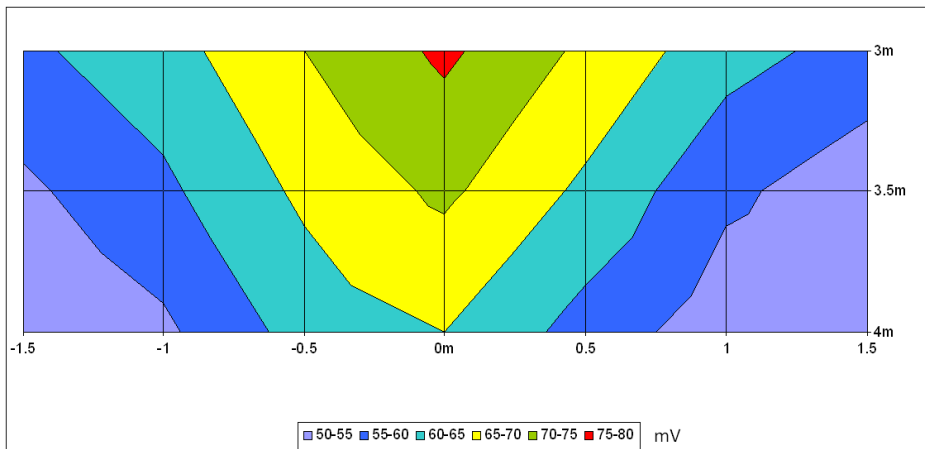
W zakresie projektowania i wykonania urządzeń pasywnych do tłumienia hałasu, na szczególną uwagę zasługują działania związane z zastosowaniem biernych elementów akustycznych typu: kabiny akustyczne, obudowy akustyczne turbozespołów, osłony akustyczne silników, wentylatorów i urządzeń technologicznych, ekrany akustyczne, tłumiki hałasu wydmuchu pary itp. Przykładem osłon akustycznych może być przedstawiona na rysunku 13 zaprojektowana i wykonana w OTC IEn osłona akustyczna wzbudnicy generatora.



Rys. 12. Osłona akustyczna wzbudnicy generatora

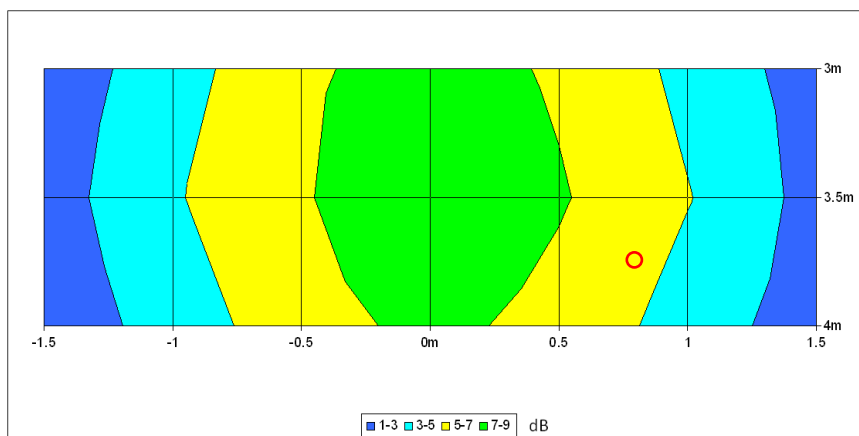
Źródło: opracowanie własne.

Innym obszarem aktywnie rozwijającym się w kwestii hałasu są metody związane z aktywnym tłumieniem hałasu (ATH), czyli kompensowaniem hałasu sygnałem generowanym przez dodatkowe źródła [9]. Skuteczności metody ATH dowodzą mapy ciśnień akustycznych wytwarzanych przez transformator (rys. 14).



Rys. 13. Rozkład napięć odpowiadających ciśnieniom akustycznym wytwarzanym przez transformator – bez tłumienia hałasu

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Jaworski R, Szuman P., *Opracowanie koncepcji aktywnego tłumienia hałasu (ATH) oraz budowa urządzenia do ATH, badania modelu i rzeczywistego źródła hałasu, Elektronika, nr 1/2016, ss. 57-61.*



Rys. 14. Wykres rozkładu tłumienia hałasu wytwarzanego przez transformator
Źródło: opracowanie własne na podstawie: Jaworski R., Szuman P., Opracowanie koncepcji aktywnego tłumienia hałasu (ATH) oraz budowa urządzenia do ATH, badania modelu i rzeczywistego źródła hałasu, Elektronika, nr 1/2016, ss. 57-61.

Podczas omawiania zagadnień związanych z komercjalizacją wyników badań naukowych, na szczególną uwagę zasługują konstrukcje tłumików wydmuchu pary (rys. 15), które zostały zaprojektowane i wykonane w jednostce badawczej (Instytucie Energetyki), a następnie wdrożone w wielu krajowych zakładach przemysłowych i elektrowniach. Ich cechą wspólną jest zwarta i samonośna konstrukcja oraz mała masa. Tłumiki charakteryzują się wysoką skutecznością akustyczną (od 25 do 50 dB), dodatkowo pewnością ruchową i długą żywotnością (średni czas eksploatacji tłumika wynosi 10 lat). Znajdują one zastosowanie w następujących obszarach instalacji zakładowej:

- za zaworami bezpieczeństwa,
- za zaworami rozruchowymi,
- za zaworami regulacyjnymi,
- za zaworami impulsowymi,
- za stacjami redukcyjno-schładzającymi,
- na wylocie ze smoczków rozruchowych,
- w odgazowywaczach,
- do przedmuchiwania kotłów,
- do przedmuchiwania instalacji,
- w rozprężaczach,
- w syfonach,
- w akumulatorach ciepła,
- podczas zrzutów pary z turbin,
- podczas zrzutów z turbopomp,
- podczas zrzutów pary z autoklawów,
- w zabezpieczeniach skraplaczy.



Rys. 15. Tłumik hałasu wydmuchu pary na hali produkcyjnej OTC IEN
Źródło opracowanie własne.

Podczas projektowania tłumików wydmuchu pary pod uwagę należy wziąć: zakres strumienia masy przepływającej przez tłumik, zakres ciśnień roboczych, zakres temperatur pary oraz masę tłumika. Istotne są też parametry gabarytowe (średnica \times długość) oraz miejsca przyłączenia tłumika do instalacji zakładowej. Jednak najistotniejszym parametrem jest redukcja hałasu, która mieści się w zakresie od 25 do 50 dB. Zaprojektowane i wykonane w IEN OTC w Łodzi tłumiki są eksploatowane obecnie na kilkudziesięciu typach kotłów i instalacji. Wśród nich można wymienić: ZEC S.A. Łódź, El. Dolna Odra, El. Opole, EC Gdynia, EC Kraków, EC Zielona Góra, EC Czechnica, PEC Ustronna, PEC Grudziądz, PETROCHEMIA Gdańsk, PETROCHEMIA Płock, ZPT Radom, ERG Pustków, Z.Ch. POLICE i wiele innych.

Innym rozwiązaniem wartym uwagi są tłumiki do instalacji poremontowego przedmuchiwania kotłów energetycznych. Tego typu „przewoźne” urządzenia są stosowane zazwyczaj przez firmy remontujące i modernizujące kotły energetyczne. Tłumiki tego typu są proste w swej konstrukcji i przede wszystkim lekkie, a ich niskie koszty wytworzenia i eksploatacji pozwalają na powszechne ich stosowanie w instalacjach już pracujących, jak i nowo projektowanych w nowoczesnych kotłach energetycznych. Tłumiki wydmuchu pary stanowią doskonały przykład komercjalizacji wyników badań naukowych poprzez transfer wiedzy do zastosowań praktycznych.

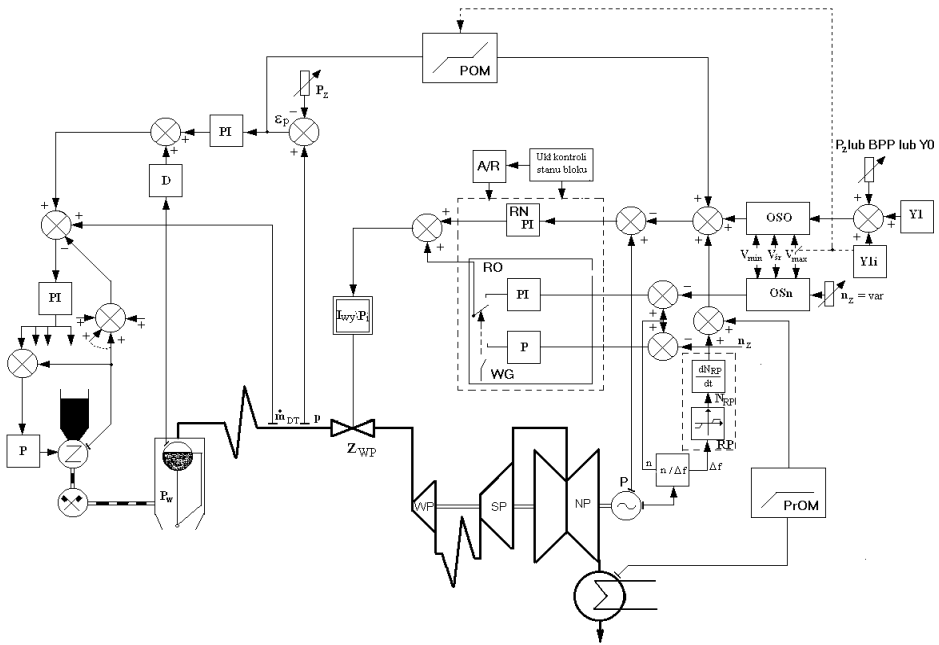
Elektrohydrauliczna regulacja turbin

Innowacyjnym rozwiązaniem zaprojektowanym i wykonanym w Oddziale Techniki Ciepłej „ITC” Instytutu Energetyki w Łodzi jest mikroprocesorowy, elektrohydrauliczny regulator mocy (MREH), który wdrożony został w jednej z krajowych elektrowni [5]. Elektrownia ta bierze udział w regulacji pierwotnej, wtórnej i wtórnej polskiego systemu elektroenergetycznego [6]. Niepoprawna praca elektrowni rzutuje na jakość pracy całego systemu elektroenergetycznego, co pociąga za sobą duże straty ekonomiczne. Niezawodność pracy całego bloku, w tym także układów regulacji, nabiera szczególnego znaczenia w sytuacji współpracy polskiego systemu elektroenergetycznego z systemem europejskim.

Rosnące wymagania dotyczące zapewnienia wysokiej jakości i zmniejszenia kosztów wytwarzania energii elektrycznej doprowadziły do konieczności modernizacji układów regulacji, decydujących o poprawnej pracy Jednostek Wytwórczych Centralnie Dysponowanych (JWCD). Elektrohydrauliczny Regulator Mocy (MREH) służy do utrzymywania na zadanym poziomie mocy wytwarzanej w turbinach kondensacyjnych [7]. Regulacja mocy dokonywana jest przez oddziaływanie układu regulacji na zawory regulacyjne części wysokoprężnej (WP) parowej turbiny kondensacyjnej. W sterowniku wypracowywany jest sygnał nastawczy, który przez przetwornik elektrohydrauliczny steruje pracą zaworów. Najważniejsze funkcje regulatora mocy parowej turbiny kondensacyjnej to [7]:

- regulacja prędkości obrotowej (RO):
 - nabór prędkości obrotowej przed synchronizacją,
 - ułatwienie synchronizacji,
 - regulacja prędkości obrotowej przy pracy na potrzeby własne i podczas pracy wyspowej,
- regulacja obciążenia mocą czynną w układzie z wiodącą turbiną,
- regulacja pierwotna (RP) – utrzymywanie odpowiedniej częstotliwości w systemie,
- regulacja mocy w systemie ARCM (regulacja wtórna),
- regulacja mocy w systemie BPP (Bieżący Punkt Pracy),
- udostępnienie danych do systemu SMPP – JWCD (System Monitorowania Parametrów Pracy Jednostek Wytwórczych Centralnie Sterowanych),
- parowy Ogranicznik Mocy (POM-zabezpieczenie),
- próżniowy Ogranicznik Mocy (PrOM- zabezpieczenie)
- ręczne sterowanie położeniem zaworów turbiny (stacyjka sterowania ręcznego A/R – „bezuderzeniowe” przejścia z trybów pracy $A \rightarrow R$ i $R \rightarrow A$,
- układy do sprawdzania zabezpieczeń turbiny,
- układ diagnostyczny dla przetwornika elektrohydraulicznego i jego urządzeń pomocniczych (filtry i pompy olejowe),
- diagnostyka układu regulacji w trybie On-Line i Off-Line,
- układ koordynacji obciążenia: kocioł-turbina,
- możliwości komunikacyjne z centralnymi systemami wizualizacji.

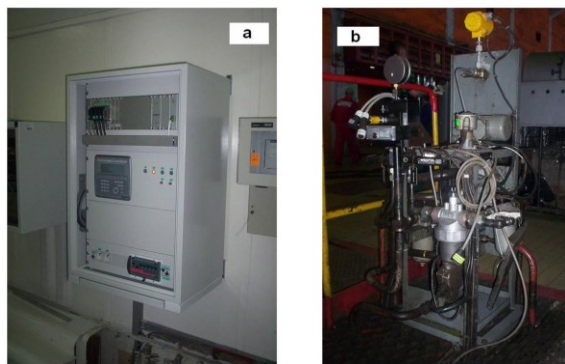
Schemat regulatora jest przedstawiony na rysunku 16.



Rys. 16. Schemat ideowy układu regulacji turbiny

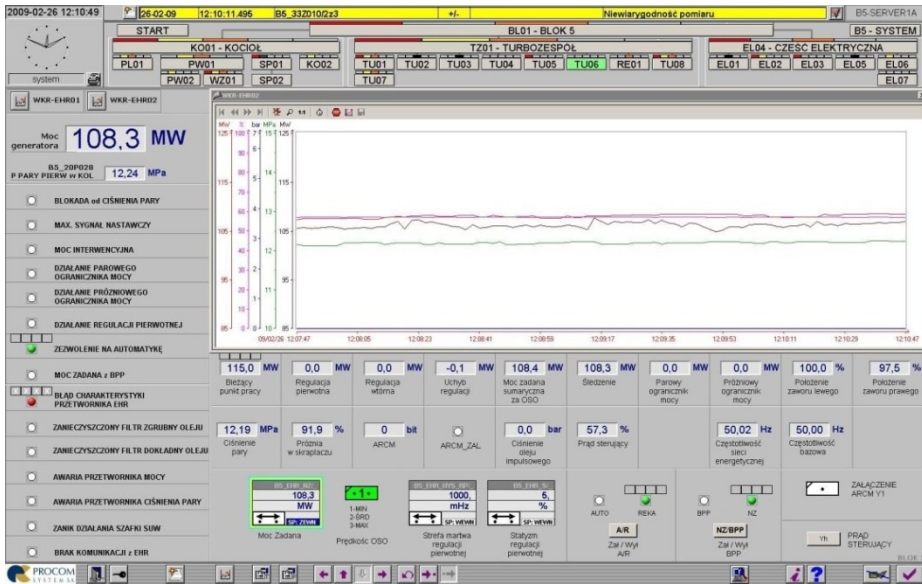
Źródło: opracowanie własne.

Widok regulatora zainstalowanego w elektrowni przedstawiono na rysunku 17, zaś schemat synoptyczny pulpitu sterowniczego regulatora na rysunku 18. Doświadczenie dowodzi jednak, że wiele etapów prac projektowych warto poprzedzić komputerową symulacją pracy projektowanych urządzeń [8].



Rys. 17. Elektrohydrauliczny regulator mocy:
a – część centralna, b – przetwornik elektrohydrauliczny

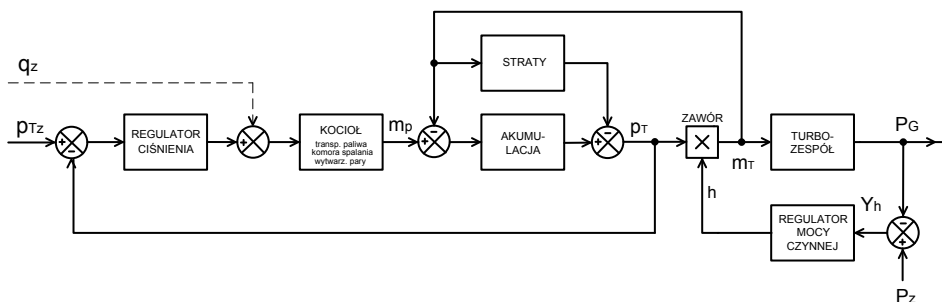
Źródło: opracowanie własne.



Rys. 18. Schemat synoptyczny regulatora
Źródło: opracowanie własne.

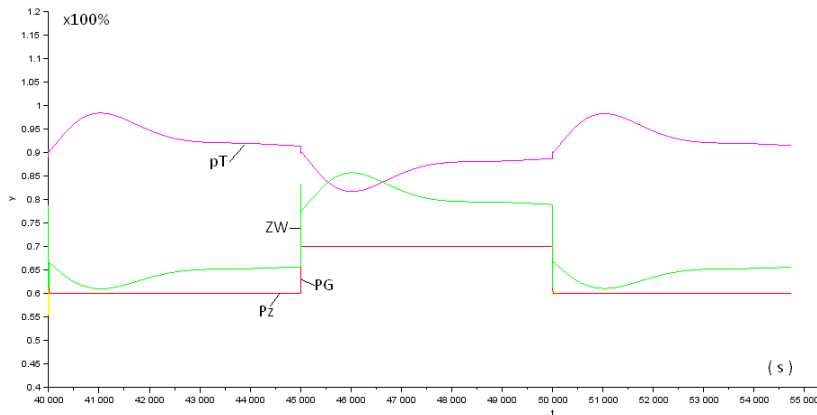
Pozwala to na optymalizację konstrukcji i uniknięcie błędów, które na etapie wykonywania urządzenia, a także układu regulacji mogłyby doprowadzić do znacznego podniesienia kosztów prototypów, które nie mogłyby być zastosowane, ze względu na niespełnienie wymagań konstruktora czy technologa. Dzięki metodom symulacyjnym można również poprawić pracę już istniejących układów, poprzez suboptymalny dobór parametrów układów regulacji, określonych dzięki badaniom symulacyjnym. Ma to szczególne znaczenie w sytuacji, gdy ze względów ruchowych badania rzeczywistego obiektu są trudne lub niemożliwe do wykonania. Przykładowo brak jest możliwości przeprowadzenia wielokrotnych eksperymentów w celu np. doboru parametrów regulacji lub remontu obiektu.

Rysunek 19 przedstawia natomiast model układu sterowania mocą bloku poprzez oddziaływanie na turbinę (por. rys. 16).



Rys. 19. Model układu sterowania mocą bloku poprzez oddziaływanie na turbinę
Źródło: opracowanie własne.

W układzie tym moc bloku regulowana jest otwarciem zaworów regulacyjnych turbiny, natomiast kocioł posiada regulację ciśnienia pary, oddziałującą na strumień paliwa. Ze względu na dużą bezwładność kotła układ nie nadąża za zmianami mocy turbiny. Powstający deficyt mocy kotła pokrywany jest dzięki jego zdolnościom akumulacyjnym, co determinuje przejściowe zmiany ciśnienia. Można je ograniczyć, wprowadzając pomocnicze sygnały sprzęgające, których zadaniem jest informowanie kotła o zamierzonej zmianie mocy. Sygnały te wprowadza się jako sygnał q_z do węzła sumacyjnego za regulatorem ciśnienia. Na rysunku 20 przedstawiono przykładowe wyniki uzyskane podczas symulacji pracy bloku.



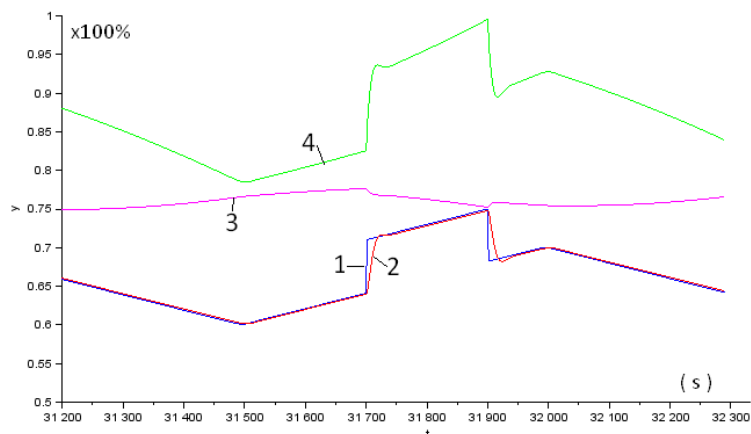
Rys. 20. Odpowiedź modelu bloku na zmianę wartości zadanej P_z mocy czynnej z wartości $0,6 P_n$ do wartości $0,7 P_n$ po optymalizacji nastaw:

P_z – wartość zadana mocy czynnej (kolor niebieski, niewidoczny, pokrywa się z czerwonym), P_G – wartość rzeczywista mocy czynnej (kolor czerwony), Z_W – stopień otwarcia zaworów parowych wysokoprężnych WP, p_T – ciśnienie pary przed zaworami WP

Źródło: opracowanie własne.

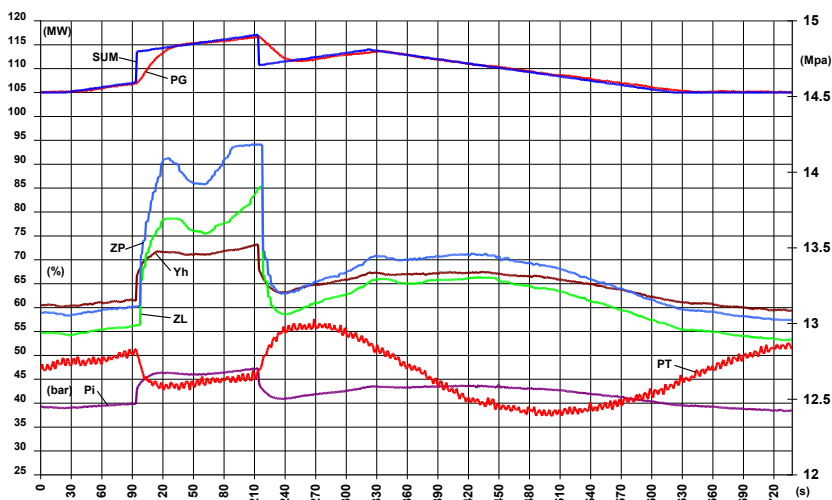
Z otrzymanych przebiegów przedstawionych na rys. 20 wynika, że uzyskano bardzo szybką zmianę mocy czynnej generowanej P_G bez zauważalnych przeregulowań, przy jednoczesnej zmianie ciśnienia pary p o około 9% w pełnej skali. Jak wspomniano wyżej, turbiny biorące udział w regulacji systemu elektroenergetycznego muszą spełniać bardzo „ostre” wymagania dotyczące jakości regulacji, zarówno w zakresie dynamiki, jak i statyki. Co pewien okres przeprowadzane są w elektrowniach badania bloków, wykonywane na zlecenie PSE przez niezależną firmę, na podstawie których ocenia się pracę turbozespołów i ich przydatność do regulacji systemu – zgodnie z programem określonym przez PSE w Instrukcji Ruchu i Eksploatacji Sieci Przesyłowej (IRiESP). Od wyniku tej oceny zależy to, czy „usługi systemowe” zostaną od elektrowni kupione przez PSE. Innymi słowy pozytywny „odbiór” pracy bloku przekłada się bezpośrednio na dodatkowy przychód jednostki wytwórczej.

Na rysunku 21 przedstawiono wynik badań symulacyjnych takich prób odbiorczych, a na rys. 22 rzeczywistą rejestrację odpowiednich przebiegów podczas badań obiektowych.



Rys. 21. Odpowiedź modelu bloku na zmianę wartości zadanej mocy czynnej P_z wywołaną zmianą składowej Y_1 z wartości $0,6 P_n$ do wartości $0,7 P_n$ oraz zmianą składowej regulacji pierwotnej $P(f)$ z wartości $0,63 P_n$ do wartości $0,7 P_n$
 1 – moc zadana PZ, 2 – wartość rzeczywista mocy czynnej, 3 – ciśnienie pary przed zaworami WP, 4 – stopień otwarcia zaworów WP

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 22. Współdziałanie regulacji wtórnej i pierwotnej w zakresie mocy 105-118 MW
 PG [MW] – moc generatora, Pi [bar] – ciśnienie oleju impulsowego regulatora,
 Y_h [%] – sygnał nastawczy regulatora, SUM [MW] – sumaryczna moc zadana (za Ogranicznikiem Szybkości Obciążania OSO), PT [MPa] ciśnienie pary świeżej z kotła,
 ZL [%] – położenie zaworu WP lewego, ZP [%] – położenie zaworu WP prawego

Źródło: opracowanie własne.

Przedstawione przebiegi dowodzą poprawności działania układu regulacji. W czasie zmian mocy wywołanych sygnałem Y_1 (regulacja wtórna) załączona została regulacja pierwotna (skok w górę o 6 MW). Warunki dynamiczne przejmowania regulacji pierwotnej zostały spełnione, ponieważ czas osiągnięcia stanu ustalonego był krótszy od wymaganej wartości 30 s. Regulacja wtórna działała poprawnie – nadążanie mocy rzeczywistej za mocą zadaną. W przedstawionych na rysunkach 22 i 23 przebiegach widać duże podobieństwo wyników otrzymanych w drodze symulacji pracy modeli z wynikami badań rzeczywistych obiektów. Świadczy to o dobrym odwzorowaniu rzeczywistych obiektów przez ich modele. Symulacja pracy układu może dać wskazówki dotyczące kierunku zmian nastaw w rzeczywistym regulatorze mocy, tak by uzyskać skrócenie czasu przebiegu przejściowego w odpowiedzi.

Warto podkreślić, że przedstawiony powyżej regulator MREH to efekt bardzo wielu lat działań naukowych w dziedzinie regulacji elektrohydraulicznej. W „ITC” skonstruowano już kilka generacji takich regulatorów. Oprócz klasycznych funkcji wprowadzono w nich rozwiązania będące efektem wielu lat pracy naukowej eksperymentalnej i teoretycznej. Dzięki temu udało się wdrożyć układ, który stabilizuje ciśnienie pary świeżej z kotła podczas zmian mocy wywołanych przesterowaniem zaworów regulacyjnych. W sposób istotny ułatwia to prowadzenie dużego bloku energetycznego i przynosi elektrowni wymierne korzyści, co przekłada się na korzyści finansowe. Trzeba też podkreślić, że efekt tej pracy nie byłby możliwy, gdyby nie współpraca naukowców z „ITC” z pracownikami elektrowni. Dzięki ich merytorycznemu zaangażowaniu można było zrealizować liczne naukowe pomysły i weryfikować przyjęte rozwiązania. Nieoceniona jest w takim przypadku wiedza, jaką można zdobyć od praktyków-energetyków. Wdrożenie elektrohydraulicznych regulatorów mocy na rzeczywistym obiekcie – elektrowni, zaowocowało:

- poszerzeniem wiedzy z omawianej dziedziny – przeprowadzenie różnych badań symulacyjnych, stworzenie modeli matematycznych obiektów, analiza zjawisk fizycznych, występujących podczas procesów cieplnych w kotle i turbinie, wykonanie licznych badań eksperymentalnych w warunkach laboratoryjnych i obiektowych itp.,
- poprawą warunków pracy i zwiększeniem pewności ruchu bloków energetycznych, biorących udział w regulacji systemu elektroenergetycznego,
- efektami ekonomicznymi dla elektrowni; były to opłaty z tytułu dostaw usług systemowych, natomiast dla Instytutu – sprzedaż licencji na opatentowane rozwiązania,
- nagrodami i wyróżnieniami, jak przyznanie Instytutowi w 2010 roku tytułu Lidera Innowacji Województwa Łódzkiego w konkursie ogłoszonym przez Marszałka Województwa Łódzkiego lub nagroda „Klucz Sukcesu”.

5. Podsumowanie

Przedstawione w artykule zagadnienia mają charakter użyteczny. Rozwiązania omówione powyżej zostały wdrożone w energetyce, przynoszą wymierne profity inwestorom i są dobrym przykładem komercjalizacji wiedzy inżynierskiej do praktyki zawodowej. Dzięki wiedzy i doświadczeniu naukowców z „ITC” zaproponowano przemysłowi nowatorskie, innowacyjne rozwiązania, które przyczyniają się do zwiększenia pewności ruchu zakładu oraz poprawiają warunki eksploatacji urządzeń pracujących głównie w energetyce. Sukces rozwiązania osiągnięty został dzięki ścisłej współpracy jednostki badawczej i instytucji wdrażających (np. elektrowni). Podczas opracowania założeń do projektu urządzeń, bardzo istotna była elastyczność zespołu badawczego, dzięki czemu jednostka badawcza mogła podjąć się rozwiązania problemów, z którymi energetyka spotyka się na co dzień. Oprócz użytecznego znaczenia, prace miały charakter poznawczy i naukowy. Zaowocowały zgłoszeniami patentowymi, publikacjami naukowymi, referatami wygłaszanymi na konferencjach polskich i międzynarodowych (również branżowych), a nawet zostały obronione dwie prace doktorskie, wykorzystujące wyniki badań. Należy podkreślić, że przy projektowaniu, produkcji i wdrażaniu omawianych przykładowych prac badawczych schemat postępowania przedstawiony na rys. 3 został w pełni zrealizowany, co przyczyniło się do końcowych sukcesów. Dowodem tych sukcesów są liczne nagrody i wyróżnienia, ale przede wszystkim satysfakcja Klientów i chęć ich dalszej współpracy z Instytutem. Przedstawione rozwiązania stanowią więc doskonały przykład komercjalizacji wyników badań naukowych i dobrej współpracy Energetyki ze swoim zapleczem naukowym.

Literatura

- [1] Karczewski J., *Aby innowacje pobudzały rozwój gospodarki*, Energetyka Ciepła i Zawodowa, nr 9 (2011), ss. 12-15.
- [2] 60 lat Instytutu Techniki Ciepłej w Łodzi. Wydawnictwo okolicznościowe ITC, 2008.
- [3] Karczewski J., *Transfer wyników badań naukowych do zastosowań praktycznych na przykładzie wybranych, innowacyjnych rozwiązań wdrożonych w energetyce*, Acta Innovations, nr 12-lipiec 2014, ss. 62-70 – wydanie internetowe: http://proakademia.eu/gfx/proakademia/files/acta-innovations/wydania/nr_12.pdf
- [4] Karczewski J., Pawlak M., Pryczek W., Stanisławczyk P., *Uzdatnianie biogazu dla elektrowni biogazowej zainstalowanej na wysypisku odpadów komunalnych*, Ciepłe Maszyny Przepływowe – Turbomachinery, nr 143/2013, ss. 97-104.
- [5] Karczewski J., Pawlak M., „New structure of governor electrohydraulic power with meets the requirements of the implemented LFC-System, Acta Energetica 1/18, 2014, ss. 126-135.
- [6] Pawlik M., Strzelczyk F., *Elektrownie*, WNT, Warszawa 2009.
- [7] Karczewski J., Szuman P., *Praca bloku energetycznego biorącego udział w regulacji systemu elektroenergetycznego – badania symulacyjne i obiektowe*, Prace Instytutu Energetyki 1/2017 (dodatek do Energetyki, nr 2/2017), ss. 89-95.

- [8] Karczewski J, Szuman P., *Symulacja pracy różnych konfiguracji układów regulacji bloków energetycznych*, Elektronika nr 12/2015, ss. 28-33.
- [9] Jaworski R, Szuman P., *Opracowanie koncepcji aktywnego tłumienia hałasu (ATH) oraz budowa urządzenia do ATH, badania modelu i rzeczywistego źródła hałasu*, Elektronika, nr 1/2016, ss. 57-61.

Streszczenie

W artykule przedstawiono doświadczenia Oddziału Techniki Ciepłej „ITC” w Łodzi Instytutu Energetyki we wdrażaniu innowacyjnych rozwiązań z dziedziny energetyki. Opisano proces komercjalizacji wyników badań naukowych. Podano przykłady wdrożonych rozwiązań z różnych dziedzin merytorycznej działalności OTC IEn (instalacje biogazowe, osłony akustyczne, tłumiki hałasu, elektrohydrauliczne regulatory turbin). Przedstawiono poszczególne etapy transferu wiedzy do gospodarki. Podano przykłady korzyści, jakie przyniosło wdrożenie urządzeń i instalacji, stanowiące przykład dobrych praktyk w obszarze współpracy przemysłu z jego zapleczem naukowo-badawczym.

Słowa kluczowe: energetyka, komercjalizacja, innowacje.

ISBN 978-83-7283-871-1