



Fundusze Europejskie
dla Wielkopolski

Dofinansowane przez
Unię Europejską



SAMORZĄD
WOJEWÓDZTWA
WIELKOPOLSKIEGO



Zarządzanie i inżynieria produkcji

**Skrypt dla studentów studiów
niestacjonarnych**

Rok II

redakcja

Robert Cieślak

Konin 2025

Tytuł

Zarządzanie i inżynieria produkcji
Skrypt dla studentów studiów niestacjonarnych
Rok II

Redakcja naukowa

Robert Cieślak

Autorzy

Tomasz Kapłon
Monika Muszyńska
Piotr Świta
Anna Waligórska-Kotfas

Projekt pn.
„Rozwój studiów o profilu praktycznym i form kształcenia ustawicznego
dostosowanych do potrzeb Wielkopolski Wschodniej”,
realizowany przez Akademię Nauk Stosowanych w Koninie,
jest współfinansowany przez Unię Europejską
ze środków Funduszu na rzecz Sprawiedliwej Transformacji
w ramach programu Fundusze Europejskie dla Wielkopolski 2021-2027



Fundusze Europejskie
dla Wielkopolski

Dofinansowane przez
Unię Europejską



SAMORZĄD
WOJEWÓDZTWA
WIELKOPOLSKIEGO



Wydawca

Akademia Nauk Stosowanych w Koninie
ul. Przyjaźni 1, 62-510 Konin



Spis treści

ZARZĄDZANIE ŚRODOWISKOWE I EKOLOGIA (Monika Muszyńska).....	5
Wstęp.....	5
1. Pojęcia zarządzania i gospodarowania środowiskiem	10
2. Zarządzanie środowiskowe - system organizacyjny i praktyka	12
3. Normy ISO 14001 – system zarządzania środowiskiem – wprowadzenie do systemu zarządzania środowiskowego	14
4. Program NATURA 2000	16
5. System ekzarządzania i audytu (EMAS) – metodyka wdrażania.....	19
6. Ekologiczna ocena cyklu życia produktów (LCA) – technika zarządzania środowiskowego.....	23
7. Katastrofy ekologiczne o światowym i regionalnym znaczeniu	27
8. Gospodarka odpadami – technologie, regulacje i dobre praktyki	31
9. Regionalne aspekty działalności przedsiębiorstw w zakresie ochrony środowiska - studium przypadku	33
Bibliografia.....	36
PODSTAWY ELEKTROTECHNIKI I ELEKTRONIKI (Tomasz Kapłon).....	39
1. Prąd stały	39
2. Prąd przemienny.....	51
3. Obwody magnetyczne	60
4. Obwody trójfazowe	68
5. Transformator	71
6. Elektronika	73
Bibliografia.....	83
MATERIAŁOZNAWSTWO (Monika Muszyńska)	84
Wstęp.....	84
1. Budowa materiałów i ich wiązania chemiczne	87
2. Podstawowe grupy materiałów	91
3. Badania struktury materiałów	106
4. Przykłady zadań – badania mikroskopowe struktury materiałów	115
Bibliografia.....	122



PROGNOZOWANIE I SYMULACJE W PRZEDSIĘBIORSTWIE (Piotr Świta).....	124
Wstęp.....	124
1. Podstawowe pojęcia	126
2. Prognozowanie w zarządzaniu przedsiębiorstwem.....	137
3. Metody prognozowania.....	140
4. Symulacje	150
Bibliografia.....	154
TECHNOLOGY TRANSFER AND KNOWLEDGE MANAGEMENT (Anna Waligórska- Kotfas)	156
1. Theoretical Background: The Hierarchy of Knowledge	156
2. The Big Phenomenon of Big Data	159
3. Knowledge Management.....	166
4. Knowledge protection	174
5. Technology Transfer.....	175
Bibliography.....	182



Monika Muszyńska

ZARZĄDZANIE ŚRODOWISKOWE I EKOLOGIA

Wstęp

Zarządzanie środowiskiem to jedna z najmłodszych subdyscyplin w ramach nauk o zarządzaniu, której dynamiczny rozwój rozpoczął się w latach 90. XX wieku. Powstała ona jako kontynuacja i rozszerzenie wcześniejszych obszarów badań, takich jak ekonomika ochrony środowiska oraz ekonomika zasobów naturalnych. Fundamentem tej dziedziny stały się zarówno koncepcje ekonomiczne, jak i podejścia systemowe oraz narzędzia typowe dla nauki o zarządzaniu. Warto jednak zauważyć, że choć formalizacja tej dziedziny nastąpiła stosunkowo niedawno, to korzenie problematyki zarządzania środowiskowego sięgają znacznie dalej w przeszłość – do czasów, kiedy zaczęto dostrzegać skutki negatywnego oddziaływania działalności człowieka na otaczające środowisko.

Początkowe impulsy dla rozwoju tej dziedziny miały charakter praktyczny - konflikty związane z eksploatacją środowiska naturalnego były szczególnie widoczne w kontekście działalności przemysłowej. Przedsiębiorstwa, zwłaszcza te z sektora przemysłu ciężkiego, zużywały ogromne ilości surowców i energii, generując przy tym znaczne ilości zanieczyszczeń i odpadów. Już w latach 60. XX wieku zaczęto dostrzegać, że tego typu działalność ma nie tylko wpływ na środowisko, ale może również negatywnie oddziaływać na funkcjonowanie i wizerunek samych organizacji.

Na przełomie lat 70. i 80. ubiegłego wieku zaczęto opracowywać pierwsze narzędzia umożliwiające identyfikację, ocenę i kontrolę wpływu działalności gospodarczej, produktów i usług na środowisko. Równocześnie rosło społeczne i polityczne zainteresowanie tematyką środowiskową. Jednym z przełomowych momentów było wprowadzenie w krajach wysoko rozwiniętych - jak Stany Zjednoczone - procedur oceny oddziaływania na środowisko (ang. *Environmental Impact Assessment*, EIA), które początkowo dotyczyły wyłącznie konkretnych przedsięwzięć inwestycyjnych, a z czasem objęły również plany, strategie i programy. Wraz z rozwojem tego obszaru zmieniały się również zakresy zainteresowania i przedmioty zarządzania. Współcześnie zarządzanie środowiskiem można określić jako dojrzałą, choć nadal rozwijającą się dyscyplinę problemową nauk o zarządzaniu. Stanowi ona obszar badań



i praktyki, który integruje aspekty techniczne, ekonomiczne, społeczne i prawne, odnosząc się do sposobów zarządzania relacjami człowieka z otoczeniem przyrodniczym.

W odróżnieniu od wielu klasycznych dyscyplin naukowych, nauka o zarządzaniu nie dysponuje dużą liczbą uniwersalnych, niezmiennych praw. Zamiast tego opiera się na kontekstowym podejściu – uwzględniającym specyfikę regionów, branż oraz indywidualnych organizacji. W przypadku zarządzania środowiskiem konieczne jest podejście holistyczne i systemowe, umożliwiające analizę relacji pomiędzy różnymi elementami systemu, w tym również ich interakcji z otoczeniem.

Zgodnie z założeniami **teorii systemów**, można rozpatrywać organizacje i procesy jako całości składające się z elementów materialnych (np. zasoby naturalne, infrastruktura techniczna) oraz niematerialnych (np. wiedza, przepływ informacji, normy społeczne). Podejście systemowe pozwala ujmować te elementy jako współzależne składniki większego układu, który funkcjonuje dzięki przepływowi tzw. mediów napędzających - materii, energii i informacji. W zarządzaniu organizacyjnym szczególne znaczenie ma informacja jako podstawowe medium, podczas gdy w ekosystemach wszystkie trzy media odgrywają równorzędną rolę.

System zarządzania środowiskowego można przedstawić w formie ogólnego modelu, który obejmuje trzy podstawowe komponenty:

- **Podsystem zarządzający** - czyli instytucje, osoby lub grupy odpowiedzialne za podejmowanie decyzji i kierowanie procesami (np. zarząd firmy, dział środowiskowy, organy administracji publicznej).
- **Podsystem narzędzi zarządzania** - zestaw instrumentów, metod i procedur, które umożliwiają realizację celów środowiskowych (np. normy ISO 14001, analizy LCA, systemy EMAS, audyty środowiskowe).
- **Przedmiot i obiekt zarządzania** – wszystko to, co znajduje się pod wpływem działań systemu zarządzającego (np. środowisko lokalne, procesy produkcyjne, zużycie zasobów, emisje).

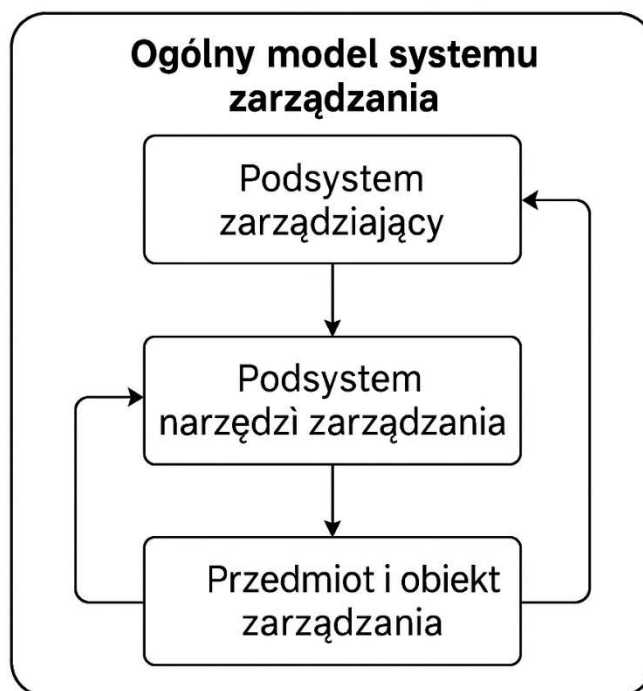
W analizie realnych obiektów zarządzania można dodatkowo wyróżnić **dwie sfery**:

- **Sferę zarządzającą**, obejmującą strukturę organizacyjną i narzędzia decyzyjne;
- **Sferę zarządzaną**, czyli rzeczywisty obszar, na który wpływa działalność organizacji (np. obszary produkcji, logistyki, emisji, rekultywacji).

Dzięki takiemu ujęciu możliwe jest nie tylko skuteczne planowanie działań prośrodowiskowych, ale również integracja strategii organizacyjnej z wymaganiami



zrównoważonego rozwoju (Borys, Bartniczak, Ptak 2015). W rezultacie zarządzanie środowiskiem nie jest już jedynie kwestią zgodności z przepisami, ale staje się kluczowym elementem długoterminowej strategii i odpowiedzialności biznesowej.



Rys. 1. Ogólny model zarządzania środowiskowego
(opracowanie własne)

W ramach systemu zarządzania środowiskiem można wyodrębnić trzy podstawowe komponenty, których funkcje i wzajemne relacje determinują skuteczność realizowanej polityki środowiskowej. Jednym z kluczowych elementów tego systemu jest podsystem zarządzający, do którego zaliczają się instytucje odpowiedzialne za formułowanie i wdrażanie strategii oraz regulacji dotyczących środowiska naturalnego. W skład tej grupy wchodzi organy ustawodawcze i wykonawcze państwa, takie jak Sejm, Senat, Prezydent RP oraz Rada Ministrów, a także organy administracji publicznej szczebla centralnego, a także lokalnego. Istotną rolę odgrywają również samorządy terytorialne, inspekcje i jednostki kontrolne, a także niezależne organizacje ekologiczne, które często pełnią funkcję doradczą, kontrolną lub inicjującą działania obywatelskie (Trzcńska, Tucholska, Żurawik-Paszkowska 2016).

Drugim zasadniczym komponentem jest podsystem narzędzi zarządzania środowiskiem, który obejmuje cały zestaw środków prawnych, ekonomicznych, technicznych i organizacyjnych wspomagających procesy zarządcze. Należą do niego zarówno akty prawne



i rozporządzenia, jak również instrumenty rynkowe, programy polityczne, strategie rozwojowe, standardy oraz procedury operacyjne. Narzędzia te służą nie tylko do egzekwowania przepisów, ale także do kształtowania postaw i wspierania innowacji środowiskowych.

Obiekt zarządzania środowiskiem stanowi natomiast układ złożony, w którym można wyróżnić dwie warstwy: **przedmiotową i podmiotową**. W warstwie przedmiotowej mieszczą się komponenty środowiska naturalnego, takie jak powietrze atmosferyczne, wody powierzchniowe i podziemne, gleby oraz powierzchnia ziemi, ale także zasoby naturalne, krajobraz, klimat oraz różnorodność biologiczna. Z kolei warstwa podmiotowa odnosi się do uczestników życia społeczno-gospodarczego - jednostek, grup społecznych, przedsiębiorstw, instytucji, które wchodzą w interakcje z systemem zarządzania środowiskowego i pozostają pod wpływem stosowanych instrumentów zarządczych.

Wraz z rozwojem społeczeństwa, nauki i technologii zmieniał się nie tylko zakres i charakter obiektu zarządzania środowiskowego, lecz również przyjmowane strategie oraz podejścia metodologiczne. W latach 60. XX wieku dominowało podejście konserwatorskie, skoncentrowane głównie na ochronie środowiska przed skutkami postępującej industrializacji. Z czasem, w latach 80., uwaga przesunęła się na zarządzanie ochroną środowiska, co wiązało się z wdrażaniem bardziej zorganizowanych i kompleksowych działań w skali krajowej i lokalnej. Współcześnie natomiast priorytetem staje się racjonalne gospodarowanie zasobami środowiska, z uwzględnieniem ich trwałości, odnawialności, a także wpływu na klimat oraz zachowanie różnorodności biologicznej.

Zmieniający się kontekst gospodarczy i środowiskowy wpłynął również na ewolucję strategii stosowanych w praktyce zarządzania środowiskiem. W Polsce można wyróżnić kilka kluczowych etapów tej ewolucji:

- Strategia rozcieńczania (do 1960 roku) - zakładała zmniejszenie stężenia zanieczyszczeń wprowadzanych do środowiska, głównie poprzez zwiększenie przepływów wód w odbiornikach. Metoda ta okazała się jednak mało efektywna - dla osiągnięcia 5% redukcji zanieczyszczeń konieczne było aż 30% zwiększenie przepływu, co było ekonomicznie i technicznie trudne do realizacji.
- Strategia filtracji (lata 1961–1989) - w tym okresie dominowały tzw. technologie „końca rury”, polegające na instalowaniu urządzeń do oczyszczania emisji i ścieków już po zakończeniu procesów produkcyjnych. Typowe przykłady to oczyszczalnie ścieków oraz filtry przemysłowe do wychwytywania pyłów i gazów.



- Strategia czystszej produkcji (od 1990 roku) - stanowiła zwrot w kierunku działań prewencyjnych. Zakładała modyfikację procesów technologicznych w taki sposób, aby już na etapie produkcji ograniczać powstawanie zanieczyszczeń, odpadów i zużycia zasobów.
- Strategia zarządzania cyklem życia produktu (od 1995 roku) - oparta była na koncepcji, że środowiskowe skutki działalności należy analizować i minimalizować na wszystkich etapach „życia” produktu: od projektowania, poprzez produkcję, dystrybucję, użytkowanie, aż po fazę końcową, obejmującą recykling lub unieszkodliwianie odpadów.
- Strategia zarządzania środowiskowego (od 1997 roku) - wprowadziła podejście systemowe w organizacjach. Polega na identyfikacji istotnych aspektów środowiskowych działalności, formułowaniu polityki środowiskowej, ustanawianiu celów i programów środowiskowych oraz ich monitorowaniu i ciągłym doskonaleniu.

Przykładami są systemy zarządzania oparte na normie ISO 14001 czy EMAS.

Ewolucja ta nie tylko odzwierciedla zmieniające się uwarunkowania technologiczne, ekonomiczne i społeczne, ale również wskazuje na rosnącą świadomość i odpowiedzialność organizacji za wpływ ich działalności na środowisko. Jednocześnie dostrzegalna jest tendencja do specjalizacji, podczas gdy dawniej zarządzanie środowiskiem obejmowało wszystkie poziomy (od administracji państwowej po zakład produkcyjny), obecnie coraz większą wagę przywiązuje się do zarządzania środowiskowego w organizacji jako wyodrębnionego obszaru kompetencji (Borys, Bartniczak, Ptak 2015).

Współczesne wyzwania w zakresie zarządzania środowiskiem cechują się wysokim poziomem złożoności i interdyscyplinarnością, co sprawia, że ich skuteczne rozwiązywanie wymaga nie tylko specjalistycznej wiedzy, ale również umiejętności pracy zespołowej i myślenia systemowego. Z tego względu szczególnego znaczenia nabiera koncepcja organizacji uczącej się, w której wiedza, doświadczenie i kreatywność pracowników są ukierunkowane na rozwiązywanie problemów środowiskowych, a także integrowane z działaniami w sferze produkcji, finansów, zarządzania zasobami ludzkimi i innowacji. Tego typu podejście zwiększa elastyczność organizacji i pozwala lepiej reagować na dynamiczne zmiany otoczenia oraz rosnące wymagania regulacyjne i społeczne. W tabeli 1 dokonano porównania omawianych strategii.



Tabela 1. Ewolucja strategii zarządzania środowiskiem w Polsce

Strategia	Okres obowiązywania	Główne założenia	Przykładowe działania / technologie	Ocena efektywności
Strategia rozcieńczania	do 1960 roku	Rozcieńczanie zanieczyszczeń poprzez zwiększenie przepływu wód lub powietrza	Zwiększanie objętości ścieków / przepływów wód w odbiornikach	Mało skuteczna, wysoki koszt środowiskowy i techniczny
Strategia filtracji („końca rury”)	1961–1989	Usuwanie zanieczyszczeń po zakończeniu procesów produkcyjnych	Oczyszczalnie ścieków, filtry przemysłowe, elektrofiltry	Skuteczność ograniczona do usuwania skutków, nie zapobiega źródłom zanieczyszczeń
Strategia czystszej produkcji	od 1990 roku	Minimalizacja zanieczyszczeń u źródła, modyfikacja procesów	Modernizacja technologii, zamknięte obiegi wody, ograniczenie odpadów	Wyższa efektywność, oszczędność surowców i energii
Strategia cyklu życia produktu (LCA)	od 1995 roku	Analiza i minimalizacja wpływu środowiskowego na każdym etapie życia produktu	Projektowanie ekologiczne, ekobilans, recykling, odzysk materiałów	Komplementarne podejście, integracja środowiska z innymi działami organizacji
Strategia zarządzania środowiskowego	od 1997 roku	Wdrażanie zintegrowanych systemów zarządzania środowiskiem w organizacjach	ISO 14001, EMAS, audyty środowiskowe, polityki środowiskowe	Wysoka skuteczność w długim okresie, integracja środowiska z systemem zarządzania firmą

1. Pojęcia zarządzania i gospodarowania środowiskiem

Zarządzanie to pojęcie o szerokim zakresie znaczeniowym, którego interpretacja zależy od przyjętej perspektywy: praktycznej, organizacyjnej lub naukowej. W literaturze przedmiotu wyróżnia się wiele typów zarządzania – od zarządzania personelem, przez operacje finansowe, aż po zarządzanie środowiskowe, a każda z tych dziedzin rozwija własne metody, narzędzia i modele działania. Współczesne zarządzanie może też przybierać różne formy - np. zarządzanie zorientowane na jakość, procesy lean, podejście strategiczne czy oparte na benchmarkingu (Zymonik, Hamrol, Grudowski 2013). Choć praktyka zarządzania towarzyszy ludzkości od zarania cywilizacji jako ustrukturyzowana dyscyplina naukowa zaczęła się wyodrębniać dopiero u schyłku XIX wieku, w odpowiedzi na dynamiczny rozwój przemysłu



oraz rosnącą potrzebę racjonalnego organizowania zasobów¹. Jedno z powszechnie cytowanych ujęć definiuje zarządzanie jako proces wieloetapowego kierowania zasobami organizacyjnymi (ludzkimi, technicznymi, kapitałowymi i informacyjnymi), obejmujący planowanie, podejmowanie decyzji, organizowanie działań, przewodzenie zespołom ludzkim oraz kontrolowanie ich przebiegu. Istotą zarządzania jest dążenie do osiągania celów organizacji w sposób skuteczny (celowość) i sprawny (efektywność działań) (Griffin 2005). Równolegle w dyskusji teoretycznej funkcjonuje pojęcie gospodarowania, które odnosi się do umiejętności celowego i świadomego wykorzystywania posiadanych zasobów. Termin ten można interpretować jako formę aktywności ukierunkowanej na osiąganie założonych rezultatów przy ograniczonych środkach. Według definicji² „gospodarować” to między innymi:

- zarządzać funkcjonowaniem organizacji gospodarczej,
- decydować o sposobie użytkowania dostępnych środków i surowców,
- kierować procesami ekonomicznymi i środowiskowymi.

W tym kontekście gospodarowanie środowiskiem oznacza użytkowanie zasobów przyrodniczych z myślą o zaspokojeniu potrzeb obecnych i przyszłych pokoleń, przy zachowaniu naturalnej równowagi i ograniczeniu ingerencji w procesy ekosystemowe. Odpowiedzialne gospodarowanie zakłada:

- minimalizację strat podczas eksploatacji zasobów nieodnawialnych i zachowanie ostrożności przy przekształcaniu krajobrazu czy struktur geologicznych,
- wspieranie naturalnych mechanizmów przyrody, zwłaszcza tych narażonych na działalność człowieka,
- zapewnienie ciągłości obiegu energii, materii i informacji w ekosystemach, bez ich destabilizowania (Poskrobko, Poskrobko 2012).

W ujęciu funkcjonalnym gospodarowanie środowiskiem obejmuje cztery wzajemnie powiązane procesy:

1. eksploatację zasobów środowiskowych,
2. użytkowanie ich w działalności gospodarczej,
3. ochronę przed degradacją,
4. świadome przekształcanie i kształtowanie otoczenia przyrodniczego.

¹ Wawak S., Babiarz P., Zarządzanie, w: Encyklopedia zarządzania, <https://mfiles.pl/pl/index.php/Zarz%C4%85dzanie>, dostęp 30.04.2025.

² <https://sjp.pwn.pl/slowniki>, (dostęp 30.04.2025)



Zarządzanie środowiskiem – koncepcja interdyscyplinarna

Zarządzanie środowiskiem to nie tylko kierunek działania instytucji publicznych i przedsiębiorstw, ale również dziedzina wiedzy, która integruje zagadnienia z zakresu ekologii, ekonomii, prawa, inżynierii oraz nauk społecznych. W tym ujęciu stanowi proces planowego i świadomego sterowania gospodarowaniem środowiskiem, który obejmuje zarówno działania edukacyjne, legislacyjne, jak i techniczne, mające na celu zachowanie równowagi między działalnością człowieka a zdolnościami regeneracyjnymi przyrody. Zarządzanie to dotyczy zatem zarówno ochrony zasobów, jak i ich użytkowania oraz przekształcania. Odbywa się ono na styku trzech sfer:

- społecznej (np. kształtowanie świadomości ekologicznej),
- gospodarczej (np. wprowadzanie technologii niskoemisyjnych),
- przyrodniczej (np. zachowanie różnorodności biologicznej i usług ekosystemowych).

Obiektem zarządzania środowiskowego są więc jednocześnie: społeczeństwo, gospodarka oraz środowisko jako system biologiczno-fizyczny, którego elementy podlegają procesom naturalnym oraz antropogenicznym. Zarządzanie tym obiektem oznacza konieczność równoczesnego reagowania na potrzeby ludzi i ograniczenia środowiskowe.

2. Zarządzanie środowiskowe - system organizacyjny i praktyka

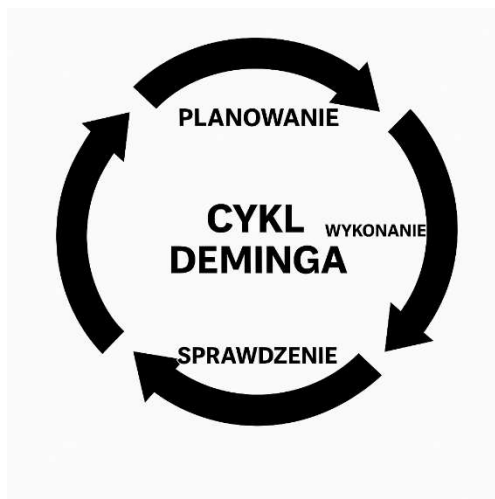
Zarządzanie środowiskowe stanowi uszczegółowienie i ukierunkowanie ogólnych zasad zarządzania na kwestie związane z wpływem działalności organizacji na otoczenie przyrodnicze. Jest to zatem podejście, które integruje cele środowiskowe z celami strategicznymi przedsiębiorstwa. Według definicji przyjętych w literaturze (Staszczyszyn 2009), zarządzanie środowiskowe obejmuje te działania w strukturze organizacyjnej, które prowadzą do opracowania, wdrożenia i realizacji polityki środowiskowej, a także do wyznaczania i osiągania celów związanych z minimalizacją wpływu na środowisko. Kluczowym założeniem tego podejścia jest zintegrowanie polityki środowiskowej z innymi działaniami operacyjnymi i zarządczymi firmy.

Z kolei inne podejścia (Ejdys i in. 2005) podkreślają, że zarządzanie środowiskowe to zbiór kompetencji i rozwiązań organizacyjnych, które mają na celu jednocześnie:

- osiągnięcie wysokiej efektywności ekonomicznej,
- minimalizowanie obciążeń środowiskowych,
- poprawę warunków pracy oraz dobrostanu pracowników.



Całość tego podejścia osadzona jest często w filozofii ciągłego doskonalenia, w tym m.in. w cyklu Deminga (*PDCA: Plan–Do–Check–Act*) (rys. 2), który stanowi podstawę nowoczesnych systemów zarządzania jakością i środowiskiem (Latzko, Sanders 1998).



Rys. 2. Cykl Deminga

Problemy środowiskowe – źródła, typologia, wyzwania

Współczesne problemy środowiskowe są ściśle związane z procesami gospodarowania i są konsekwencją intensywnej działalności człowieka, która przekracza zdolność regeneracyjną ekosystemów. Zgodnie z definicją³, problem środowiskowy to znany proces (np. zużycie surowców, emisje zanieczyszczeń), który wywołuje długofalowe negatywne skutki dla jakości życia oraz trwałości środowiska. Problemy te najczęściej mają charakter relacyjny – wynikają z interakcji między człowiekiem a środowiskiem – i prowadzą do zaburzeń w funkcjonowaniu zarówno ekosystemów, jak i struktur społeczno-gospodarczych. Według (Matsui 2019), ich istotą jest naruszenie równowagi ekologicznej, które może przyczyniać się do:

- pogorszenia warunków życia ludzi (zagrożenie dla zdrowia, komfortu, bezpieczeństwa),
- zniszczenia zasobów przyrody (degradacja gleb, zanik bioróżnorodności, zmiany klimatu).

Z tego względu proponuje się podział problemów środowiskowych na dwie zasadnicze kategorie:

1. Zagrożenia dla jakości życia i zdrowia ludzi,

³ <http://www.businessdictionary.com/definition/environmental-problem.html> (dostęp 03.05.2025)



2. Zniszczenia i destabilizacje środowiskowe o dużej skali.

Do najpoważniejszych wyzwań współczesności zaliczyć można⁴:

- emisje zanieczyszczeń do atmosfery, hydrosfery i litosfery,
- ocieplanie się klimatu i jego globalne konsekwencje,
- ekstremalne zjawiska pogodowe (susze, powodzie),
- zakwaszanie środowiska i kwaśne opady,
- niedobory zasobów: wody pitnej, energii, żywności,
- wzrost ilości odpadów i problematyka ich unieszkodliwiania,
- negatywne oddziaływania elektromagnetyczne,
- uciążliwości związane z hałasem, światłem, zapachami i wibracjami.

3. Normy ISO 14001 – system zarządzania środowiskiem – wprowadzenie do systemu zarządzania środowiskowego

Norma ISO 14001 jest jednym z najważniejszych standardów międzynarodowych dotyczących ochrony środowiska w kontekście działalności organizacji. Wprowadzona została przez Międzynarodową Organizację Normalizacyjną (ISO)⁵, aby ułatwić przedsiębiorstwom systematyczne zarządzanie aspektami środowiskowymi, zgodność z przepisami oraz poprawę efektywności środowiskowej.

System zarządzania środowiskowego (SZŚ) oparty na ISO 14001 ma na celu:

- zmniejszenie negatywnego wpływu organizacji na środowisko,
- zapewnienie zgodności z przepisami prawa,
- ciągłe doskonalenie procesów środowiskowych,
- poprawę wizerunku firmy i jej konkurencyjności.

Struktura normy ISO 14001

Norma ISO 14001:2015 opiera się na tzw. strukturze wysokiego poziomu (*High Level Structure*), która ułatwia integrację z innymi normami zarządzania (np. ISO 9001). Główne elementy struktury to (Szwedzka, Lipiak 2017):

- Kontekst organizacji,
- Przywództwo,

⁴ Matsui H., What Kind of Environmental Problems Do We Face?, http://matsui.net/en/eco/eco_column/column03.html, dostęp 30.04.2025 r.

⁵ PN-EN ISO 14001:2004 Systemy zarządzania środowiskowego – Wymagania i wytyczne stosowania, Polski Komitet Normalizacji



- Planowanie,
- Wsparcie,
- Operacje,
- Ocena wyników,
- Doskonalenie.

Każdy z powyższych punktów zawiera szczegółowe wymagania dotyczące dokumentacji, komunikacji, zasobów oraz zarządzania ryzykiem i szansami środowiskowymi.

Cykl PDCA (*Plan-Do-Check-Act*) w ISO 14001

Podstawą działania SZŚ jest koncepcja ciągłego doskonalenia przedstawiona w formie cyklu Deminga (rys. 2):

- *Plan* (Planuj) – identyfikacja aspektów środowiskowych, ustalanie celów, opracowanie planów działań;
- *Do* (Wykonaj) – wdrożenie zaplanowanych działań i procesów;
- *Check* (Sprawdź) – monitorowanie i mierzenie skuteczności systemu;
- *Act* (Działaj) – działania korygujące i doskonalące (Szczepańska 2013).

Tabela 2 przedstawia najważniejsze pojęcia związane z normą ISO 14001, które stanowią podstawę dla właściwego zrozumienia i interpretacji systemu zarządzania środowiskowego.

Tabela 2. Kluczowe pojęcia w ISO 14001

Pojęcie	Definicja
Aspekt środowiskowy	Element działalności, produktu lub usługi, który może wpływać na środowisko
Wpływ na środowisko	Zmiana w środowisku wynikająca z aspektu środowiskowego
Zgodność z przepisami	Spełnienie wymagań prawnych i innych zobowiązań
Polityka środowiskowa	Deklaracja kierownictwa w zakresie celów i zasad środowiskowych

Korzyści z wdrożenia ISO 14001

Wdrożenie ISO 14001 przynosi szereg wymiernych korzyści:

- poprawa efektywności gospodarowania zasobami,
- redukcja odpadów i kosztów ich zagospodarowania,
- lepsze przygotowanie do zmian legislacyjnych,
- wzmocnienie pozytywnego wizerunku firmy,
- większe szanse na pozyskiwanie kontraktów, szczególnie w sektorze publicznym i międzynarodowym.



Wdrażanie ISO 14001 w praktyce

Proces wdrożenia SZŚ oparty na ISO 14001 obejmuje następujące etapy:

- Przegląd wstępny (diagnoza) - identyfikacja aspektów środowiskowych i poziomu zgodności z prawem,
- Szkolenie personelu - budowanie świadomości ekologicznej w organizacji,
- Opracowanie dokumentacji - polityka środowiskowa, procedury, instrukcje,
- Wdrożenie działań - operacjonalizacja systemu,
- Audyt wewnętrzny i przegląd zarządzania,
- Certyfikacja przez niezależną jednostkę zewnętrzną.

Tabela 3 prezentuje porównanie dwóch systemów zarządzania środowiskowego – ISO 14001 i EMAS - pod kątem kluczowych kryteriów, takich jak charakter systemu, wymagania informacyjne czy poziom transparentności.

Tabela 3. Różnice między ISO 14001 a EMAS (Łuczka-Bakuła 2009)

Kryterium	ISO 14001	EMAS
Charakter systemu	Międzynarodowy standard	Dobrowolny system unijny
Deklaracja środowiskowa	Nieobowiązkowa	Obowiązkowa i publicznie dostępna
Audyt zewnętrzny	Tylko na potrzeby certyfikacji	Weryfikacja co najmniej raz na 3 lata
Transparentność	Średnia	Bardzo wysoka

Norma ISO 14001 jest skutecznym narzędziem zarządzania środowiskowego, które może być stosowane przez każdą organizację, niezależnie od jej wielkości czy branży. Zapewnia ramy do systematycznego doskonalenia w obszarze środowiska i jest kluczowym komponentem w budowaniu zrównoważonego rozwoju w działalności gospodarczej.

4. Program NATURA 2000

Wprowadzenie do programu Natura 2000

Natura 2000 to sieć obszarów chronionych utworzona na mocy prawa Unii Europejskiej, której celem jest zachowanie różnorodności biologicznej na terenie Europy. Program opiera się na dwóch podstawowych aktach prawnych: dyrektywie siedliskowej (92/43/EWG) oraz dyrektywie ptasiej (2009/147/WE). Główna idea programu polega na ochronie naturalnych siedlisk, dzięki fauny i flory oraz zapewnieniu trwałości ich występowania w sposób zrównoważony społecznie i gospodarczo.



Sieć Natura 2000 obejmuje:

- Specjalne obszary ochrony siedlisk (SOOS) - wyznaczone na podstawie dyrektywy siedliskowej,
- Obszary specjalnej ochrony ptaków (OSO) - wyznaczone na podstawie dyrektywy ptasiej.

Cele i znaczenie sieci Natura 2000

Głównym celem programu jest zachowanie w odpowiednim stanie ochrony najcenniejszych siedlisk i gatunków w skali całej Unii Europejskiej. Ochrona przyrody w ramach tej sieci nie polega na całkowitym zakazie działalności gospodarczej, lecz na prowadzeniu jej w sposób zrównoważony.

Korzyści z funkcjonowania programu:

- zabezpieczenie dziedzictwa przyrodniczego Europy,
- integracja działań ochronnych z rozwojem lokalnym,
- możliwość finansowania działań ochronnych ze środków UE (np. program LIFE).

Natura 2000 w Polsce

Polska, będąc członkiem Unii Europejskiej, aktywnie uczestniczy w realizacji programu Natura 2000. Obszary te stanowią obecnie ok. 20% powierzchni kraju. Wyznaczanie obszarów odbywa się na podstawie szczegółowych kryteriów przyrodniczych i konsultacji społecznych.

Typowe formy siedlisk chronionych w Polsce to:

- torfowiska wysokie i przejściowe,
- grąd subkontynentalny,
- łąki świeże użytkowane ekstensywnie,
- starorzecza i dopływy rzeczne,
- naturalne lasy liściaste.

Tabela 4 przedstawia wybrane obszary Natura 2000 funkcjonujące na terenie Polski. Uwzględniono ich lokalizację oraz główne typy siedlisk i gatunków objętych ochroną.

Tabela 4. Przykład obszaru Natura 2000 w Polsce

Nazwa obszaru	Lokalizacja	Typ chronionego siedliska/gatunku
Dolina Baryczy	woj. dolnośląskie	Ptaki wodno-błotne, torfowiska
Puszcza Białowieska	woj. podlaskie	Lasy liściaste, żubr
Dolina Noteci	woj. wielkopolskie	Łęgi, siedliska nadrzeczne



Procedury i ograniczenia

Wprowadzenie obszaru do sieci Natura 2000 wiąże się z określonymi obowiązkami:

- ocena oddziaływania inwestycji na obszar Natura 2000,
- zakaz pogarszania stanu chronionych siedlisk i gatunków,
- konieczność uzgadniania działań z planami ochrony.

Niektóre działalności wymagają szczególnej ostrożności, np. budowa infrastruktury, intensywna gospodarka rolna czy zmiana stosunków wodnych. Istnieje jednak możliwość prowadzenia działalności, jeżeli nie zagraża ona przedmiotowi ochrony.

Narzędzia wspierające wdrażanie programu

Wdrażanie programu wspierane jest przez różne narzędzia, m.in.:

- Plany zadań ochronnych (PZO),
- Plany ochrony obszarów Natura 2000,
- Mechanizmy finansowe (LIFE, POiŚ, PROW),
- Edukacja ekologiczna i partycypacja społeczna.

Kontrowersje i wyzwania

Pomimo pozytywnego wpływu na ochronę środowiska, program Natura 2000 napotyka również trudności:

- brak zrozumienia idei programu przez lokalne społeczności,
- opór wobec ograniczeń w użytkowaniu gruntów,
- problemy z wdrażaniem planów ochrony,
- niedostateczne finansowanie i monitorowanie.

Znaczenie dla zrównoważonego rozwoju

Program Natura 2000 stanowi przykład nowoczesnego podejścia do ochrony przyrody, które łączy troskę o środowisko z możliwością rozwoju społeczno-gospodarczego. Wdrażany prawidłowo, pozwala realizować zasadę zrównoważonego rozwoju i przeciwdziałać utracie bioróżnorodności.

Natura 2000 to unikalny w skali światowej system ochrony przyrody, oparty na współpracy międzynarodowej, integracji środowiskowej i planowaniu długofalowym. Stanowi istotne narzędzie nie tylko w polityce ochrony środowiska, lecz także w edukacji i planowaniu przestrzennym. Zrozumienie i akceptacja jego zasad to klucz do jego skuteczności (Popkiewicz, Kardaś, Malinowski 2018).



5. System ekozarządzania i audytu (EMAS) – metodyka wdrażania

Wprowadzenie do EMAS

System Ekozarządzania i Audytu (ang. *Eco-Management and Audit Scheme* – EMAS) to zaawansowane, dobrowolne narzędzie stworzone przez Unię Europejską w celu wspierania organizacji w poprawie ich efektywności środowiskowej. EMAS zachęca do działania zgodnego z zasadą zrównoważonego rozwoju, koncentrując się nie tylko na zgodności z przepisami prawnymi, ale także na dobrowolnym zobowiązaniu do **ciągłego doskonalenia wpływu na środowisko**. System ten jest bardziej wymagający niż popularna norma ISO 14001 – i właśnie dzięki temu cieszy się dużym uznaniem, zwłaszcza wśród organizacji europejskich.

Cele EMAS:

- **Zwiększenie przejrzystości środowiskowej organizacji** dzięki udostępnianiu zweryfikowanej deklaracji środowiskowej.
- **Ułatwienie zarządzania środowiskowego** poprzez usystematyzowany model działania.
- **Podnoszenie świadomości pracowników** w zakresie wpływu ich pracy na środowisko.
- **Zwiększenie zgodności z przepisami prawa** w tym z przepisami UE.
- **Wzmocnienie pozytywnego wizerunku firmy** jako organizacji odpowiedzialnej środowiskowo.

Podstawy prawne i zasięg geograficzny

EMAS został ustanowiony rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1221/2009. Choć pierwotnie był skierowany do firm przemysłowych, obecnie obejmuje **wszystkie sektory gospodarki**, w tym usługi, administrację publiczną, szkolnictwo czy rolnictwo. System obowiązuje w krajach Unii Europejskiej oraz w Europejskim Obszarze Gospodarczym (EOG).

Struktura i zasady funkcjonowania EMAS

Organizacja, która chce wdrożyć EMAS, musi spełnić szereg wymogów (Szyszka 2016):

1. **Przeprowadzić przegląd środowiskowy** - czyli dokładnie przeanalizować wszystkie procesy i ich wpływ na środowisko.
2. **Wdrożyć system zarządzania środowiskowego (SZŚ)** – oparty na cyklu Deminga: *Plan-Do-Check-Act* (PDCA).
3. **Prowadzić audyty wewnętrzne**, aby monitorować zgodność z przyjętą polityką środowiskową.



4. **Sporządzić deklarację środowiskową** - dokument publiczny, który opisuje efekty działalności środowiskowej.
5. **Zlecić weryfikację zewnętrzną** audyt przeprowadza niezależny, akredytowany weryfikator EMAS.
6. **Zarejestrować się w krajowym rejestrze EMAS** - w Polsce prowadzonym przez Generalną Dyрекcję Ochrony Środowiska.

Etapy wdrażania EMAS w praktyce

Poniżej przedstawiono typowy schemat wdrażania EMAS:

1. Podjęcie decyzji strategicznej i zaangażowanie kierownictwa
2. Przegląd środowiskowy (identyfikacja aspektów środowiskowych)
3. Opracowanie polityki środowiskowej i planów działania
4. Wdrożenie systemu zarządzania środowiskowego
5. Szkolenia pracowników i komunikacja wewnętrzna
6. Audyt wewnętrzny i analiza funkcjonowania systemu
7. Sporządzenie deklaracji środowiskowej
8. Weryfikacja zewnętrzna przez niezależnego audytora
9. Zgłoszenie do rejestracji i wpis do krajowego rejestru EMAS

Kluczowe elementy deklaracji środowiskowej

Deklaracja ta nie może być "ulotką reklamową". Musi zawierać konkretne, mierzalne dane, m.in.:

- opis działań środowiskowych organizacji,
- informacje o aspektach środowiskowych i ich wpływie,
- zestawienie celów i wyników środowiskowych,
- wykaz przepisów środowiskowych i zgodności z nimi.

Deklaracja musi być aktualizowana co najmniej raz na 3 lata (a w przypadku MŚP - co 4 lata).

W tabeli 5 zestawiono korzyści wynikające z wdrożenia systemu EMAS.

Tabela 5. Korzyści dla przedsiębiorstwa po wdrożeniu EMAS

Rodzaj korzyści	Opis
Ekonomiczne	Obniżenie kosztów dzięki zmniejszeniu zużycia energii, wody, surowców.
Społeczne	Budowanie zaufania klientów, mieszkańców i inwestorów.
Prawne	Lepsze przygotowanie do kontroli i zgodność z przepisami.
Organizacyjne	Lepsze zarządzanie ryzykiem środowiskowym i większe zaangażowanie zespołu.

**Studium przypadku – wdrożenie EMAS w praktyce**

Lokalizacja: Województwo Wielkopolskie

Branża: Produkcja opakowań z tworzyw sztucznych i kartonu

Liczba pracowników: ok. 160

Rok wdrożenia systemu EMAS: 2020

Powód zainteresowania EMAS: rosnące wymagania środowiskowe klientów z UE i potrzeba uporządkowania gospodarki odpadami

Etap 1: Diagnoza problemów i podjęcie decyzji o wdrożeniu EMAS

Przed wdrożeniem systemu EMAS przedsiębiorstwo napotykało szereg wyzwań środowiskowych:

- brak spójnych procedur w zakresie postępowania z odpadami produkcyjnymi,
- częste kontrole WIOŚ i wysokie ryzyko kar,
- niezadowolenie klientów z Niemiec i Szwecji, którzy wymagali dowodów prośrodowiskowego działania (certyfikatów, polityk, raportów).

Decyzja o wdrożeniu EMAS zapadła po analizie korzyści długoterminowych - kierownictwo zakładu dostrzegło nie tylko aspekt wizerunkowy, ale również szansę na realne oszczędności.

Etap 2: Przegląd środowiskowy i identyfikacja aspektów

Zespół powołany do wdrożenia EMAS przeprowadził dokładny przegląd wszystkich procesów produkcyjnych i ich wpływu na środowisko. Jego wyniki zawiera tabela 6.

Tabela 6. Przegląd procesów w omawianej firmie

Aspekt środowiskowy	Negatywny wpływ	Działania korygujące
Zużycie energii elektrycznej	Wysokie (linie do termoformowania)	Inwestycja w sterowanie energooszczędne, LED
Odpady foliowe (skrawki, odpady)	Duża ilość, brak segregacji	Umowa z recyklerem, osobne kontenery
Hałas maszyn i wibracje	Skargi pracowników, lokalne przekroczenia norm	Montaż ekranów akustycznych i tłumików hałasu
Zużycie wody chłodzącej	Wysokie – obieg otwarty	Modernizacja instalacji – zamknięty obieg wody

Etap 3: Wdrożenie SZŚ i budowanie świadomości pracowników

System zarządzania środowiskowego opracowano zgodnie z wytycznymi EMAS, obejmował:

- opracowanie polityki środowiskowej,
- wyznaczenie celów (m.in. zmniejszenie zużycia wody o 15% w 2 lata),
- opracowanie 19 procedur środowiskowych,



- przeprowadzenie szkoleń dla wszystkich pracowników – również operatorów i magazynierów,
- uruchomienie tablic informacyjnych przy maszynach (np. wskaźnik zużycia energii na zmianę).

Pracownicy, którzy początkowo podchodzili sceptycznie, po kilku miesiącach zaangażowali się w proponowanie usprawnień (np. lepsze wykorzystanie skrawków folii w recyklingu wewnętrznym).

Etap 4: Audyt, deklaracja środowiskowa i weryfikacja zewnętrzna

Po wdrożeniu systemu i przeprowadzeniu audytów wewnętrznych opracowano deklarację środowiskową, w której uwzględniono:

- dane ilościowe za 3 ostatnie lata (zużycie energii, wody, odpady, emisje),
- wskaźniki efektywności środowiskowej na jednostkę produkcji,
- cele i działania środowiskowe (np. „Zielona linia produkcyjna 2021”).

Zewnętrzny weryfikator potwierdził zgodność systemu z wymaganiami EMAS, a firma została wpisana do krajowego rejestru EMAS w grudniu 2021 r.

Etap 5: Wyniki i korzyści – po dwóch latach od wdrożenia

Tabela 7. Korzyści wynikające z wdrożenia EMAS

Wskaźnik	Stan przed EMAS (2019)	Stan po 2 latach (2022)	Zmiana (%)
Zużycie energii elektrycznej (MWh)	1 480	1 310	-11,5%
Zużycie wody technologicznej (m ³)	6 700	5 450	-18,7%
Ilość odpadów zmieszanych (Mg/rok)	48	31	-35,4%
Koszty gospodarki odpadami (zł/rok)	92 000	66 000	-28,3%
Skargi środowiskowe mieszkańców	6	0	-100%
Nowe kontrakty z klientami UE	—	3	—

Wnioski z wdrożenia:

- EMAS nie jest tylko narzędziem PR, to skuteczny system zarządzania, który prowadzi do rzeczywistych korzyści środowiskowych i ekonomicznych.
- Zaangażowanie pracowników jest kluczowe – od operatora po dyrekcję.
- Transparentność działań środowiskowych poprawia relacje z klientami, społecznością lokalną i instytucjami.

System EMAS, to nie tylko narzędzie poprawy ochrony środowiska, ale także sposób na uporządkowanie procesów, zmniejszenie kosztów i budowanie przewagi konkurencyjnej. Jego



wdrożenie wiąże się z zaangażowaniem całej organizacji, ale daje konkretne, długofalowe korzyści.

6. Ekologiczna ocena cyklu życia produktów (LCA) – technika zarządzania środowiskowego

Czym jest LCA?

LCA (*Life Cycle Assessment*) to narzędzie analityczne, które pozwala ocenić wpływ produktu, procesu lub usługi na środowisko w całym cyklu życia – od pozyskania surowców, przez produkcję, transport, użytkowanie, aż po jego utylizację lub recykling (Bajdur 2017).

LCA odpowiada na pytanie: „Który etap cyklu życia produktu ma największy negatywny wpływ na środowisko i jak można go zredukować?” LCA analizuje każdy z tych etapów, uwzględniając emisje, zużycie energii, odpadów, wody itp.



Rys. 3. Typowy cykl życia produktu w ocenie LCA

Zastosowania LCA

LCA to podstawa ekoprojektowania i decyzji strategicznych w przemyśle. Stosuje się ją m.in. do (Kulczycka 2001):

- porównywania alternatywnych technologii,
- optymalizacji procesów produkcyjnych,
- planowania recyklingu i gospodarki odpadami,
- tworzenia deklaracji środowiskowych produktu (EPD),
- spełnienia wymagań norm ISO 14040 i 14044.

Metodyka LCA – etapy analizy

Według normy ISO 14040, LCA składa się z czterech podstawowych etapów, co przedstawiono w tabeli 8.



Tabela 8. Cztery etapy LCA

Etap	Opis
1. Definicja celu i zakresu	Co analizujemy? Jaki jest cel? Dla kogo wynik?
2. Inwentaryzacja cyklu życia (LCI)	Zbieranie danych o zużyciu zasobów, emisjach, odpadach
3. Ocena wpływu (LCIA)	Przekształcanie danych w konkretne skutki dla środowiska (np. CO ₂)
4. Interpretacja	Wnioski, rekomendacje i potencjał do redukcji wpływu

Kategorie wpływu środowiskowego w LCA

W ramach oceny LCIA można analizować różne kategorie wpływu, które zestawiono w tab. 9.

Tabela 9. Kategorie wpływu wg LCA

Kategoria wpływu	Przykład jednostki	Opis
Emisje gazów cieplarnianych	kg CO ₂ ekw./produkt	Efekt cieplarniany i globalne ocieplenie
Zakwaszenie gleb i wód	mol H ⁺ /produkt	Emisje SO ₂ i NO _x powodujące kwaśne deszcze
Eutrofizacja wód	kg PO ₄ ³⁻ ekw./produkt	Przeżyźnienie zbiorników wodnych
Zubożenie warstwy ozonowej	kg CFC-11 ekw./produkt	Substancje niszczące ozon (np. freony)
Zużycie zasobów (energii, wody)	MJ, m ³ , kg surowców	Degradacja i eksploatacja nieodnawialnych zasobów

Przykład praktyczny: butelka PET vs. butelka szklana

Cel i zakres badania: Celem analizy jest porównanie wpływu środowiskowego dwóch rodzajów opakowań 1-litrowych napojów:

- butelki z tworzywa PET (politereftalan etylenu),
- butelki szklanej, zwrotnej, stosowanej do 15 cykli.

Zakres badania obejmuje cały cykl życia produktu (od surowca do utylizacji), dla warunków europejskich.

W analizie przyjęto tzw. **jednostkę funkcjonalną** jako 1 litr napoju gotowego do spożycia.

Tabela 10. Zestawienie danych inwentaryzacyjnych (LCI)

Parametr	Butelka PET	Butelka szklana (15 użyć)
Masa opakowania	35 g	380 g
Energia potrzebna do produkcji	4,5 MJ	10,5 MJ
Emisja CO ₂ eq	0,24 kg	0,80 kg
Odpad końcowy (po 1 cyklu)	35 g tworzywa	25 g szkła (straty, potłuczenia)
Recykling	Tak (~65%)	Tak (~100%, szkło)
Odległość transportu	250 km	250 km
Wpływ transportu (CO ₂ /100 km)	0,015 kg	0,075 kg
Możliwość wielokrotnego użycia	Nie	Tak, do 15 cykli



Analiza wpływu środowiskowego (LCIA)

Przeprowadzono analizę dla trzech kategorii wpływu:

Tabela 11. Globalne ocieplenie (emisje CO₂ eq na 1 l napoju)

Etap	PET (1 raz)	Szkło (1 raz)	Szkło (15 cykli)
Produkcja opakowania	0,16 kg	0,45 kg	0,03 kg
Transport (250 km)	0,04 kg	0,15 kg	0,01 kg
Utylizacja / recykling	0,04 kg	0,20 kg	0,02 kg
RAZEM	0,24 kg	0,80 kg	0,06 kg

Tabela 12. Zużycie energii nieodnawialnej (MJ/1 l)

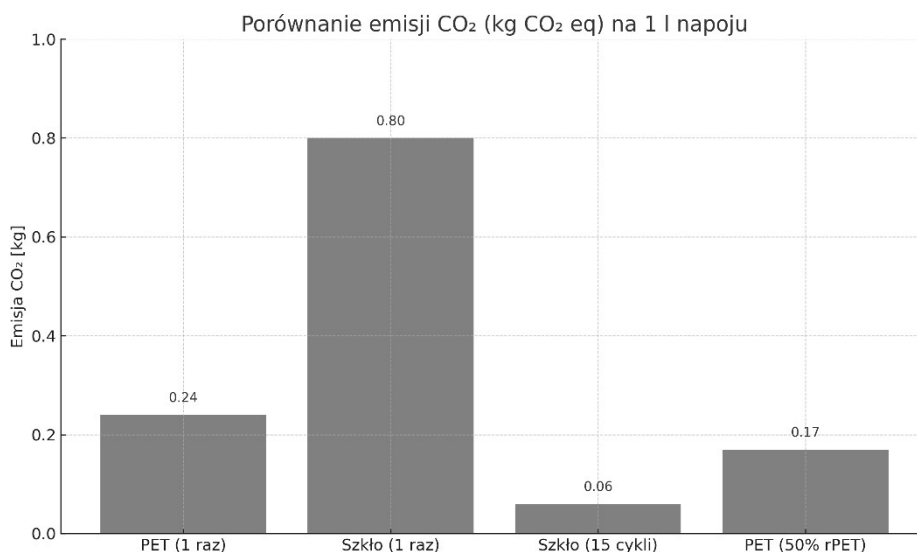
Etap	PET	Szkło (15 cykli)
Produkcja	4,5	0,7
Transport	2,2	0,9
Recykling	0,8	0,3
RAZEM	7,5	1,9

Tabela 13. Wpływ na wodę (m³ wody/1 l napoju)

Opakowanie	Zużycie wody procesowej
PET	0,012 m ³
Szkło (15 cykli)	0,006 m ³

Rozwiązania alternatywne:

- **Scenariusz 1: PET z recyklingu (rPET 50%)**
 - Emisja CO₂ spada do **0,17 kg/l**
 - Energia do produkcji: **3,2 MJ/l**
- **Scenariusz 2: Szkło używane tylko raz (brak systemu zwrotu)**
 - Emisja CO₂: **0,8 kg/l**, zużycie energii: **10,5 MJ/l**
 - Najgorsza opcja środowiskowa



Rys. 4. Porównanie emisji CO₂ (w kg CO₂ eq) na 1 litr napoju dla różnych typów opakowań

Tabela 14. Wnioski z analizy LCA

Opakowanie	Największy wpływ środowiskowy	Rekomendacja
PET (nowy surowiec)	Produkcja pierwotna	Możliwa optymalizacja przez zastosowanie rPET
Szkło (jednorazowe)	Produkcja + transport	Nieopłacalne środowiskowo – tylko wielokrotne użycie
Szkło (15 cykli)	Mycie i transport zwrotny	Opłacalne przy zamkniętym obiegu i lokalnym rynku

Ogólna konkluzja: Jeśli szkło jest stosowane w systemie wielokrotnego użytku (min. 10–15 cykli), to przewyższa PET pod względem emisji i energii. PET z recyklingu ma z kolei największy potencjał poprawy efektywności środowiskowej w obiegu zamkniętym.

Zastosowanie w praktyce zarządzania produkcją

- Firmy mogą wykorzystać LCA do **argumentowania wyboru materiałów** przed klientami i audytorami.
- Działy projektowania opakowań** powinny analizować LCA przy każdej zmianie technologii.
- Wprowadzenie LCA może być częścią systemów EMAS lub ISO 14001, a także stanowić podstawę dla **ekodeklaracji (EPD)**.



LCA w przemyśle i zarządzaniu

W przedsiębiorstwach LCA wspiera:

- projektantów w wyborze materiałów (np. zamiast stali – aluminium pochodzące z recyklingu),
- logistykę w optymalizacji tras i środków transportu,
- działy zakupów w ocenie dostawców (np. lokalne vs. globalne źródła surowców),
- inżynierów produkcji w modernizacji linii (np. oszczędność energii, zmiana technologii klejenia),
- działy marketingu przy przygotowywaniu „zielonych” deklaracji i etykiet.

Wady i ograniczenia LCA:

- Czasochłonność i potrzeba dokładnych danych,
- Możliwość subiektywnych decyzji (np. w wyborze granic systemu),
- Wysokie koszty pełnej analizy (szczególnie dla MŚP),
- Nie zawsze jednoznaczne wyniki (trzeba interpretować w kontekście celu badania).

Nowe kierunki rozwoju LCA

Współczesne trendy obejmują:

- LCA w czasie rzeczywistym (integracja z ERP i IoT),
- Skrócone LCA (streamlined LCA) dla MŚP,
- Ślad środowiskowy produktu (PEF) – europejski standard uproszczony,
- LCA dla usług cyfrowych (np. ślad węglowy serwerów i AI),
- Integracja LCA z analizą kosztów cyklu życia – LCC (*Life Cycle Costing*).

LCA to jedno z najważniejszych narzędzi w zarządzaniu środowiskowym na poziomie produktu. Pozwala zidentyfikować rzeczywiste źródła wpływu na środowisko, zredukować koszty oraz poprawić wizerunek organizacji. Dla inżyniera produkcji lub menedżera odpowiedzialnego za strategię środowiskową, znajomość LCA to dziś kompetencja kluczowa.

7. Katastrofy ekologiczne o światowym i regionalnym znaczeniu

Katastrofy ekologiczne to zdarzenia, które w gwałtowny sposób zaburzają równowagę środowiskową i mogą prowadzić do długofalowych, często nieodwracalnych skutków dla ludzi, przyrody i gospodarki. Niektóre katastrofy mają charakter lokalny - dotyczą pojedynczego miasta, rzeki czy regionu. Inne przekraczają granice państw, mając wpływ na cały kontynent



lub nawet planetę (np. wybuchy reaktorów jądrowych czy wycieki ropy na morzach i oceanach) (Holzer, Grabowska 2010).

Definicja i istota katastrofy ekologicznej

Katastrofa ekologiczna, to poważne zdarzenie, które prowadzi do degradacji środowiska naturalnego w sposób nagły, masowy i przekraczający lokalne możliwości naprawy. Może dotyczyć:

- skażenia powietrza, wód, gleby,
- śmierci organizmów,
- utraty bioróżnorodności,
- zagrożenia dla zdrowia i życia ludzi.

Często skutki katastrofy są opóźnione lub rozciągnięte w czasie, a ich pełne konsekwencje ujawniają się dopiero po latach (np. choroby nowotworowe po skażeniu promieniotwórczym).

Przyczyny katastrof ekologicznych

Przyczyny katastrof można podzielić na dwie grupy:

1. Naturalne (rzadkie, ale potężne)

- wybuchy wulkanów (np. Tambora 1815, Krakatau 1883),
- trzęsienia ziemi i tsunami (np. katastrofa w Fukushima po tsunami 2011),
- naturalne pożary i burze piaskowe.

2. Spowodowane przez człowieka (antropogeniczne)

To najczęstsza przyczyna katastrof ekologicznych:

- awarie przemysłowe (np. wybuchy w zakładach chemicznych),
- nielegalne zrzuty odpadów,
- niekontrolowana eksploatacja zasobów (np. nielegalne wycinki, kłusownictwo),
- błędy ludzkie lub zaniedbania (np. brak procedur awaryjnych),
- wojny i sabotaże (np. podpalenia pól roponośnych, zrzuty chemiczne).

Przykłady katastrof o zasięgu światowym

Katastrofa w Bhopalu (Indie, 1984): W zakładach Union Carbide doszło do wycieku bardzo toksycznego gazu - izocyjanianu metylu (MIC). Awarie zabezpieczeń i brak chłodzenia doprowadziły do skażenia powietrza nad miastem.

Skutki:

- Natychmiastowa śmierć ok. 3 000 osób,
- Ponad 15 000 zgonów długofalowych,



- Setki tysięcy osób z chorobami skóry, układu oddechowego i genetycznymi,
- Do dziś miejsce uznaje się za „strefę śmierci”.

To jedna z najtragiczniejszych katastrof przemysłowych w historii, po niej zaostrzono przepisy BHP i kontroli chemikaliów na całym świecie.

Katastrofa jądrowa w Czarnobylu (ZSRR, 1986): w wyniku błędów proceduralnych i eksperymentu reaktor jądrowy nr 4 w elektrowni w Czarnobylu eksplodował. Radioaktywna chmura objęła niemal całą Europę. Skutki katastrofy to m.in.:

- Ewakuacja 350 000 osób,
- Wzrost zachorowań na nowotwory tarczycy,
- Skażenie gleb i wód w promieniu setek kilometrów,
- Powstanie „zon czarnobylskiej” - strefy wykluczenia.

Katastrofa spowodowała zahamowanie rozwoju energetyki jądrowej w wielu krajach. Wzrosło znaczenie systemów zabezpieczeń i monitoringu.

Katastrofa Deepwater Horizon (Zatoka Meksykańska, 2010): eksplozja na platformie wiertniczej należącej do BP spowodowała trzymiesięczny wyciek ropy do oceanu.

Skutki:

- Ponad 780 mln litrów ropy w wodach Zatoki,
- Zniszczenie środowisk lęgowych ptaków, żółwi i ryb,
- Ogromne straty dla rybołówstwa i turystyki,
- Konieczność wieloletniego oczyszczania wybrzeża.

Katastrofa pokazała, jak kosztowne i trudne jest usuwanie skutków awarii morskich.

Doprowadziła do reformy przepisów dla platform wiertniczych w USA.

Przykłady katastrof regionalnych – z Polski

Zatrucie Odry (Polska, 2022): w lecie 2022 roku doszło do masowego śnięcia ryb w Odrze na odcinku kilkuset kilometrów. Podejrzewa się, że do rzeki trafiały ścieki przemysłowe, co w połączeniu z upałem i niskim poziomem wody spowodowało zakwit toksycznych glonów - złotej algi.

Skutki katastrofy:

- Śmierć milionów ryb, skorupiaków i małży,
- Pogorszenie jakości wody pitnej w niektórych gminach,
- Utrata zaufania społecznego do instytucji ochrony środowiska.



Brak stałego monitoringu jakości wód oraz nieefektywne zarządzanie kryzysowe ujawniły potrzebę reformy systemu zarządzania wodami w Polsce.

Katastrofa chemiczna w Tarnowie (1971): eksplozja w zakładach chemicznych Azoty Tarnów doprowadziła do wydostania się chmury chloru, która rozprzestrzeniła się nad miastem.

Skutki:

- Setki osób zatruto się gazem,
- Konieczna była częściowa ewakuacja,
- Skutki zdrowotne utrzymywały się miesiącami.

Była to jedna z pierwszych katastrof chemicznych w Polsce doprowadziła do zmian w przepisach i systemie BHP w przemyśle ciężkim PRL.

Jak katastrofy wpływają na politykę i zarządzanie?

Katastrofy ekologiczne nie tylko powodują straty – stają się punktem zwrotnym w rozwoju systemów zarządzania środowiskowego.

Tabela 15. Przykłady zmian po katastrofach:

Katastrofa	Wprowadzone zmiany
Bhopal (1984)	Nowe przepisy międzynarodowe dot. BHP w przemyśle chemicznym
Exxon Valdez (1989)	Obowiązek podwójnych kadłubów w tankowcach (konwencja MARPOL)
Czarnobyl (1986)	Globalne zasady bezpieczeństwa jądrowego (IAEA, UE)
Fukushima (2011)	Zamknięcie wielu reaktorów jądrowych, nowe systemy chłodzenia
Odra (2022)	Debata o powołaniu centralnej agencji monitoringu wód

Dla przyszłych inżynierów i menedżerów, wiedza o katastrofach ekologicznych jest niezbędna z kilku powodów:

- Uczy odpowiedzialności środowiskowej w projektowaniu i produkcji.
- Pokazuje wagę prewencji, kontroli i audytów środowiskowych.
- Umożliwia wyciąganie wniosków i budowanie lepszych procedur.
- Uświadamia, jak ważna jest transparentność i komunikacja z otoczeniem.

Katastrofy ekologiczne są tragicznym, ale silnym impulsem do rozwoju prawa, technologii i świadomości ekologicznej. Analiza ich przyczyn i skutków pomaga uniknąć powielania błędów w przyszłości - zarówno w wymiarze lokalnym, jak i globalnym.



8. Gospodarka odpadami – technologie, regulacje i dobre praktyki

Wraz z rozwojem przemysłu, konsumpcji i urbanizacji, ilość odpadów wytwarzanych na świecie osiąga niepokojące rozmiary. W Polsce rocznie powstaje ponad 13 mln ton odpadów komunalnych i kilkadziesiąt milionów ton odpadów przemysłowych.

Skuteczna gospodarka odpadami to nie tylko segregacja śmieci – to cały system, który obejmuje (Żygadło 2002):

- minimalizację powstawania odpadów,
- ponowne użycie i recykling,
- odzysk energii i surowców,
- oraz bezpieczne unieszkodliwianie.

To również dziedzina dynamicznie rozwijająca się technologicznie i prawnie - z ogromnym znaczeniem dla zarządzania produkcją, logistyki i projektowania procesów przemysłowych.

Hierarchia postępowania z odpadami (tzw. hierarchia 5R)

Unijna i polska polityka odpadowa opiera się na hierarchii zarządzania odpadami, przedstawionej graficznie poniżej:

Hierarchia 5R:

1. *Reduce* (ograniczanie) - zmniejszanie ilości odpadów u źródła (np. mniejsze opakowania).
2. *Reuse* (ponowne użycie) - np. butelki zwrotne, pojemniki wielorazowe.
3. *Recycle* (recykling) - materiałowy (np. przetwarzanie szkła, tworzyw sztucznych).
4. *Recover* (odzysk) - energetyczny (np. spalarnie z odzyskiem energii).
5. *Remove* (unieszkodliwianie) - składowanie na wysypiskach.

Zasada: Im wyżej w hierarchii – tym lepiej dla środowiska i gospodarki.

Tabela 16. Główne rodzaje odpadów w działalności przemysłowej

Rodzaj odpadów	Źródła powstawania	Sposoby zagospodarowania
Komunalne	Biura, zaplecza socjalne	Segregacja, kompostowanie, recykling
Produkcyjne (przemysłowe)	Linie technologiczne, odpady z obróbki	Recykling materiałowy, odpady niebezpieczne
Niebezpieczne	Oleje, farby, rozpuszczalniki, akumulatory	Utylizacja w spalarniach specjalistycznych
Budowlane i rozbiórkowe	Place budów, remonty	Kruszywa wtórne, odzysk metali
Opakowaniowe	Magazyny, logistyka, dostawy	Recykling, odzysk, logistyka zwrotna
Elektroniczne (e-odpady)	Komputery, sprzęt AGD, automatyka przemysłowa	Demontaż, odzysk metali, recykling tworzyw



Technologie gospodarowania odpadami

Recykling materiałowy:

- odzysk surowca wtórnego z tworzyw sztucznych, metali, papieru i szkła,
- wymaga segregacji i często czyszczenia odpadów.
- Nowość: recykling chemiczny (np. rozkład plastiku na monomery).

Odzysk energetyczny:

- spalarnie odpadów wytwarzające ciepło i energię elektryczną,
- zgodne z dyrektywą UE o efektywności energetycznej (WTE – Waste to Energy),
- wymaga filtrów i instalacji do oczyszczania spalin (np. SCR, filtry workowe).

Kompostowanie:

- dotyczy odpadów biodegradowalnych (resztki żywności, zielone odpady),
- technologia: kompostownie otwarte lub bioreaktory (fermentacja tlenowa),
- produkt końcowy: kompost, wykorzystywany w rolnictwie i rekultywacji.

Technologie specjalistyczne:

- piroliza i zgazowanie - odzysk energii bez emisji spalin,
- technologie fizykochemiczne - np. neutralizacja kwasów, dekontaminacja,
- technologie cyfrowe - systemy RFID do śledzenia odpadów, inteligentne pojemniki (IoT)⁶.

Regulacje prawne w gospodarce odpadami

Tabela 17. Kluczowe akty prawne w Polsce

Ustawa / Rozporządzenie	Zakres
Ustawa o odpadach (2012)	Obowiązki wytwórców, klasyfikacja, transport, ewidencja
Ustawa o utrzymaniu czystości i porządku w gminach	Gospodarka komunalna, selektywna zbiórka
Prawo ochrony środowiska	Ogólne zasady gospodarowania zasobami i emisjami
Rozporządzenia ministra klimatu i środowiska	Szczegółowe przepisy dot. etykietowania, recyklingu

Unijne ramy prawne:

- Dyrektywa ramowa o odpadach (2008/98/WE),
- Pakiet GOZ (Gospodarka Obiegu Zamkniętego),
- Rozporządzenie REACH (dla substancji niebezpiecznych).

⁶ Internet of things – Internet rzeczy



Systemy ewidencji i raportowania

BDO - Baza danych o produktach i odpadach- każda firma wytwarzająca lub transportująca odpady ma obowiązek prowadzenia ewidencji w systemie BDO:

- rejestracja i nadanie numeru BDO,
- karty przekazania odpadu (KPO),
- roczne raporty środowiskowe,
- integracja z GIOŚ (Główny Inspektorat Ochrony Środowiska).

ESG i raportowanie niefinansowe - duże firmy objęte są obowiązkiem raportowania wpływu na środowisko w ramach ESG (*Environmental, Social, Governance*). Dotyczy to m.in. ilości wytwarzanych odpadów i działań redukcyjnych.

Tabela 18. Dobre praktyki i przykłady z Polski

Firma / instytucja	Działanie
IKEA Polska	Recykling mebli, opakowań, program „drugie życie produktów”
Grupa Żywiec	Butelki zwrotne, recykling opakowań PET, modernizacja oczyszczalni
Sieć Biedronka	Kompostowniki w magazynach, bioodpady przekazywane do biogazowni
Miasto Konin	Punkt PSZOK, zbiórki elektroodpadów, kampanie edukacyjne dla mieszkańców
Lokalne zakłady produkcyjne	Zbiórka olejów przepracowanych, odpady w logistyce zwrotnej, segregacja metali

- Gospodarka odpadami to kluczowy obszar zarządzania środowiskowego w przemyśle i usługach.
- Od przyszłych inżynierów i menedżerów wymaga się znajomości technologii przetwarzania, przepisów prawnych oraz metod raportowania.
- Odpady to zasób - coraz częściej stają się źródłem surowców i energii, nie tylko problemem.

9. Regionalne aspekty działalności przedsiębiorstw w zakresie ochrony środowiska - studium przypadku

Dla firm działających w regionach przemysłowych, rolniczych czy usługowych ochrona środowiska przestaje być tylko obowiązkiem prawnym - staje się strategicznym elementem zarządzania operacyjnego.



Przykład 1 – ZE PAK (Wielkopolska Wschodnia): transformacja energetyczna i rekultywacja terenów

Branża: energetyka, górnictwo

Region: Konin – Turek – Koło (dawny okręg węgla brunatnego)

Tabela 19. Działania regionalne ZEPAK:

Obszar działania	Opis działań
Odchodzenie od węgla	Stopniowe wygaszanie kopalń i bloków węglowych
OZE	Budowa farm fotowoltaicznych (Brudzew) i planowane farmy wiatrowe
Rekultywacja	Przekształcenie wyrobisk w tereny rekreacyjne (np. Jezioro Pątnowskie)
Spółeczne zaangażowanie	Edukacja, współpraca z uczelniami (ANS Konin), wsparcie stypendialne

Znaczenie dla studentów ZIP⁷:

- przykład zarządzania transformacją na poziomie zakładu i regionu,
- uwzględnianie aspektów społecznych, środowiskowych i technologicznych,
- nowe miejsca pracy w obszarze zielonej energii i rekultywacji.

Przykład 2 – Lokalna firma odzieżowa „Texpol” (Kalisz – Ostrów Wlkp.): zrównoważona produkcja

Branża: przemysł tekstylny

Region: Południowa Wielkopolska

Rozwiązania proekologiczne:

- produkcja odzieży z tkanin pochodzących z recyklingu (np. butelki PET),
- odpady z krojowni trafiają do przeróbki mechanicznej na włókninę,
- logistyka bez plastikowych opakowań – kartony wielokrotnego użycia,
- energia z fotowoltaiki pokrywająca 70% zapotrzebowania zakładu,
- etykiety drukowane na papierze FSC, certyfikaty OEKO-TEX.

Wnioski:

- recykling i redukcja odpadów to nie tylko ekologia, ale też oszczędność,
- student może zaplanować obieg materiałów w zakładzie jako projekt inżynierski,
- warto obserwować, jak lokalne MŚP wdrażają innowacje niskonakładowe.

⁷ Studenci Zarządzania i Inżynierii Produkcji ANS w Koninie.



Przykład 3 – „EkoTrans” – regionalna firma transportowa (powiat koniński): zielona logistyka

Branża: transport i logistyka

Region: Ślesin – Konin – Kazimierz Biskupi

Działania:

- flota pojazdów zasilana w 40% biodieslem i LNG,
- monitoring emisji CO₂ i optymalizacja tras (system TMS + GPS),
- współpraca z producentami odpadów – logistyka zwrotna pustych opakowań,
- stacja ładowania pojazdów elektrycznych na terenie bazy,
- kursy eco-drivingu dla kierowców (mniejsze zużycie paliwa i niższa emisja NO_x).

Korzyści:

- obniżenie kosztów paliwa o ok. 17% rocznie,
- zysk wizerunkowy - zdobycie kontraktów z firmami wymagającymi ESG,
- rozwój zielonej logistyki jako niszy rynkowej.

Przykład 4 – „Metal-KON” – zakład obróbki metali (powiat słupecki): gospodarka obiegu zamkniętego

Branża: metalurgia, produkcja komponentów

Region: Słupca – Strzałkowo

Działania w ramach Gospodarki Obiegu Zamkniętego (GOZ):

- zbieranie wiórów metalowych z produkcji i odsprzedaż do hut,
- wykorzystanie ścieków technologicznych po oczyszczeniu w obiegu zamkniętym,
- program „zero opakowań jednorazowych” na hali produkcyjnej,
- zautomatyzowany system odzysku ciepła z oleju chłodzącego (do ogrzewania biur).

Znaczenie dla ZIP:

- projektowanie procesów technologicznych z uwzględnieniem odzysku,
- przykład optymalizacji procesów pod kątem środowiskowym i energetycznym,
- dane do wykorzystania w analizach LCA i raportowaniu środowiskowym.



Przykład 5 – Akademia Nauk Stosowanych w Koninie: działania środowiskowe w edukacji i przestrzeni publicznej

Branża: szkolnictwo wyższe, usługi edukacyjne

Region: Konin i region koniński

Inicjatywy:

- akcje studenckie: „Ekolotek” – zbiórka baterii, „Ekociuszek” – odzież z recyklingu,
- zieleń retencyjna na terenie kampusu (ogrody deszczowe, roślinność rodzima),
- segregacja odpadów + współpraca z PSZOK Konin,
- konferencje dot. transformacji energetycznej regionu,
- zrównoważona mobilność – współpraca z miastem przy projektowaniu ścieżek rowerowych.

Dla studentów ZIP:

- możliwość uczestnictwa w projektach „*living lab*”,
- model współpracy uczelnia–biznes–samorząd (*Triple Helix*),
- obserwacja, jak organizacje nieprodukcyjne wdrażają systemy środowiskowe.

Regionalne działania środowiskowe są bardziej elastyczne i konkretne niż ogólnokrajowe - student może je bezpośrednio obserwować i analizować. Zarządzanie środowiskowe to nie teoria, ale praktyczne decyzje produkcyjne, technologiczne i operacyjne. Uczestnictwo w lokalnych projektach (np. gospodarka odpadami, odnawialne źródła energii, logistyka zwrotna) może stanowić temat prac inżynierskich i praktyk zawodowych. Przedsiębiorstwo regionalne może być liderem ekologicznej transformacji, wpływając nie tylko na środowisko, ale i na rozwój lokalny.

Bibliografia

- Bajdur W., Henclik A., Skowron-Grabowska B., Iwaszczuk N. (2015), LCA application in the assessment of new technologies of industrial effluents treatment. *Desalination and Water Treatment*, 57, s. 1-9.
- Borys, T., Bartniczak, B., Ptak, M. (2015): *Zrównoważony rozwój organizacji odpowiedzialność środowiskowa*, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Wrocław.



- Ejdys, J., Kobylińska, U., Lulewicz, A., Tarasiuk, J. (2005), Zintegrowane systemy zarządzania, Centrum Zrównoważonego Rozwoju i Zarządzania Środowiskiem, Politechnika Białostocka, Białystok.
- Griffin, R. W. (2005), Podstawy zarządzania organizacjami, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Holzer, M., Grabowska, B. (2010), Podstawy ochrony środowiska z elementami zarządzania środowiskiem, Wydawnictwa AGH.
- Kulczycka, J. (2001), Ekologiczna ocena cyklu życia LCA. Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN.
- Latzko, W.J., Sanders, D.M. (1998): Cztery dni z dr. Demingiem. Nowoczesna Teoria Zarządzania, Wydawnictwo Naukowo – Techniczne, Warszawa.
- Łuczka-Bakuła, W. (2009): Skutki zarządzania środowiskowego według normy ISO 14001 i EMAS, Roczniki Ekonomiczne Kujawsko-Pomorskiej Szkoły Wyższej w Bydgoszczy nr 2, Bydgoszcz, s. 111-123.
- Matsui, H. (2019), What exactly are Environmental Problems?, http://matsui.net/en/eco/eco_column/column02.html, (dostęp 30.04.2025 r.).
- Matsui H., What Kind of Environmental Problems Do We Face?, http://matsui.net/en/eco/eco_column/column03.html, (dostęp 30.04.2025 r.).
- Poskrobko, B., Poskrobko, T. (2012), Zarządzanie środowiskiem w Polsce, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa.
- Popkiewicz M., Kardaś A., Malinkowski S. (2018), Nauka o klimacie, Warszawa.
- Staszczyszyn, B. (2009), Zagadnienia podstawowe zarządzania środowiskowego w Systemy zarządzania środowiskowego – ISO 14000/EMAS, w: Tabor A. (red.), t. I: Koncepcja jakości, system ekozarządzania i audytowania EMAS, zarządzanie środowiskowe - zagadnienia podstawowe, wdrażanie, utrzymywanie i doskonalenia, Centrum Szkolenia i Organizacji Systemów Jakości Politechniki Krakowskiej im. Tadeusza Kościuszki, Kraków.
- Szczepańska, K. (2013): Doskonalenie zarządzania jakością. Podstawy, ocena, perspektywy. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- Szwedzka, K., Lipiak, J. (2017), Model PDCA w procesie implementacji zmiany w przedsiębiorstwie, Zarządzanie Przedsiębiorstwem (2), s.26-33.



- Szyszka, B. (2016), Skuteczność Systemu Ekozarządzania i Audytu EMAS w organizacjach na terenie Polski, Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu, Poznań.
- Trzcińska, D., Tucholska, N., Żurawik-Paszkowska M.(2016) , Organy ochrony środowiska w Polsce i Unii Europejskiej, Gdańsk.
- Wawak, S., Babiarz, P., Zarządzanie, w: Encyklopedia zarządzania, <https://mfiles.pl/pl/index.php/Zarz%C4%85dzenie>, dostęp 30.04.2025.
- Zymonik, Z., Hamrol, A., Grudowski, P.(2013), Zarządzanie jakością i bezpieczeństwem. Seria „Zarządzanie i Inżynieria Produkcji”, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, s. 226.
- Żygadło, M. (2002., Gospodarka odpadami komunalnymi, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce.
- <http://www.businessdictionary.com/definition/environmental-problem.html> (dostęp 03.05.2025).
- PN-EN ISO 14001:2004 Systemy zarządzania środowiskowego – Wymagania i wytyczne stosowania, Polski Komitet Normalizacji.



Tomasz Kapłon

PODSTAWY ELEKTROTECHNIKI I ELEKTRONIKI

1. Prąd stały

Pojęcia podstawowe

Prądem elektrycznym nazywamy uporządkowany przepływ ładunków elektrycznych przez ośrodek przewodzący. Jeżeli wielkość tego przepływu oraz jego kierunek są stałe, to określamy go jako prąd elektryczny stały. W przypadku kiedy te wartości ulegają zmianie, mówimy o prądzie elektrycznym przemiennym. Specyficzną odmianą prądu przemiennego, szeroko stosowaną w elektrotechnice jest prąd sinusoidalnie zmienny, który będzie omawiany w dalszej części.

Wielkość przepływu ładunków elektrycznych przez przewodnik jest nazywana **natężeniem prądu elektrycznego**, określa wartość ładunków elektrycznych przepływających przez ośrodek przewodzący (przewód) w określonym czasie. Jednostką natężenia prądu elektrycznego jest **amper [A]**. Jeżeli ten przepływ jest stały, oznaczamy natężenie prądu elektrycznego literą I oraz definiujemy poniższym wzorem

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1)$$

Gdzie:

I - natężenie prądu elektrycznego

Q – wartość przepływającego ładunku elektrycznego

t – czas przepływu

Czynnikiem powodującym przepływ prądu elektrycznego przez przewód jest różnica potencjałów elektrycznych na jego końcach. Tą różnicę potencjałów **nazywamy napięciem elektrycznym** i oznaczamy literą U . Jednostką napięcia elektrycznego jest wolt [V].

W trakcie przepływu prądu elektrycznego, nośniki ładunków natrafiają na różnego rodzaju przeszkody zaburzające ich swobodny przepływ. Przykładowo elektrony na swojej drodze spotykają jądra atomów, przez co kierunek ich ruchu zostaje zaburzony. Utrudnienia te spowalniają przepływ ładunków. Wielkość tych utrudnień jest określana przez tak zwany **opór elektryczny** nazywany także **rezystancją**. Symbolem rezystancji jest litera R , a jednostką jest om [Ω - duża litera omega].

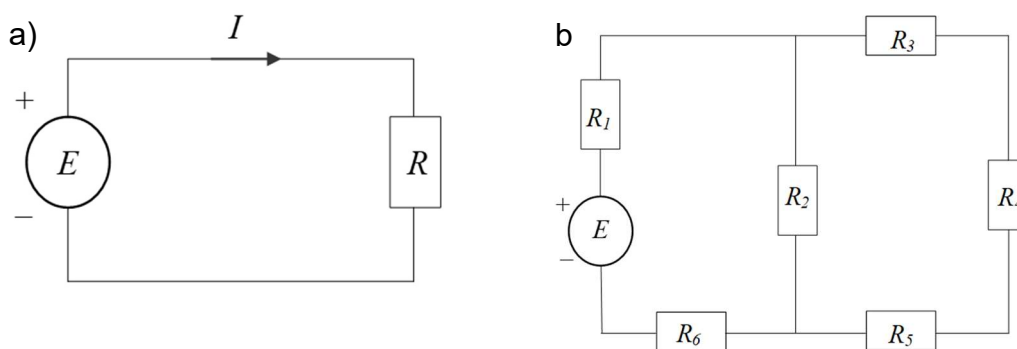


Prąd elektryczny może płynąć przez zamkniętą drogę nazywaną obwodem elektrycznym. Przyjmuje się, że kierunkiem dodatnim przepływu prądu elektrycznego jest kierunek od wyższego potencjału do niższego. Obwód elektryczny składa się co najmniej z trzech elementów:

- źródła energii elektrycznej - jest to aktywny element obwodu elektrycznego
- odbiornika elektrycznego - jest to element bierny obwodu elektrycznego
- przewodów łączących

Wyróżniamy obwody:

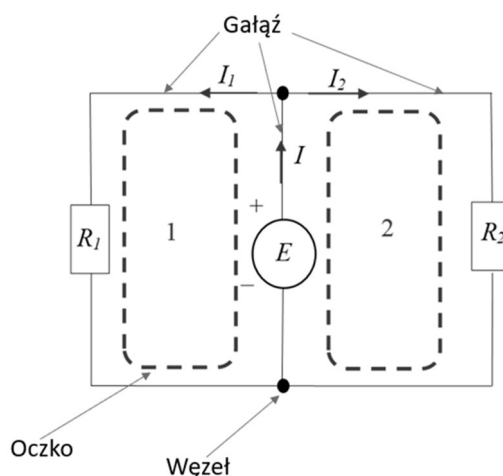
- proste (nierozgałęzione) - istnieje w nich tylko jedna droga przepływu prądu (rys. 1a)
- złożone (rozgałęzione) - zawierająco najmniej dwie niezależne i zamknięte drogi przepływu prądu (rys. 1b)



Rys. 1. Obwód prosty (a) oraz złożony (b) E – źródło napięcia,
 R – rezystancja poszczególnych odbiorników

W obwodzie elektrycznym można wyróżnić następujące elementy (rys. 2):

- Węzeł - punkt połączenia co najmniej trzech przewodów.
- Gałąź - łączy dwa sąsiednie węzły i może zawierać jeden lub więcej odbiorników.
- Oczko - zbiór połączonych ze sobą elementów, tworzących zamkniętą drogę dla przepływu prądu, taką że po usunięciu któregośkolwiek elementu ze zbioru pozostałe elementy nie tworzą drogi zamkniętej.



Rys. 2. Elementy obwodu elektrycznego

Podstawowe prawa dla obwodów prądu stałego

Zależność wiążąca ze sobą wartości natężenia prądu, napięcia elektrycznego oraz rezystancji jest nazywana **prawem Ohma**. Ma ona następującą postać:

$$I = \frac{U}{R} \quad (2)$$

gdzie:

I – natężenie prądu elektrycznego

U – napięcie prądu elektrycznego

R – opór elektryczny

Wartość rezystancji przewodu elektrycznego jest zależna od właściwości materiału, z którego został wykonany, a także od jego parametrów geometrycznych. Rezystancja rośnie wraz z długością przewodu. Wynika to z faktu, że im dłuższa droga przepływu prądu, tym większe jest prawdopodobieństwo, że na swojej drodze elektron spotka przeszkodę. Natomiast im większe pole powierzchni przekroju przewodu, tym niższa rezystancja - wynika to z faktu że ładunki mają szerszą drogę, przez którą mogą swobodniej przepływać. Wielkością materiałową określającą jak dobrym przewodnikiem jest dany materiał jest **rezystywność** inaczej **opór właściwy**. Jego symbolem jest ρ (mała litera ro), a jednostką $\Omega \cdot m$. Zależność na opór elektryczny ma następującą postać:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (3)$$



Gdzie:

R - rezystancja

ρ – rezystywność

l – długość przewodu

S – pole powierzchni przekroju przewodu

Tabela 1 przedstawia zbiór wartości rezystywności dla metali powszechnie stosowanych w technice.

Tabela 1. Rezystywność wybranych materiałów

Materiał	Rezystywność w temperaturze 20°C
	$\Omega \cdot m$
Srebro	$1,62 \cdot 10^{-8}$
Złoto	$2,44 \cdot 10^{-8}$
Miedź	$1,75 \cdot 10^{-8}$
Aluminium	$2,88 \cdot 10^{-8}$
Żelazo	$9,6 \cdot 10^{-8}$
Nikiel	$7,3 \cdot 10^{-8}$

Na wartość rezystancji wpływ ma także temperatura przewodu. W przypadku metali rezystancja wzrasta wraz ze wzrostem temperatury, w przypadku półprzewodników można znaleźć takie których rezystancja spada. Zależność opisującą zależność między temperaturą a rezystancją danego elementu przedstawia poniższe równanie.

$$R_T = R_{20}(1 + \alpha \Delta T) \quad (4)$$

gdzie:

R_T – rezystancja elementu w danej temperaturze

R_{20} – rezystancja elementu w temperaturze odniesienia (20°C)

α – temperaturowy współczynnik rezystancji ($\frac{1}{K}$)

ΔT – różnica między temperaturą elementu a temperaturą odniesienia (w kelwinach)

W tabeli 2 zebrano wartości temperaturowych współczynników rezystancji dla wybranych materiałów.



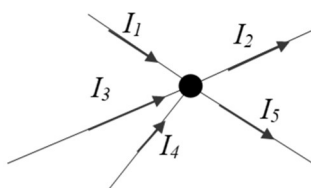
Tabela 2. Temperaturowe współczynniki rezystancji dla wybranych materiałów

Materiał	Temperaturowy współczynnik rezystancji
	K^{-1}
Srebro	$4,1 \cdot 10^{-3}$
Złoto	$3,6 \cdot 10^{-3}$
Miedź	$3,9 \cdot 10^{-3}$
Aluminium	$4,4 \cdot 10^{-3}$
Żelazo	$6,5 \cdot 10^{-3}$
Nikiel	$6,0 \cdot 10^{-3}$

W obliczeniach obwodów elektrycznych oprócz prawa Ohma zastosowanie mają także dwa prawa Kirchhoffa sformułowane na podstawie bilansu energetycznego.

I prawo Kirchhoffa dotyczy węzłów obwodu elektrycznego. W każdym węźle obwodu elektrycznego suma natężeń prądów wpływających do węzła równa się sumie natężeń prądów wypływających z węzła. W przypadku przedstawionym na rysunku 3.

$$I_1 + I_3 + I_4 = I_2 + I_5 \quad (5)$$



Rys. 3. Prądy wpływające i wypływające z węzła

Jeżeli przyjmie się, że prądy wpływające są dodatnie, a wypływające ujemne, to wzór ogólny przyjmuje postać:

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0 \quad (6)$$

Gdzie:

I_k – prąd z danej gałęzi łączącej się z węzłem

n – liczba gałęzi łączących się w danym węźle

II prawo Kirchhoffa dotyczy zależności między siłami elektromotorycznymi i spadkami napięć w oczku. W dowolnym oczku obwodu elektrycznego suma algebraiczna sił elektromotorycznych (napięć źródłowych) jest równa sumie algebraicznej spadków napięć na rezystancjach tego oczka. Dla przykładowego oczka na rysunku 4 można zapisać:



$$E_1 - E_3 + E_2 = U_1 - U_4 - U_3 + U_2 \quad (7)$$

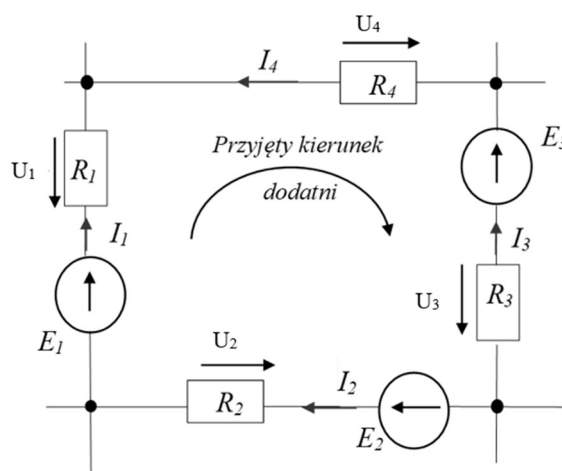
gdzie:

E_i – napięcia źródłowe w oczku

U_i – spadki napięcia na poszczególnych odbiornikach

a po zastosowaniu prawa Ohma i podstawieniu w miejscu poszczególnych spadków napięć U_i odpowiednich iloczynów I_i oraz R_i :

$$E_1 - E_3 + E_2 = R_1 I_1 - R_4 I_4 - R_3 I_3 + R_2 I_2 \quad (8)$$



Rysunek 4. Przykładowe oczko z zaznaczonymi spadkami napięć

Po zapisaniu w sposób uogólniony II prawo Kirchhoffa przyjmuje postać:

$$\sum_{l=1}^m E_l = \sum_{k=1}^n R_k I_k \quad (9)$$

Praca i moc obwodu elektrycznego

Ładunki elektryczne przepływające przez obwód elektryczny wykonują pewną pracę, której symbolem jest W , którą można opisać wzorem:

$$W = U \cdot I \cdot t \quad (10)$$

Gdzie:

W - praca

U – napięcie elektryczne

I - natężenie prądu elektrycznego

t – czas

Jednostką pracy jest dżul (J).



Moc, której symbolem jest P , natomiast jest pracą wykonaną w jednostce czasu, w związku z czym opisuje się ją wzorem:

$$P = U \cdot I \quad (11)$$

P - moc

U – napięcie elektryczne

I - natężenie prądu elektrycznego

Jednostką mocy są waty (W). W przypadku elementów rezystancyjnych energia elektryczna dostarczona do nich zamienia się w całości na ciepło. Po zastosowaniu prawa Ohma dla elementu rezystancyjnego można zapisać:

$$P = R \cdot I^2 = \frac{U^2}{R} \quad (12)$$

P - moc

R - rezystancja

U – napięcie elektryczne

I - natężenie prądu elektrycznego

Ponieważ jednostki podstawowe układu SI dżule i waty są zbyt małe do stosowania w licznikach w rzeczywistych instalacjach elektrycznych, często stosuje się jednostki pochodne.

Do określenia mocy:

$$1 \text{ kW (kilowat)} = 1000 \text{ W}$$

$$1 \text{ MW (megawat)} = 1000000 \text{ W}$$

Natomiast do opisanienia energii:

$$1 \text{ kWh (kilowatogodzinę)} = 1000 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$$

Źródła energii elektrycznej

Ze względu na sposób dostarczania energii elektrycznej źródła można podzielić na dwa rodzaje:

- źródła napięciowe
- źródła prądowe

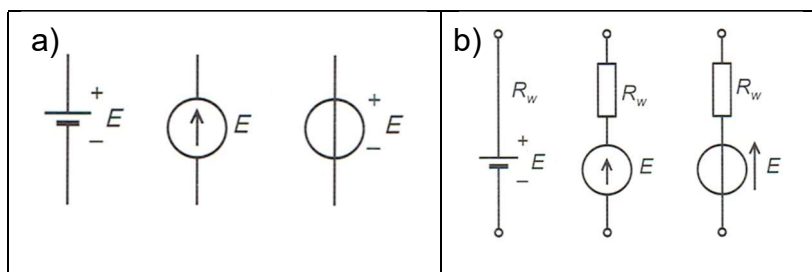
Źródłem napięciowym (idealnym) nazywamy element, na którego zaciskach występuje napięcie elektryczne o nieziennej wartości bez względu na obciążenie jakie jest podłączone



do jego zacisków. Tego typu obiekt nie jest możliwy do realizacji fizycznej, ponieważ każde źródło posiada pewną rezystancję wewnętrzną. W związku z tym definiuje się także rzeczywiste źródło napięciowego. W najprostszym modelu źródła rzeczywistego przyjmuje się, iż ma ono dwa parametry: siłę elektromotoryczną (napięcie źródłowe) oraz rezystancję wewnętrzną. Rzeczywiste źródła napięciowe można podzielić na:

- źródła chemiczne - baterie, akumulatory
- źródła elektromagnetyczne - prądnice prądu stałego i zmiennego
- źródła termoelektryczne - termoogniwa, termopary
- źródła fotoelektryczne - tzw. fotoogniwa

Symbole stosowane dla źródeł napięciowych przedstawia rysunek 5.



Rysunek 5. Symbole źródła napięcia: a - idealne, b - rzeczywiste

Źródło napięciowe może znajdować się w trzech stanach pracy, określanych jako stan jałowy, stan zwarcia, oraz stan obciążenia.

Stan jałowy występuje, gdy obwód elektryczny jest przerwany, między zaciskami źródła występuje nieskończenie duża rezystancja, w skutek czego nie występuje przepływ prądu. Wówczas napięcie mierzone na zaciskach rzeczywistego źródła napięciowego jest największe.

Stan zwarcia występuje gdy zaciski źródła zostaną ze sobą bezpośrednio zwarte, rezystancja między nimi wynosi wówczas 0. W takim przypadku wartość natężenia prądu płynącego między zaciskami osiągnie wartość maksymalną, w przypadku rzeczywistego źródła napięciowego ograniczoną jedynie jego rezystancją wewnętrzną.

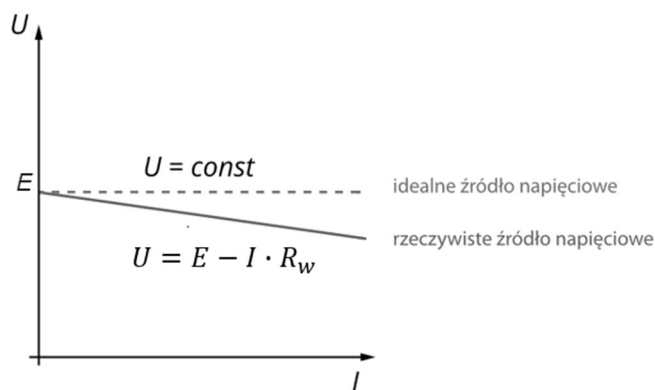
Stan obciążenia jest typowym stanem pracy źródła napięciowego. Wówczas między zaciskami źródła jest podłączony odbiornik o określonej rezystancji. W takim przypadku wartość prądu płynącego w obwodzie, oraz napięcia mierzonego na zaciskach źródła rzeczywistego zależy od rezystancji odbiornika oraz rezystancji wewnętrznej źródła. Rys. 6 przedstawia zbiorczo stany pracy źródła napięciowego.



Stan jałowy ($I_0 = 0$; $R_0 = \infty$)	Stan zwarcia ($I_0 = I_Z$; $R_0 = 0$)	Stan obciążenia
	$I_Z = \frac{E}{R_w}$	$U = E - R_w \cdot I$ $I = \frac{E}{R + R_w}$

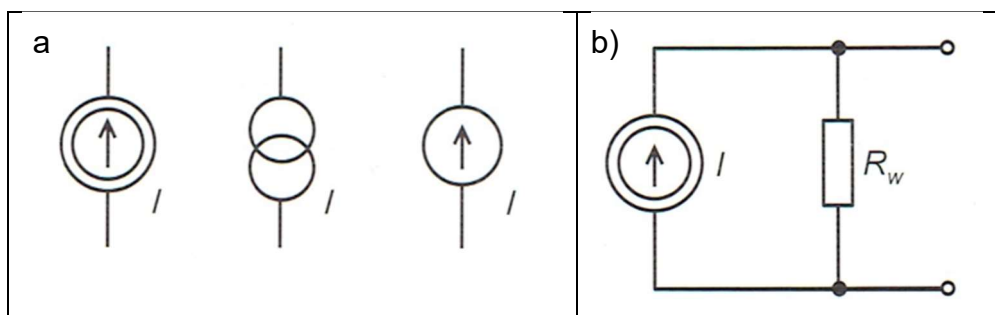
Rysunek 6. Stany pracy źródła napięciowego rzeczywistego

Na rysunku 7 przedstawiono charakterystykę prądowo napięciową idealnego źródła napięciowego i rzeczywistego.

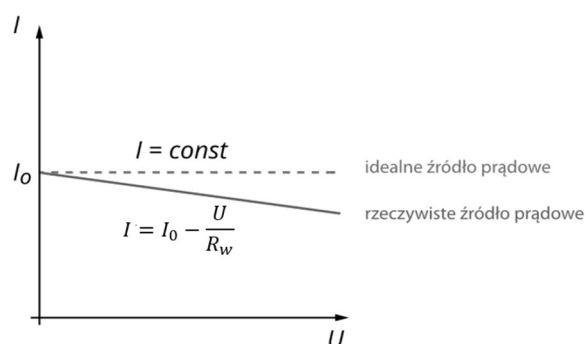


Rysunek 7. Charakterystyka prądowo- napięciowa idealnego i rzeczywistego źródła napięciowego

Źródłem prądowym (idealnym) nazywamy element, który wymusza pomiędzy swoimi zaciskami prąd elektryczny o niezmiennym natężeniu bez względu na obciążenie jakie podłączymy do tego źródła. W rzeczywistym źródle napięciowym występuje jednakże także rezystancja wewnątrz, w skutek czego natężenie prądu także zależy od obciążenia. Rzeczywiste źródło prądowe modeluje się jako idealne źródło prądowe połączone równolegle z rezystancją wewnętrzną. Rysunek 8 przedstawia symbole źródła prądowego, natomiast rysunek 9 charakterystykę prądowo-napięciową idealnego i rzeczywistego źródła prądowego.



Rys. 8. Symbole źródła prądowego: a - idealnego, b - rzeczywistego

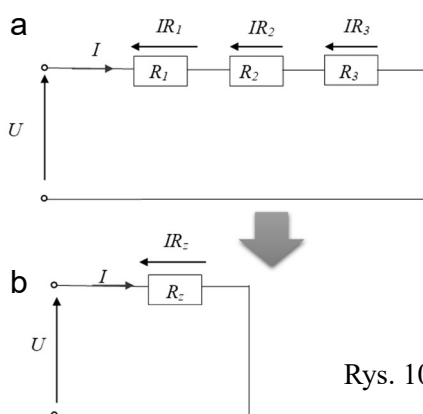


Rys. 9. Charakterystyka prądowo-napięciowa idealnego i rzeczywistego źródła prądowego

Łączenie rezystorów i źródeł prądu elektrycznego

W trakcie obliczeń obwodów elektrycznych występuje potrzeba zastępowania rezystancji poszczególnych odbiorników tak zwaną rezystancją zastępczą R_Z . Rezystancja zastępcza jest to więc rezystancja jaką miałby rezystor równoważny kilku (myślowo) zastępowanym rezystorom. Sposób obliczenia rezystancji zastępczej zależy od połączenia rezystorów.

Przykładowe **połączenie szeregowe rezystorów** zostało przedstawione na rysunku 10. Przy takim połączeniu przez wszystkie rezystory przepływa prąd o takim samym natężeniu.



Rys. 10. a - połączenie szeregowe rezystorów, b - obwód równoważny



W przypadku przedstawionym na rysunku 9a można więc zapisać:

$$U = IR_1 + IR_2 + IR_3 \quad (13)$$

W przypadku obwodu równoważnego z rysunku 9b:

$$U = IR_z \quad (14)$$

Na podstawie przyrównania zależności na napięcie U :

$$IR_z = IR_1 + IR_2 + IR_3 \quad (15)$$

$$R_z = R_1 + R_2 + R_3 \quad (16)$$

Dla przypadku uogólnionego można zapisać:

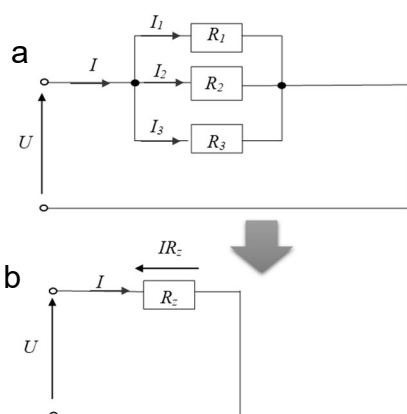
$$R_z = \sum_{k=1}^n R_k \quad (17)$$

Gdzie:

R_z – rezystancja zastępcza

R_k – rezystancja poszczególnych odbiorników połączonych szeregowo

Przykładowe **połączenie równoległe rezystorów** zostało przedstawione na rysunku 11. Przy takim połączeniu na wszystkich rezystorach występuje spadek napięcia o takiej samej wartości.



Rys. 11. a - połączenie równoległe rezystorów, b - obwód równoważny

W przypadku przedstawionym na rysunku 11a można zapisać:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \quad (18)$$

$$I_1 = \frac{U}{R_1} \quad (19) \quad I_2 = \frac{U}{R_2} \quad (20) \quad I_3 = \frac{U}{R_3} \quad (21)$$

W przypadku obwodu równoważnego z rysunku 11b:

$$I = \frac{U}{R_z} \quad (22)$$

Na podstawie przyrównania zależności na natężenie prądu I :

$$\frac{U}{R_z} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} \quad (23)$$



$$\frac{1}{R_Z} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad (24)$$

Dla przypadku uogólnionego można zapisać:

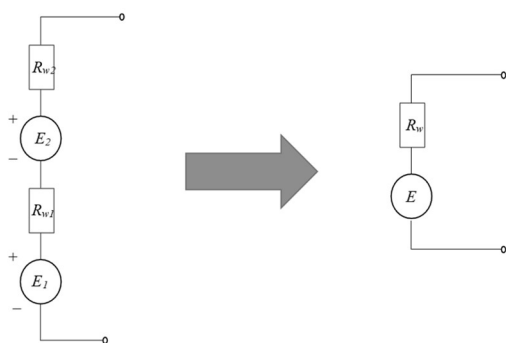
$$\frac{1}{R_Z} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (25)$$

Gdzie:

R_Z – rezystancja zastępcza

R_k – rezystancja poszczególnych odbiorników połączonych szeregowo

W przypadku łączenia szeregowego źródeł napięcia, jak na rysunku 12. zastępcze napięcie źródłowe jest sumą napięć poszczególnych źródeł

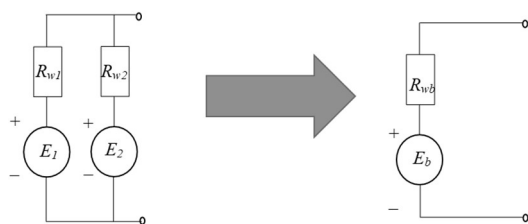


Rys. 12. Połączenie szeregowe źródeł napięciowych

$$E = E_1 + E_2 \quad (26)$$

$$R_w = R_{w1} + R_{w2} \quad (27)$$

Jeżeli następuje łączenie takich samych źródeł napięciowych równolegle jak na rysunku 13, napięcie źródłowe pozostaje niezmiennione, zmniejsza się natomiast rezystancja wewnętrzna. Dzięki temu można uzyskać większy maksymalny prąd na wyjściu. W przypadku połączenia źródeł napięciowych o różnych napięciach źródłowych, silniejsze źródło zacznie ładować słabsze i jeżeli to nie jest do tego dostosowane może zostać uszkodzone



Rys. 13. Połączenie równoległe źródeł napięciowych

Wymagane: $E_1 = E_2$ oraz $R_{w1} = R_{w2} = R_w$

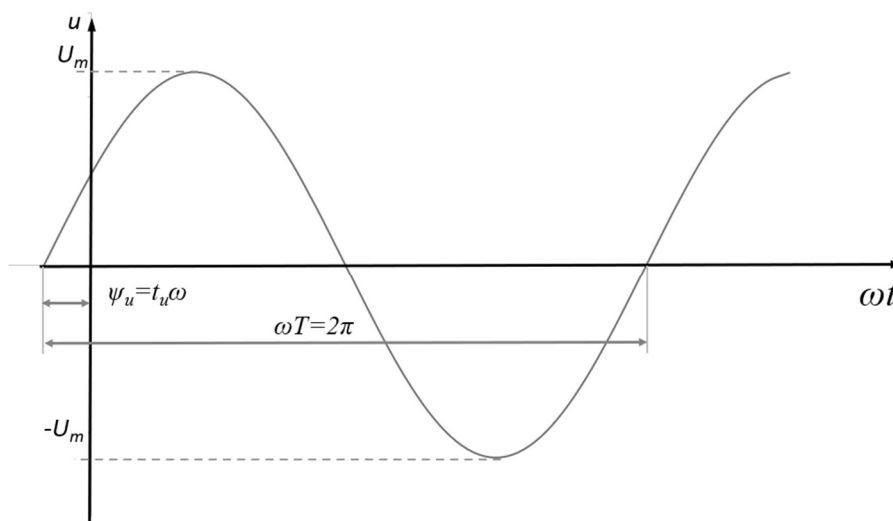
$$E = E_1 = E_2 \quad (28)$$

$$R_{wb} = \frac{R_w}{2} \quad (29)$$



2. Prąd przemienny

Zależnie od zmiany kierunku i wartości przepływu prądu dzieli się go na prąd stały oraz zmienny. Jeżeli zmiana napięcia elektrycznego i natężenia prądu ma charakter sinusoidalny nazywamy go prądem sinusoidalnie zmiennym. Powszechnie w skrócie mówi się o nim jako o prądzie przemiennym. Przykładowy przebieg napięcia prądu sinusoidalnego oraz parametry opisujące go przedstawiono na rysunku 14.



Rysunek 14. Przykładowy przebieg napięcia prądu sinusoidalnie zmiennego

Przebieg napięcia można opisać wzorem:

$$u = U_m \sin(\omega t + \psi_u) \quad (30)$$

W wzorze tym:

u – jest to napięcie chwilowe (V)

U_m - jest to amplituda czyli największa wartość napięcia chwilowego (V)

T – okres prądu sinusoidalnego (s)

ω – pulsacja (rad/s)

ψ_u – początkowe przesunięcie fazowe

Wyróżnić można także częstotliwość prądu sinusoidalnego f , której jednostką są herce (Hz), będącą odwrotnością okresu.

Przebieg natężenia prądu elektrycznego także ma charakter sinusoidalny. W zależności od właściwości danego obwodu elektrycznego przebiegi sinusoidalne napięcia i natężenia prądu mogą być ze sobą zgodne w fazie, albo przesunięte o pewien kąt.



Wartości średnie i skuteczne prądu przemiennego

Ponieważ w przypadku prądów sinusoidalnie zmiennych wartości natężeń prądów oraz napięć są zmiennie w czasie wykonywanie dla nich obliczeń może być skomplikowane. Z tego powodu dla ich uproszczenia wprowadza się równoważne wartości stałe w czasie. Zależnie od celu obliczeń posługujemy się wartościami średnimi albo skutecznymi.

W przypadku rozważań dotyczących ładunku elektrycznego posługujemy się wartościami średnimi. Wartość średnia prądu sinusoidalnego jest to wartość zastępczego prądu stałego, który w czasie równym połowie okresu przenosi taki sam ładunek jak prąd sinusoidalny.

W przypadku wartości średniej natężenia prądu można ją wyprowadzić w sposób następujący

$$I_{sr} \frac{T}{2} = \int_0^{T/2} i dt \quad (31)$$

$$I_{sr} = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} i dt \quad (32)$$

$$I_{sr} = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} I_m \sin \omega t dt = \left[\frac{2I_m}{\omega T} (-\cos \omega t) \right]_0^{T/2} = \frac{2}{\pi} I_m \approx 0,637 I_m \quad (33)$$

Gdzie:

I_{sr} – wartość średnia natężenia prądu

I_m – amplituda natężenia prądu

W przypadku wartości średniej napięcia, podobnie:

$$U_{sr} = \frac{2}{\pi} U_m \approx 0,637 U_m \quad (34)$$

W przypadku rozważań energetycznych prąd sinusoidalny zastępuje się równoważnym prądem stałym o natężeniu I albo napięciu U , który wydzieliliby na rezystorze R taką samą ilość energii w postaci ciepła jak prąd sinusoidalny płynący przez taki sam okres czasu T . Przy czym wartości I oraz U nazywamy wartościami skutecznymi. Zapisujemy je za pomocą dużych liter. Zależność na wartość skuteczną natężenia prądu sinusoidalnego można wyprowadzić w sposób następujący:

$$RI^2T = \int_0^T Ri^2 dt \quad (35)$$

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} \quad (36)$$

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I_m^2 \sin^2 \omega t dt} = \sqrt{\frac{I_m^2}{T} \int_0^T (1 - \cos 2\omega t) dt} = \sqrt{\frac{I_m^2}{2}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad (37)$$

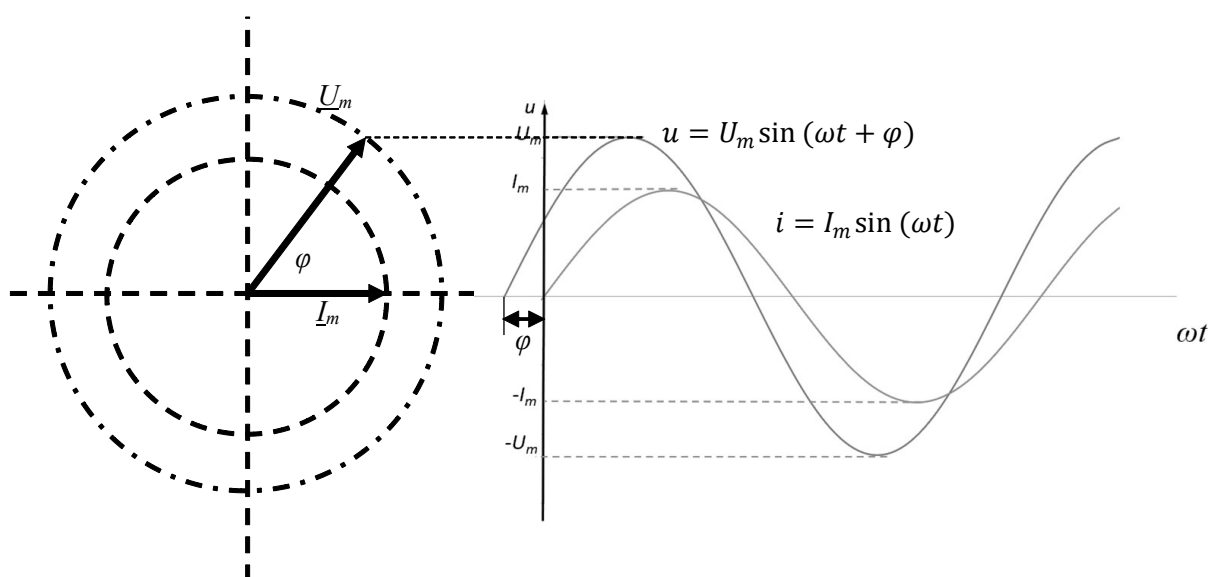
W przypadku wartości skutecznej napięcia podobnie:

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \quad (38)$$



Wykresy wskazowe prądów i napięć

Wartości zmienne prądu sinusoidalnego często dużo wygodniej jest przedstawiać jako tak zwane wektory wirujące zamiast w postaci przebiegu czasowego. W przypadku takiego wektora jego moduł (długość) jest równy amplitudzie wielkości sinusoidalnej (natężenia albo napięcia). Kąt natomiast jaki tworzy wektor z półosią odciętych jest równy fazie początkowej. Wykresy wskazowe sporządza się także dla wartości skutecznych- wówczas moduły wektorów są równe wartością skutecznym. Przykładowy wykres wskazowy przedstawia rysunek 15.



Rysunek 15. Przykład wektora wskazowego dla natężenia prądu i napięcia przesuniętego o kąt φ

Moc oraz energia w obwodach prądu przemiennego

W przypadku prądu stałego wartości napięcia i natężenia są stałe, z tego powodu ich iloczyn określający moc był także wartością stałą. Ponieważ w przypadku prądu przemiennego wartości napięcia i natężenia są zmienne w czasie, również moc obliczoną jako ich iloczyn określa się jako moc chwilową – p . Małe litery wskazują że mówimy o wartościach chwilowych.

$$p = u \cdot i \quad (39)$$

Dla lepszego zobrazowania mocy wygodniej niż za pomocą wartości chwilowych jest posługiwać się wartościami skutecznymi napięcia i natężenia. W przypadku obwodów prądu przemiennego sinusoidalnego wyróżniamy trzy rodzaje mocy: moc czynną, moc bierną oraz moc pozorną.



Moc czynna jest mocą zamienianą na faktyczną pracę użyteczną, podobne jak w przypadku prądu stałego jej symbolem jest P , a jednostką wat (W). Jej wartość jest iloczynem wartości skutecznych napięcia i natężenia prądu oraz współczynnika mocy. Współczynnik mocy jest wartością cosinusa kąta przesunięcia fazowego między przebiegiem napięcia i natężenia prądu - φ .

$$P = UI \cos \varphi \quad (40)$$

Moc bierna - Q służy między innymi wytworzeniu pól magnetycznych, nie jest zamieniana na pracę użyteczną. Jej jednostką jest war (var). Jest określona przez zależność:

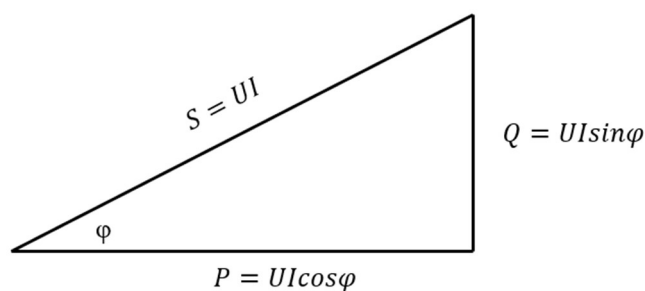
$$Q = UI \sin \varphi \quad (41)$$

Wyróżniamy moc bierną indukcyjną Q_L , które przyjmuje się za dodatnie, oraz moc pozorną pojemnościową Q_C umownie ujemną. W obwodach prądu zmiennego moce pozorne indukcyjne i pojemnościowe mogą nawzajem się skompensować.

Moc pozorna - S jest to największa możliwa wartość mocy czynnej w obwodzie przy $\cos \varphi = 1$. Jest to iloczyn wartości skutecznych napięcia i prądu. Jej jednostką jest woltoamper (V·A).

$$S = UI \quad (42)$$

Relacje między poszczególnymi mocami można zilustrować za pomocą tak zwanego trójkąta mocy, przedstawionego na rysunku 16.



Rysunek 16. Trójkąt mocy

Na podstawie zależności między bokami trójkąta prostokątnego można zapisać:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (43)$$

Uwzględniając, że moc bierna wydzielana w obwodzie może być zarówno dodatnia jak i ujemna:

$$S = \sqrt{P^2 + (Q_L - Q_C)^2} \quad (44)$$



Energia czynna - A_{cz} w układach prądu przemiennego jest to energia zamieniana na pracę mechaniczną lub ciepło. Jej wartość jest równa pomnożeniu mocy biernej przez czas

$$A_{cz} = P \cdot t \quad (45)$$

Istnieje także pojęcie energii biernej, która jest równa mocy czynnej pomnożonej przez czas

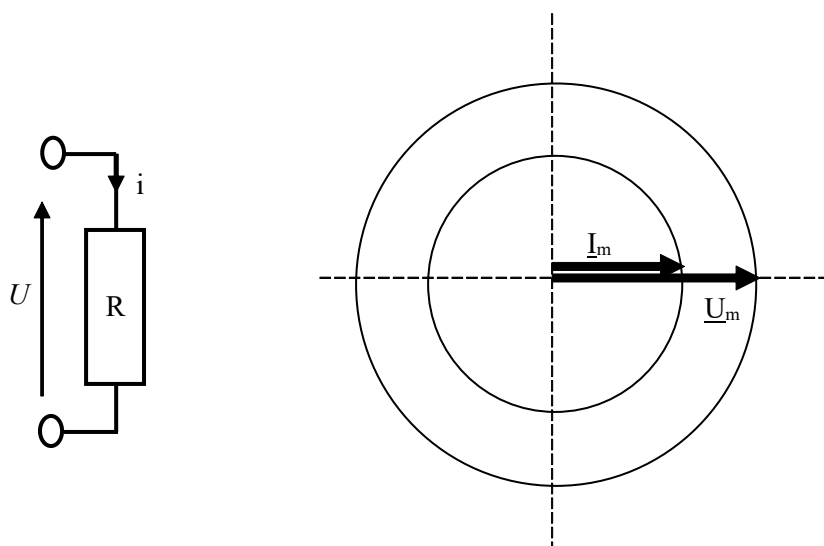
$$A_b = Q \cdot t \quad (46)$$

Drobni odbiorcy energii elektrycznej płacą tylko za pobieraną moc czynną. Duży natomiast są wyposażeni także w liczniki mocy biernej i za jej odbiór także płacą.

Elementy RLC obwodu prądu przemiennego

W obwodach prądu przemiennego wyróżniamy elementy rezystancyjne, indukcyjne i pojemnościowe. W swojej idealnej modelowej postaci każdy cechuje się specyficzną właściwością rezystancją, indukcyjnością, oraz pojemnością. Rzeczywiste elementy posiadają jednakże także właściwości pasożytnicze, to oznacza, że przykładowo rezystor oprócz rezystancji posiada także pewną indukcyjność i pojemność. Są one jednak zazwyczaj znacznie mniejsze od podstawowego parametru.

Elementy rezystancyjne nazywane są opornikami albo rezystorami. Ich symbol przedstawia rysunek 17. Oznaczane są symbolem R , a ich podstawowym parametrem jest rezystancja, czyli opór czynny.

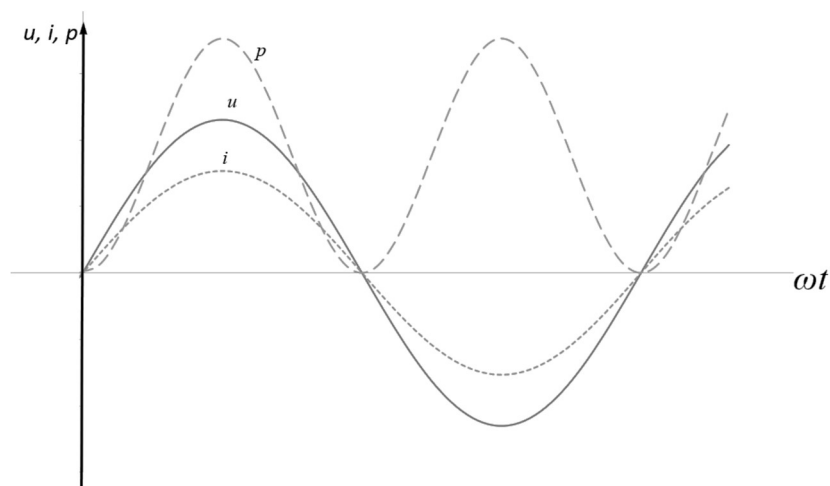


Rys. 17. Rezystor i wykres wskazowy przebiegu napięcia i prądu

Cechuje je to że wydziela się na nich tylko moc czynna oraz przebiegi prądu i napięcia są ze sobą zgodne w fazie – nie występuje na nich przesunięcie przebiegu napięcia i natężenia prądu.

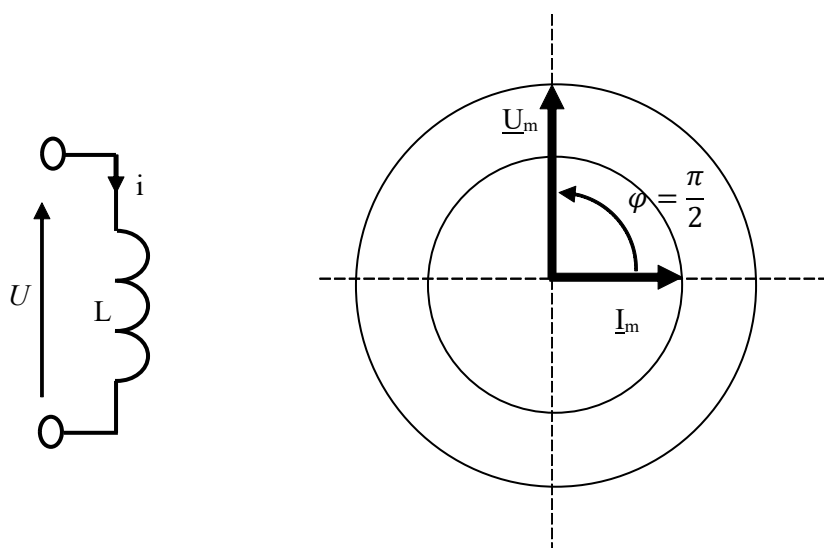


Brak przesunięcia między natężeniem prądu i napięciem widać na wykresie ich przebiegu na rysunku 18.



Rys. 18. Zmiany w czasie na rezystorze napięcia, prądu i mocy chwilowej

Elementami indukcyjnymi są najczęściej różnego rodzaju cewki. Symbol cewki przedstawia rysunek 19. Na cewce wydzielą się moc bierna o charakterze indukcyjnym, dla której przyjmuje się że ma znak dodatni. Podstawowym parametrem cewki jest jej indukcyjność oznaczona symbolem L . Jednostką indukcyjności są henry (H). W przypadku łączenia cewek w sposób szeregowy ich indukcyjność zastępcza jest sumą indukcyjności połączonych elementów. Natomiast w przypadku łączenia równoległego odwrotność indukcyjności zastępczej jest sumą odwrotności indukcyjności połączonych cewek.



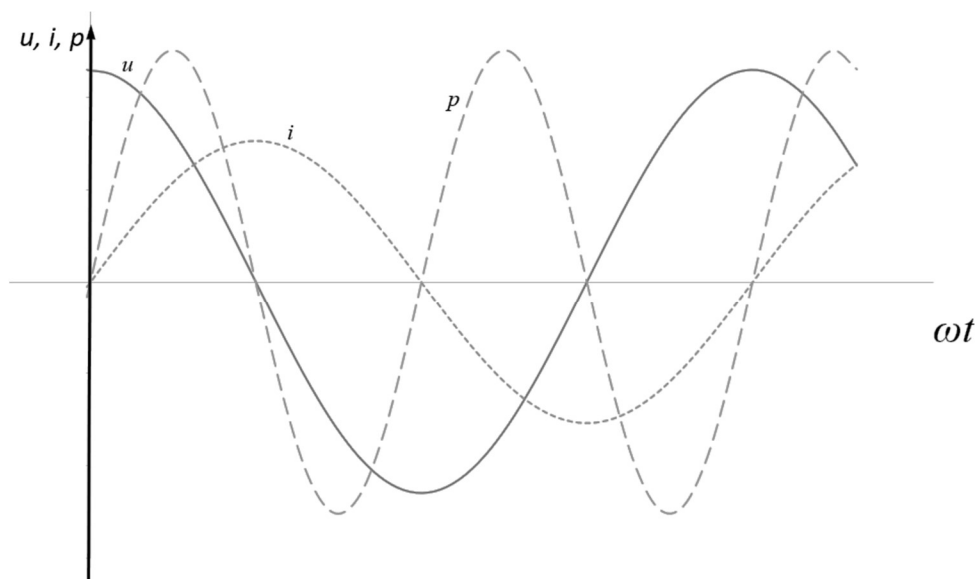
Rys. 19. Symbol cewki oraz jej wykres wskazowy



W elementach indukcyjnych występuje opór bierny indukcyjny zależny od indukcyjności cewki oraz od częstotliwości prądu płynącego przez cewkę. Opisuje go poniższy wzór:

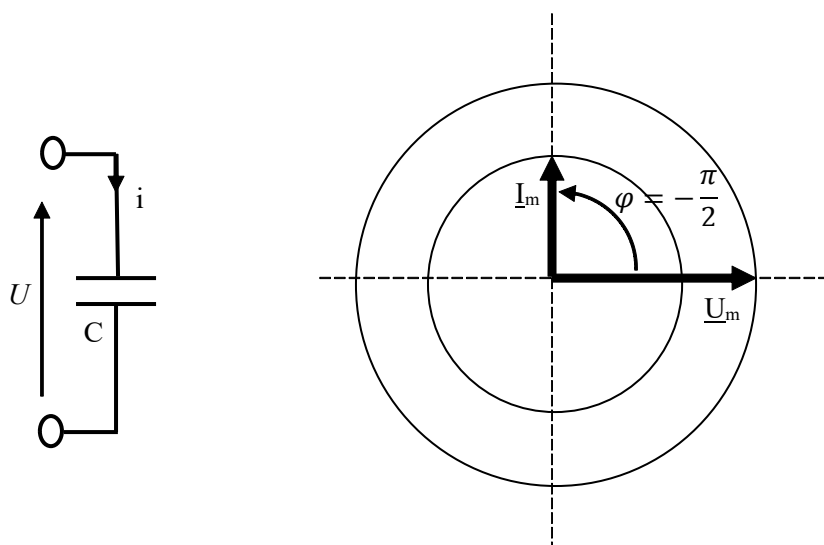
$$X_L = 2\pi fL \quad (47)$$

W przypadku cewki przebieg napięcia wyprzedza przebieg prądu o 90° . Co przedstawia rysunek 20.



Rys. 20. Przebieg w czasie napięcia, prądu i mocy chwilowej na cewce

Elementami pojemnościowymi są najczęściej różnego rodzaju kondensatory. Symbol kondensatora przedstawia rysunek 21. Na kondensatorze wydzielą się moc bierna o charakterze pojemnościowym, dla której przyjmuje się że ma znak ujemny. Podstawowym parametrem kondensatora jest jego pojemność oznaczona symbolem C . Jednostką pojemności są farady (F). Przypadku kondensatorów przy ichłączeniu równoległym pojemność zastępcza równa się sumie pojemności kondensatorów połączonych. Natomiast przy połączeniu szeregowym odwrotność pojemności zastępczej równa się sumie odwrotności pojemności połączonych kondensatorów.

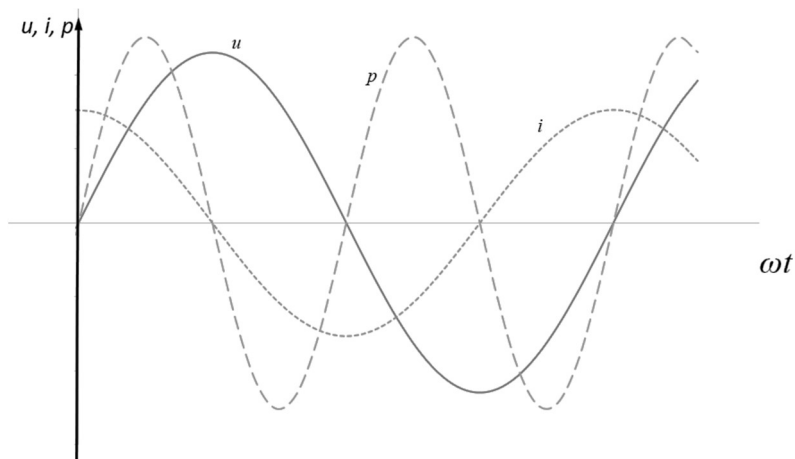


Rys. 21. Symbol kondensatora oraz jego wykres wskazowy

W elementach pojemnościowych występuje opór bierny pojemnościowy zależny od pojemności kondensatora oraz od częstotliwości prądu płynącego przez cewkę. Opisuje go poniższy wzór:

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} \quad (48)$$

W przypadku kondensatora przebieg napięcia jest opóźniony względem prądu o 90° . Co przedstawia rysunek 22.



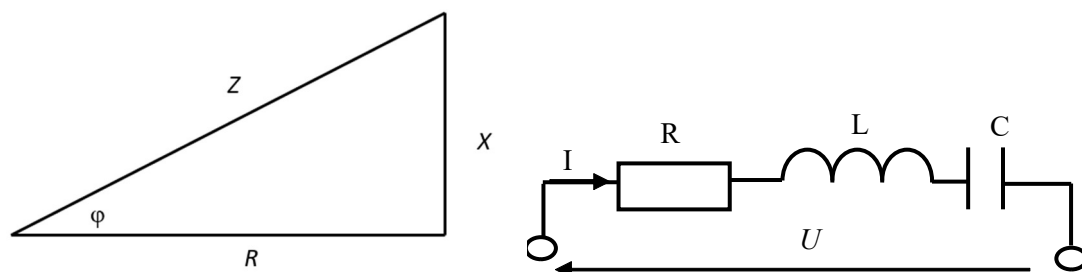
Rys. 22. Przebieg w czasie napięcia, prądu i mocy chwilowej na kondensatorze

Opór w obwodach prądu przemiennego

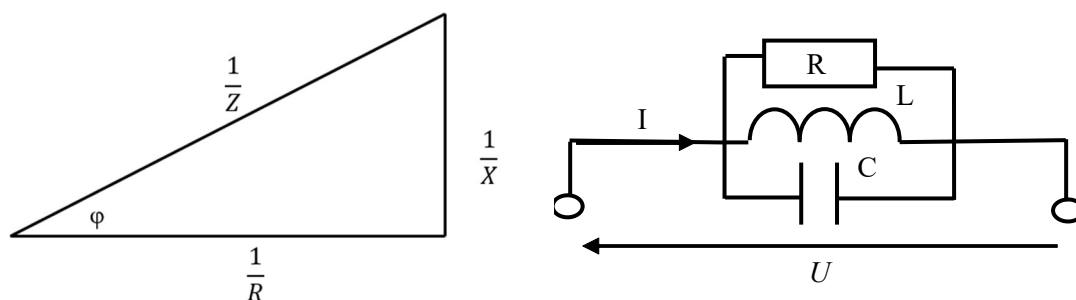
W przypadku obwodów prądu przemiennego możemy wyróżnić podobnie jak z mocą opór czynny - rezystancję (R), opór bierny - reaktancję (X), oraz opór pozorny - impedancję (Z). W obliczeniach umownie przyjmuje się opór bierny indukcyjny za dodatni, a pojemnościowy



za ujemny. Relacje między poszczególnymi oporami można przedstawić za pomocą trójkąta prostokątnego, z rozróżnieniem czy elementy są połączone szeregowo czy równoległe. Rysunek 23 ilustruje połączenie szeregowe, a 24 równoległe.



Rys. 23. Trójkąt oporów dla elementów RLC połączonych szeregowo



Rys. 24. Trójkąt oporów dla elementów RLC połączonych równoległe

Rezonans elektryczny

W obwodach prądu sinusoidalnego impedancja, a zatem także wartości prądów oraz ich przesunięć fazowych w stosunku do napięcia zależą od reaktancji indukcyjnej i pojemnościowej, ponieważ we wzorze określającym wartość impedancji Z występuje różnica reaktancji pojemnościowej i indukcyjnej,

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (49)$$

może dojść do ich wzajemnego zniesienia pod warunkiem:

$$X_L = X_C \quad (50)$$

Prąd wpływający do obwodu będzie taki jakby w obwodzie była tylko rezystancja, nie będzie przesunięcia fazowego między napięciem i prądem.

Wyróżnia się:

- Rezonans dla obwodu szeregowego- rezonans napięć
- Rezonans dla obwodu równoległego- rezonans prądów



Rezonans napięć występuje w obwodzie szeregowym przy spełnieniu warunku rezonansu

$$\underline{U}_L + \underline{U}_C = 0 \quad (51)$$

Po podstawieniu do warunku rezonansu, wyrażenia na wartość reaktancji indukcyjnej i pojemnościowej

$$X_L = X_C \quad (52)$$

$$2\pi fL = \frac{1}{2\pi fC} \quad (53)$$

Otrzymać można wartość częstotliwości rezonansowej

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (54)$$

Rezonans prądów występuje w obwodzie równoległe połączonych elementów R,L,C po spełnieniu warunku rezonansu

$$\underline{I}_L + \underline{I}_C = 0 \quad (55)$$

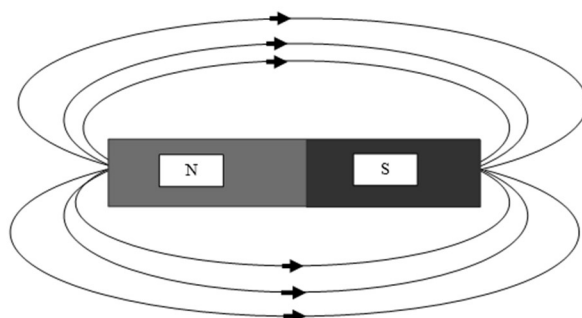
Wzór określający częstotliwość rezonansową jest taki sam jak w przypadku rezonansu napięć

3. Obwody magnetyczne

Pole magnetyczne i magnetyzm

Już w starożytności obserwowano oddziaływania magnetyczne. Zauważono wtedy, że kawałki rudy żelaza, albo magnetytu, mogą przyciągać drobinki żelaza. W średniowieczu zaobserwowano, że za pomocą naturalnych magnesów można nadawać właściwości magnetyczne kawałkom stali przez ich jednokierunkowe pocieranie i powstałe tak magnesy mogą zachować swoje właściwości przez długi czas. Zaobserwowano także że opiłki stalowe w pobliżu magnesu układają się wzdłuż linii w pobliżu magnesu. W XIX w. zaobserwowano, że prąd płynący w przewodniku może oddziaływać na igłę magnetyczną znajdującą się w pobliżu. Stwierdzono także, że pole magnetyczne w pobliżu przewodu ma postać koncentrycznych okręgów leżących w płaszczyźnie prostopadłej do osi przewodu przez który płynie prąd.

Przestrzeń, w której występują siły magnetyczne nazywa się polem magnetycznym. Jest ono przedstawiane graficznie w postaci linii pola. Doświadczalnie stwierdzono, że linie pola magnetycznego są zawsze zamknięte oraz że magnes ma zawsze dwa bieguny. Dodatni nazwano północnym- N, a ujemny południowym -S. Umownie przyjęto także, że linie magnetyczne wychodzą z bieguna północnego i wchodzą do południowego, tak jak na rys. 25.



Rys. 25. Pole magnetyczne

Pole magnetyczne jest przedstawiane za pomocą linii pola magnetycznego. Sumę wszystkich linii pola magnetycznego przechodzących przez określony przekrój nazywa się strumieniem magnetycznym – Φ . Strumień magnetyczny jest wielkością skalarną, a jego jednostką jest woltosekunda [$V \cdot s$], zwana także weberem [Wb]. Istnieje także pojęcie gęstość strumienia magnetycznego, czyli liczby linii pola przypadających na jednostkę powierzchni (S), nazywa się indukcją magnetyczną – B . Jest ona wielkością wektorową. Jej jednostką jest $\frac{Wb}{m^2}$, czyli tesla [T]. Indukcja magnetyczna może być zdefiniowana wzorem:

$$B = \frac{d\Phi}{dS} \quad (56)$$

Dlatego strumień magnetyczny można zapisać jako:

$$\Phi = \int_S B dS \quad (57)$$

W przypadku równomiernego pola magnetycznego:

$$B = \frac{\Phi}{S} \quad (58)$$

Prawo Biota i Savarta pozwala określić w dowolnym punkcie przestrzeni indukcję pola magnetycznego obchodzącą od odcinka przewodnika, przez który przepływa prąd elektryczny.

$$dB = \frac{\mu I dl \sin \alpha}{4\pi r^2} \quad (59)$$

Gdzie zgodnie z rysunkiem 26:

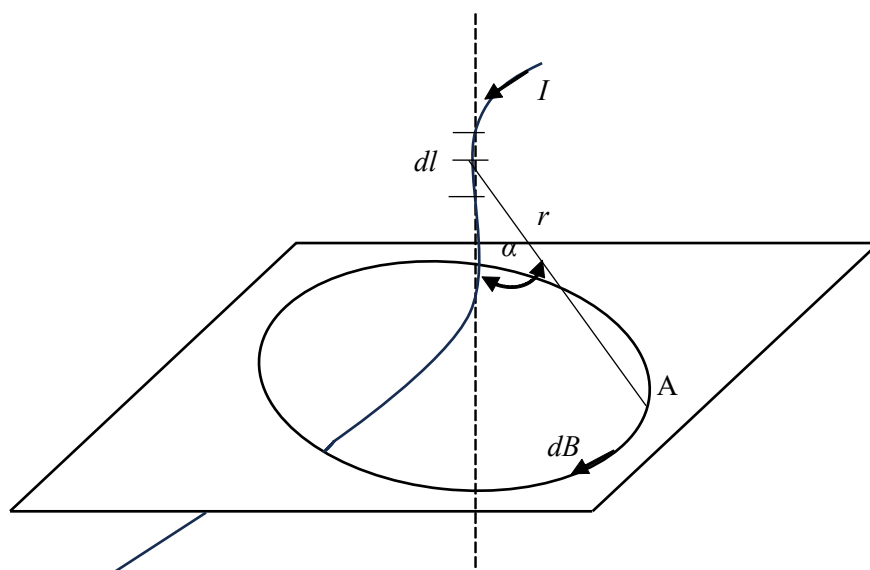
dB – cząstka indukcji pochodząca od odcinka przewodu dl , przez który płynie prąd

o natężeniu I

μ - przenikalność magnetyczna bezwzględna środowiska

r – odległość punktu A, w którym oblicza się indukcję magnetyczną od elementu dl

α – kąt między osią elementu dl a odcinkiem łączącym element dl z punktem A



Rys. 26. Ilustracja do prawa Biota i Savara

Rozwiązanie powyższego równania dla przypadku bardzo długiego prostoliniowego przewodu przyjmuje postać:

$$B = \frac{\mu I}{2\pi r} \quad (60)$$

Gdzie:

B – wartość indukcji w ośrodku o przenikalności magnetycznej μ w odległości r od przewodu przez który płynie prąd I .

Natomiast wartość indukcji w środku kołowego przewodnika w postaci okrągłej ramki przyjmuje postać:

$$B = \frac{\mu I}{2r} \quad (61)$$

W powyższych wzorach można zauważyć, że wartość indukcji magnetycznej zależy od wartości współczynnika opisującego właściwości magnetyczne ośrodka - przenikalności magnetycznej bezwzględnej środowiska - μ .

Wartość przenikalności magnetycznej bezwzględnej określa się jako krotność przenikalności magnetycznej próżni - μ_0 .

$$\mu = \mu_0 \mu_r \quad (62)$$

Gdzie:

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m – przenikalność magnetyczna próżni

μ_r – przenikalność magnetyczna względna środowiska, jest ona wartością bezwymiarową.



Pole magnetyczne może być także opisywane inną jednostką wektorową – natężeniem pola magnetycznego - H . Jej wartość zależy od ukształtowania obwodów elektrycznych i prądów płynących przez nie, ale nie zależy od właściwości środowiska. Jednostką natężenia pola magnetycznego jest A/m. Zależność między indukcją magnetyczną B i natężeniem pola magnetycznego można opisać wzorem:

$$H = \frac{B}{\mu} \quad (63)$$

Gdzie:

μ - przenikalność magnetyczna [H/m]- wielkość określająca właściwości magnetyczne danego ośrodka

Właściwości magnetyczne materiałów

W ujęciu mikroskopowym każde środowisko można postrzegać jako próżnię, w której znajdują się atomy składające się z jąder i krążących wokół nich elektronów. Elektrony te na skutek swojego ruchu tworzą prądy okrężne, które z kolei wytwarzają własne pole magnetyczne. Tak więc krążąc po swoich orbitach elektrony tworzą elementarne dipole magnetyczne. To wewnętrzne pole magnetyczne może oddziaływać w różny sposób z zewnętrznym polem magnetycznym, zależnie od rodzaju substancji.

W przypadku tak zwanych diamagnetyków pole magnetyczne pole prądów elementarnych przeciwdziała zewnętrznemu polu magnetycznemu. Na skutek tego wypadkowa indukcja magnetyczna jest mniejsza niż w próżni. Względna przenikalność magnetyczna - μ_r takich materiałów jest mniejsza od jedności:

$$\mu_r < 1 \quad (64)$$

Przykładowymi diamagnetykami są np. miedź, złoto, gazy szlachetne.

W przypadku kiedy pole magnetyczne prądów elementarnych większości atomów współdziała z zewnętrznym polem magnetycznym, to wypadkowa indukcja jest większa niż w próżni. Takie materiały nazywamy paramagnetykami. Ich względna przenikalność magnetyczna jest większa od jedności.

$$\mu_r > 1 \quad (65)$$

Przykładowym paramagnetykiem jest aluminium.

Specyficznymi materiałami są tak zwane ferromagnetyki. W ich przypadku zewnętrzne pole magnetyczne współdziała z polem magnetycznym prądów elementarnych. Indukcja



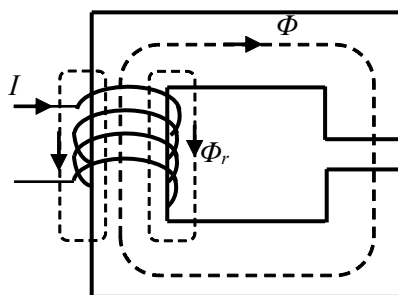
magnetyczna jest wielokrotnie większa niż w próżni. Przenikalność magnetyczna względna dla tych materiałów jest wielokrotnie większa od jedności, może dochodzić nawet do kilku tysięcy.

$$\mu_r \gg 1 \quad (66)$$

Ponadto nie jest to wartość stała, na jej wartość oprócz rodzaju materiału wpływa także wartość natężenia pola magnetycznego. Zależność μ_r od wartości natężenia pola magnetycznego, nie jest także prostoliniowa i zależy także od samej historii namagnesowywania - charakterystyka ta wykazuje silną histerezę. Przykładowymi ferromagnetykami są żelazo, nikiel, kobalt.

Obwód magnetyczny

Kiedy przez cewkę popłynie prąd elektryczny powstanie strumień magnetyczny o pewnej wartości. Jeżeli w cewce tej umieści się materiał ferromagnetyczny ukształtowany tak, by przynajmniej część pola magnetycznego mogła się w nim zamknąć to powstanie strumień magnetyczny o wartości znacznie większej, niż gdyby strumień magnetyczny zamykał się tylko w powietrzu. Wynika to ze znacznie większej przenikalności magnetycznej ferromagnetyku i wynikającego z niej oporu magnetycznego nazywanego także **reluktancją**. Te właściwości materiałów ferromagnetycznych wykorzystuje się w wielu urządzeniach do tworzenia odpowiednio dużych i odpowiednio skierowanych strumieni magnetycznych. Zespół elementów służących do wytworzenia strumienia magnetycznego i jego pokierowaniem nazywa się obwodem magnetycznym. Na obwód magnetyczny składają się zazwyczaj elementy służące wytworzeniu i wzbudzeniu pola magnetycznego - mogą to być cewki elektryczne, albo magnesy trwałe, elementy ferromagnetyczne służące pokierowaniu strumienia oraz szczeliny powietrzne. Szczeliny powietrzne są występującymi z konieczności przerwami w materiale ferromagnetycznym. Na rysunku 27 pokazano przykładowy obwód magnetyczny z szczeliną powietrzną. Zaznaczono także, że część strumienia magnetycznego wytworzonego przez cewkę zamyka się w powietrzu, jest to tak zwany strumień rozproszenia.



Rys. 27. Obwód magnetyczny



Dla obwodów magnetycznych duże znaczenie ma tak zwane prawo przepływu. Głosi ono, że wzdłuż drogi zamkniętej suma iloczynów natężenia pola magnetycznego i długości odcinka wzdłuż którego natężenie pola magnetycznego nie ulega zmianie równa się sumie przepływu prądów obejmowanych przez tę drogę zamkniętą:

$$H_1 l_1 + H_2 l_2 + \dots H_n l_n = I_1 z_1 + I_2 z_2 + \dots I_m z_m \quad (67)$$

Gdzie:

H_i – stałe natężenie pola magnetycznego wzdłuż i-tego odcinka

l_i – długość i-tego odcinka

I_j – natężenie prądu przepływającego przez j-tą cewkę

z_j – ilość zwojów w j-tej cewce.

W przypadku cewki, w której występuje równomierne pole magnetyczne, wytworzone przez jedną cewkę:

$$Hl = Iz \quad (68)$$

Iloczyn Iz nazywa się często przepływem, wzbudnością albo siłą magnetomotoryczną i oznacza θ .

$$\theta = Iz \quad (69)$$

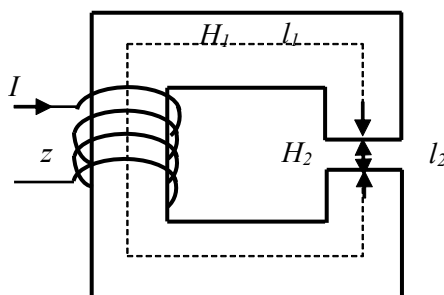
Jednostką są ampery albo amperozwoje. Prawo przepływu można więc zapisać także w poniższej postaci:

$$\sum_{k=1}^n H_k l_k = \theta \quad (70)$$

Iloczyn $H_k l_k$ nazywa się napięciem magnetycznym.

Dla obwodu magnetycznego z poniższego rysunku (rysunek 28) równanie ułożone na podstawie prawa przepływu przybierze postać:

$$H_1 l_1 + H_2 l_2 = Iz \quad (71)$$



Rys. 28. Obwód magnetyczny ze szczeliną powietrzną



Opór magnetyczny danego odcinka obwodu magnetycznego można określić na podstawie wzoru:

$$R_{mk} = \frac{l_k}{\mu_k S_k} \quad (72)$$

Gdzie:

R_{mk} – opór magnetyczny (reluktancja) danego odcinka magnetowodu

l_k – długość danego odcinka

S_k – pole przekroju danego odcinka

μ_k – przenikalność magnetyczna materiału danego odcinka obwodu magnetycznego

Całkowity opór magnetyczny danego obwodu jest sumą oporów magnetycznych poszczególnych odcinków.

Dla obwodu magnetycznego formułuje się prawo Ohma wiążące strumień magnetyczny, siłę magnetomotoryczną oraz opór magnetyczny:

$$\Phi = \frac{\Theta}{\sum_{i=1}^n R_{mi}} \quad (73)$$

Gdzie:

Φ – strumień magnetyczny [Wb]

Θ – siła magnetomotoryczna $\Theta=Iz$ [A]

R_m – opór magnetyczny [Ω]

Indukcyjność własna

Sumę strumieni magnetycznych przenikających poszczególne zwoje cewki nazwa się strumieniem skojarzonym z cewką i oznacza Ψ . Jeżeli strumienie są jednakowe, a liczba zwojów cewki wynosi z to:

$$\Psi = z\Phi \quad (74)$$

W przypadku strumienia skojarzonego Ψ z cewką o stałej przenikalności wywołany przez prąd I :

$$\Psi = LI \quad (75)$$

Gdzie L określa się jako indukcyjność własną cewki, której jednostką są henry [H].

W przypadku długiej cewki jej indukcyjność własna wynosi:

$$L = \frac{\mu z^2}{l} S \quad (76)$$



Gdzie:

μ - przenikalność magnetyczna ośrodka

l - długość cewki

z – ilość zwojów

S - pole powierzchni wewnątrz zwoju

Zjawisko indukcji magnetycznej

Zjawisko indukcji magnetycznej polega na powstaniu w przewodniku lub uzwojeniu siły elektromotorycznej przy jakiegokolwiek zmianie strumienia skojarzonego z tym obwodem. Wartość siły elektromotorycznej e indukowanej w obwodzie wskutek zmian strumienia magnetycznego jest proporcjonalna do szybkości zmian strumienia magnetycznego skojarzonego

$$e = -\frac{d\Psi}{dt} \quad (77)$$

Znak minus jest wyrazem reguły Lenza, mówiącej że zwrot indukowanej siły elektromotorycznej jest taki że wywołany przez nią prąd przeciwstawia się poprzez wytworzone przezeń pole magnetyczne zmianom strumienia magnetycznego które go wywołują. Dokonując podstawienia $\Psi = Li$ otrzymujemy:

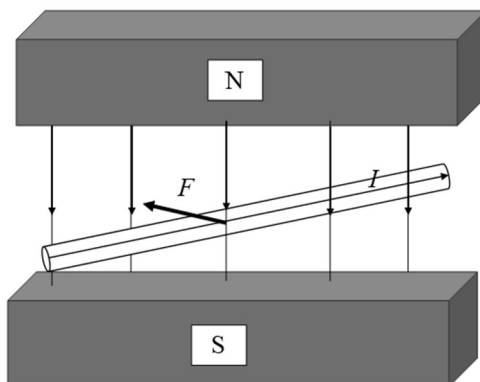
$$e = -L \frac{di}{dt} \quad (78)$$

Siła elektrodynamiczna

W przypadku przewodu znajdującego się w polu magnetycznym, przez który przepływa prąd elektryczny działa na niego tak zwana siła elektrodynamiczna. Jej wartość zgodnie z prawem Ampera zależy od indukcji pola magnetycznego B , wartości natężenia prądu płynącego przez przewód oraz długości przewodu w polu magnetycznym zgodnie z poniższym wzorem:

$$F = BIl \sin(\alpha, B) \quad (79)$$

Gdzie $\sin(\alpha, B)$ jest wartością sinusa kąta pomiędzy osią przewodu, a linią pola magnetycznego przechodzącego przez tę oś. Zwrot siły określa reguła lewej ręki, czyli jeżeli linie pola magnetycznego będą wchodzić w otwartą dłoń, cztery wyprostowane palce będą ułożone wzdłuż przewodu zgodnie ze zwrotem płynącego prądu to wyprostowany kciuk wskaże zwrot siły. Prawo to ilustruje rysunek 29.



Rys. 29. Siła elektrodynamiczna powstająca w przewodzie w polu magnetycznym

4. Obwody trójfazowe

Obwód trójfazowy jest to obwód zawierający trzy sprzężone źródła napięcia sinusoidalnego, mające tę samą częstotliwość, których przebiegi czasowe są przesunięte względem siebie w fazie o kąt 120° , czyli $2\pi/3$. Napięcie trójfazowe wytwarza się w prądnicach trójfazowych. Takie prądnice zawierają trzy uzwojenia, w których indukują się trzy siły elektromotoryczne przesunięte między sobą w fazie o 120° . Oznaczając te siły elektromotoryczne jako e_a , e_b , e_c oraz przyjmując początkowe przesunięcie fazowe $\psi=0$, można zapisać:

$$e_a = E_m \sin(\omega t) \quad (80)$$

$$e_b = E_m \sin(\omega t - 2\pi/3) \quad (81)$$

$$e_c = E_m \sin(\omega t - 4\pi/3) \quad (82)$$

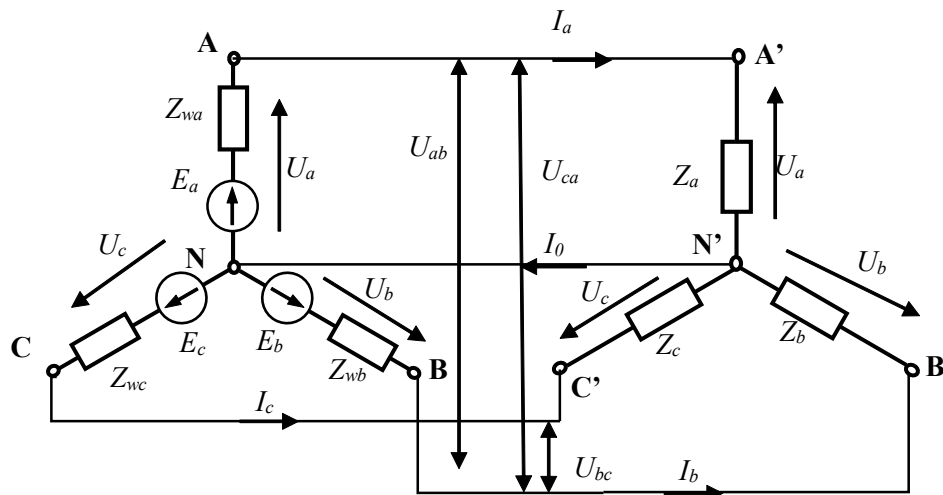
Jeżeli trzy uzwojenia prądnicy są stosowane jako niezależne źródła napięcia to otrzymamy **układ trójfazowy nieskojarzony** - takie rozwiązanie nie znalazło jednak zastosowania w praktyce. W praktyce stosuje się układy skojarzone otrzymane przez odpowiednie połączenie uzwojeń. Wyróżnia się:

- Układ trójfazowy połączony w gwiazdę
- Układ trójfazowy połączony w trójkąt

Obwody skojarzone w gwiazdę

Układ, w którym końce faz prądnic lub odbiornika będą połączone razem nazywamy połączonym w gwiazdę. W układzie takim wspólny węzeł nazywa się punktem neutralnym. Jeżeli punkt neutralny prądnicy jest połączony z punktem neutralnym odbiornika to taki układ nazywa się trójfazowym czteroprzewodowym, w przeciwnym wypadku jest to układ

trójfazowy trzyprzewodowy. Przewody łączące początki faz prądnicy z odbiornikiem nazywa się przewodami fazowymi. Rysunek 30 przedstawia obwód skojarzony w gwiazdę.



Rys. 30. Obwód skojarzony w gwiazdę

W układzie tym występują napięcia:

- Międzyfazowe (albo międzyprzewodowe)-występujące między przewodami fazowymi : U_{ab}, U_{bc}, U_{ca}
- Napięcia fazowe między przewodami fazowymi a neutralnym: U_a, U_b, U_c

W przypadku układu symetrycznego, cechującego się równymi modułami sił elektromotorycznych na każdej gałęzi przesuniętymi między sobą w fazie o 120° oraz równymi impedancjami. Wartości modułów napięć międzyprzewodowych są większe $\sqrt{3}$ - krotnie od napięć fazowych. Ponadto prąd płynący linią łączącą punkty neutralne wynosi 0. Dla układu symetrycznego:

$$I = I_f \quad (83)$$

$$U = \sqrt{3}U_f \quad (84)$$

Obwody skojarzone w trójkąt

W układzie, w którym koniec jednej fazy prądnicy jest połączony z początkiem drugiej nazywamy układem trójfazowym połączonym w trójkąt. W układzie trójkątowym napięcia międzyfazowe są równe napięciom fazowym prądnicy i odbiornika. Obwód skojarzony w trójkąt przedstawia rysunek 31. Występują w tym układzie dwa rodzaje prądów:

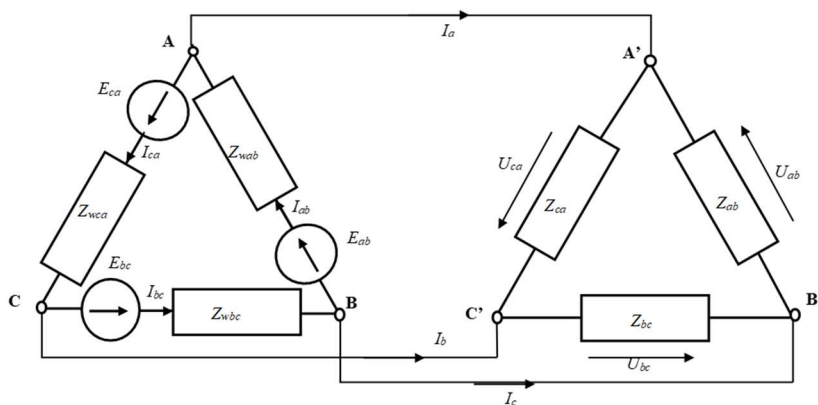
- Prądy przewodowe płynące między prądnicą i odbiornikiem

$$I_a = I_b = I_c = I \quad (85)$$



- Prądy fazowe płynące przez fazy prądnicy lub odbiornika

$$I_{ab} = I_{bc} = I_{ca} = I_f \quad (86)$$



Rys. 31. Obwód skojarzony w trójkąt

Dla układu symetrycznego:

$$U_{ab} = U_{bc} = U_{ca} = U = U_f \quad (87)$$

$$I = \sqrt{3}I_f \quad (88)$$

Moc w obwodach trójfazowych

Moc czynna wytwarzana przez źródło trójfazowe jest równa sumie mocy poszczególnych faz

$$P = P_a + P_b + P_c = U_a I_a \cos \varphi_a + U_b I_b \cos \varphi_b + U_c I_c \cos \varphi_c \quad (89)$$

Dla układu symetrycznego

$$P = 3U_f I_f \cos \varphi_f \quad (90)$$

Gdzie:

U_f - napięcie fazowe

I_f - prąd

Ponieważ łatwiej jest zmierzyć prądy przewodowe i napięcie międzyfazowe:

$$P = \sqrt{3}UI \cos \varphi_f \quad (91)$$

Gdzie:

U - napięcie międzyfazowe

I - prąd przewodowy

φ - kąt przesunięcia między napięciem fazowym a prądem fazowym



Moc bierną i pozorną określają podobne wzory:

$$Q = \sqrt{3}UI\sin\varphi_f \quad (92)$$

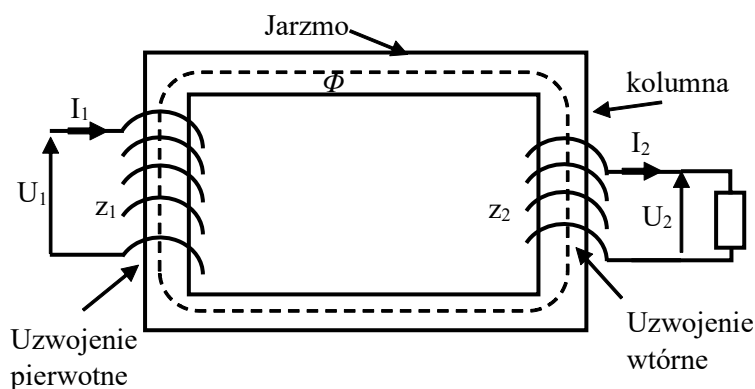
$$S = \sqrt{3}UI \quad (93)$$

5. Transformator

Transformator jest urządzeniem elektrycznym służącym do przekazywania energii elektrycznej z jednego obwodu do drugiego za pośrednictwem pola magnetycznego. W zależności od środowiska w jakim zamyka się wytworzony przez uzwojenie główny strumień magnetyczny, rozróżnia się transformatory powietrzne i transformatory z rdzeniem ferromagnetycznym. W elektroenergetyce transformatory stosuje się do przetwarzania energii prądu przemiennego o jednym napięciu na energię prądu przemiennego o innym napięciu.

Transformator, taki jak na rysunku 32, składa się z rdzenia, w którym zamyka się strumień magnetyczny oraz uzwojeń.

Uzwojenie do którego doprowadza się energię nazywa się pierwotnym, natomiast uzwojenie którym odprowadza się energię określa się wtórnym.



Rys. 32. Budowa transformatora

Ze względu na liczbę uzwojeń rozróżnia się transformatory dwuuzwojeniowe, wielouzwojeniowe oraz jednouzwojeniowe, czyli tzw. autotransformatory. W przypadku typowego transformatora na rdzeniu z materiału ferromagnetycznego, który stanowi zamkniętą drogę dla strumienia magnetycznego, nawinięte są dwa uzwojenia odizolowane elektrycznie od siebie i rdzenia. Uzwojenie pierwotne posiada z_1 zwojów a wtórne z_2 zwojów.

Podczas pracy transformatora do uzwojenia pierwotnego podłączane jest napięcie sinusoidalne o napięciu u_1 . To napięcie powoduje przepływ przez uzwojenie pierwotne prądu



sinusoidalnego, który natomiast powoduje powstanie w rdzeniu ferromagnetycznym zmiennego strumienia magnetycznego Φ . Ten Zmienny strumień magnetyczny sprzęgający oba uzwojenia indukuje w nich siły elektromotoryczne.

Dla prądu sinusoidalnego wartości skuteczne tych sił elektromotorycznych wynoszą:

$$E_1 = \frac{2\pi f z_1 \Phi_m}{\sqrt{2}} = 4,44 z_1 f \Phi_m \quad (94)$$

$$E_2 = \frac{2\pi f z_2 \Phi_m}{\sqrt{2}} = 4,44 z_2 f \Phi_m \quad (95)$$

A ich wzajemny stosunek, nazywany przekładnią transformatora:

$$\vartheta = \frac{E_1}{E_2} = \frac{z_1}{z_2} \quad (96)$$

Transformator może znajdować się w trzech różnych stanach pracy.

Stan jałowy – stan, w którym uzwojenia pierwotne połączone jest ze źródłem napięcia sinusoidalnego, a uzwojenie wtórne jest otwarte. Dla tego stanu można przyjąć:

$$\underline{U}_1 = \underline{E}_1 \quad (97)$$

$$\vartheta = \frac{E_1}{E_2} = \frac{U_1}{U_2} \quad (98)$$

Stan obciążenia – typowy stan pracy, w którym do uzwojenia pierwotnego jest podłączone napięcie sinusoidalne a do wtórnego odbiornik.

Stan zwarcia – jest to stan, w którym zaciski wtórne są zwarte, a zasilanie pierwotne jest zasilane napięciem. W praktyce jest to stan awaryjny. Doprowadza się do niego celowo jedynie przy pomiarach rezystancji i reaktancji uzwojeń. Ponieważ rezystancje uzwojeń i reaktancje rozproszeniowe są niskie przez uzwojenia w tym stanie popłynie duży prąd, co w wyniku przemiany energii elektrycznej w ciepło w krótkim czasie może doprowadzić do stopienia izolacji uzwojeń.

Transformatory znajdują zastosowanie przykładowo:

- W elektrowniach transformują energię podwyższając napięcie, co umożliwia zmniejszenie strat na przesyle przez linie energetyczne. W stacjach transformatorowych służą natomiast do obniżenia napięcia do poziomu umożliwiającego podłączenie odbiorców.
- Stosowane są przy pomiarach wysokich napięć, albo dużych prądów sinusoidalnych
- Stosuje się też transformatory spawalnicze, prostownikowe, autotransformatory



W trakcie pracy transformatora występują w nim straty energii. Są to głównie straty tak zwane histerezy oraz związane z prądami wirowymi. Straty histerezy są związane z przemagnesowywaniem materiału rdzenia, z tego powodu stosuje się materiały o małej pętli histerezy, czyli magnetycznie miękkie. Straty związane z powstawaniem prądów wirowych są natomiast redukowane przez wykonywanie transformatorów z cienkich blaszek izolowanych od siebie. Blaszki te wykonywane są z materiałów o dużej rezystywności, typowo z stali krzemowej.

6. Elektronika

Półprzewodniki

Półprzewodnikami są materiały, których rezystywność jest znacznie większa niż rezystywność przewodników, ale znacznie mniejsza niż rezystywność dielektryków. Podstawowymi materiałami zaliczającymi się do tej grupy, stosowanymi w elektronice są krzem i german.

W przypadku tych atomów pasmo walencyjne jest oddzielone od pasma przewodnictwa przerwą energetyczną. Szerokość tej przerwy jest tak duża, że w normalnych warunkach tylko nieliczne elektrony walencyjne atomów krzemu lub germanu mogą zgromadzić niezbędną energię do pokonania przerwy energetycznej i przejść do pasma przewodnictwa.

Półprzewodniki jednorodne posiadają niewiele elektronów swobodnych, co objawia się dużą rezystancją właściwą materiału półprzewodnikowego. Z tego powodu stosuje się domieszkowanie.

Domieszkowanie polega na wprowadzeniu do struktury kryształu dodatkowych atomów pierwiastka, który nie wchodzi w skład półprzewodnika naturalnego. Ponieważ w wiązaniach wewnątrzatomowych bierze udział ustalona liczba elektronów zamiana któregoś z jonów na atom domieszki powoduje wystąpienie nadmiaru lub niedoboru elektronów.

Wprowadzenie domieszki produkującej niedobór elektronów (w stosunku do ilości ci niezbędnej do stworzenia wiązań) powoduje powstanie półprzewodnika typu p, natomiast wprowadzenie domieszki produkującej nadmiar elektronów (w stosunku do ilości niezbędnej do stworzenia wiązań) powoduje powstanie półprzewodnika typu n.

Złączem p-n nazywane jest złącze utworzone przez dwa półprzewodniki niesamoistne o różnych typach przewodnictwa: p oraz n. W obszarze typu n występują nośniki większościowe ujemne (elektrony) oraz unieruchomione w siatce krystalicznej atomy



domieszek (donory). Analogicznie, w obszarze typu p, występują nośniki większościowe o ładunku elektrycznym dodatnim (dziury) oraz atomy domieszek (akceptory).

W stanie niespolaryzowanym czyli gdy z zewnątrz nie jest przyłożone żadne pole elektryczne, w pobliżu styku obszarów p i n swobodne nośniki większościowe przemieszczają się, co spowodowane jest różnicą koncentracji nośników. Gdy elektrony przemieszczają się do obszaru typu p, natomiast dziury do obszaru typu n dochodzi do rekombinacji z nośnikami większościowymi, które nie przeszły na drugą stronę złącza.

W efekcie rekombinacji w pobliżu złącza powstaje tak zwana warstwa zubożona, nazywana także ze względu na brak swobodnych nośników ładunku, nazywana także warstwą zaporową. Nieruchomy ładunek dodatni po stronie N hamuje przepływ dziur z obszaru P, natomiast ładunek ujemny po stronie P hamuje przepływ elektronów z obszaru N, na skutek czego przepływ nośników większościowych praktycznie ustaje. Powstaje tak zwana bariera potencjału.

Bariera potencjałów uniemożliwia przepływ ładunków przez złącze p-n. Jej działanie może zostać zneutralizowane poprzez dołączenie napięcia zewnętrznego o wartości równej napięciu bariery potencjałów i przeciwnym kierunku polaryzacji. Jeżeli napięcie zewnętrzne przekroczy wartość progową, wytworzone pole elektryczne dostarczy swobodnym nośnikom ładunków energię wystarczającą do przekroczenia złącza i przez złącze p-n popłynie prąd elektryczny utworzony przez nośniki większościowe.

Jeżeli natomiast do złącza podłączone zostanie napięcie zewnętrzne o polaryzacji zgodnej z napięciem bariery potencjałów wytworzone zewnętrzne pole elektryczne wzmocni odpychające działanie bariery potencjałów na nośniki ładunków swobodnych. Wówczas przez złącze będzie płynął tylko niewielki prąd utworzony przez mniejszościowe nośniki ładunku.

Elementy oparte na półprzewodnikach jednorodnych

W elektronice najczęściej stosuje się elementy, w których zastosowano różnego rodzaju złącza półprzewodników typu p i n. Jednakże występują także elementy oparte na jednorodnych półprzewodnikach.

Termistory – są to elementy półprzewodnikowe, których rezystancja zależy od temperatury.

Występują w kilku typach:

- PTC (positive temperature coefficient) – ich rezystancja zwiększa się wraz ze wzrostem temperatury



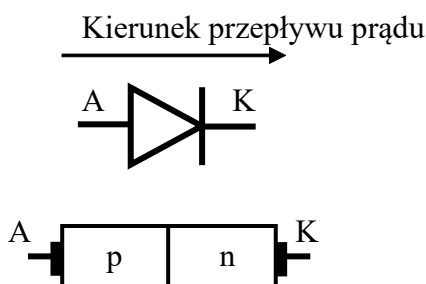
- Przez złącze będzie płynął tylko niewielki prąd utworzony przez mniejszościowe nośniki ładunku
- Przez złącze będzie płynął tylko niewielki prąd utworzony przez mniejszościowe nośniki ładunku

Warystory – są elementami o rezystancji zmieniającej się nieliniowo pod wpływem występującego na nim napięcia.

Hallotrony – są elementami półprzewodnikowymi wytwarzającymi sygnał napięciowy pod wpływem zewnętrznego pola magnetycznego. Znalazły zastosowanie w czujnikach wykrywających pole magnetyczne.

Diody

Najprostszym elementem elektronicznym wykorzystującym złącze p-n jest dioda półprzewodnikowa. Ma właściwość jednokierunkowego przewodzenia prądu i po włączeniu do obwodu zasilanego napięciem przemiennym działa jak prostownik. Symbol diody, oraz schemat jej budowy przedstawia rysunek 33.



Rys. 33. Symbol diody i jej schematyczna budowa

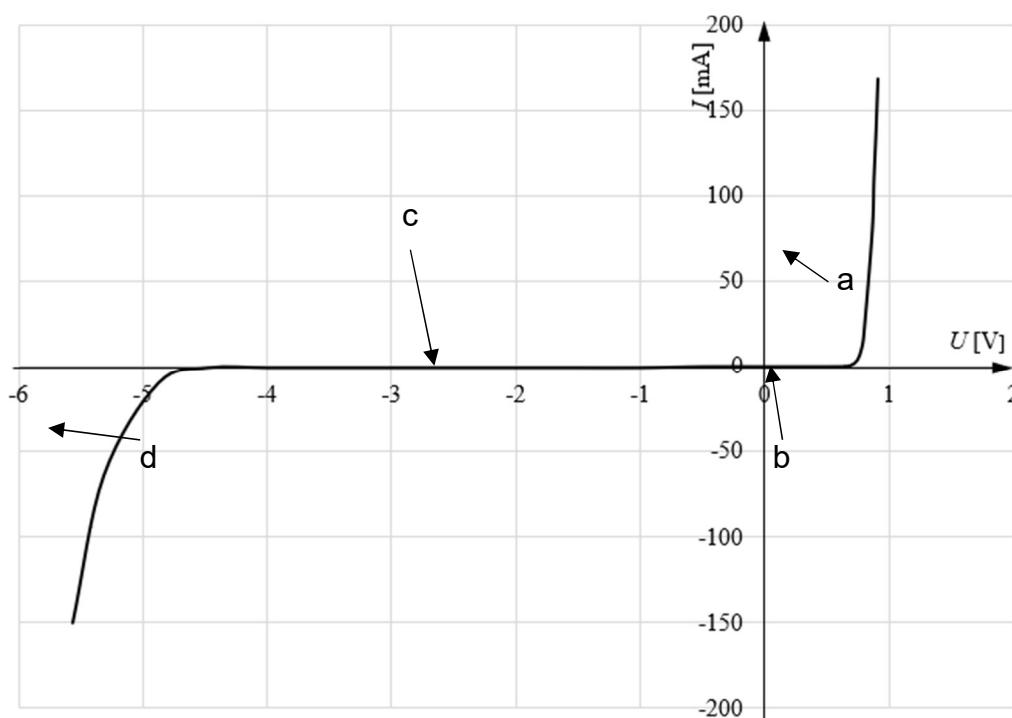
Jeżeli dioda zostanie w obwodzie spolaryzowana w kierunku przewodzenia, to popłynie przez nią duży prąd utworzony przez nośniki większościowe, nazywany prądem przewodzenia. W takim przypadku rezystancja diody jest niewielka. W celu spolaryzowania diody w kierunku przewodzenia łączy się biegun dodatni źródła napięcia z obszarem o przewodnictwie typu p, a biegun ujemny z obszarem o przewodnictwie typu n.

W przypadku diody spolaryzowanej w kierunku zaporowym, pod wpływem napięcia zewnętrznego po obu stronach złącza p-n powstają obszary o zubożonej koncentracji nośników ładunków, czyli obszar izolacyjny nazywany warstwą zaporową. Nie jest on jednak idealnym



izolatorem, w związku z czym płynie przez niego niewielki prąd wsteczny (z obszaru p do n) nazywany prądem zaporowym. W takim przypadku rezystancja diody jest duża. Polaryzacja w kierunku zaporowym występuje przy połączeniu bieguna dodatniego źródła napięciowego z obszarem n, a bieguna ujemnego z obszarem p. Jeżeli napięcie polaryzacji wzrośnie nadmiernie, wytrzymałość warstwy zaporowej okaże się za mała i nastąpi jej przebicie oraz lawinowy wzrost prądu wstecznego, powodując uszkodzenie diody i utratę jej właściwości. Charakterystyka prądowo-napięciowa diody przedstawiona na rysunku 34, ma kilka charakterystycznych obszarów.

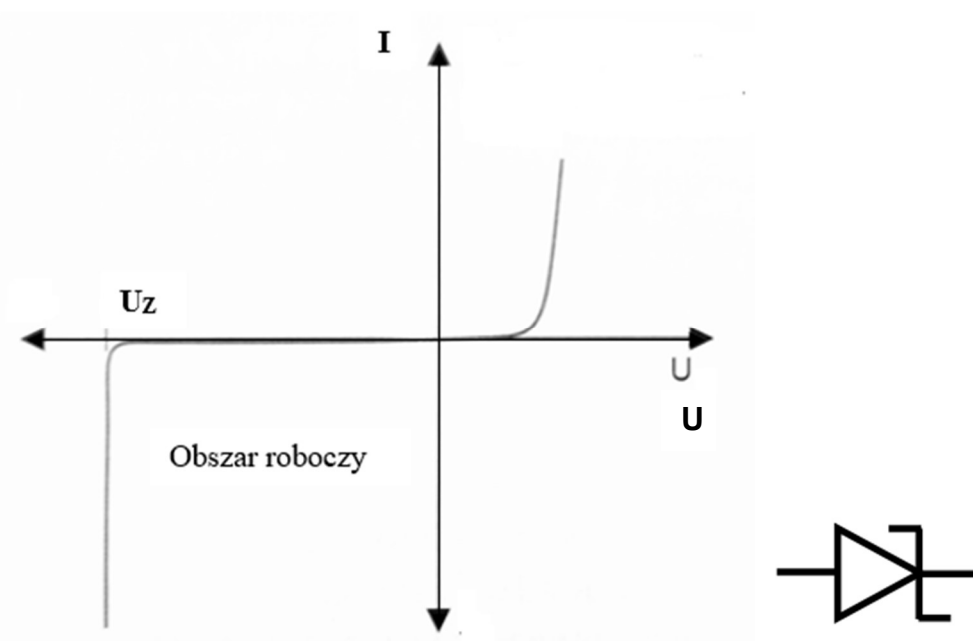
- Obszar przewodzenia (a) – obejmuje liniowy i gwałtowny wzrost prądu przewodzenia przy niewielkim wzroście napięcia przewodzenia
- Obszar wykładniczego przebiegu (b) – obejmuje początkowy zakres przewodzenia
- Obszar zaporowy (c) – obejmuje charakterystykę przy polaryzacji zaporowej, w całym zakresie prąd zaporowy ma stałą niską wartość
- Obszar przebicia (d) – po przekroczeniu dopuszczalnej maksymalnej wartości napięcia zaporowego (napięcia przebicia) następuje gwałtowny wzrost prądu zaporowego I_R . Następuje przebicie warstwy izolacyjnej



Rys. 34. Charakterystyka prądowo-napięciowa diody



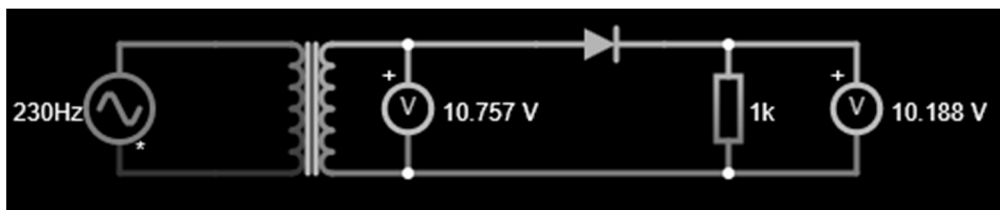
Specyficznym rodzajem diod są diody Zenera. Ich charakterystyka w kierunku przewodzenia jest taka sama jak zwykłych diod, nie jest ona jednak w tym kierunku wykorzystywana. Natomiast w kierunku zaporowym, przy specyficznym dla danego typu diody napięciu - tak zwanego napięciu Zenera, charakterystyka diody jest stromo opadająca. Tą właściwość wykorzystuje się w niektórych układach zasilających do budowy stabilizatorów napięcia. Charakterystykę prądowo-napięciową diody Zenera oraz jej symbol przedstawia rysunek 35.



Rys. 35. Charakterystyka prądowo-napięciowa diody Zenera oraz jej symbol

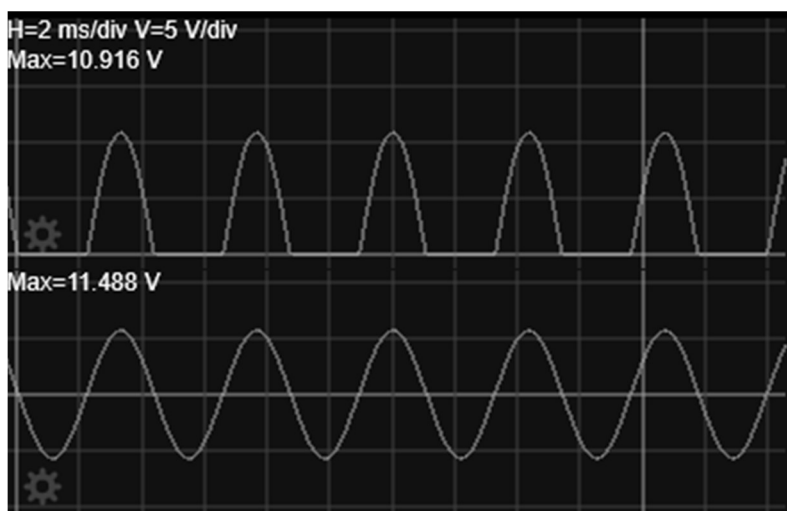
Zastosowanie diod w układach prostowniczych zasilaczy

Układy prostownicze, są to układy służące do zamiany prądu przemiennego, na prąd stały albo zbliżony do stałego. Generalnie mogą one być zbudowane na bazie elementów niesterowanych, takich jak diody, albo sterowanych jak na przykład tranzystory. Poniżej zostaną zaprezentowane podstawowe układy zbudowane na bazie diod. Najprostszy prostownik składa się z jednej diody. Na rysunku 36 zastosowano najpierw transformator obniżający wartość napięcia przemiennego, a następnie wpięto do obwodu jedną diodę. Na podłączonym obciążeniu w formie rezystora uzyskano przebieg napięcia prądu w formie pulsacyjnej. Otrzymany przebieg zaprezentowano na rysunku 37.



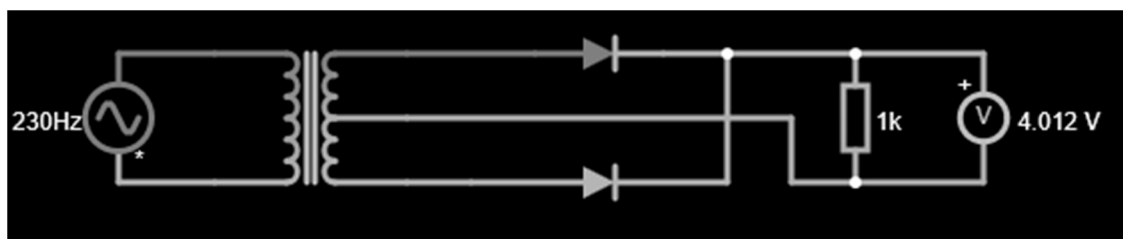
Rys. 36. Schemat prostownika jednopołówkowego

Otrzymany przebieg cechują przerwy w zasilaniu o długości połowy okresu prądu przemiennego wejściowego. Takie przerwy są często niepożądane, dlatego stosuje się układy prostownicze dwupowłokowe pozwalające efektywnie wykorzystać cały przebieg sinusoidalny.



Rys. 37. Przebieg napięcia na wyjściu prostownika jednopołówkowego oraz wejściowy

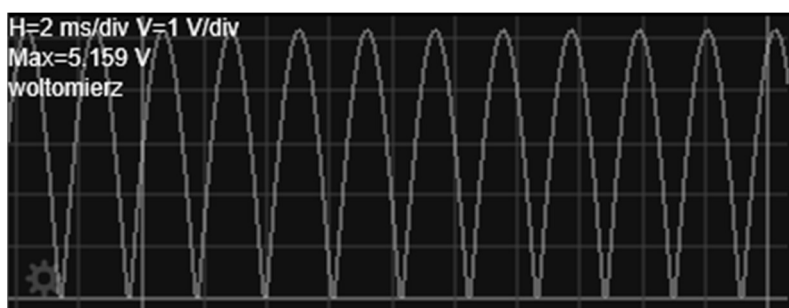
Jednym z rozwiązań prostownika dwupowłokowego jest prostownik zbudowany na bazie transformatora z dzielonym uzwojeniem wtórnym i dwiema diodami. Jest zaprezentowany na rysunku 38.



Rys. 38. Prostownik dwupowłokowy z transformatorem o dzielonym uzwojeniem

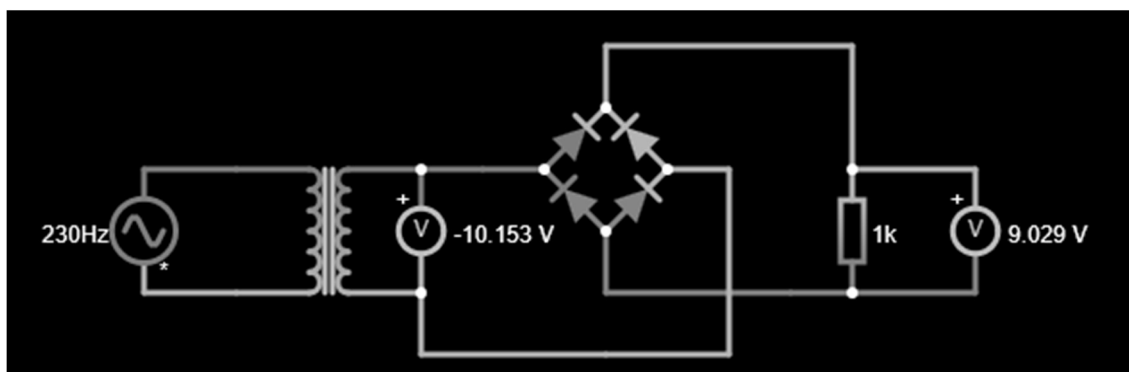


W takim prostowniku wykorzystywany jest transformator z dodatkowym wyprowadzeniem, dzielącym uzwojenie wtórne na dwa o takiej samej liczbie zwojów. Wadą takiego prostownika jest konieczność stosowania odpowiedniego transformatora, ponadto w danej chwili jest używana tylko połowa uzwojenia wtórnego. Powoduje to, że napięcie na wyjściach takiego transformatora jest o połowę niższe niż na wyjściu transformatora o undzielonym uzwojeniu o takiej samej przekładni. Uzyskany przebieg przedstawiono na rysunku 39. Widać na nim, że udało się uzyskać prąd pulsacyjny, w którym efektywnie wykorzystano cały przebieg sinusoidalny prądu przemiennego wejściowego.



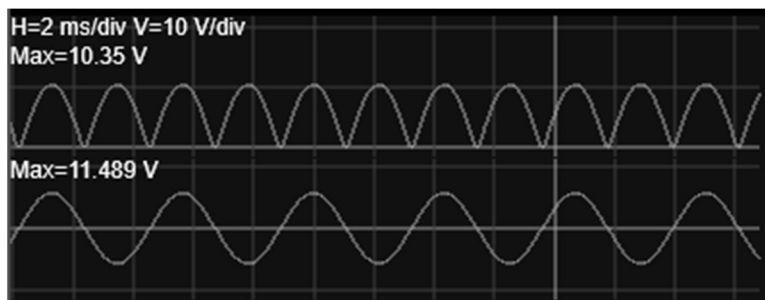
Rys. 39. Przebieg napięcia na wyjściu prostownika dwupołówkowego

Obecnie najbardziej rozpowszechnioną formą prostownika dwupołówkowego jest prostownik zbudowany na bazie 4 diod prostowniczych w układzie tak zwanego mostka Graetza. Prezentuje go rysunek 40.



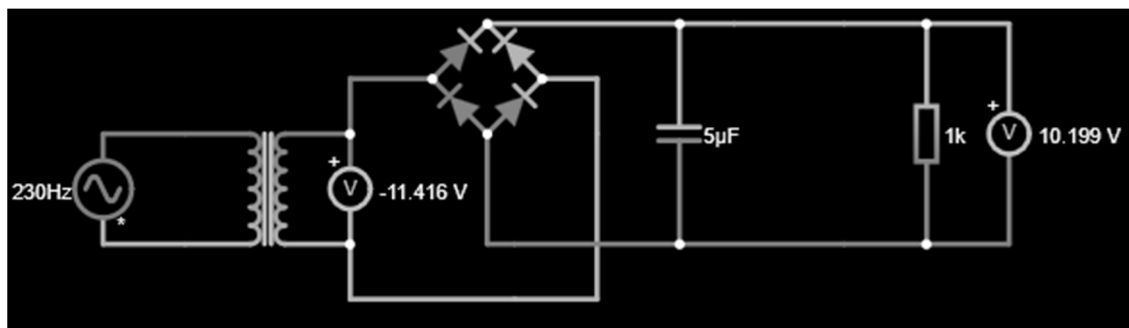
Rys. 40. Prostownik na bazie układu mostka Graetza

Prostownik ten pozwala skutecznie wykorzystać całą sinusoidę, tak jak widać na rysunku 41. Jedyne straty napięcia, jakie występują, to spadki napięcia na dwóch diodach. W danej chwili prąd bowiem płynie przez dwie diody.

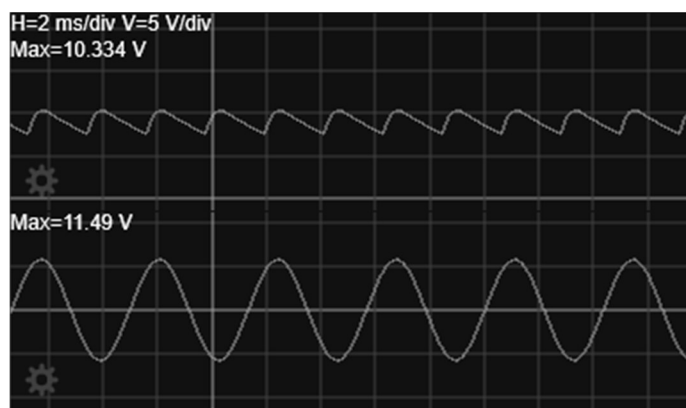


Rys. 41. Napięcie na wyjściu prostownika na bazie mostka Graetza oraz przebieg napięcia wejściowego

Ponieważ na wyjściu prostownika otrzymywany jest przebieg mocno pulsujący, konieczne jest jego wygładzenie. Służą do tego układy filtrujące. Mogą być one budowane na bazie elementów magazynujących energię, takich jak cewki i kondensatory. Przykład zastosowanego układu filtrującego w postaci wpiętego równolegle kondensatora przedstawia rysunek 42. Otrzymany natomiast przebieg przedstawia rysunek 43. Widać na nim znacznie mniejszą pulsację w porównaniu do przebiegu na samym prostowniku z rysunku 41. Ta pulsacja może być jeszcze zmniejszona przez dobranie większego kondensatora.



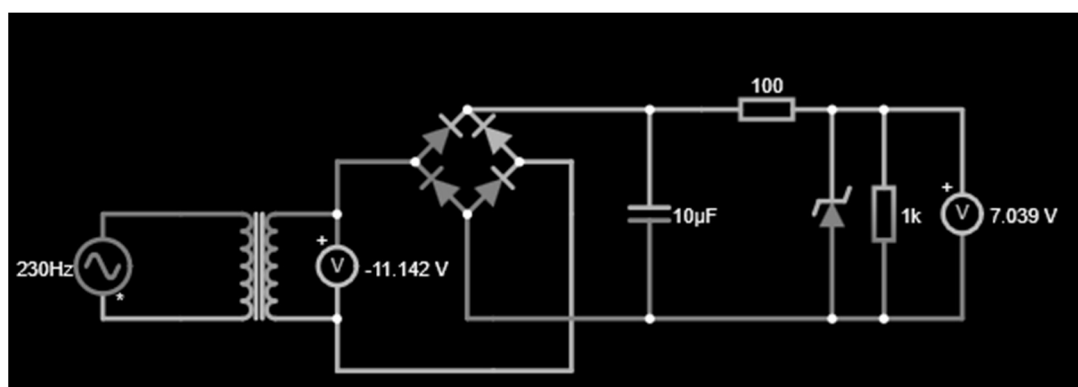
Rys. 42. Prostownik z układem filtrującym w postaci kondensatora



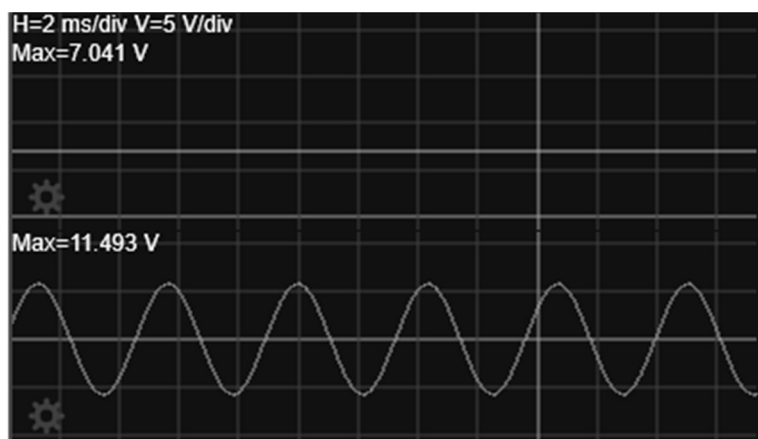
Rys. 43. Przebieg napięcia na wyjściu układu filtrującego oraz wejściowego prądu przemiennego



Ostatnim stopniem zasilacza prądu stałego jest stabilizator napięcia, który stabilizuje napięcie wyjściowe na pożądanym poziomie. Do tego celu może być użyta dioda Zenera, z dodatkowym rezystorem. Układ taki prezentuje rys. 44. Wartość napięcia Zenera diody określa wartość napięcia jaka ma być ustabilizowana. Zadaniem dodatkowego rezystora jest to, by występował na nim spadek nadmiaru napięcia powyżej napięcia Zenera. Otrzymany przebieg wyjściowy prezentuje rys. 45. Ponieważ charakterystyka diody Zenera nie jest idealnie stroma, dlatego wartość napięcia stabilizowanego też nie jest idealna. Obecnie stosuje się często inne stabilizatory na bazie układów scalonych.



Rys 44. Prostownik z układem stabilizacyjnym napięcia na bazie diody Zenera



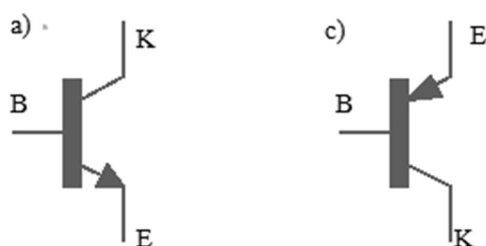
Rys. 45. Napięcie wyjściowe z zasilacza z rys. 43 oraz napięcie prądu przemiennego na wyjściu transformatora

Tranzystory

Tranzystory są elementami elektronicznymi trójelektrodowymi, w których wykorzystano właściwości złącza p-n. Tranzystory można generalnie podzielić na dwie duże grupy. Są to tranzystory bipolarne oraz tranzystory polowe.



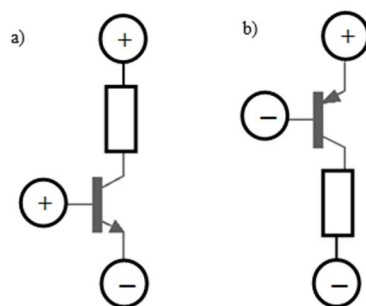
W przypadku tranzystorów bipolarnych zastosowano w nich dwa złącza p-n o wspólnej elektrodzie zwanej bazą. Istnieją dwa rodzaje tranzystorów bipolarnych p-n-p, oraz n-p-n lub w skrócie PNP i NPN. Litera w środku wskazuje typ przewodnictwa warstwy bazy. Na rys. 45, poniżej przedstawiono symbole obu typów tranzystorów bipolarnych. Poza bazą pozostałe dwie elektrody noszą nazwę kolektora i emitera.



Rys. 45. Symbole tranzystorów bipolarnych: a) NPN, b) PNP, oznaczenie B - baza, E - emiter, K - kolektor

W przypadku tranzystora NPN wytworzenie potencjału ujemnego na emiterze powoduje odepchnięcie znajdujących się w nim elektronów w kierunku bazy. Jeżeli w tym samym czasie na bazie zostanie wytworzony potencjał dodatni, to rozpocznie się przyciąganie elektronów gromadzących się po stronie emitera. Występuje wówczas tak zwana polaryzacja w kierunku przewodzenia. Ponieważ warstwa bazy jest bardzo cienka, to rozpędzone przyciągane elektrony mogą przeskoczyć do obszaru kolektora, który także powinien być spolaryzowany dodatnio. Przepływ elektronów ma oczywiście przeciwny kierunek niż umowny kierunek przepływu prądu. Dlatego też strzałka na symbolu emitera tranzystora NPN jest skierowana na zewnątrz, tak jak umownie płynie prąd.

W przypadku tranzystorów PNP, działają one na tej samej zasadzie ale nośnikiem ładunków są dodatnie dziury, więc polaryzacje zapewniające przewodzenie muszą być odwrotne. Spolaryzowanie tranzystorów NPN i PNP w kierunku przewodzenia przedstawiono na rys. 46.



Rys. 46. Tranzystory spolaryzowane w kierunku przewodzenia: a) NPN, b) PNP



Tranzystory bipolarne, są sterowane za pomocą prądu bazy. Mały prąd przepływający przez bazę powoduje przepływ znacznie większego przez kolektor. Zdolność tranzystora do zwiększania wartości prądu kolektora w stosunku do prądu bazy określa się za pomocą tak zwanego współczynnika wzmocnienia β :

$$\beta = \frac{I_k}{I_b} \quad (99)$$

W tranzystorze NPN prąd wpływa przez dwie elektrody i wypływa przez jedną, z tego powodu:

$$I_e = I_b + I_k \quad (100)$$

Gdzie:

I_e – prąd emitera

I_b – prąd bazy

I_k – prąd kolektora

Kiedy różnica potencjałów między bazą i emiterem staje się mniejsza niż, około 0,6 V tranzystor przestaje przewodzić i przechodzi w stan wyłączenia stan ten jest nazywany stanem odcięcia. Natomiast kiedy prąd bazy osiąga taką wartość, że tranzystor nie może już go zwiększyć mówimy, że tranzystor przeszedł w stan nasycenia. Stan pośredni między stanem odcięcia i nasycenia jest nazywany stanem aktywnym. Wówczas współczynnik β zachowuje prawie stałą wartość, a zależność prądu kolektora od prądu bazy jest prawie liniowa.

Bibliografia

- Chwaleba A., Moeschke B., Płoszajski G., *Elektronika*, WSiP, Warszawa 2008.
- Horowitz, P., Hill, W., *Sztuka elektroniki*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2003.
- Kurdziel, R. *Podstawy elektrotechniki*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1995.
- Opydo, W., *Elektrotechnika i elektronika dla studentów wydziałów nielektrycznych*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2005.
- Pietrzyk, W., *Laboratorium z elektrotechniki i elektroniki*, Wyd. Politechniki Lubelskiej, Lublin 1994.
- Platt, C. *Encyklopedia elementów elektronicznych*, tom 1, Helion 2021.
- Platt, Ch. *Elektronika. Od praktyki do teorii. Kolejne eksperymenty*, Helion, 2017.
- Przeździecki, F. *Elektrotechnika i elektronika*, PWN, Warszawa, 1982.
- Tietze, U., Schenk, Ch. *Układy półprzewodnikowe*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne Warszawa, 1996.



Monika Muszyńska

MATERIAŁOZNAWSTWO

Wstęp

Nauka o materiałach to interdyscyplinarna dziedzina wiedzy, która koncentruje się na analizie właściwości, budowy i zastosowania różnych typów materiałów. Odgrywa istotną rolę we współczesnym świecie techniki, integrując zagadnienia z chemii, fizyki oraz inżynierii w celu projektowania i udoskonalania materiałów wykorzystywanych w wielu sektorach – od motoryzacji, przez elektronikę, aż po technologie medyczne. W obliczu globalnych wyzwań, takich jak potrzeba zrównoważonego rozwoju czy poprawy efektywności energetycznej, materiałoznawstwo stoi przed koniecznością opracowywania nowatorskich rozwiązań. Poznanie struktury materiałów na poziomie atomowym oraz mechanizmów determinujących ich zachowanie w różnych warunkach użytkowania pozwala inżynierom tworzyć bardziej wytrzymałe, lżejsze i funkcjonalne komponenty.

Z biegiem czasu materiałoznawstwo przeszło znaczącą przemianę, stając się jedną z kluczowych dziedzin inżynierii. Początkowo koncentrowało się głównie na badaniach metali i ich stopów, które stanowiły fundament wielu technologii przemysłowych. Jednak rosnące wymagania dotyczące trwałości, właściwości fizykochemicznych oraz odporności materiałów przyczyniły się do intensywnego rozwoju nowych rozwiązań materiałowych. Obecnie inżynierowie coraz częściej projektują materiały o określonych cechach, odpowiadających konkretnym zastosowaniom, co wymaga dogłębnej wiedzy z zakresu nauk przyrodniczych i wykorzystania zaawansowanych metod analitycznych.

Jednym z podstawowych zagadnień w nauce o materiałach jest relacja między ich strukturą a właściwościami użytkowymi. Struktura ta może być analizowana na różnych poziomach – od skali atomowej, przez mikrostrukturę, aż po strukturę makroskopową. Na poziomie atomowym, właściwości materiałów wynikają z rodzaju i siły wiązań chemicznych między atomami, co wpływa m.in. na przewodnictwo cieplne, elektryczne czy wytrzymałość mechaniczną. Mikrostruktura, czyli rozmieszczenie i układ faz w materiale, ma ogromne znaczenie dla takich cech, jak twardość, podatność na odkształcenia czy odporność na czynniki korozyjne. Zrozumienie tych zależności umożliwia skuteczniejsze projektowanie i udoskonalanie materiałów pod kątem konkretnych potrzeb.



Współczesne wymagania stawiane przed materiałoznawstwem są bezpośrednio związane z rosnącymi oczekiwaniami społecznymi oraz troską o środowisko. Jednym z priorytetów jest opracowywanie materiałów o wysokiej efektywności energetycznej, które będą w stanie sprostać problemom związanym z globalnym ociepleniem i ograniczonymi zasobami surowców. Przykładami takich materiałów są m.in. komponenty stosowane w odnawialnych źródłach energii – ogniwa słoneczne, materiały termoelektryczne czy lekkie kompozyty do konstrukcji turbin wiatrowych. Równolegle rozwój elektroniki oraz informatyki stwarza zapotrzebowanie na materiały spełniające rygorystyczne wymagania dotyczące miniaturyzacji oraz energooszczędności, co wiąże się z koniecznością projektowania innowacyjnych półprzewodników i materiałów o nietypowych właściwościach elektrycznych.

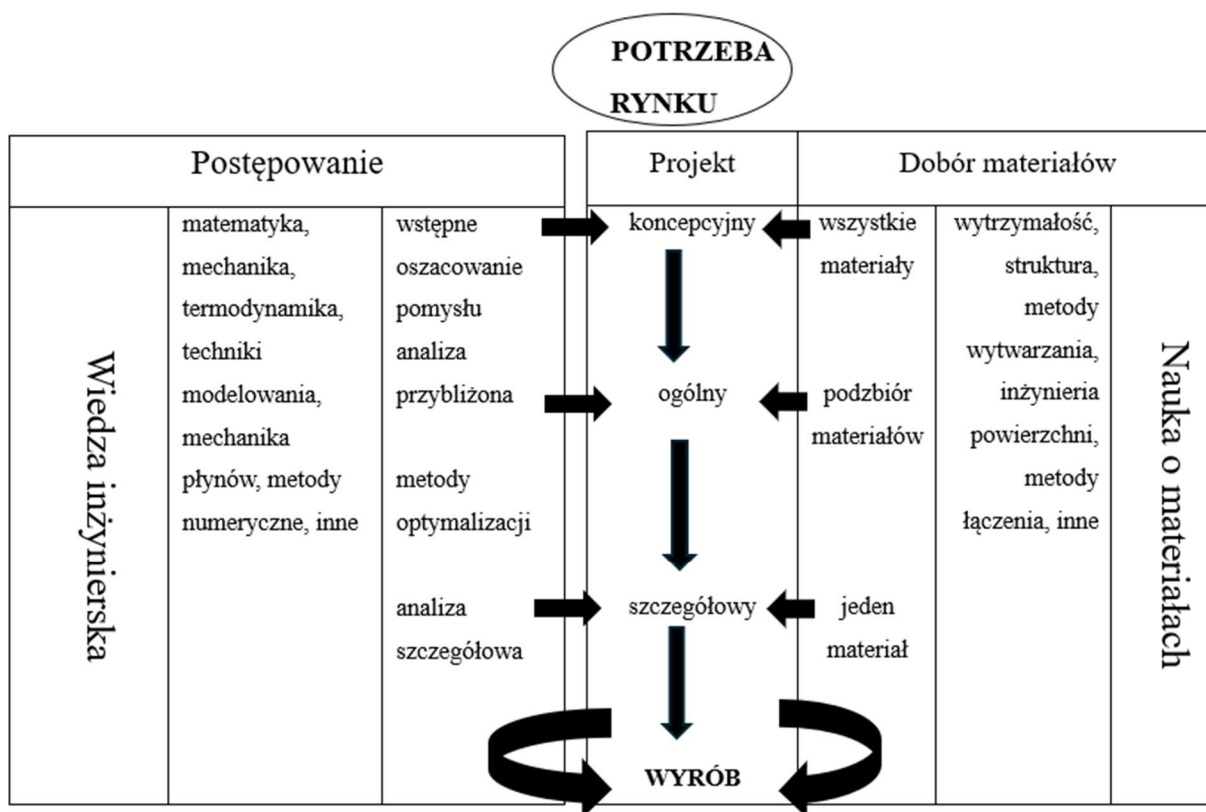
Medycyna to kolejna dziedzina, w której zastosowanie materiałoznawstwa okazuje się nieocenione. Nowoczesne biomateriały wykorzystywane do produkcji implantów, protez czy narzędzi chirurgicznych muszą łączyć wysoką biokompatybilność z trwałością i odpornością na działanie organizmu. Dzięki postępowi badań możliwe jest dziś tworzenie zaawansowanych materiałów medycznych, które umożliwiają skuteczniejsze leczenie i poprawę komfortu życia pacjentów – np. biodegradowalne polimery używane w chirurgii, które po spełnieniu swojej funkcji ulegają rozkładowi w ciele, eliminując konieczność ich usuwania.

Współczesne metody badania materiałów są coraz bardziej zaawansowane. Do najważniejszych technik należy mikroskopia elektronowa, pozwalająca na analizę mikrostruktury w skali atomowej, oraz różne formy spektroskopii, umożliwiające precyzyjne określenie składu chemicznego i struktury materiałów. Coraz częściej korzysta się także z metod obliczeniowych, takich jak modelowanie molekularne, które umożliwia prognozowanie właściwości materiałów na podstawie ich struktury wewnętrznej. Połączenie tych narzędzi z badaniami eksperymentalnymi stanowi fundament współczesnego projektowania zaawansowanych materiałów inżynierskich (rys. 1).

Znaczenie materiałoznawstwa stale rośnie, ponieważ praktycznie każda dziedzina techniki korzysta z jego osiągnięć. W motoryzacji używa się materiałów o wysokiej wytrzymałości, pozwalających na konstruowanie pojazdów lżejszych i bezpieczniejszych - przykładem są nowoczesne stopy aluminium czy kompozyty. W elektronice materiały półprzewodnikowe stanowią podstawę funkcjonowania wielu urządzeń codziennego użytku, takich jak smartfony, komputery czy panele fotowoltaiczne. Natomiast w lotnictwie i kosmonautyce zastosowanie



znajdują lekkie i odporne kompozyty, które pozwalają na budowę efektywniejszych i bardziej wytrzymałych konstrukcji, zdolnych do pracy w ekstremalnych warunkach.



Rys. 1. Proces projektowania wyrobu.
źródło: opracowanie własne na podstawie: Mazurkiewicz J. i in.,
Podstawy technologii przetwórstwa metali, 2003

Podsumowując, nauka o materiałach odgrywa kluczową rolę w rozwoju współczesnej nauki i technologii. Jej postępy umożliwiają opracowywanie nowoczesnych, często unikalnych materiałów, które odpowiadają na coraz większe wyzwania współczesnego świata. W niniejszym rozdziale szczegółowo przeanalizowane zostaną zagadnienia dotyczące klasyfikacji materiałów, ich właściwości oraz technik badawczych. Szczególny nacisk zostanie położony na praktyczne zastosowania nowoczesnych materiałów w różnych gałęziach przemysłu, z uwzględnieniem ich znaczenia w tworzeniu innowacyjnych technologii oraz wspieraniu idei zrównoważonego rozwoju.



1. Budowa materiałów i ich wiązania chemiczne

Budowa materiałów i jej wpływ na właściwości

Materiały, które wykorzystujemy zarówno w codziennym życiu, jak i w nowoczesnych technologiach, stanowią podstawę rozwoju cywilizacyjnego. Ich szerokie zastosowanie w niemal każdej gałęzi przemysłu wynika bezpośrednio z ich unikalnych właściwości fizykochemicznych, mechanicznych i strukturalnych. Aby jednak zrozumieć, dlaczego materiały zachowują się w określony sposób, konieczne jest przeanalizowanie ich budowy na różnych poziomach: od skali makroskopowej, przez mikrostrukturę, aż po poziom atomowy (Kubiński 2010).

Skład chemiczny materiału

Pierwszym i fundamentalnym aspektem charakterystyki materiałów jest ich skład chemiczny - czyli zestawienie pierwiastków lub związków chemicznych, które tworzą dany materiał. Właściwości takie jak wytrzymałość, elastyczność, przewodnictwo cieplne i elektryczne, czy odporność chemiczna, wynikają bezpośrednio z rodzaju obecnych atomów oraz ich wzajemnych proporcji np.:

- **Materiały metaliczne** (np. stal) zbudowane są głównie z atomów metali takich jak żelazo (Fe), chrom (Cr), nikiel (Ni). Ich struktura umożliwia tworzenie tzw. gazu elektronowego, który odpowiada za wysoką przewodność oraz plastyczność.
- **Tworzywa sztuczne** to z kolei związki wielkocząsteczkowe, zbudowane z długich łańcuchów polimerowych (np. polietylen, PVC). Dzięki temu są lekkie, elastyczne i odporne na korozję, choć mają niższą wytrzymałość mechaniczną.

Struktura wewnętrzna: krystaliczna i amorficzna

Drugim kluczowym elementem jest struktura wewnętrzna materiału. Wyróżniamy tu dwa podstawowe typy:

- **Struktura krystaliczna**, w której atomy są uporządkowane w regularny sposób, tworząc powtarzalne układy przestrzenne. Przykładami takich materiałów są metale, kryształy soli kuchennej czy diament. Regularność tej struktury wpływa na ich właściwości mechaniczne (np. dużą twardość) i fizyczne (np. wysokie przewodnictwo cieplne).
- **Struktura amorficzna** charakteryzuje się brakiem długozasięgowego porządku atomów. Materiały amorficzne, takie jak szkło czy niektóre tworzywa sztuczne,



wykazują inne właściwości - są bardziej podatne na deformacje i często posiadają wysoką przezroczystość optyczną (Dobrzański 2002).

Mikrostruktura i jej znaczenie

Mikrostruktura odnosi się do układu składników materiału obserwowalnych przy użyciu mikroskopu optycznego lub elektronowego. Nawet w strukturze krystalicznej mogą występować istotne defekty – m.in. dyslokacje, pory, granice ziaren czy inkluzje. Te mikrodefekty mają ogromny wpływ na właściwości materiału, np.:

- W stalach o drobnoziarnistej mikrostrukturze obserwuje się wyższą twardość i odporność na pękanie niż w stalach o dużych ziarnach.
- W kompozytach, takich jak laminaty z włóknami szklanymi lub węglowymi zatopionymi w osnowie polimerowej, mikrostruktura decyduje o kierunkowych właściwościach mechanicznych i cieplnych materiału.

Właściwości mechaniczne

Właściwości mechaniczne materiałów są bezpośrednim wynikiem ich struktury i składu chemicznego. Do najważniejszych parametrów należą:

- **Wytrzymałość na rozciąganie**
- **Twardość**
- **Sprężystość**
- **Odporność na pękanie i zużycie**

Zwykle materiały krystaliczne charakteryzują się większą wytrzymałością, jednak mogą wykazywać kruchość. Z kolei materiały amorficzne są bardziej plastyczne, ale mniej odporne na obciążenia dynamiczne. W inżynierii mechanicznej znajomość tych właściwości jest kluczowa dla prawidłowego doboru materiałów do określonych zastosowań – od mostów i kadłubów statków, po implanty czy obudowy elektroniki.

Właściwości fizyczne

Materiałom przypisuje się także określone właściwości fizyczne:

- **Przewodnictwo cieplne i elektryczne**
- **Właściwości optyczne (przezroczystość, absorpcja, załamanie)**
- **Magnetyzm**
- **Rozszerzalność cieplna**



Poniżej zaprezentowano przykłady:

- Miedź i aluminium posiadają wysokie przewodnictwo elektryczne dzięki obecności swobodnych elektronów.
- Materiały izolacyjne, jak guma czy PVC, mają bardzo niską przewodność i są wykorzystywane jako osłony przewodów.
- Dzięki swojej krystalicznej strukturze, metale są również doskonałymi przewodnikami ciepła.

Wiązania chemiczne i ich rola

Z punktu widzenia materiałoznawstwa, kluczowe znaczenie ma rodzaj sił wiążących atomy w materiale. Ich natura decyduje o strukturze, trwałości, a także właściwościach elektrycznych, magnetycznych i optycznych.

Teoria wiązań chemicznych, rozwinięta przez Waltera Kossela i Gilberta N. Lewisa w 1916 r., zakłada, że atomy dążą do osiągnięcia konfiguracji elektronowej najbliższego gazu szlachetnego (reguła oktetu). Stabilność takiej konfiguracji przekłada się na typ wiązania chemicznego (tabela 1):

Tabela 1. Wiązania międzymetaliczne i ich energia ich wiązań (Piekarski, 2018)

Typ wiązania		Energia wiązania, [kJ/mol]
Silne wiązania (pierwotne)	jonowe	625 – 1550
	kowalencyjne	500 – 1250
	metaliczne	100 -850
Słabe wiązanie (wtórne)	Van der Waalsa	□40

Wiązania jonowe

Powstają między atomami o dużej różnicy elektroujemności. Atomy metali oddają elektrony, tworząc dodatnie jony (kationy), natomiast niemetale je przyjmują, tworząc aniony. Siła elektrostatyczna pomiędzy przeciwnie naładowanymi jonami tworzy wiązanie jonowe, które jest bezkierunkowe – oddziaływania działają równomiernie we wszystkich kierunkach.

Wiązania kowalencyjne

Zachodzą między atomami o podobnej elektroujemności. Tworzą się poprzez wspólne pary elektronowe. Tego typu wiązania mają charakter kierunkowy, co ma znaczenie w układach cząsteczkowych i polimerach.



Wiązania metaliczne

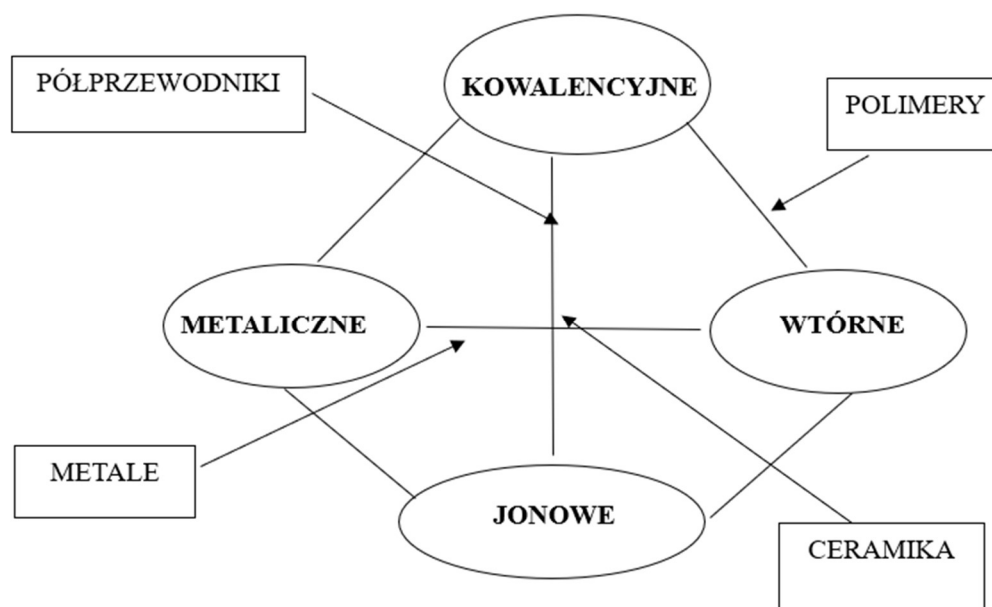
W metalach atomy przekazują swoje elektrony wartościowe do wspólnego „morza” elektronów. Te swobodne elektrony odpowiadają za wysoką przewodność elektryczną i cieplną, a także za plastyczność. Wiązanie metaliczne również jest bezkierunkowe.

Oddziaływania Van der Waalsa

To słabe wiązania powstające w wyniku fluktuacji ładunków – tworzą chwilowe dipole, które indukują dipole w sąsiadujących atomach. Chociaż są znacznie słabsze niż wiązania pierwotne, odgrywają rolę w materiałach molekularnych, np. warstwach polimerów i kryształach molekularnych.

Wiązania mieszane

W rzeczywistości wiele materiałów posiada **wiązania o charakterze mieszanym**, np. jonowo-kowalencyjne lub metaliczno-kowalencyjne. Takie połączenia powodują, że materiały wykazują cechy pośrednie w zakresie właściwości mechanicznych i fizycznych. Przykładami są ceramiki techniczne, związki półprzewodnikowe oraz niektóre stopy metali (rys.2).



Rys. 2. Rodzaje wiązań występujące w materiałach,
źródło: opracowanie własne na podstawie: Dobrzański L.A.,
Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo, 2002



2. Podstawowe grupy materiałów

Metale i ich stopy

Metale są jednymi z najbardziej zasobnych i wszechstronnych materiałów w inżynierii. Termin „metal” obejmuje zarówno metale czyste, jak i ich stopy. Metale czyste charakteryzują się zawartością pierwiastka od 99,990 % do 99,999 %, natomiast metale technicznie czyste mieszczą się w przedziale 99,0 %–99,9 %, resztę stanowią domieszki i zanieczyszczenia. Te ostatnie mogą wpływać na właściwości mechaniczne i fizykochemiczne materiału (np. twardość, plastyczność, odporność na korozję).

Pozyskiwanie metali

Metale wydobywa się głównie z rud poprzez procesy metalurgiczne. Typowy ciąg technologiczny obejmuje:

1. **Redukcję rudy** - redukcja chemiczna, np. w piecach do wytopu, aby wydzielić metal.
2. **Rafinację** - oczyszczanie z zanieczyszczeń (np. elektrolityczne, rafinacja gazowa).

Warto jednak pamiętać, że niektóre metale (jak złoto, miedź) występują także w formie rodzimej, co umożliwia ich wydobycie metodami bezpośrednio z surowca naturalnego.

Stopy - kompozycja i cel modyfikacji

Stopy to metale z domieszkami dodatkowymi – mogą to być inne metale (np. Cr, Ni, Al), a także niemetale (C, N). Te dodatki modyfikują właściwości materiałów:

- poprawiają wytrzymałość,
 - zwiększają odporność na korozję,
 - wpływają na ciągliwość, twardość lub odporność cieplną.
- Zanieczyszczenia mogą być celowo wprowadzone (np. domieszki stopowe) lub stanowić defekty (np. siarka w stali).

Definiowanie metali w nauce

- **Chemia** definiuje metale głównie poprzez tlenki – metale tworzą zasadowe tlenki.
- **Fizyka** – metale klasyfikuje się jako przewodniki, wyróżniając je od półprzewodników i izolatorów.

Charakterystyczne cechy metali:

- przewodnictwo elektryczne i ciepłe (elektrony swobodne),
- nieprzezroczystość,
- plastyczność,
- metaliczny połysk.



Klasyfikacja metali

W inżynierii dzieli się metale ze względu na:

- **Skład chemiczny** - metale żelazne vs nieżelazne.
- **Gęstość, temperaturę topnienia, reaktywność chemiczną, występowanie,**
- **Formę realizacji** - przeznaczone do odlewania vs do obróbki plastycznej.

Metale żelazne

1. **Stal** - stop żelaza z węglem do 2 %; dodatki stopowe (np. Cr, Mn, Ni, Mo) umożliwiają dobór do specyficznych wymagań (twardość, plastyczność, odporność). Zastosowania: konstrukcje budowlane, motoryzacja, przemysł narzędziowy (Prowans 2000).
2. **Żeliwo** - zawiera powyżej 2 % węgla; cechuje się dużą twardością, ale jest kruche. Stosowane w częściach odlewniczych, armaturze, elementach maszyn.

Cechy metali żelaznych

- **Wytrzymałość** – wysoka dzięki żelazu i strukturze stopu.
- **Łatwość obróbki** – dobra odpowiedź na obróbkę plastyczną i cieplną.
- **Korozyjność** – żelazo łatwo rdzewieje; przeciwdziała się temu galwanizacją, farbami ochronnymi itd.

Metale nieżelazne

Metale bez lub z niewielką zawartością żelaza:

1. **Aluminium**
 - **Zalety:** lekkość, odporność na korozję (dzięki warstwie tlenkowej), dobra plastyczność.
 - **Zastosowanie:** lotnictwo, transport, budownictwo, elektrotechnika, opakowania.
2. **Miedź**
 - **Zalety:** doskonałe przewodnictwo elektryczne i cieplne.
 - **Zastosowanie:** przewody, instalacje grzewcze, chłodnicze, elektronika.
3. **Inne metale** (np. cynk, ołów, mosiądz) są wykorzystywane w branżach specjalistycznych.

Cechy metali nieżelaznych

- **Niska gęstość** - szczególnie ważna w lotnictwie i motoryzacji.
- **Naturalna odporność na korozję** - np. aluminium i miedź tworzą pasywne warstwy ochronne.



- **Dobre przewodnictwo** - używane powszechnie w energetyce i elektronice (Skrzypek i Przybyłowicz 2019).

Obróbka cieplna metali

Obróbka cieplna zmienia mikrostrukturę dzięki kontrolowanemu procesowi nagrzewania i chłodzenia. Celem obróbki jest: uzyskanie odpowiedniego kompromisu między twardością, wytrzymałością i plastycznością. Do podstawowych procesów obróbki cieplnej należą:

1. Hartowanie:

- nagrzewanie powyżej temperatury przemiany fazowej i gwałtowne chłodzenie,
- powstaje martenzyt (twardy, ale kruchy),
- wymaga odpuszczania.

2. Odpuszczanie

- nagrzewanie zahartowanego materiału do poniżej temperatury przemiany i powolne chłodzenie,
- usuwa naprężenia i nadaje materiałowi lepszą plastyczność.

3. Wyżarzanie

- nagrzewanie i powolne chłodzenie,
- zmniejsza twardość, zwiększa plastyczność i usuwa naprężenia.

4. Normalizowanie

- nagrzewanie powyżej przemiany fazowej i chłodzenie powietrzem,
- tworzy jednorodną mikrostrukturę - zwiększa wytrzymałość i twardość przy zachowaniu plastyczności.

Obróbka cieplno-chemiczna

Obróbka powierzchni metali przez wprowadzenie pierwiastków do warstwy zewnętrznej:

• Nawęglanie

- nagrzewanie w obecności węgla (gaz, sól, proszek), następnie hartowanie,
- efekt: twarda powierzchnia, plastyczne jądro - idealne do elementów ciernych (np. koła zębate).

• Azotowanie

- nasycanie powierzchni azotem w temperaturze $\sim 500\text{--}600\text{ }^{\circ}\text{C}$ w atmosferze amoniaku/plazmy.
- powstają azotki - twardość, odporność na korozję, bez potrzeby hartowania.



- **Cementowanie**

- podobne do nawęglania - dodatek innych pierwiastków (Si, Cr, Mn, B),
- efekt: twarda powierzchnia, ciągliwe wnętrze - np. wały, łożyska.

- **Chromowanie i aluminowanie**

- nasycanie powierzchni odpowiednio chromem lub aluminium,
- efekt: ochrona przed korozją, szczególnie w warunkach wysokotemperaturowych (używane w lotnictwie czy energetyce).

Tworzywa sztuczne

Tworzywa sztuczne, nazywane także polimerami syntetycznymi, są materiałami szeroko stosowanymi w różnych dziedzinach przemysłu ze względu na swoje unikalne właściwości fizyczne, chemiczne i mechaniczne. Składają się z długich łańcuchów makrocząsteczek, które zbudowane są z powtarzających się jednostek strukturalnych - merów. Podstawowym budulcem tworzyw sztucznych są związki organiczne, najczęściej węgla i wodoru, choć często zawierają także tlen, azot, chlor, fluor lub inne pierwiastki, co wpływa na ich właściwości użytkowe.

Budowa i klasyfikacja polimerów

Polimer (z greckiego „poly” – wiele, „meros” – cząstka) to substancja chemiczna o bardzo wysokiej masie cząsteczkowej, zbudowana z wielu powtarzalnych jednostek strukturalnych (merów). Te jednostki są ze sobą chemicznie połączone, tworząc makrocząsteczkę, która może mieć długość od kilku nanometrów do nawet kilkunastu mikrometrów. Ogólny zapis strukturalny polimeru przedstawia się jako: $-[M]_n-$, gdzie M oznacza mer, a n liczbę jego powtórzeń.

- **Homopolimery** - polimery zbudowane z jednego rodzaju merów.
- **Kopolimery** - polimery powstałe z więcej niż jednego rodzaju monomeru.
- **Monomerem** - nazywa się cząsteczkę o małej masie cząsteczkowej, zdolną do tworzenia wiązań chemicznych z innymi podobnymi cząsteczkami. Warunkiem udziału monomeru w reakcji polimeryzacji jest obecność wiązań nienasyconych (podwójnych lub potrójnych) bądź grup funkcyjnych zdolnych do kondensacji.



Polimery dzieli się według różnych kryteriów:

a) ze względu na zachowanie się pod wpływem temperatury:

- **termoplasty** - miękną pod wpływem temperatury, twardnieją po schłodzeniu. Można je wielokrotnie przetapiać bez istotnych zmian strukturalnych, np: PE (polietylen), PP (polipropylen), PVC (polichlorek winylu), PET (politereftalan etylenu), PS (polistyren).
- **duroplasty** - po utwardzeniu nie mogą być ponownie uplastycznione. Wykazują bardzo dobrą odporność na wysoką temperaturę, czynniki chemiczne i mechaniczne, np. żywice epoksydowe, fenolowe, melaminowe.
- **elastomery** - wykazują dużą elastyczność, po odkształceniu powracają do pierwotnego kształtu, np. kauczuk naturalny i syntetyczny, poliuretany.

b) Ze względu na pochodzenie:

- **tworzywa sztuczne syntetyczne** - uzyskiwane na drodze syntezy chemicznej z produktów ropopochodnych.
- **tworzywa naturalne i modyfikowane** - otrzymywane z naturalnych surowców (np. celuloza, skrobia, kauczuk naturalny), poddanych odpowiednim modyfikacjom chemicznym.

c) Ze względu na zastosowanie:

- **tworzywa konstrukcyjne** - o wysokiej wytrzymałości mechanicznej, odporności na ścieranie, stosowane m.in. w motoryzacji, przemyśle maszynowym i lotniczym, np. PA (poliamidy), PC (poliwęglany), PTFE (politetrafluoroetylen).
- **tworzywa opakowaniowe** - lekkie, odporne na czynniki zewnętrzne, przystosowane do kontaktu z żywnością, np. PET, HDPE, LDPE, PP.
- **tworzywa specjalistyczne** - np. przewodzące prąd, biokompatybilne, o specyficznych właściwościach optycznych, chemicznych, czy biologicznych np: fluoropolimery, polimery przewodzące, polilaktydy.

Właściwości tworzyw sztucznych:

- **Niska gęstość** - znacznie niższa niż metale, co umożliwia konstruowanie lekkich elementów.
- **Odporność na korozję** - nie ulegają utlenieniu, nie rdzewieją.
- **Dobra izolacyjność cieplna i elektryczna** - szerokie zastosowania w elektrotechnice i budownictwie.
- **Odporność chemiczna** na wiele kwasów, zasad i soli.
- **Łatwość formowania** - możliwe formowanie metodami wtrysku, wytłaczania, prasowania.



- **Możliwość barwienia i modyfikowania struktury** - umożliwia nadanie różnych kolorów i właściwości (np. ognioodporność, odporność UV).

Zastosowania tworzyw sztucznych:

- **Motoryzacja** - elementy wnętrza, nadwozia, systemy paliwowe.
- **Budownictwo** - izolacje termiczne i akustyczne, rury, ramy okienne.
- **Elektronika** - obudowy urządzeń, przewody, elementy zabezpieczające.
- **Medycyna** - sprzęt jednorazowego użytku, implanty, protezy.
- **Opakowania** - butelki, folie, pojemniki.

Problemy środowiskowe i recykling

Globalna produkcja tworzyw sztucznych przekracza 400 mln ton rocznie, z czego znacząca część trafia na wysypiska lub do środowiska naturalnego. Odpady tworzyw sztucznych stanowią poważne wyzwanie ekologiczne.

Problemy z recyklingiem:

- **Złożoność chemiczna** - różnorodność polimerów utrudnia segregację.
- **Zanieczyszczenia** - np. resztki żywności w opakowaniach.
- **Degradacja właściwości** materiałów podczas wielokrotnego przetwarzania.
- **Niska opłacalność ekonomiczna** w porównaniu z produkcją pierwotną.

Rozwijane są nowe technologie (np. recykling chemiczny, biodegradowalne polimery), mające na celu ograniczenie negatywnego wpływu tworzyw sztucznych na środowisko naturalne (Wilczyński 2020, Rabek 2022, Crawford i Martin(2020).

Kompozyty

W literaturze technicznej oraz w praktyce inżynierskiej, kompozyt definiowany jest jako materiał inżynierski, otrzymywany w sposób sztuczny poprzez celowe połączenie co najmniej dwóch odmiennych składników (faz), które różnią się właściwościami fizycznymi i chemicznymi od siebie nawzajem, jak również od materiałów wyjściowych. Celem takiego połączenia jest uzyskanie materiału o nowych, ulepszonych cechach mechanicznych, fizycznych bądź chemicznych, których nie da się osiągnąć przez proste zastosowanie składników osobno ani przez arytmetyczne sumowanie ich właściwości.



Ważną cechą kompozytów jest to, że mimo ich pozornie jednorodnej makrostruktury, składają się one z wyraźnie oddzielonych faz, posiadających własne granice i tożsamość materiałową. To odróżnia je od klasycznych stopów lub mieszanin homogenizowanych.

Jednym z najbardziej obrazowych przykładów kompozytu jest struktura, w której zbrojenie w postaci włókien lub cząstek jednego materiału jest zatopione w osnowie wykonanej z innego materiału. Alternatywnie, faza wzmacniająca może być ułożona warstwowo - jako naprzemienne warstwy materiałów różniących się składem, grubością i właściwościami. Takie projektowanie pozwala inżynierom precyzyjnie dopasować strukturę do wymaganych parametrów wytrzymałościowych, cieplnych czy chemicznych.

Charakterystyczna dla kompozytów jest dwuskładnikowa budowa (Boczowska, Kapuściński, Lindemann 2016):

- **osnowa** (nazywana także matrycą), która tworzy podstawową, ciągłą fazę materiału, oraz
- **faza wzmacniająca** (zbrojenie), która odpowiada za poprawę właściwości mechanicznych, takich jak sztywność, odporność na rozciąganie, czy odporność na pękanie.

Klasyfikacja kompozytów

Ze względu na geometrię fazy wzmacniającej, kompozyty dzieli się na:

1. **Kompozyty cząstkowe** (ziarniste lub proszkowe), które obejmują:
 - kompozyty z dużymi cząstkami (kompozyty agregatowe),
 - kompozyty dyspersyjne - zawierające drobne cząstki (0,01–0,1 μm), równomiernie rozproszone w osnowie.
2. **Kompozyty włókniste**, w których fazą wzmacniającą są włókna o dużym stosunku długości do średnicy. Umożliwiają one uzyskanie wysokiej wytrzymałości przy niskiej masie własnej.
3. **Kompozyty strukturalne**, do których zaliczamy:
 - laminaty - wykonane z wielu cienkich warstw materiału połączonych ze sobą,
 - kompozyty wielowarstwowe - zbudowane z mocnych warstw zewnętrznych i lekkiego rdzenia (często o strukturze plastra miodu), co umożliwia znaczące zmniejszenie masy przy zachowaniu sztywności i wytrzymałości.



Anizotropia i izotropowość

Zależnie od sposobu rozmieszczenia fazy wzmacniającej, kompozyty mogą wykazywać:

- **izotropowość** - właściwości jednakowe we wszystkich kierunkach badania,
- **anizotropowość** - właściwości różne w zależności od kierunku badania (np. wyższa wytrzymałość wzdłuż włókien niż w poprzek).

Klasyfikacja według rodzaju osnowy

Najczęściej stosowanym podziałem kompozytów jest ten oparty na typie osnowy:

- **Kompozyty o osnowie polimerowej (PMC - *Polymer Matrix Composites*)** - najczęściej stosowane ze względu na niski koszt, prostotę przetwarzania i niską gęstość.
- **Kompozyty o osnowie metalowej (MMC - *Metal Matrix Composites*)** - charakteryzują się dobrą przewodnością cieplną i odpornością na wyższe temperatury.
- **Kompozyty o osnowie ceramicznej (CMC - *Ceramic Matrix Composites*)** - stosowane w aplikacjach wymagających odporności na bardzo wysokie temperatury i agresywne środowiska.

Dobór faz wzmacniających

W zależności od rodzaju osnowy, stosuje się różne materiały jako zbrojenie:

- W kompozytach polimerowych - najczęściej używa się włókien szklanych, węglowych, aramidowych, rzadziej metali lub ceramiki.
- W kompozytach metalowych - dominują włókna ceramiczne i borowe.
- W kompozytach ceramicznych - można spotkać zarówno włókna ceramiczne, jak i metalowe.

Zastosowanie twardych i wytrzymałych faz wzmacniających (np. ceramiki, włókien aramidowych) wpływa na odporność materiału na pękanie, rozciąganie, zmęczenie oraz ścieranie.

Właściwości i zastosowanie kompozytów

Na ostateczne właściwości kompozytu wpływa zarówno osnowa, jak i zbrojenie - jego rodzaj, proporcja, orientacja, geometria i rozmieszczenie.

Osnowa:

- chroni zbrojenie przed czynnikami zewnętrznymi (korozją, utlenianiem),
- przenosi obciążenia,
- zapewnia integralność strukturalną całego układu.



Typowe materiały stosowane jako osnowy to:

- **Polimery:** żywice termoutwardzalne (np. epoksydowe, fenolowe), termoplastyczne (np. poliamidy, poliwęglany).
- **Metale i ich stopy:** aluminium, tytan, nikiel, żelazo, miedź.
- **Ceramika techniczna:** tlenki (Al_2O_3), azotki (Si_3N_4), węgliki (SiC), szkła i węgle.

Odporność temperaturowa

Zakres temperatur pracy kompozytów uzależniony jest od rodzaju osnowy:

- **kompozyty polimerowe:** do ok. 150°C ,
- **kompozyty metalowe:** $700 - 1000^\circ\text{C}$,
- **kompozyty ceramiczne:** nawet do 1650°C .

Włókna wzmacniające

Stosowane materiały włókniste obejmują:

- **włókna metalowe:** stal, molibden, wolfram,
- **włókna ceramiczne:** szklane, węglowe, tlenkowe,
- **włókna organiczne:** Kevlar, Nomex,
- **włókna naturalne:** juta, len, konopie, bawełna.

Spśród nich największe znaczenie przemysłowe mają włókna szklane, węglowe i aramidowe (np. Kevlar), które łączą wysoką wytrzymałość z niewielką masą.

Dla optymalizacji właściwości mechanicznych udział włókien w strukturze kompozytu powinien przekraczać 80%. Nadmiar osnowy może obniżać sztywność i wytrzymałość, dlatego projektowanie proporcji jest kluczowym etapem technologii wytwarzania (Królikowski 2017).

Zastosowania kompozytów

Kompozyty wzmacniane włóknami znajdują szerokie zastosowanie w branżach, gdzie wymagana jest lekkość przy jednoczesnym zachowaniu wysokiej wytrzymałości, takich jak:

- przemysł lotniczy i kosmiczny,
- motoryzacja (np. elementy nadwozi, zawieszenia, klocki hamulcowe),
- sprzęt sportowy (np. narty, rakietki tenisowe, rowery),
- budownictwo i infrastruktura (np. zbrojenia kompozytowe, deski tarasowe), (Ubowska 2019).

Jednak ich głównym ograniczeniem pozostaje niższa odporność termiczna, szczególnie w przypadku osnów polimerowych, co może wykluczać ich stosowanie w aplikacjach wysokotemperaturowych.



Ceramiki

Przetwórstwo i technologie wytwarzania ceramiki

Procesy technologiczne prowadzące do otrzymania wyrobów ceramicznych są złożone i silnie zależne od rodzaju materiału wyjściowego, wymaganych właściwości końcowych oraz przeznaczenia produktu. W ogólnym ujęciu, wytwarzanie ceramiki technicznej obejmuje następujące etapy:

1. **Przygotowanie surowców** - obejmuje rozdrabnianie, mielenie i homogenizację składników. Często stosuje się surowce naturalne (np. glinki) lub wysokooczyszczzone związki chemiczne (np. Al_2O_3 o wysokiej czystości).
2. **Formowanie** – nadanie pożądanej geometrii wyrobowi w stanie surowym:
 - formowanie na sucho (prasowanie jedno- lub osiowe),
 - formowanie na mokro (odlewanie, wytłaczanie, prasowanie izostatyczne),
 - techniki zaawansowane, takie jak **druk 3D ceramiki** (*Additive Manufacturing*) - umożliwiają produkcję wysoce złożonych geometrii przy precyzyjnej kontroli mikrostruktury.
3. **Suszenie** - proces niezbędny do usunięcia nadmiaru wilgoci, który zapobiega pękaniu materiału podczas spiekania.
4. **Spiekanie** (*sintering*) - najważniejszy etap technologii ceramiki. Materiał w formie sproszkowanej poddaje się działaniu wysokiej temperatury (zwykle 0,7–0,9 temperatury topnienia), co prowadzi do zagęszczenia struktury, wzrostu ziaren i uzyskania odpowiednich właściwości mechanicznych. Współcześnie stosuje się również:
 - spiekanie plazmowe (SPS),
 - mikrofałę,
 - spiekanie pod ciśnieniem (HIP - *Hot Isostatic Pressing*),
 - spiekanie reaktywne (RS - *Reactive Sintering*).
5. **Obróbka końcowa** - często konieczna ze względu na dużą twardość materiału i potrzebę uzyskania precyzyjnych wymiarów. Obejmuje m.in. szlifowanie, polerowanie, cięcie laserowe, a także pokrywanie warstwami ochronnymi lub funkcjonalnymi (np. powłoki przeciwzużyciowe, warstwy hydrofobowe) (Pampuch 1995).



Nowoczesne kierunki rozwoju ceramiki

Współczesna inżynieria materiałowa nieustannie rozwija nowe generacje ceramiki, dostosowane do rosnących wymagań technologicznych i środowiskowych. Najważniejsze kierunki rozwoju obejmują:

1. Ceramika funkcjonalna - to grupa materiałów, które poza bierną rolą konstrukcyjną pełnią funkcje aktywne fizykochemicznie np.:

- **ceramika piezoelektryczna** (np. PZT - tytanian-cyrkonian ołowiu),
- **ceramika ferroelektryczna** - zdolna do zmiany polaryzacji pod wpływem pola elektrycznego,
- **ceramika magnetyczna** - stosowana w pamięciach magnetycznych,
- **ceramika półprzewodnikowa** - np. ZnO, stosowana w sensorach gazów.

2. Ceramika bioaktywna i biozgodna, stosowana w medycynie regeneracyjnej i implantologii:

- **hydroksyapatyt (HA) i bioaktywne szkła** wspomagają odbudowę tkanki kostnej,
- **ceramika resorbowalna** - ulega biodegradacji po spełnieniu funkcji (np. $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) (Daty, Janasa 2023).

3. Nanoceramika charakteryzuje się rozmiarem ziaren poniżej 100 nm. Właściwości nanoceramiki:

- zwiększona twardość i wytrzymałość,
- poprawiona odporność na pękanie (mechanizmy zamykania mikropęknięć),
- nowe efekty kwantowe (np. zmiana barwy, przewodności, właściwości optycznych), (Daty, Janasa 2023).

4. Ceramika kompozytowa łączy w sobie różne fazy ceramiczne lub ceramikę z innymi materiałami (np. z metalami - **cermetale**, lub z polimerami). Celem jest uzyskanie materiałów o synergicznych właściwościach - np. połączenie odporności cieplnej ceramiki z większą uduernością materiałów ciągliwych.

5. Ceramika nadprzewodząca to specjalistyczna grupa ceramik, zdolnych do przewodzenia prądu elektrycznego bez strat energetycznych w bardzo niskich temperaturach (poniżej 100 K). Przykładem jest **YBCO** ($\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$) - nadprzewodnik wysokotemperaturowy, stosowany w magnesach nadprzewodzących (MRI, napędy magnetyczne) (Olszyna 2011).



Znaczenie ceramiki w kontekście zrównoważonego rozwoju i środowiska

Ceramika, dzięki swojej trwałości i odporności chemicznej, odgrywa istotną rolę w promowaniu zrównoważonego rozwoju (Konopka, Miazga 2017):

- **Długa żywotność** - elementy ceramiczne nie ulegają szybkiemu zużyciu, co ogranicza konieczność wymiany i zmniejsza ilość odpadów.
- **Odporność na korozję** - brak potrzeby stosowania środków ochronnych (np. farb, powłok antykorozyjnych), które mogą zawierać substancje toksyczne.
- **Możliwość recyklingu** - niektóre ceramiki można poddawać kruszeniu i stosować jako dodatek do materiałów budowlanych (np. kruszywo ceramiczne, domieszki do betonu).
- **Zastosowania w technologiach czystej energii** - ceramika znajduje zastosowanie m.in. w ogniwach paliwowych, elektrolizerach, izolatorach turbin wiatrowych oraz jako materiał odporny na ekstremalne warunki w instalacjach do spalania odpadów.

Drewno

Wraz z postępem technologicznym i rosnącymi wymaganiami wobec materiałów konstrukcyjnych, drewno poddawane jest coraz bardziej zaawansowanym procesom obróbki i modyfikacji, które mają na celu poprawę jego właściwości użytkowych. Modyfikacje te obejmują zarówno zmiany fizyczne, jak i chemiczne, mające na celu zwiększenie trwałości, odporności biologicznej, ogniowej oraz wymiarowej drewna.

1. Modyfikacje fizyczne:

- **Suszenie techniczne (komorowe, próżniowe, mikrofalowe)** - ma na celu obniżenie wilgotności drewna do poziomu użytkowego (zwykle 8–12%), co minimalizuje jego skurcz i pęcznienie oraz zwiększa trwałość (Krzysik 1974).
- **Impregnacja ciśnieniowa** - polega na nasyceniu drewna środkami ochronnymi (np. solami boru, solami miedzi), które zwiększają odporność biologiczną drewna na grzyby, pleśń i owady.
- **Obróbka termiczna (*thermowood*)** - to proces, w którym drewno jest podgrzewane w kontrolowanej atmosferze (zwykle 160–220°C) bez dostępu tlenu. Zmienia to jego strukturę chemiczną, zwiększa odporność na biodegradację i poprawia stabilność wymiarową, choć jednocześnie zmniejsza jego wytrzymałość mechaniczną.
- **Modyfikacja ogniowa (*flame retardant treatment*)** - drewno pokrywane jest powłokami lub impregnowane środkami zmniejszającymi palność, tak przygotowany



materiał znajduje zastosowanie w budownictwie publicznym, gdzie wymagane są podwyższone standardy przeciwpożarowe.

2. Modyfikacje chemiczne:

- **Acetylacja** - polega na reakcji grup hydroksylowych drewna z bezwodnikiem octowym, co zmniejsza zdolność drewna do pochłaniania wilgoci i zwiększa jego odporność biologiczną, przykładem komercyjnego produktu jest Accoya®.
- **Furfurylacja** - nasycenie drewna alkoholem furfurylowym, który polimeryzuje w strukturze komórkowej, zwiększając twardość i odporność drewna na degradację biologiczną.
- **Modyfikacje z wykorzystaniem polimerów** - drewno nasycane jest żywicami syntetycznymi (np. fenolowymi, epoksydowymi), co poprawia jego właściwości mechaniczne i odporność na działanie wody oraz czynników chemicznych. Tego typu modyfikacje są typowe dla elementów stosowanych w konstrukcjach mostów, pomostów czy torowisk tramwajowych.

Drewno jako materiał hybrydowy - konstrukcje kompozytowe

Współczesne rozwiązania inżynierskie coraz częściej łączą drewno z innymi materiałami w celu stworzenia struktur kompozytowych, które łączą zalety różnych surowców. Powstają w ten sposób tzw. **kompozyty drewnopochodne** oraz tzw. **konstrukcje hybrydowe** (Sedliaćik, Mamiński 2016).

- **Laminowane drewno klejone warstwowo (GLT, LVL)** - warstwy drewna klejone są ze sobą wzdłuż włókien, co pozwala uzyskać materiał o zwiększonej nośności i jednorodności. Jest to alternatywa dla betonu i stali w nowoczesnych konstrukcjach mostów, hal sportowych czy dużych przeszklonych budynków.
- **CLT (*cross laminated timber*)** - drewno klejone krzyżowo, charakteryzujące się dużą stabilnością wymiarową i wytrzymałością w różnych kierunkach. CLT znajduje szerokie zastosowanie w budownictwie wielokondygnacyjnym.
- **Drewno metalowo-drewniane** - konstrukcje, w których drewno współpracuje z elementami stalowymi, np. łącznikami, obejmami czy płytkami perforowanymi. Pozwala to na przenoszenie większych obciążeń przy zachowaniu estetyki naturalnego materiału.
- **Kompozyty WPC (*Wood Plastic Composite*)** - to materiały powstałe z mieszaniny mączki drzewnej i polimerów (najczęściej PVC lub HDPE). Charakteryzują się dużą



odpornością na warunki atmosferyczne, nie wymagają konserwacji i są stosowane np. w tarasach, elewacjach i ogrodzeniach.

Wyzwania i kierunki badań nad zastosowaniem drewna

Pomimo wielu zalet, drewno nie jest materiałem wolnym od ograniczeń. Współczesna inżynieria materiałowa podejmuje działania w celu przezwyciężenia tych barier. Do głównych kierunków badań należą:

- **Zwiększanie odporności ogniowej** - rozwój technologii impregnacji oraz powłok ogniochronnych, szczególnie dla zastosowań w budownictwie wielokondygnacyjnym.
- **Poprawa trwałości biologicznej bez użycia toksycznych środków** - badania nad naturalnymi bioinhibitorami (np. oleje, taniny) jako alternatywa dla środków zawierających metale ciężkie.
- **Zrównoważone kleje i środki łączące** - unikanie formaldehydu i rozwój bioadhezyjnych technologii spajania drewna.
- **Inteligentne struktury drewniane** - integracja drewna z czujnikami wilgotności, temperatury lub naprężeń, co pozwala na monitorowanie kondycji konstrukcji w czasie rzeczywistym.

Drewno, mimo swojej długiej historii użytkowania, wciąż pozostaje materiałem aktualnym i nowoczesnym – głównie dzięki ciągłemu rozwojowi technologii jego przetwarzania i modyfikacji. Jako materiał konstrukcyjny łączy w sobie takie cechy jak:

- **lekkość, estetyka, dobra izolacyjność, odnawialność** oraz
- **niski ślad węglowy oraz możliwość recyklingu.**

Współczesne wykorzystanie drewna nie ogranicza się jedynie do tradycyjnego budownictwa czy meblarstwa. Obserwujemy dynamiczny rozwój architektury drewnianej w systemach modułowych, produkcji energooszczędnych domów pasywnych oraz zastosowanie drewna w przemyśle lotniczym, motoryzacyjnym i sportowym (np. elementy nart, desek surfingowych, instrumentów muzycznych). Ponadto, rośnie rola materiałów bioinspirowanych, w których struktura drewna służy jako wzorzec dla tworzenia nowych, funkcjonalnych kompozytów.

Z perspektywy inżynierii produkcji drewno stanowi przykład materiału, który dzięki swojej wszechstronności, możliwościom przetwórczym oraz znaczeniu ekologicznemu doskonale wpisuje się w paradygmat zrównoważonego projektowania i gospodarki o obiegu zamkniętym. W tabeli 2 przedstawiono porównanie omawianych materiałów.



Tabela 2. Porównanie materiałów inżynierskich (opracowanie własne)

Właściwości	Ceramika	Metale	Tworzywa sztuczne	Kompozyty	Drewno
Główne składniki	tlenki, azotki, węgliki, szkła	żelazo, miedź, aluminium i ich stopy	polimery naturalne lub syntetyczne	osnowa (polimer/metal/ceramika) + zbrojenie	celuloza, lignina, hemicelulozy
Struktura	krystaliczna lub amorficzna	krystaliczna	amorficzna, pół-krystaliczna	heterogeniczna	anizotropowa (słojowa)
Gęstość [g/cm ³]	2,0 – 6,0	7,0 – 19,0	0,8 – 2,2	1,3 – 3,0	0,4 – 0,9
Twardość	bardzo wysoka	średnia do wysokiej	niska	wysoka (włókna)	niska
Wytrzymałość na rozciąganie	wysoka, ale krucha	wysoka z odkształceniem plastycznym	niska do średniej	wysoka (zależna od włókien)	średnia, zależna od kierunku włókien
Odporność na ściskanie	bardzo wysoka	wysoka	średnia	wysoka	średnia do wysokiej
Odporność na uderzenia	niska (kruchosc)	wysoka	dobra elastyczność	zmienna (zbrojenie kluczowe)	zmienna (zależy od kierunku obciążenia)
Odporność chemiczna	bardzo dobra	ograniczona (korozyjność)	bardzo dobra (dla wielu polimerów)	zależna od osnowy	umiarkowana
Odporność na wysoką temperaturę	bardzo wysoka (nawet >1600°C)	obra (do 1000°C)	słaba (zazwyczaj <200°C)	zmienna (MMC - wysoka, PMC - niska)	niska (paliwo łatwopalne)
Izolacyjność cieplna	dobra lub bardzo dobra	zła (dobry przewodnik)	bardzo dobra	zmienna (zależna od osnowy)	dobra
Izolacyjność elektryczna	bardzo dobra	słaba (dobre przewodniki)	bardzo dobra	możliwa (w PMC)	dobra (suche drewno)
Przetwórstwo i obróbka	trudna, wymaga spiekania, twarda w obróbce	łatwe - walcowanie, kucie, spawanie	łatwe - formowanie, wtrysk, termoformowanie	złożone, wymaga kontroli faz	dobre właściwości skrawalne, ale wymaga suszenia
Recykling	trudny, kruszenie i ponowne użycie	wysoka możliwość przetopu	zależna od rodzaju (termoplasty - tak, duroplasty - nie)	ograniczony (skomplikowana separacja)	naturalny rozkład lub spalanie z odzyskiem energii
Koszt jednostkowy	średni do wysokiego	średni do wysokiego (zależnie od metalu)	niski do średniego	średni do wysokiego	niski (materiał naturalny)
Zrównoważony rozwój	trwały, odporny, ale trudny do recyklingu	energochłonny w produkcji	często pochodne ropy - problem odpadowy	wysoka wydajność, ale skomplikowany recykling	odnawialny, biodegradowalny, niska energia produkcji



3. Badania struktury materiałów

Właściwości mechaniczne, fizyczne i chemiczne metali oraz ich stopów są bezpośrednio związane z ich strukturą wewnętrzną, która powstaje w wyniku procesów technologicznych, takich jak odlewanie, obróbka plastyczna czy obróbka cieplna. Dokładne poznanie tej struktury jest możliwe dzięki zastosowaniu różnych metod badań strukturalnych, które umożliwiają zarówno ocenę jakości materiałów, jak i przewidywanie ich zachowania w warunkach eksploatacyjnych.

Badania strukturalne przeprowadza się z różnych powodów, m.in.:

- w celu prowadzenia badań podstawowych nad budową i właściwościami materiałów,
- dla rekonstrukcji historii eksploatacyjnej lub użytkowej danego elementu, np. w badaniach powypadkowych, sądowych czy archeometalurgicznych,
- jako element nadzoru i kontroli jakości w procesach produkcyjnych,
- w celu oceny przydatności materiału do określonych warunków eksploatacji.

Badania te prowadzi się w trzech zasadniczych skalach powiększeń:

- **badania makrostrukturalne** (w skali milimetrów),
- **badania mikrostrukturalne** (w skali mikrometrów),
- **badania krystalograficzne** (w skali nanometrów).

Dopiero pełna, zintegrowana analiza wyników uzyskanych na wszystkich trzech poziomach pozwala na dokładne poznanie struktury materiału. W praktyce inżynierskiej najczęściej wystarczające są jednak badania makroskopowe i mikroskopowe.

Badania makroskopowe (makrostrukturalne)

Makroskopowe badania metalograficzne polegają na analizie struktury materiału widocznej gołym okiem lub przy niskich powiększeniach (zwykle do 40x). Obserwacjom poddaje się:

- powierzchnie naturalne elementów,
- przełomy (powierzchnie po zniszczeniu elementu),
- zglądy, czyli odpowiednio przygotowane i ewentualnie trawione przekroje materiału.

Do obserwacji wykorzystuje się lupy, mikroskopy stereoskopowe lub mikroskopy skaningowe (SEM) w trybie niskiego powiększenia. Zakres stosowanego powiększenia zależy od wymiarów cech strukturalnych, które mają zostać przeanalizowane (Barbacki 2003).



Obserwacje powierzchni naturalnych umożliwiają wykrycie śladów eksploatacji, takich jak odkształcenia, zmiany wymiarów, pęknięcia, przebarwienia (np. zgorzelina), oznaki korozji czy inne uszkodzenia mechaniczne lub chemiczne.

Zgłady trawione są szczególnie przydatne w analizie niejednorodności materiału. Umożliwiają one:

- ocenę jednorodności składu chemicznego (np. wykrycie segregacji dendrytycznej),
- identyfikację wad produkcyjnych, takich jak pęknięcia, porowatości czy nieciągłości wynikające ze spawania i zgrzewania,
- ocenę rodzaju i rozmieszczenia wtrąceń niemetalicznych,
- wybór reprezentatywnych miejsc do pobrania próbek do dalszych badań mikroskopowych lub fizykochemicznych.

Przygotowanie zgładów makroskopowych wymaga wstępnego szlifowania przy użyciu papierów ściernych (najczęściej o gradacjach 120–240), a następnie trawienia powierzchni przy pomocy odpowiednich odczynników chemicznych. W przypadku potrzeby uwidocznienia bardziej subtelnych szczegółów strukturalnych, takich jak mikropęknięcia, stosuje się papiery drobniejsze (gradacja 500–600). Po trawieniu zgład musi być dokładnie opłukany wodą, przemyty alkoholem i wysuszony sprężonym powietrzem.

Fraktografia, czyli analiza przełomów, stanowi odrębną dziedzinę badań makroskopowych. Polega ona na badaniu powierzchni przełomu powstałej w wyniku zniszczenia elementu - zarówno celowego (np. próbki po testach mechanicznych), jak i awaryjnego (np. katastrofy techniczne). Przełom ujawnia najsłabsze miejsca materiału i może wskazywać na obecność wad (porów, wtrąceń, mikropęknięć itp.).

Wyróżnia się trzy podstawowe typy przełomów:

- **Przełom ciągliwy** - typowy dla materiałów o wysokiej plastyczności; powierzchnia przełomu jest nierówna, często z widocznymi śladami odkształceń i pasm walcowania,
- **Przełom kruchy** - powstaje bez znacznych deformacji plastycznych, ma charakterystyczny, błyszczący wygląd (perłowy poblask), wynikający z odbicia światła od licznych mikropłaszczyzn, może on przebiegać:
 - transkrystalicznie - przez wnętrza ziaren,
 - międzykrystalicznie - po granicach ziaren,
- **Przełom zmęczeniowy** - wynikający z długotrwałego działania naprężeń cyklicznych.



Charakteryzuje się obecnością:

- ogniska pęknięcia,
- linii zmęzeniowych (koncentrycznych lub spiralnych),
- strefy resztkowej, gdzie doszło do całkowitego zniszczenia przekroju (Prowans 2000).

Przed badaniem przełomy należy odtłuścić, oczyścić, a w razie potrzeby odrdzewić i wysuszyć w strumieniu gorącego powietrza.

Badania struktury krystalicznej metali i ich stopów stanowią trzeci, najbardziej zaawansowany poziom analizy materiałów inżynierskich. Umożliwiają one poznanie uporządkowania atomów w sieci krystalicznej, identyfikację faz krystalicznych oraz ocenę defektów strukturalnych, takich jak dyslokacje, granice ziaren, bliźniaki, czy naprężenia wewnętrzne. Informacje te są kluczowe w nowoczesnych aplikacjach inżynierskich, zwłaszcza tam, gdzie wymagane są najwyższe parametry wytrzymałościowe, odporność na pękanie, czy stabilność w warunkach ekstremalnych (wysoka temperatura, agresywne środowiska, dynamiczne obciążenia).

Badania mikroskopowe (mikrostrukturalne)

Badania mikrostrukturalne polegają na obserwacji odpowiednio przygotowanych przekrojów próbek (zglądów) przy powiększeniach od 40x do nawet 1500x, stosuje się je do:

- analizy morfologii faz, rozmieszczenia i wielkości ziaren krystalicznych,
- oceny struktury warstw utwardzonych cieplnie, dyfuzyjnie, galwanicznie itp.,
- wykrywania defektów mikrostrukturalnych: mikropęknięć, korozji międzykrystalicznej, wtrąceń niemetalicznych,
- przybliżonej oceny zawartości węgla w stalach niestopowych na podstawie struktury perlitu i cementytu.

Mikroskopy metalograficzne różnią się od biologicznych - badają światło odbite, a nie przechodzące, ponieważ próbki są nieprzezroczyste.

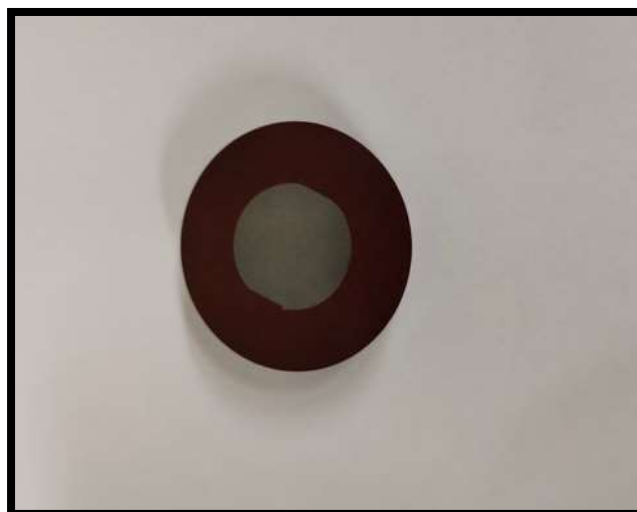
Proces przygotowania zglądu metalograficznego obejmuje (Rys.3):

1. **Wycinanie próbki** - wymaga doświadczenia, aby uniknąć zmian struktury związanych z przegrzaniem. Należy unikać cięcia bez chłodzenia lub przy użyciu palnika. Po wycięciu konieczne jest usunięcie strefy wpływu ciepła.



2. **Szlifowanie** - realizowane na szlifierkach z użyciem papierów ściernych o stopniowo rosnącej gradacji (od 120 do 600), zwilżanych wodą. Ważne jest zmienianie kierunku szlifowania o 90° przy każdej zmianie gradacji. Próbki trudne w uchwycie można inkludować (zalewać żywicą lub stopem niskotopliwym), co stabilizuje je w uchwycie.
3. **Polerowanie** - wykonywane mechanicznie, chemicznie lub elektrolitycznie. Celem jest uzyskanie lustrzanej powierzchni pozbawionej rys i warstwy Beilby'ego. Polerowanie elektrolityczne umożliwia usunięcie tej warstwy bez mechanicznego zgniotu, lecz wymaga szczególnej ostrożności przy materiałach wielofazowych. Polerowanie chemiczne stosuje się rzadziej, gdy inne metody są niemożliwe.
4. **Trawienie** - eksponuje strukturę mikro poprzez działanie odpowiedniego odczynnika. Rodzaj, stężenie, czas i temperatura trawienia zależą od badanego materiału oraz celu analizy. Trawienie wykonuje się najczęściej przy użyciu pipety lub pędzla. Jeśli wynik trawienia jest niezadowalający, można powtórzyć proces, zmieniając warunki. Normy metalograficzne zawierają zalecane składy odczynników i procedury.

W wyniku mikroskopowej obserwacji zglądów możliwe jest nie tylko poznanie struktury materiału, lecz także powiązanie jej z właściwościami mechanicznymi, odpornością korozyjną czy historią cieplną elementu.



Rys. 3. Zgląd metalograficzny przygotowany do badania

Źródło: opracowanie własne – fotografia z kolekcji autorki



Metody badań struktury krystalicznej

Do najbardziej rozpowszechnionych metod analizy krystalicznej należą (Szumer, Ciszewski, Radomski 2000):

1. **Dyfrakcja rentgenowska (XRD - *X-ray Diffraction*)** - jest to podstawowa technika wykorzystywana do określania:

- rodzaju i ilości faz krystalicznych w materiale,
- parametrów sieci krystalicznej,
- wielkości domen krystalicznych (ziaren),
- naprężeń resztkowych oraz tekstury krystalograficznej.

Metoda ta opiera się na zjawisku dyfrakcji promieniowania rentgenowskiego na płaszczyznach sieci krystalicznej. W wyniku oddziaływania promieniowania z materiałem powstaje charakterystyczny układ refleksów, z którego – na podstawie praw Bragga – można wywnioskować budowę wewnętrzną materiału. XRD pozwala również na wykrycie zmian fazowych zachodzących w wyniku obróbki cieplnej, odkształcenia plastycznego, czy oddziaływania środowiska. Jest powszechnie stosowana w badaniach stalowych stopów wysokostopowych, tytanu, niklu, aluminium, ceramiki technicznej i materiałów kompozytowych.

2. **Analiza tekstury krystalicznej (EBSD - *Electron Backscatter Diffraction*)**

EBSD to technika mikroskopowa stosowana w mikroskopach elektronowych (SEM), umożliwiająca (Barbacki 2003):

- określenie orientacji krystalograficznej poszczególnych ziaren,
- analizę wielkości i kształtu ziaren,
- badanie struktury podziarnowej,
- detekcję granic ziaren niskokątowych i wysokokątowych.

EBSD jest narzędziem o dużej rozdzielczości przestrzennej i pozwala na tworzenie tzw. map orientacji krystalograficznych, które służą do analizy procesów dynamicznego rekrytalizowania, zarodkowania faz wtórnych, deformacji plastycznej czy pełzania.

3. **Mikroskopia transmisyjna (TEM - *Transmission Electron Microscopy*)**

TEM umożliwia analizę struktury materiałów na poziomie atomowym. W technice tej wiązka elektronów przenika przez bardzo cienką próbkę (o grubości ok. 100 nm), co pozwala na:



- wizualizację ułożenia atomów w sieci krystalicznej,
- analizę dyslokacji, granic fazowych i międzyziarnowych,
- określenie morfologii wydzieleni faz wtórnych w stopach metali,
- badanie defektów punktowych, segregacji pierwiastków.

TEM znajduje zastosowanie w badaniach nowoczesnych materiałów konstrukcyjnych, mikroelektroniki, cienkich warstw, nanomateriałów oraz powierzchni funkcjonalnych (np. powłoki ochronne, warstwy tlenkowe).

Znaczenie kompleksowej analizy strukturalnej w inżynierii materiałowej

Zintegrowane badania struktury materiałów - od skali makroskopowej, przez mikroskopową, aż po poziom atomowy - są podstawą nowoczesnej inżynierii materiałowej, pozwalają na:

- świadome projektowanie stopów o określonych właściwościach,
- dobór odpowiednich metod obróbki cieplnej i cieplno-chemicznej,
- przewidywanie trwałości eksploatacyjnej elementów konstrukcyjnych,
- ocenę bezpieczeństwa i niezawodności urządzeń technicznych,
- wykrywanie przyczyn awarii i uszkodzeń mechanicznych.

Przykładowo, w przypadku stopów żelaza, znajomość udziału poszczególnych składników strukturalnych, takich jak ferryt, perlit, bainit czy martenzyt, pozwala na dostosowanie parametrów obróbki cieplnej tak, aby uzyskać optymalną kombinację wytrzymałości, twardości i odporności na zużycie.

W materiałach pracujących w podwyższonych temperaturach (np. superstopach niklu, stopy tytanu), kontrola rozmiaru ziaren i obecność faz umacniających (np. γ' w stopach Inconel) są kluczowe dla ich długotrwałej wytrzymałości. Z kolei w nowoczesnych stalach dwufazowych (DP, TRIP, Q&P), badania mikro- i nano-strukturalne pozwalają optymalizować udział austenitu szczątkowego, co wpływa na właściwości plastyczne i odporność na pękanie.

Współczesne kierunki rozwoju badań strukturalnych

Wraz z rozwojem zaawansowanych technologii materiałowych, badania strukturalne ewoluują w kierunku (Szumer, Ciszewski, Radomski 2000):

- **analiz 3D** - rekonstrukcja trójwymiarowej struktury materiału na podstawie wielu przekrojów (np. tomografia rentgenowska, FIB-SEM),



- **in-situ analysis** - badania struktury w czasie rzeczywistym, podczas oddziaływania obciążenia, temperatury czy środowiska korozyjnego,
- **automatyzacji pomiarów** - cyfrowe mapowanie mikrostruktury, identyfikacja faz i defektów z wykorzystaniem algorytmów sztucznej inteligencji (AI, *machine learning*),
- **połączenia badań strukturalnych z symulacjami numerycznymi** - modelowanie materiałów na podstawie rzeczywistej mikrostruktury, np. metoda elementów skończonych (FEM) w analizach zmęzeniowych.

Badania strukturalne materiałów metalowych, obejmujące analizę w skali makroskopowej, mikroskopowej i krystalograficznej, stanowią fundament współczesnej inżynierii materiałowej. Pozwalają nie tylko na ocenę stanu technicznego materiałów, lecz także na przewidywanie ich zachowania w warunkach rzeczywistej eksploatacji. Integracja różnych metod badawczych oraz rozwój technik cyfrowych i analizy danych otwierają nowe perspektywy dla projektowania materiałów nowej generacji – inteligentnych, odpornych, zoptymalizowanych pod kątem konkretnej aplikacji.

Mikroskop metalograficzny

Mikroskop metalograficzny jest jednym z najważniejszych narzędzi stosowanych w badaniach mikrostruktury metali i ich stopów. Dzięki niemu możliwe jest prowadzenie szczegółowych obserwacji, które pozwalają na identyfikację faz, granic ziaren, wtrąceń niemetalicznych, nieciągłości oraz innych cech strukturalnych wpływających na właściwości mechaniczne i użytkowe materiałów inżynierskich.

W przeciwieństwie do mikroskopów biologicznych, które wykorzystują światło przechodzące i wymagają cienkich, przezroczystych preparatów, mikroskopy metalograficzne pracują w trybie odbiciowym. Oznacza to, że światło nie przenika przez próbkę, lecz odbija się od jej powierzchni. Dlatego też badane próbki muszą mieć gładką, wypolerowaną powierzchnię, często dodatkowo poddaną trawieniu, aby umożliwić ujawnienie mikrostruktury.

Budowa mikroskopu metalograficznego

Typowy mikroskop metalograficzny (np. Delta Optical MET-1000 TRF - Rys. 4) składa się z kilku podstawowych elementów konstrukcyjnych:

- **Układ optyczny** - obejmuje zestaw soczewek obiektywowych (zazwyczaj od 5x do 100x) oraz okularowych (najczęściej 10x lub 15x), umożliwiających powiększenie



obrazu od 40x do 1500x. Nowoczesne mikroskopy wyposażone są również w kamery cyfrowe do dokumentacji obserwacji oraz analizy komputerowej.

- **Stolik mikroskopowy** - platforma, na której mocowana jest próbka. Może być przesuwana w dwóch osiach (X i Y), co umożliwia precyzyjne pozycjonowanie analizowanego obszaru. W niektórych konstrukcjach stosuje się stoliki z mikrometrycznymi śrubami przesuwu.
- **Źródło światła** - mikroskopy metalograficzne wykorzystują oświetlenie episkopowe (padające), w którym światło emitowane przez lampę halogenową lub LED kierowane jest na powierzchnię próbki i odbite od niej trafia do układu optycznego.
- **Układ oświetleniowy** - poza samą lampą zawiera także kondensor skupiający wiązkę światła oraz system zwierciadeł i filtrów (np. polaryzacyjnych, kolorymetrycznych), które umożliwiają uzyskanie kontrastu i poprawę jakości obrazu. Oświetlenie można regulować pod względem natężenia i kierunku padania promieni.
- **Rewolwer obiektywowy** - obracana głowica z zestawem obiektywów o różnych powiększeniach, umożliwiającą szybką zmianę powiększenia bez konieczności przerywania obserwacji.
- **Układ mechaniczny i elektroniczny** - obejmuje mechanizmy ustawiania ostrości (makro i mikro), systemy automatycznej kalibracji i ustawień, a także oprogramowanie wspomagające analizę obrazu (np. pomiar wielkości ziaren, analiza obrazu binarnego, rozpoznawanie faz itp.).

Zasada działania mikroskopu metalograficznego

Działanie mikroskopu metalograficznego opiera się na zasadzie odbicia światła. Wiązka światła emitowana przez źródło jest kierowana przez układ optyczny na powierzchnię próbki. Odbite promienie trafiają następnie do układu obiektywowego i okularowego, gdzie tworzą powiększony obraz analizowanego fragmentu struktury materiału.

Aby uzyskać obraz wysokiej jakości, próbka musi być wcześniej starannie przygotowana:

- jej powierzchnia powinna być równa, pozbawiona rys, wypolerowana do efektu lustrzanego;
- dla zwiększenia kontrastu i uwidocznienia granic ziaren czy wydzieleni fazowych stosuje się trawienie chemiczne odpowiednio dobranym odczynnikiem.



Poprawne dobranie powiększenia oraz właściwego rodzaju oświetlenia (np. światła spolaryzowanego, ciemnego pola czy interferencyjnego) umożliwia precyzyjną analizę kształtu, wielkości i rozmieszczenia poszczególnych składników strukturalnych.

Współczesne mikroskopy metalograficzne są zintegrowane z komputerami, co pozwala nie tylko na obserwację i rejestrację obrazów, ale również na ich zaawansowaną analizę cyfrową.

Programy tego typu umożliwiają m.in.:

- pomiary wymiarów i powierzchni ziaren,
- analizę udziału poszczególnych faz,
- tworzenie histogramów rozkładu wielkości cząstek,
- ocenę porowatości czy ilości wtrąceń.

Mikroskopy metalograficzne stanowią więc nieodzowne narzędzie w laboratoriach badawczych i kontroli jakości materiałów metalicznych, odgrywając kluczową rolę w diagnostyce strukturalnej i interpretacji zachowania się materiałów w rzeczywistych warunkach pracy.



Rys. 4. Mikroskop metalograficzny Delta Optical MET-1000 TRF,
Źródło: opracowanie własne, fotografia z kolekcji autorki



4. Przykłady zadań – badania mikroskopowe struktury materiałów

Badania metalograficzne stanowią kluczowy etap w analizie strukturalnej materiałów inżynierskich, takich jak stopy metali czy kompozyty. Pozwalają na dokładną ocenę mikrostruktury, co ma zasadnicze znaczenie dla określenia właściwości mechanicznych, technologicznych oraz diagnostyki potencjalnych wad materiałowych. Poniższy opis krok po kroku przedstawia standardową procedurę prowadzenia obserwacji mikroskopowych z użyciem mikroskopu metalograficznego.

Przygotowanie mikroskopu metalograficznego do pracy

•Uruchomienie mikroskopu:

Rozpocznij od włączenia mikroskopu, upewniając się, że system oświetlenia działa prawidłowo. W przypadku mikroskopii metalograficznej najczęściej stosuje się światło odbite (episkopowe), które umożliwia obserwację nieprzezroczystych próbek. Dopasuj kierunek i intensywność światła do charakterystyki powierzchni badanego zglądu.

• Dobór odpowiedniego obiektywu:

Mikroskopy metalograficzne są wyposażone w zestaw obiektywów o różnych wartościach powiększenia. Na początku obserwacji należy zastosować mniejsze powiększenie (np. 50x lub 100x), co ułatwia zlokalizowanie interesującego fragmentu próbki. W dalszym etapie, zależnie od potrzeb, można przejść do wyższych powiększeń – 200x, 500x, a nawet 1000x - szczególnie w celu analizy detali strukturalnych, takich jak wtrącenia czy mikropęknięcia.

Ustawienie próbki i uzyskanie ostrego obrazu

• Umieszczenie próbki na stoliku mikroskopowym:

Starannie ułóż uprzednio przygotowany zgląd metalograficzny na stoliku mikroskopu. Skorzystaj z mechanizmów przesuwu w osi X i Y, aby precyzyjnie ustawić interesujący obszar w centralnym polu widzenia mikroskopu.

• Regulacja ostrości:

Rozpocznij od ustawienia ostrości za pomocą pokrętła makrometrycznego, co umożliwi uzyskanie zgrubnego obrazu. Następnie, stosując pokrętło mikrometryczne, dokonaj dokładnego wyostrenia. Przy wyższych powiększeniach konieczne jest szczególnie precyzyjne ustawienie, ponieważ nawet minimalne przesunięcia mogą powodować utratę ostrości.



- **Optymalizacja oświetlenia:**

Dostosuj natężenie światła do specyfiki powierzchni. Zbyt intensywne oświetlenie może powodować przeświecenie obrazu i utratę kontrastu, natomiast niedostateczne światło może utrudnić identyfikację detali mikrostruktury. Dobór optymalnych parametrów oświetlenia jest kluczowy dla uzyskania wyraźnych i jednoznacznych wyników.

Dobór powiększenia w zależności od celu obserwacji

- **Wstępna orientacja – małe powiększenie (50x–100x):**

Początkowe powiększenia pozwalają na ogólne rozpoznanie struktury materiału oraz identyfikację interesujących obszarów, takich jak granice ziaren czy większe wtrącenia.

- **Analiza szczegółowa – średnie i wysokie powiększenia (200x, 500x i więcej):**

Zwiększenie powiększenia umożliwia obserwację detali mikrostruktury – morfologii ziaren, obecności drobnych faz wtórnych, porowatości, wtrąceń niemetalicznych oraz mikrodefektów. W przypadku konieczności bardzo szczegółowej analizy (np. wykrywania mikropęknięć) stosuje się powiększenia przekraczające 500x.

Obserwacja i interpretacja mikrostruktury

- **Identyfikacja faz i składników strukturalnych:**

Podczas obserwacji można zauważyć obecność różnych faz i składników strukturalnych. Ziarna mogą się różnić wielkością, kształtem i kolorem – te różnice wynikają z odmiennej orientacji krystalograficznej oraz składu chemicznego.

- **Analiza granic ziaren:**

Granice ziaren są zwykle dobrze widoczne jako linie rozdzielające pojedyncze ziarna. Ze względu na zwiększoną reaktywność chemiczną, granice te często silniej reagują z odczynnikami trawiącymi, co podkreśla ich kontury.

- **Identyfikacja defektów materiałowych:**

W trakcie analizy należy zwrócić szczególną uwagę na obecność niejednorodności, takich jak wtrącenia niemetaliczne, porowatość, mikropęknięcia, rozwarstwienia czy inne defekty. Zwykle objawiają się one jako ciemniejsze lub nieregularne obszary w strukturze.

- **Sporządzenie opisu mikrostruktury:**

Na podstawie przeprowadzonych obserwacji należy sformułować opis struktury badanego materiału, uwzględniający: typ i wielkość ziaren, ich rozmieszczenie, obecność i charakter wtrąceń, oraz widoczność ewentualnych wad.



Przykładowe opisy mikrostruktur

- **Mikrostruktura jednofazowa np.:** Obserwowana mikrostruktura składa się z jednorodnych, równomiernie rozmieszczonych ziaren ferrytu. Ziarna wykazują różnorodną orientację krystalograficzną, granice są wyraźne, a w strukturze nie stwierdzono znaczących defektów.
- **Mikrostruktura wielofazowa np.:** Widoczna jest struktura dwufazowa, z dominującymi dużymi ziarnami ferrytu oraz mniejszymi obszarami perlitu. Obecność wtrąceń niemetalicznych sugeruje możliwe zanieczyszczenia lub niejednorodność składu chemicznego.
- **Mikrostruktura z widocznymi wadami np.:** W polu widzenia mikroskopu występują liczne mikropęknięcia oraz ciemne wtrącenia niemetaliczne. Struktura może wskazywać na wady technologiczne lub skutki działania środowiska korozyjnego.

Dokumentowanie wyników badań

- **Sporządzenie dokumentacji tekstowej:** Zanotuj wszystkie istotne obserwacje, w tym: typ struktury, charakter ziaren, obecność i rodzaj wad, rozkład faz oraz ewentualne uwagi dotyczące przygotowania próbki. Zwróć uwagę na wpływ obróbki cieplnej lub cieplno-chemicznej na zmiany w mikrostrukturze.
- **Rejestracja obrazu mikroskopowego:** W miarę możliwości wykonaj fotografie przedstawiające zaobserwowaną strukturę. Dla celów dydaktycznych i porównawczych warto również sporządzić rysunek obrazu mikroskopowego z zaznaczeniem charakterystycznych cech mikrostruktury.

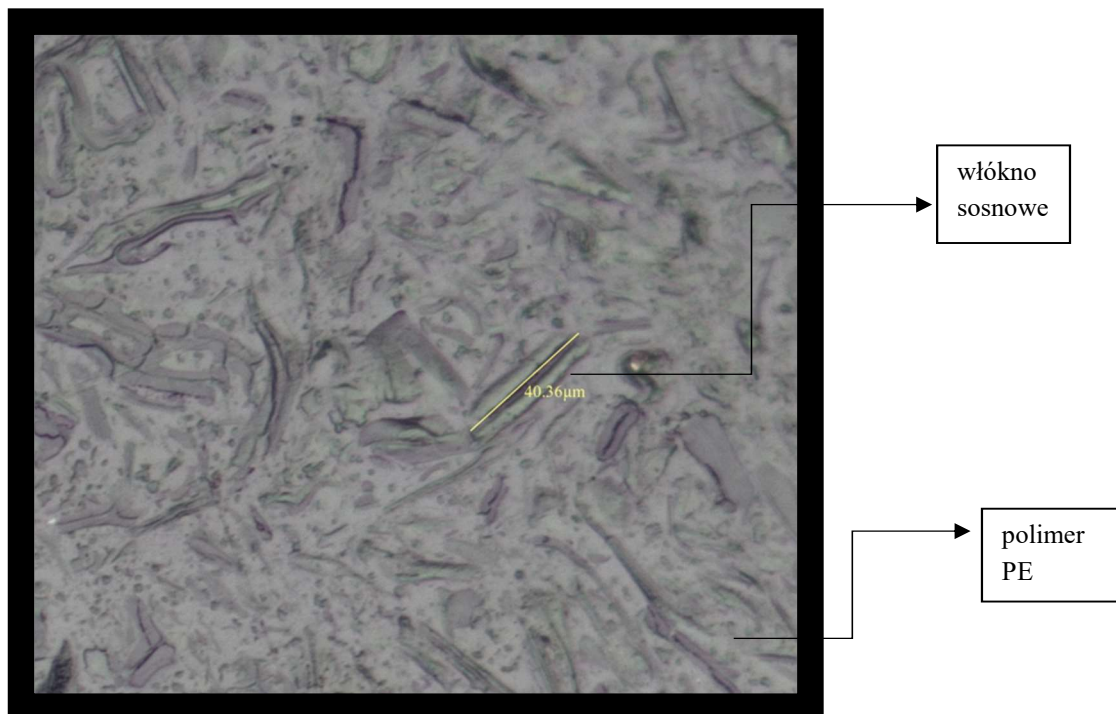
Sformułowanie wniosków

Na podstawie przeprowadzonych obserwacji należy dokonać ogólnej oceny jakości materiału. Wnioski mogą obejmować identyfikację ewentualnych wad produkcyjnych, obecności zanieczyszczeń, skutków obróbki cieplnej lub wskazanie nieprawidłowości w strukturze materiału. Dobrą praktyką jest porównanie wyników z obowiązującymi normami technicznymi, co pozwala na ocenę, czy badany materiał spełnia wymagania użytkowe. Warto pamiętać, że skuteczność badań metalograficznych zależy od precyzji wykonania każdego etapu – od przygotowania próbki, przez obserwację, aż po interpretację wyników. Tego typu analizy są nieodzownym narzędziem w inżynierii materiałowej i kontroli jakości.



Przykład 1

Opisz strukturę widoczną na zdjęciu:



Rys. 5. Kompozyt drewno-polimer, 50% włókna sosnowe, 50% polimer PE
Źródło: opracowanie własne, fotografia z kolekcji autorki

Materiał kompozytowy zawierający w przybliżeniu 50% włókien sosnowych o długości ok. 40 mikrometrów oraz 50% polietylenu stanowi przykład hybrydowego tworzywa, w którym włókna pochodzenia naturalnego spełniają funkcję zbrojenia osadzonego w syntetycznej matrycy polimerowej. Taka struktura materiałowa łączy zalety komponentów organicznych i polimerowych, oferując korzystne właściwości użytkowe - zarówno pod względem mechanicznym, jak i ekologicznym.

Mikrobudowa kompozytu

Faza zbrojąca - włókna drewna sosnowego:

- **Właściwości i budowa włókien:** włókna sosnowe o długości około 40 μm należą do grupy mikrowłókien. Ich budowa opiera się głównie na trzech naturalnych składnikach: celulozie, hemicelulozie oraz ligninie. Celuloza odpowiada za wytrzymałość mechaniczną na rozciąganie, natomiast lignina nadaje włóknom odpowiednią sztywność i zapewnia ich stabilność strukturalną, pełniąc funkcję lepiszcza wiążącego elementy komórkowe.



- **Rozmieszczenie włókien w matrycy:** włókna są drobno rozproszone w objętości polietylenowej matrycy, co skutkuje powstaniem zwartej sieci mikroskopijnych struktur. Taka konfiguracja sprzyja poprawie parametrów mechanicznych kompozytu, zwłaszcza w kontekście odporności na zginanie, rozciąganie oraz udarność.

- **Współpraca włókien z osnową:** naturalne włókna wykazują ograniczoną przyczepność do powierzchni polimerowych, co może wpływać negatywnie na trwałość kompozytu. W celu poprawy adhezji pomiędzy fazą zbrojącą a matrycą często stosuje się modyfikatory - na przykład środki kompatybilizujące, dodatki adhezyjne lub chemiczne obróbki powierzchni włókien, które zwiększają ich aktywność powierzchniową i umożliwiają lepsze zespolenie z tworzywem sztucznym.

Faza osnowy - polietylen (PE):

- **Funkcja i właściwości osnowy:** polietylen pełni w tym kompozycie rolę spoiwa łączącego włókna w całość konstrukcyjną. Oprócz zapewnienia integralności strukturalnej materiału, odpowiada on za odporność na czynniki chemiczne oraz zabezpieczenie przed dostępem wilgoci, co ma szczególne znaczenie w zastosowaniach zewnętrznych i w środowisku o zmiennych warunkach atmosferycznych.

- **Mikrostruktura matrycy:** podczas przetwarzania termoplastycznego, polietylen ulega uplastycznieniu i otacza włókna drzewne, dokładnie wypełniając przestrzeń między nimi. Po stężeniu tworzy jednorodną strukturę, w której włókna są dobrze osadzone. Taki układ pozwala na efektywne rozkładanie naprężeń mechanicznych w trakcie eksploatacji materiału.

Korzyści wynikające z połączenia drewna i tworzywa sztucznego

Dzięki synergii właściwości obu komponentów - organicznego i polimerowego - kompozyt ten oferuje równowagę pomiędzy niską masą, dobrą wytrzymałością oraz pozytywnym oddziaływaniem na środowisko (przynajmniej w zakresie wykorzystania surowców odnawialnych). Materiał ten wykazuje również stabilność wymiarową i odporność na biodegradację, co czyni go funkcjonalnym w wielu branżach.

Przykładowe obszary zastosowań

•Budownictwo

Kompozyty oparte na włóknach drzewnych i polietylenie znajdują zastosowanie w produkcji elementów wykorzystywanych w budownictwie zrównoważonym, takich jak: deski elewacyjne, panele tarasowe, okładziny fasadowe czy płyty konstrukcyjne. Cechują się odpornością na korozję biologiczną i chemiczną, a także wysoką sztywnością mechaniczną.



- **Produkcja mebli**

W meblarstwie, szczególnie przy wytwarzaniu mebli ogrodowych, materiał ten sprawdza się ze względu na swoją lekkość i odporność na działanie promieniowania UV oraz wilgoci. Jest to istotne w kontekście długotrwałego użytkowania na zewnątrz.

- **Opakowania ekologiczne**

Kompozyty zawierające włókna naturalne mogą być alternatywą dla konwencjonalnych tworzyw sztucznych w sektorze opakowań. Dzięki właściwościom biodegradowalnych włókien oraz wytrzymałości polietylenowej osnowy, możliwe jest tworzenie trwałych, a zarazem przyjaznych dla środowiska materiałów opakowaniowych.

- **Przemysł motoryzacyjny**

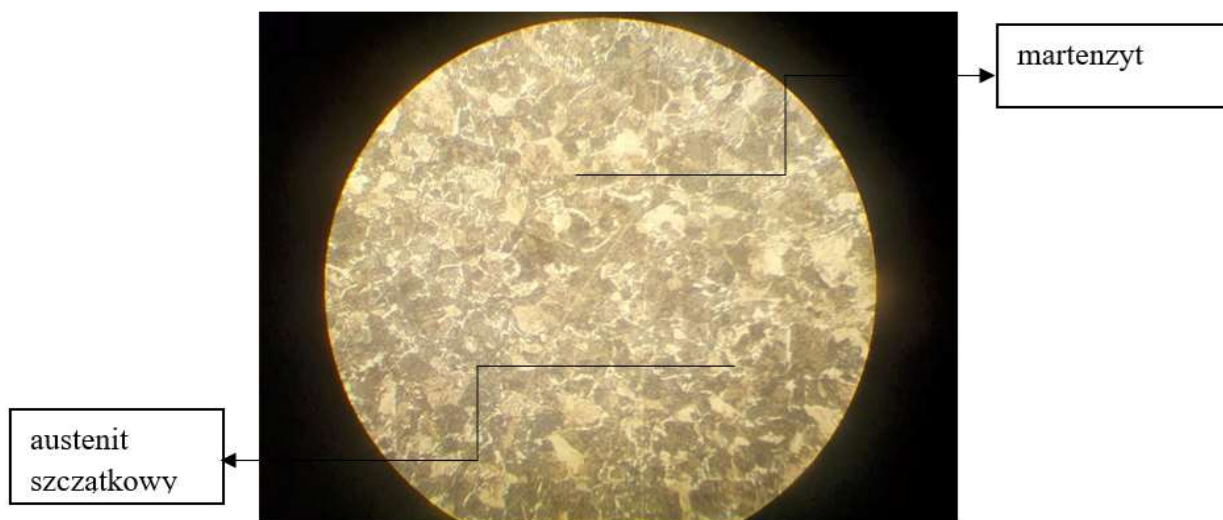
Lekka i sztywna struktura kompozytów tego typu pozwala na ich wykorzystanie przy produkcji komponentów wewnętrznych pojazdów - takich jak panele drzwiowe, elementy konsol środkowych czy dekoracyjne listwy, gdzie liczy się zarówno masa, jak i estetyka oraz odporność na zużycie.

- **Elektronika i elektrotechnika**

Z uwagi na właściwości izolacyjne polietylenu, kompozyty z włóknami drewna mogą być wykorzystywane jako materiał do produkcji obudów urządzeń elektronicznych lub jako elementy izolacyjne w aparaturze elektrycznej, gdzie wymagana jest zarówno ochrona mechaniczna, jak i odporność na działanie prądu elektrycznego.

Przykład 2

Scharakteryzuj strukturę widoczną na zdjęciu (rys. 6).



Rys. 6. Stal C45V po hartowaniu indukcyjnym
Źródło: fotografia z kolekcji autorki

Stal C45V to niskostopowa stal węglowa ulepszana cieplnie, zawierająca około 0,45% węgla oraz niewielki dodatek wanadu (V), który stabilizuje ziarno i poprawia hartowność. Po przeprowadzeniu **hartowania indukcyjnego**, mikrostruktura materiału ulega znacznym przemianom w warstwie powierzchniowej, co przekłada się na znaczne podniesienie twardości.

Charakterystyka mikrostruktury po hartowaniu indukcyjnym:

Warstwa hartowana -powierzchnia (strefa przypowierzchniowa):

- **Dominująca faza: martenzyt** - mikrostruktura tej strefy składa się głównie z droбноigiełkowego martenzytu, powstałego na skutek bardzo szybkiego chłodzenia z zakresu austenitycznego (temperatura $> 800^{\circ}\text{C}$) w wyniku intensywnego nagrzewania indukcyjnego i natychmiastowego chłodzenia (najczęściej wodą lub olejem).
- **Twardość:** około **60 HRC**, co odpowiada w pełni zahartowanej mikrostrukturze martenzytycznej.
- **Możliwa obecność austenitu szczątkowego** - niewielkie ilości austenitu, który nie zdążył się przemienić w martenzyt, mogą występować, szczególnie przy bardzo szybkich cyklach chłodzenia lub przy wysokim udziale pierwiastków stabilizujących austenit.
- **Ziarno drobne** - dzięki szybkiemu nagrzewaniu i natychmiastowemu chłodzeniu hartowanie indukcyjne sprzyja zachowaniu drobnej struktury ziaren.



Strefa przejściowa (między warstwą zahartowaną a rdzeniem):

- Mikrostruktura stopniowo przechodzi od martenzytycznej do bainitycznej lub nawet ferrytowo-perlitycznej w kierunku rdzenia, w zależności od głębokości nagrzewania i warunków chłodzenia.
- Twardość w tej strefie stopniowo spada, co wpływa korzystnie na odporność na pękanie i zachowanie ciągliwości materiału.

Rdzeń materiału (niehartowany):

- **Mikrostruktura: ferryt + perlit** - rdzeń nie został nagrzany powyżej temperatury przemiany austenitycznej, przez co zachowuje strukturę typową dla stali wyżarzonej lub walcowanej.
- **Twardość rdzenia:** znacznie niższa (ok. 20–30 HRC), co poprawia ogólną udarność i odporność zmęczeniową elementu.

Wpływ wanadu (V):

- Wanad obecny w stali C45V stabilizuje strukturę podczas nagrzewania, hamuje wzrost ziaren austenitu, co sprzyja uzyskaniu **drobnoziarnistej struktury martenzytu**.
- Może również tworzyć **wydzielenia węglików wanadu (VC)**, które dodatkowo wzmacniają materiał i poprawiają odporność na zużycie.

Wnioski technologiczne:

- Mikrostruktura stali C45V po hartowaniu indukcyjnym jest **wysoce zróżnicowana w przekroju** - twarda i odporna na zużycie powierzchnia (martenzyt), przy zachowaniu ciągliwego i mniej kruchego rdzenia (ferryt + perlit).
- Taka konfiguracja mikrostrukturalna czyni stal szczególnie przydatną do produkcji elementów narażonych na ścieranie oraz obciążenia dynamiczne, np. wałków, kół zębatach, sworzni czy części maszynowych.

Bibliografia

- Barbacki, A. (2003). Mikroskopia elektronowa, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej.
- Boczkowska, A., Kapuściński, J., Lindemann, Z. (2016). Kompozyty i techniki ich wytwarzania, Oficyna Wydawnicza Politechniki Śląskiej.
- Crawford, R.J., Martin, P.J. (2020). Plastics Engineering, Elsevier.
- Daty, P., Janasa, D. (2023). Materiały przyszłości, Politechnika Śląska.
- Dobrzański, L.A. (2002). Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo, WNT, Warszawa.



- Konopka, K., Miazga, A. (2017). Kompozyty ceramika – metal, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
- Królikowski, W. (2017). Polimerowe kompozyty konstrukcyjne, PWN, Warszawa.
- Krzysik F. (1974). Nauka o drewnie, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Kubiński W. (2010). Materiałoznawstwo. T 1. Wydawnictwa AGH, Kraków.
- Mazurkiewicz J. i in. (2003). Podstawy technologii przetwórstwa metali. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- Olszyna A.R. (2011). Ceramika supertwarda, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
- Pampuch R. (1995). Budowa i właściwości materiałów ceramicznych, Wyd. AGH, Kraków.
- Piekarski, B. (2018). Podstawy nauki o materiałach i inżynierii materiałowej, Wydawnictwo Uczelniane Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie.
- Prowans, S. (2000). Struktura stopów, PWN, Warszawa.
- Rabek, J.F. (2022). Polimery, otrzymywanie, metody badawcze i zastosowanie, Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Sedlać, J., Mamiński, M. (2016). Kleje i procesy klejenia, SGGW, Warszawa.
- Skrzypek, S.J., Przybyłowicz, K. (2019). Inżynieria metali i technologie materiałowe, Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Szumer, A., Ciszewski, A., Radomski, T. (2000). Badania własności i mikrostruktury materiałów. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
- Ubowska, A. (2019). Innowacyjne materiały polimerowe przeznaczone na osłony maszyn technologicznych, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Szczecin.
- Wilczyński, K. (2020). Przetwórstwo tworzyw polimerowych, Ofic. Wyd. Politechniki Warszawskiej.



Piotr Świta

PROGNOZOWANIE I SYMULACJE W PRZEDSIĘBIORSTWIE

Wstęp

Efektywne zarządzanie przedsiębiorstwem wymaga stosowania nowoczesnych narzędzi analitycznych, które wspierają planowanie strategiczne oraz operacyjne. Kluczową rolę odgrywa prognozowanie, które pozwala przewidywać przyszłe trendy rynkowe i ułatwia podejmowanie trafnych decyzji biznesowych. Zarządzanie przedsiębiorstwem, jak również w ogólnym znaczeniu zarządzanie projektem, może wykorzystywać zaawansowane metody prognozowania, symulacji i modelowania, które wspierają procesy podejmowania decyzji oraz planowania strategicznego. W dobie *big data* (z ang. ogromne ilości danych) i rosnącej złożoności rynków, skuteczna analiza danych staje się fundamentem dla optymalizacji działań biznesowych. W obszarze prognozowania dużą rolę odgrywają prognozy sprzedaży i prognozy finansowe, które bazują na analizie trendów, szeregach czasowych, technikach regresji, estymacji oraz modelach statystycznych. Zastosowanie różnych metod prognozowania pozwala opracować realistyczne scenariusze rozwoju sytuacji rynkowej, co ułatwia prognozowanie popytu oraz budżetowanie.

Prognozowanie sprzedaży umożliwia określenie przyszłych potrzeb klientów oraz odpowiednie dostosowanie działań marketingowych i produkcyjnych. Ścisłe powiązanie prognoz sprzedaży z prognozowaniem popytu pozwala zoptymalizować planowanie produkcji i zminimalizować ryzyko nadprodukcji lub niedoborów. Prognozy finansowe przedstawiają przewidywane wyniki finansowe przedsiębiorstwa na najbliższy okres. Obejmują one kluczowe wskaźniki, takie jak przychody, koszty operacyjne, zysk oraz przepływy pieniężne.

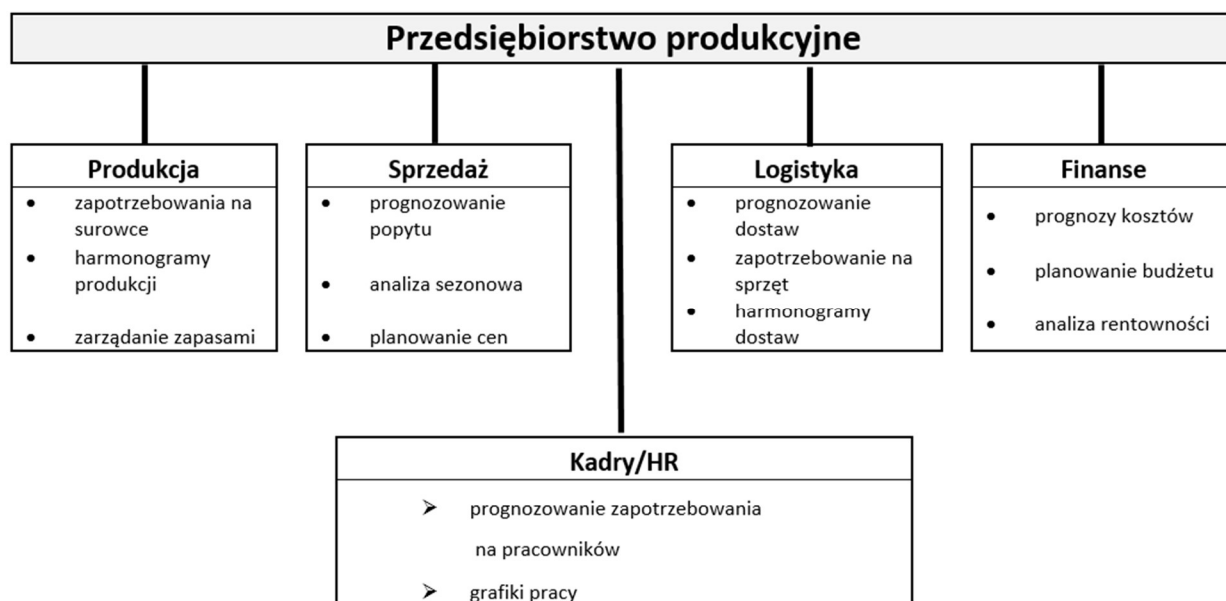
W tym kontekście niezwykle istotna staje się analiza danych, która pozwala na przetwarzanie dużych zbiorów informacji, zarówno historycznych, jak i bieżących, w celu tworzenia trafnych prognoz. Wsparciem dla tych działań są symulacje, które umożliwiają testowanie różnych scenariuszy i ocenę skutków potencjalnych decyzji w bezpiecznym, wirtualnym środowisku.

Symulacja komputerowa i modele symulacyjne umożliwiają przeprowadzanie analiz, które wspierają zarządzanie ryzykiem. Wśród popularnych technik znajduje się symulacja Monte Carlo, stosowana m.in. w optymalizacji decyzji finansowych i produkcyjnych.



Innym zastosowaniem prognozowania w przedsiębiorstwie może być efektywne zarządzanie łańcuchem dostaw, które wymaga integracji prognozowania z planowaniem logistycznym i produkcyjnym. Takie podejście pozwala zredukować koszty, skrócić czas realizacji zamówień oraz zwiększyć elastyczność operacyjną. Jednocześnie nie można pominąć roli zarządzania ryzykiem, które identyfikuje i minimalizuje potencjalne zagrożenia wpływające na funkcjonowanie całego przedsiębiorstwa.

Ponadto, wykorzystanie technologii, takich jak sztuczna inteligencja, uczenie maszynowe, systemy służące do kompleksowego zarządzania zasobami przedsiębiorstwa, a także tradycyjnych narzędzi jak arkusze kalkulacyjne czy specjalistyczne oprogramowanie do symulacji, może podnieść efektywność operacyjną. Dzięki temu możliwe staje się między innymi efektywne zarządzanie łańcuchem dostaw, precyzyjne planowanie produkcji oraz sprawniejsze planowanie finansowe. Przykład obszarów przedsiębiorstwa produkcyjnego, w których wykorzystywane są prognozy, został przedstawiony na rys. 1.



Rys. 1. Obszary wykorzystywania prognoz na przykładzie przedsiębiorstwa produkcyjnego

Należy podkreślić różnicę pomiędzy prognozowaniem a symulacją w przedsiębiorstwie. Różnica ta polega głównie na celu i sposobie wykorzystania danych oraz modeli matematycznych. W prognozowaniu przewiduje się wartości przyszłych zjawisk na podstawie danych historycznych i aktualnych trendów, opierając się na modelach statystycznych lub ekonometrycznych (np. regresja, szereg czasowy), dążąc do określenia jednej, najbardziej



prawdopodobnej wersji. Natomiast w symulacjach analizuje się zachowanie systemu w zmiennych warunkach, poprzez tworzenie modelu matematycznego i analizę jego działania w różnych scenariuszach. W symulacji otrzymuje się wiele możliwych wyników, w zależności od przyjętych założeń.

Warto zauważyć, że synergia nowoczesnych technologii, metodologii prognozowania, symulacji i modelowania otwiera nowe możliwości dla rozwoju przedsiębiorstw, zwiększając ich odporność na zmienność rynku i umożliwiając podejmowanie trafnych decyzji strategicznych. Ponadto zastosowanie opisywanych w niemniejszym rozdziale metod, może przyczynić się do skutecznego zarządzania współczesnym przedsiębiorstwami, co zwiększa przewagę konkurencyjną oraz zdolność adaptacji do zmian rynkowych.

Rozdział ten stanowi jedynie wprowadzenie do problematyki prognozowania i symulacji w przedsiębiorstwie. Szczegółowe informacje dotyczące poruszanych zagadnień prognozowania można znaleźć w obszernej literaturze przedmiotu [Dittmann, 2016; Nowak, 2008], podobnie jak zagadnienia z zakresu symulacji [Krupa, 2017; Płaczek, Tomanek, 2011].

1. Podstawowe pojęcia

Współczesne przedsiębiorstwa to **organizacje gospodarcze** zajmujące się prowadzeniem działalności produkcyjnej, handlowej lub usługowej w celu osiągnięcia zysku. Są to jednostki, które wykorzystują zasoby (ludzkie, materialne, finansowe) do wytwarzania dóbr lub świadczenia usług na rynku. Przedsiębiorstwa działają w dynamicznie zmieniającym się otoczeniu, które charakteryzuje się niepewnością, silną konkurencją oraz szybkim postępem technologicznym. W takich warunkach skuteczne zarządzanie niejednokrotnie wymaga podejmowania decyzji, które są oparte na możliwie precyzyjnych przewidywaniach przyszłych zdarzeń. Właśnie dlatego prognozowanie staje się kluczowym narzędziem wspierającym procesy zarządcze, planistyczne i strategiczne. Pozwala ono nie tylko na ocenę przyszłych trendów rynkowych, ale także na optymalizację zasobów i redukcję ryzyka decyzyjnego.

Równolegle z prognozowaniem, coraz większe znaczenie w zarządzaniu zyskują symulacje – metody umożliwiające modelowanie złożonych procesów biznesowych i testowanie różnych scenariuszy działania bez konieczności ich rzeczywistego wdrażania. Dzięki wykorzystaniu symulacji menedżerowie mogą lepiej zrozumieć potencjalne skutki decyzji, analizować warianty strategii i doskonalić mechanizmy podejmowania decyzji.



Poniżej przedstawiono podstawowe definicje związane z prognozowaniem i symulacjami w kontekście zarządzania przedsiębiorstwem, a także wskazanie ich roli w procesach decyzyjnych.

Prognozowanie to proces przewidywania przyszłych zdarzeń, zjawisk lub wartości liczbowych na podstawie analizy danych historycznych, aktualnych trendów oraz założeń dotyczących rozwoju otoczenia. Prognozę można nazwać sądem dotyczącym przyszłości prognozowanego zjawiska, który jest precyzyjny i jednocześnie niepewny. Celem prognozowania jest zmniejszenie ryzyka w procesie podejmowania decyzji. W zarządzaniu przedsiębiorstwem prognozowanie wykorzystywane jest między innymi do planowania sprzedaży, zapotrzebowania na zasoby, kształtowania budżetów czy analizy ryzyka. Prognozę, której stopień niepewności jest akceptowalny przez odbiorcę, nazywa się **prognozą dopuszczalną**. Prognozowanie charakteryzuje się następującymi cechami:

- opiera się na danych z przeszłości (np. sprzedaży, produkcji, popytu);
- używa modeli statystycznych, ekonometrycznych lub uczenia maszynowego;
- zakłada, że przyszłość w pewnym stopniu będzie podobna do przeszłości;
- jego wynikiem jest jedna lub kilka przewidywanych wartości (np. prognoza sprzedaży na następny kwartał).

Przesłanki prognostyczne są założeniami przyjętymi w prognozowanym zjawisku, określonymi na podstawie dostępnej wiedzy, doświadczeń oraz zebranych danych. Przyjęcie tych założeń prowadzi do zajęcia przez prognostę określonej postawy wobec przyszłości prognozowanego zjawiska. Można wskazać dwie ekstremalne postawy tj. postawę pasywną (przyjęcie tezy o stałości związków między zjawiskiem prognozowanym a oddziałującymi na nie czynnikami) i postawę aktywną (przyjęcie tezy, że przyszłość jest w mniejszym lub większym stopniu niezależna od przeszłości, co oznacza możliwość zmiany związków między zjawiskiem prognozowanym a czynnikami na nieoddziałującymi).

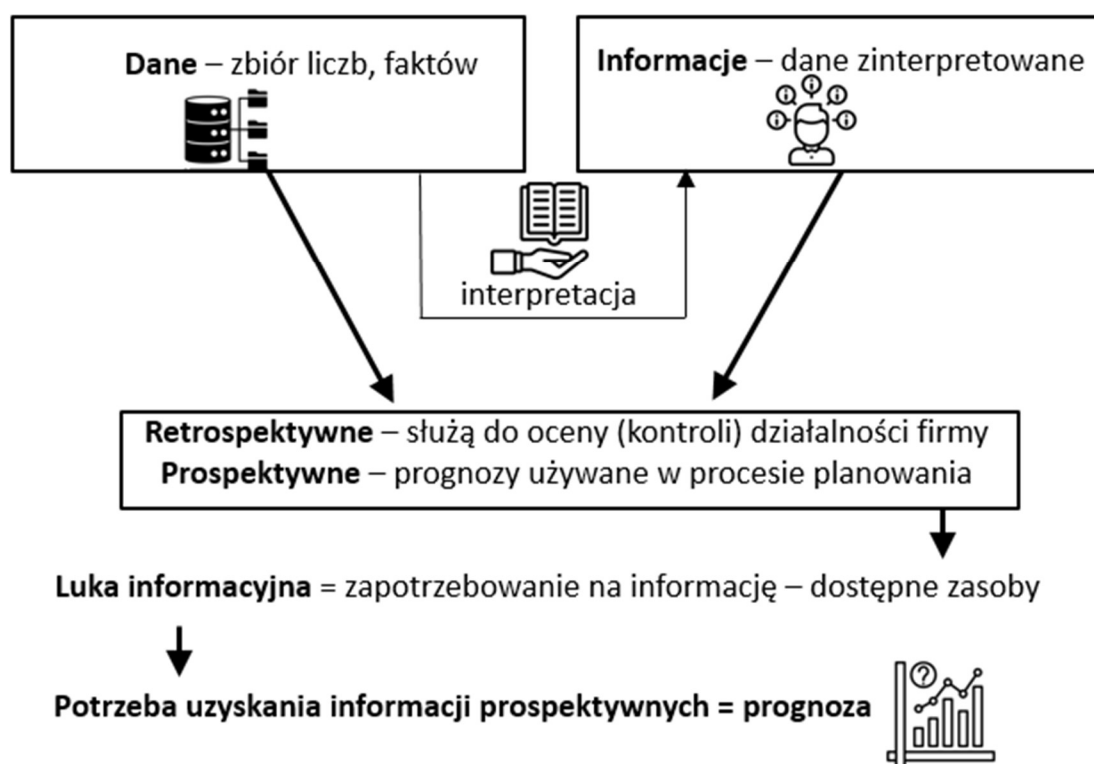
Dane to niemodyfikowane liczby i fakty, które przedstawiają wybrany fragment pewnego zagadnienia.

Informacje to dane przedstawione w sposób nadający im znaczenie.

Zmiana danych w informacje następuje zatem dzięki konkretnej interpretacji. Dane i informacje są gromadzone do budowania prognozy służącej zarządzaniu przedsiębiorstwem. Kluczowe jest, aby były one użyteczne, a więc przyczyniały się do poprawy jakości prognozy. To z kolei zależy między innymi od tego, czy są one aktualne i dokładne.



Dane i informacje można podzielić na retrospektywne i prospektywne (rys. 2). Dane i informacje **retrospektywne** dotyczą zdarzeń z przeszłości, a więc dotyczą wcześniejszych obserwacji, dokumentacji, rejestrów, sprawozdawczości przedsiębiorstwa lub jego otoczenia. Informacje retrospektywne to przetworzone lub zinterpretowane dane retrospektywne, które mają wartość analityczną lub decyzyjną.



Rys. 2. Dane i informacje retrospektywne oraz prospektywne

Pierwszym przykładem danych i informacji retrospektywnych z rynku nieruchomości jest analiza rynku nieruchomości w kontekście zmian cen mieszkań na danym obszarze, w konkretnym przedziale czasu. Zestaw danych retrospektywnych stanowią następujące elementy:

- archiwalne ogłoszenia sprzedaży mieszkań;
- raporty transakcji notarialnych;
- statystyki GUS lub NBP dotyczące średnich cen za m²;
- dane z biur pośrednictwa nieruchomości.

Informacja retrospektywna: na podstawie danych można stwierdzić, że w konkretnym analizowanym okresie średnia cena metra kwadratowego wzrosła o pewną wartość. Jest to



informacja retrospektywna – przetworzony i zinterpretowany zestaw danych, który pozwala wyciągnąć wnioski o przeszłych trendach rynkowych. Takie informacje są często wykorzystywane do prognozowania przyszłych cen lub podejmowania decyzji inwestycyjnych, a także analizowania cykli koniunkturalnych w nieruchomościach.

Drugi przykład danych i informacji retrospektywnych, tym razem z rynku produkcji stali jest następujący: analityk przemysłowy chce ocenić, jak globalny kryzys finansowy z 2008 roku wpłynął na produkcję stali w Polsce i Europie.

Zestaw danych retrospektywnych stanowią następujące elementy:

- roczne raporty produkcyjne hut stali z lat 2006–2010;
- statystyki Eurostatu dotyczące tonażu wyprodukowanej stali;
- ceny rudy żelaza i stali w tamtym okresie;
- dane o eksporcie i imporcie stali z GUS i WTO;
- poziomy zatrudnienia w sektorze stalowym.

Informacje retrospektywne uzyskane na podstawie powyższych danych mogą prowadzić do sformułowania następującego wniosku:

„W latach 2008–2009 produkcja stali w Polsce spadła o 30%, głównie z powodu załamania popytu w budownictwie i przemyśle motoryzacyjnym. Ożywienie nastąpiło dopiero w 2011 roku.”

Powyższa informacja retrospektywna jest przetworzoną analizą danych z przeszłości i może pozwolić lepiej zrozumieć skutki kryzysu. Takie informacje są często wykorzystywane do planowania strategicznego w przemyśle ciężkim, prognozowania wahań koniunktury oraz porównań cyklicznych w sektorach produkcyjnych.

Dane i informacje **prospektywne** są obarczone większym ryzykiem błędu niż dane historyczne. Dane prospektywne mają charakter szacunkowy i niepewny, jednak mogą być niezbędne w procesach podejmowania decyzji. Mogą one obejmować przewidywania ekspertów, plany strategiczne, oczekiwania menedżerów, prognozy rynkowe. Umożliwiają one identyfikację potencjalnych szans i zagrożeń, służąc tym samym do podejmowania decyzji z wyprzedzeniem. Właściwe wykorzystanie informacji prospektywnych zwiększa trafność prognoz i wspiera zarządzanie ryzykiem w zmiennym otoczeniu.

Przykładem danych prospektywnych może być prognoza sprzedaży na kolejny rok sporządzona przez dział marketingu na podstawie planowanych kampanii reklamowych, wprowadzanych produktów oraz przewidywanych trendów rynkowych. Inne przykłady to przewidywana stopa



inflacji opublikowana przez bank centralny lub oczekiwania analityków dotyczące wzrostu PKB w nadchodzących kwartałach.

Na podstawie danych i informacji, zarówno retrospektywnych jak i prospektywnych, gromadzone są dostępne zasoby (rys. 2). Różnica pomiędzy zapotrzebowaniem na informację a dostępnymi zasobami tworzy tzw. lukę informacyjną, która generuje potrzebę uzyskania informacji, a więc konieczność sporządzenia prognozy.

Warto zwrócić uwagę na korelację pomiędzy modelami prognostycznymi a prawidłowościami. Przez prawidłowości rozumie się powtarzalne wzorce lub zależności zauważalne w danych, które ułatwiają budowanie modeli prognostycznych i mogą mieć charakter statystyczny, ekonomiczny lub czasowy. Dobrze zidentyfikowane prawidłowości zwiększają trafność prognoz. Modele są formalnym odzwierciedleniem tych prawidłowości w postaci wykresów lub równań.

Kryteria stawiane danym prognostycznym są następujące:

1. Jednoznaczność.
2. Dokładność - dane muszą wiernie odzwierciedlać zjawisko, którego dotyczą.
3. Identyfikowalność zjawiska za pomocą zmiennych.
4. Kompletność.
5. Odpowiedniość.
6. Aktualność.
7. Porównywalność.
8. Koszty zbierania i opracowywania danych.

Postać danych wykorzystywanych do budowy prognozy może być przyjęta w zależności od rodzaju zjawiska, horyzontu prognozy, a także metody prognozowania. Najczęściej dane mogą mieć postać jednowymiarowego szeregu czasowego, wielowymiarowego szeregu czasowego, szeregu przekrojowego jedno lub wielowymiarowego.

Statystyczna obróbka danych polega na przekształceniu i analizie danych retrospektywnych. Jest kluczowym elementem budowy prognozy, który decyduje o jej trefności i wiarygodności. Statystyczna obróbka danych może być realizowana jako:

- 1) Wstępne przygotowanie danych:
 - czyszczenie danych – usuwanie błędów, usuwanie wartości odstających;
 - uzupełnianie brakujących danych – stosując np. interpolację, metodę najmniejszych kwadratów;



- standaryzacja danych – uzupełnianie do wspólnej skali;
- agregacja danych;
- transformacja danych.

2) Analiza statystyczna i eksploracyjna.

3) Identyfikacja struktury danych prognostycznych – stacjonarność danych.

4) Walidacja i ocena dokładności – np. analiza miary błędu R^2 .

Interpolacja, w ogólnym przypadku, może być wykonana za pomocą następujących wzorów interpolacyjnych, które pozwalają oszacować wartości funkcji w punkcie pośrednim, na podstawie znanych wartości w innych punktach. Interpolacja może być wyrażona jako:

- interpolacja liniowa – przy założeniu, że dane między dwoma punktami o współrzędnych (x_1, y_1) oraz (x_2, y_2) zmieniają się liniowo, gdzie interpolowana wartość y w punkcie $x \in [x_1, x_2]$ obliczana jest według formuły

$$\frac{y - y_1}{x - x_1} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (1)$$

- interpolacja wielomianowa (wzór interpolacyjny Lagrange'a), w której budowany jest wielomian przechodzący przez wszystkie punkty, zgodnie ze wzorem

$$W_n(x) = \sum_{k=0}^n \frac{(x - x_0)(x - x_1) \dots (x - x_{k-1})(x - x_{k+1}) \dots (x - x_n)}{(x_k - x_0)(x_k - x_1) \dots (x_k - x_{k-1})(x_k - x_{k+1}) \dots (x_k - x_n)} y_k \quad (2)$$

dla danych $n + 1$ wartości $x_0 < x_1 < x_2 < \dots < x_n$ zmiennej x przyjmuje z góry zadane wartości $y_0, y_1, y_2, \dots, y_n$.

- interpolacja wielomianowa (wzór interpolacyjny Newtona) – wzór ten pozwala wyznaczyć wielomian dla danych $n + 1$ wartości x_0 ,

$x_1 = x_0 + n \cdot h \dots x_n = x_0 + n \cdot h$, ($h > 0$) zmiennej x przyjmuje z góry dane wartości $y_0, y_1, y_2, \dots, y_n$, zgodnie ze formułą



$$W_n(x) = y_0 + \frac{t}{1!} \Delta y_0 + \frac{t(t-1)}{2!} \Delta^2 y_0 + \dots + \frac{t(t-1) \dots t(t-n+1)}{n!} \Delta^n y_0 \quad (3)$$

gdzie:

$$t = \frac{x - x_0}{h}$$

$$\Delta y_0 = y_1 - y_0, \Delta y_1 = y_2 - y_1, \Delta^k y_i = \Delta^{k-1} y_{i+1} - \Delta^{k-1} y_i.$$

Metoda najmniejszych kwadratów polega na przybliżeniu wartości niewiadomej x taką wartością, dla której suma kwadratów $S(\bar{x}) = (x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2$ jest najmniejsza, przy ilości pomiarów n (wartości $x_1, x_2, \dots, x_n$).

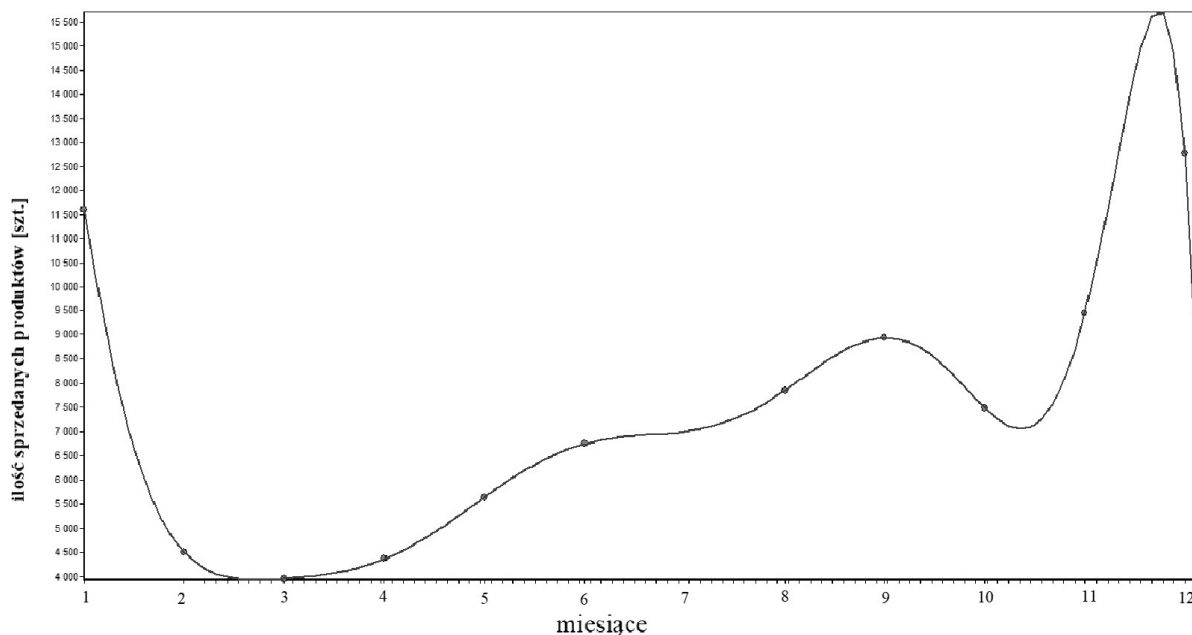
Przykład uzupełniania brakujących danych

W tabeli 1 zestawiono wyniki sprzedaży pewnego produktu w danym roku. Należy uzupełnić brakujące dane, dotyczące sprzedaży w lipcu.

Tabela 1.

miesiąc	styczeń	luty	marzec	kwiecień	maj	czerwiec	lipiec	sierpień	wrzesień	październik	listopad	grudzień
liczba [szt.]	11608	4502	3956	4367	5634	6744	?	7845	8932	7489	9443	12776

Wykres sprzedaży produktów



Rys. 3. Wykres ilości sprzedanych produktów w poszczególnych miesiącach



Posługując się metodą najmniejszych kwadratów, dla wielomianu stopnia dziesiątego, otrzymano funkcję

$$\begin{aligned}y(x) = & -13391,9700849877 \cdot x^{10} + 0,505720837082684 \cdot x^9 - 12,955615271818 \cdot x^8 \\ & + 186,278305804857 \cdot x^7 - 1651,41679191809 \cdot x^6 \\ & + 9332,21960044501 \cdot x^5 - 33509,4834079399 \cdot x^4 \\ & + 73354,0637189342 \cdot x^3 - 87161,1335056274 \cdot x^2 \\ & + 37677,9865225385 \cdot x + 13391,9700849877\end{aligned}$$

gdzie wartość ilości sprzedanych sztuk produktu, po podstawieniu równa jest

$$y(7) = 6996 \text{ szt.}$$

przy ekstremalnych odchyłkach równych

$$\Delta_{max} = 1,9094 \text{ i } \Delta_{min} = 0,0057.$$

Metody prognozowania można podzielić na kategorie w zależności od rodzaju zjawiska, rodzaju danych i celu analizy. Podstawowy podział obejmuje: metody ilościowe i metody jakościowe. Dodatkowo można wyróżnić metody sztucznej inteligencji i uczenia maszynowego, które analizują złożone zależności w dużych zbiorach danych.

Metody ilościowe opierają się na danych liczbowych i modelach matematycznych (rys. 4). Do najważniejszych metod ilościowych należą:

- modele szeregów czasowych;
- modele ekonometryczne;
- modele analogowe;
- modele zmiennych wiodących;
- modele analizy kohortowej;
- testy rynkowe.

Metody jakościowe bazują na ocenach ekspertów i subiektywnych opiniach (rys. 4). Typowe przykłady metod jakościowych przedstawiają się następująco:

- burza mózgów;
- metoda delficka;
- opinie sprzedawców;
- opinie kierownictwa;
- opinie ekspertów;



- badania intencji nabywców.

Okres prognozy jest to przedział czasowy, dla którego tworzona jest prognoza. Rodzaje okresów prognoz zostały przedstawione na rys. 4.

Horyzont prognozy jest to liczba okresów objętych prognozą (numer lub nazwa najdalszego okresu, dla którego jest konstruowana prognoza).

Interwał prognozy to czas dzielący momenty sporządzania kolejnych prognoz, a więc częstotliwość, z jaką są tworzone kolejne prognozy.



Rys. 4. Klasyfikacja metod prognozowania

Zmienna prognozowana to wielkość, dla której szacuje się przyszły poziom przy użyciu modelu prognostycznego. Przykładem prognozy finansowej firmy może być zmienna prognozowana definiowana jako przychody, zysk lub koszty. Zmienne prognozowane może podzielić w sposób następujący:

- zmienne ilościowe – wyrażone liczbami – stosowane dla prognoz ilościowych;
- zmienne jakościowe – opisywane słownie – stosowane dla prognoz jakościowych.



Prognozy ilościowe mogą mieć następującą postać:

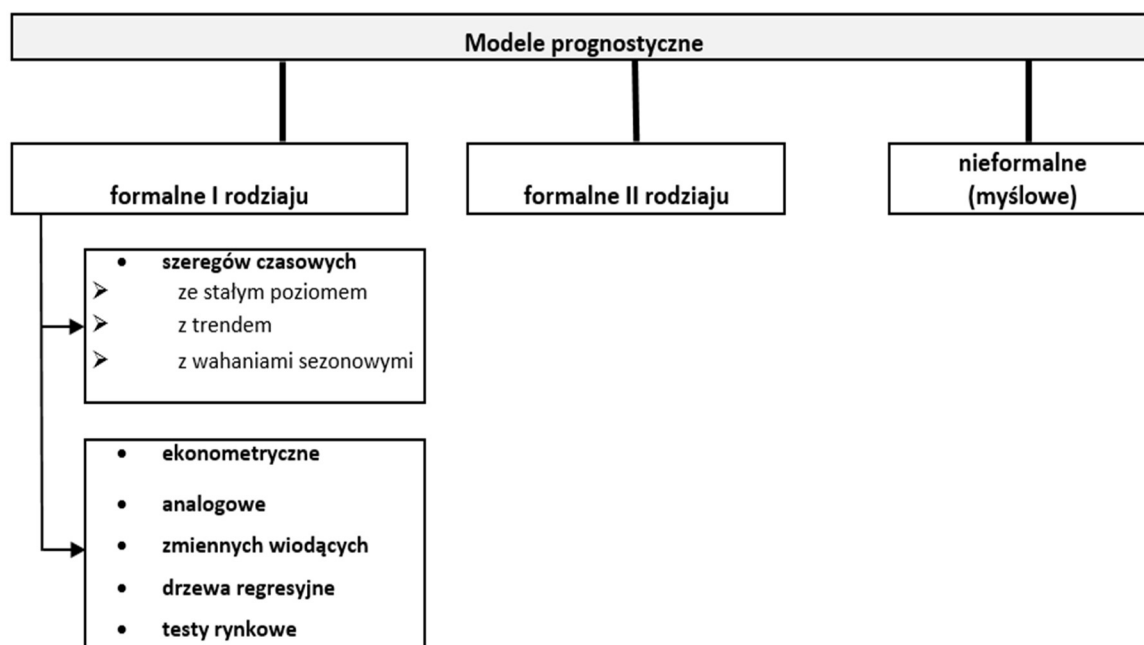
- prognozy punktowej – formułowana w postaci określonej wartości, jaką przyjmie zmienna prognozowaną w przyszłości;
- prognozy przedziałowej - formułowana w postaci określonego przedziału liczbowego (przedział ufności);
- prognozy wariantowej – są to pewne wartości, które może przyjąć zmienna prognozowana w okresie prognozy.

Prognoza krótkookresowa	• horyzont: od 1 do 3 miesięcy • budowana na odcinek czasu, w którym występują tylko zmiany ilościowe • ekstrapolacja dotychczasowych prawidłowości Przykłady: • prognoza sprzedaży • zarządzanie zapasami • krótkoterminowe planowanie produkcji Charakterystyka: • wysokie znaczenie aktualnych trendów i sezonowości • mniejsze ryzyko błędu
Prognoza średniookresowa	• horyzont: od 3 miesięcy do 2 lat • budowana na odcinek czasu, w którym występują zmiany ilościowe i niewielkie zmiany jakościowe Przykłady: • planowanie strategiczne • budżetowanie • inwestycje średniookresowe Charakterystyka: • możliwy wpływ cykli gospodarczych
Prognoza długookresowa	• horyzont: od 2 do 5 lat • budowana na odcinek czasu, w którym występują poważne zmiany jakościowe Przykłady: • strategie rozwoju technologii (automatyzacja, sztuczna inteligencja) • strategie rozwoju przedsiębiorstwa • długoterminowe prognozy wzrostu PKB Charakterystyka: • wysoki poziom niepewności

Rys. 5. Okresy prognoz



Modele prognostyczne wspomagają proces podejmowania decyzji poprzez przewidywanie przyszłych wartości określonych zjawisk. Wyróżnia się różne typy modeli, tj. modele formalne I rodzaju, modele formalne II rodzaju oraz modele nieformalne (tzw. myślowe) (rys. 6).



Rys. 6. Modele prognostyczne

Istotnym uzupełnieniem przewidywania przyszłych zdarzeń, zjawisk lub wartości liczbowych, w więc prognozowania w przedsiębiorstwie jest sporządzenie symulacji.

Symulacja to proces tworzenia i analizowania uproszczonego modelu rzeczywistego systemu lub zjawiska, w celu oceny jego zachowania w różnych warunkach. W zarządzaniu przedsiębiorstwem symulacje służą do testowania strategii, przewidywania skutków decyzji i wspierania planowania operacyjnego. Symulacja polega zatem na tworzeniu modeli komputerowych imitujących rzeczywiste procesy w celu ich analizy i optymalizacji.

Celem symulacji jest badanie zachowania systemu (np. przedsiębiorstwa) w różnych warunkach, często hipotetycznych, przy założonych zmianach parametrów. Symulacje charakteryzują się następującymi cechami:

- modelują procesy i interakcje w systemie (np. linia produkcyjna, łańcuch dostaw);
- umożliwiają testowanie różnych scenariuszy;
- wykorzystują modele deterministyczne lub stochastyczne;
- wynikiem jest rozkład możliwych wyników lub analiza skutków różnych decyzji.



Przykładem symulacji może być analiza wpływu wzrostu cen surowców o pewną wartość na rentowność produkcji.

2. Prognozowanie w zarządzaniu przedsiębiorstwem

Proces prognostyczny

Proces prognostyczny to uporządkowany ciąg działań prowadzący do opracowania prognozy danego zjawiska. Można wyróżnić osiem zasadniczych etapów powstawania prognozy (rys. 7). Etap pierwszy rozpoczyna się od zdefiniowania celu prognozy oraz identyfikacji obszaru, którego ma dotyczyć. Jest to jasne określenie, po co i dla kogo ma być sporządzona prognoza. Celem prognozy może być wsparcie decyzji zarządczych (np. określenie wielkości produkcji), planowanie budżetu, ocena ryzyka lub analiza długoterminowych trendów. Określenie celu prognozy obejmuje również takie elementy jak przedmiot prognozy, horyzont czasowy i poziom szczegółowości.

Etap drugi polega na określeniu przesłanek prognostycznych, czyli identyfikacji i sformułowaniu podstawowych założeń, na których opiera się prognoza. Przesłanki te określają, jakie czynniki będą wpływać na przyszły rozwój zjawiska, i mogą mieć charakter ilościowy oraz jakościowy.

W etapie trzecim odbywa się zebranie i statystyczna obróbka danych prognostycznych. To kluczowy etap procesu prognozowania. Dane muszą być wiarygodne i aktualne, ponieważ jakość prognozy zależy od jakości danych wejściowych. Dane poddaje się oczyszczeniu, czyli usuwa się obserwacje odstające, uzupełnia braki oraz koryguje ewentualne błędy. Ponadto przeprowadza się analizę statystyczną (m.in. badanie trendów, sezonowości, cykliczności i zależności pomiędzy zmiennymi).

Po dokonaniu wyboru metody prognozowania (etap czwarty) przeprowadza się konstruowanie prognozy (etap piąty). Konstruowanie odbywa się przy użyciu wybranej metody prognozowania i przyjęciu określonej postawy (aktywnej lub pasywnej). Istotnym elementem procesu jest etap szósty, który polega na ocenie dopuszczalności prognozy. Jest to sprawdzenie, czy dana prognoza spełnia minimalne kryteria poprawności i użyteczności przed jej zastosowaniem. Ocena ta może być również nazwana oceną niepewności, która może być wyrażona za pomocą następujących błędów:



- błąd *ex ante*, który określa dokładność prognozy – jest to ocena (oszacowanie) różnicy między wyznaczoną wartością a rzeczywistą wartością zmiennej; błąd używany w odniesieniu do prognoz ilościowych opartych na modelach formalnych I rodzaju;
- prawdopodobieństwo spełnienia prognozy (ocena wiarygodności prognozy) - błąd używany w odniesieniu do prognoz ilościowych oraz jakościowych (np. opinie ekspertów);
- błąd *ex post* dla okresów wcześniejszych niż okres ocenianej prognozy.

Ocena dopuszczalności prognozy może być również wyrażona słownie, wraz z uzasadnieniem przyjętego stanowiska. Po uprzedniej weryfikacji prognoza zostaje zastosowana (etap siódmy), w celu osiągnięcia założonego celu, określonego w etapie pierwszym. Ostatnim, ósmym etapem jest przeprowadzenie oceny trafności prognozy.



Rys. 7. Schemat procesu prognostycznego



Trafność prognoz ilościowych określa się za pomocą poniższych wartości błędów *ex post*. Jeśli wartość obliczonego błędu *ex post* nie przekroczy założonej wielkości progowej, to prognozę uważa się za trafną. Ocenę trafności prognoz jakościowych przeprowadza się na podstawie tego, czy dane zdarzenie zaszło w okresie prognozy, czy nie zaszło.

Bezwzględny błąd prognozy *ex post* – miara dokładności prognozowania – określa różnicę między wartością rzeczywistą a prognozowaną

$$q_t = |y_t - \hat{y}_t|, \quad (4)$$

gdzie:

y_t – rzeczywista wartość zjawiska w chwili t ,

$\hat{y}_t$ – prognozowana wartość w chwili t .

Błąd procentowy prognozy *ex post*

$$q_p = \frac{y_t - \hat{y}_t}{y_t} 100\%. \quad (5)$$

Średni błąd prognoz *ex post*

$$q = \frac{1}{T - n} \sum_{t=n+1}^T (y_t - \hat{y}_t), \quad (6)$$

gdzie:

n – numer ostatniej obserwacji zmiennej prognozowanej,

T – numer ostatniej chwili t , dla którego była sprawdzana prognoza.

Średni absolutny błąd prognoz *ex post*

$$\omega_t = \frac{1}{T - n} \sum_{t=n+1}^T |y_t - \hat{y}_t|. \quad (7)$$

**Średni kwadratowy błąd prognoz *ex post***

$$\sigma^2 = \frac{1}{T-n} \sum_{t=n+1}^T (y_t - \hat{y}_t)^2. \quad (8)$$

Średni procentowy błąd prognoz *ex post*

$$\varphi = \frac{1}{T-n} \sum_{t=n+1}^T \frac{y_t - \hat{y}_t}{y_t} 100\%. \quad (9)$$

Średni absolutny błąd procentowy prognoz *ex post*

$$\omega = \frac{1}{T-n} \sum_{t=n+1}^T \left| \frac{y_t - \hat{y}_t}{y_t} \right| 100\%. \quad (10)$$

Należy podkreślić, że każdy z powyższych etapów wymaga rzetelnej analizy oraz uwzględnienia zarówno czynników ilościowych, jak i jakościowych. Skuteczność prognozy zależy od trafności przyjętych przesłanek, jakości danych, a także odpowiedniego dopasowania modelu do charakteru prognozowanego zjawiska. Proces prognostyczny ma charakter iteracyjny i może wymagać aktualizacji w zależności od zmieniających się warunków.

3. Metody prognozowania**Metody oparte na modelach szeregu czasowego**

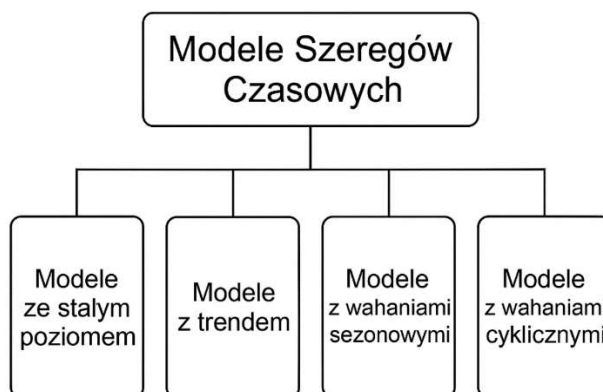
Szereg czasowy to uporządkowany zbiór obserwacji zmiennej w kolejnych punktach czasu. Metody prognozowania oparte na modelach szeregów czasowych wykorzystują dane prospektywne, aby przewidywać przyszłe wartości. W szeregach czasowych występują następujące składowe:

- składowa systematyczna jako efekt oddziaływań głównych przyczyn na zmienną prognozowaną, występujący w postaci stałego poziomu zmiennej prognozowanej, trendu lub składowej okresowej (wahania sezonowe, wahania cykliczne);
- składowa przypadkowa jako efekt losowy, wynikający z oddziaływań przyczyn ubocznych.



Metody prognozowania oparte na szeregach czasowych polegają na budowaniu prognoz na podstawie prawidłowości zaobserwowanych w dotychczasowym kształtowaniu się zmiennej prognozowanej, bez analizowania przyczyn ich występowania. W przypadku tego podejścia przyjmuje się, że w okresie, na który jest budowana prognoza będą oddziaływały niezmiennie czynniki otoczenia. Zastosowanie tych metod ma zastosowanie do prognoz krótkoterminowych.

Klasyfikacja modeli szeregów czasowych została przedstawiona na rys. 8 i obejmuje cztery podstawowe typy.



Rys. 8. Modele szeregów czasowych

Modele szeregów czasowych pozwalają określić przyszłą wartość zmiennej prognozowanej Y w momencie/okresie t jako model formalny y_t^* , który można przedstawić jako

$$y_t^* = f(t, y_{t-1}, \dots, y_{t-p}, y_{t-1}^*, \dots, y_{t-p}^*, \omega), \quad (11)$$

gdzie:

$y_t^*, y_{t-1}^*, \dots, y_{t-p}^*$ – prognoza zmiennej Y na moment/okres $t, t-1, \dots, t-p$,

$y_{t-1} \dots y_{t-p}$ – wartości zmiennej Y na moment/okres $t-1, \dots, t-p$,

t – zmienna czasowa,

p – wielkość opóźnienia,

ω – składnik losowy.

W zależności od wzajemnych relacji i wpływu poszczególnych składowych szeregu czasowego na prognozowaną zmienną, modele mogą mieć formę addytywną (brak interakcji między składowymi szeregu czasowego, jest to suma składowych szeregu czasowego) lub multiplikatywną (obserwowane wartości zmiennej prognozowanej stanowią iloczyn składowych szeregu czasowego).



Metody oparte na modelach ekonometrycznych

Metody ekonometryczne stanowią podstawowe narzędzie ilościowej analizy zjawisk gospodarczych i społecznych. Polegają one na konstruowaniu modelu prognostycznego za pomocą równania zależności między zmienną objaśnianą, a zmiennymi objaśniającymi. Ich celem jest opisywanie, wyjaśnianie oraz prognozowanie zależności między zmiennymi ekonomicznymi na podstawie danych empirycznych. Modele ekonometryczne łączą teorię ekonomii, dane statystyczne oraz metody matematyczne. W praktyce modele te wykorzystywane są między innymi do analizy popytu i podaży. Dzięki nim możliwe jest bardziej precyzyjne zrozumienie mechanizmów funkcjonowania gospodarki oraz podejmowanie racjonalnych decyzji ekonomicznych. W dalszej części pracy przedstawione zostaną podstawowe założenia modeli ekonometrycznych, metody estymacji parametrów oraz sposoby weryfikacji poprawności przyjętej konstrukcji modelowych.

Modele ekonometryczne można podzielić na kilka podstawowych rodzajów w zależności od celu analizy, struktury modelu oraz natury danych. Podział jest następujący [Dittmann, 2016]:

1. Liczba zmiennych prognozowanych (objaśniających) i liczba równań
 - modele jednorównaniowe – opisują zależność jednej zmiennej objaśnianej;
 - modele wielorównaniowe – zawierają wiele równań, wiele zmiennych objaśniających.
2. Postać analityczna
 - modele liniowe – parametry występują w sposób liniowy względem zmiennych, są najczęściej stosowane ze względu na prostotę estymacji i interpretacji;
 - modele nieliniowe – przynajmniej jeden parametr lub zmienna występuje w sposób nieliniowy.
3. Rola czynnika czasu
 - modele statyczne – nieuwzględniające czynnika czasu;
 - modele dynamiczne – uwzględniające czynnik czasu.
4. Sposób uwzględnienia czynnika czasu dla modeli dynamicznych
 - modele tendencji rozwojowej – jest jedna zmienna objaśniająca w postaci zmiennej czasowej;
 - modele autoregresyjne – jest jedna zmienna objaśniająca w postaci zmiennej objaśniana o opóźnionych w czasie wartościach;
 - modele z opóźnionymi zmiennymi objaśniającymi.



W przypadku występowania zmiennej jakościowej wyróżnia się modele logitowe i probitowe. Budowa modelu ekonometrycznego może być przedstawiona za pomocą postaci modelu jednowymiarowego jako

$$Y = f(X_1, X_1, \dots, X_n, \omega), \quad (12)$$

gdzie:

Y – zmienna prognozowana (objaśniana),

f – funkcja określonego typu o nieznanach parametrach,

n – liczba zmiennych objaśniających modelu,

$X_1, X_1, \dots, X_n$ – zmienne objaśniające,

ω – składnik losowy.

Ogólny schemat zastosowania modelu ekonometrycznego wraz ze wskazaniem poszczególnych etapów został przedstawiony na rys. 9. Mając odpowiednie dane prognostyczne należy dokonać uproszczenia założeń dotyczących przyjętej postaci modelu i jego zmiennych objaśniających. Proces rozpoczyna się od wyboru zmiennych objaśniających modelu, gdzie przygotowuje się i sprawdza dostępne dane prognostyczne. Następnie wybiera się postać analityczną modelu, tj. liniową lub nieliniową. Kolejnym krokiem jest przeprowadzenie estymacji modelu, tak aby model był możliwie dobrze dopasowany do danych empirycznych zmiennej prognozowanej. Szacowanie parametrów modelu można przeprowadzić metodą najmniejszych kwadratów.

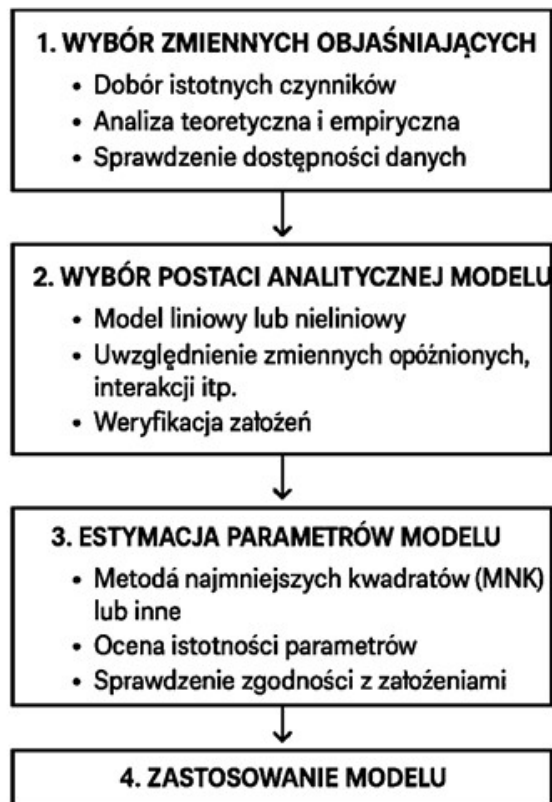
Weryfikacja modelu dotyczy między innymi stopnia zgodności modelu z danymi empirycznymi, istotności ocen parametrów strukturalnych, rozkładu odchyleń losowych oraz stabilności postaci analitycznej i stabilności parametrów modelu.

Jako przykład służy jednorównaniowy liniowy model ekonometryczny, który można przygotować za pomocą estymacji metodą najmniejszych kwadratów, jako

$$Y = \alpha_0 + \alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 + \dots \alpha_n X_n + \omega. \quad (13)$$



DIAGRAM BUDOWY MODELU EKONOMETRYCZNEGO



Rys. 9. Schemat budowy modelu prognostycznego

Ocena zgodności (dopasowania) modelu z danymi empirycznymi jest sporządzana w celu sprawdzenia, w jakim stopniu model odzwierciedla dotychczasowe wartości zmiennej prognozowanej. Miernikiem dopasowania modelu może być odchylenie standardowe składnika resztkowego modelu lub współczynnik zmienności losowej. Popularnym miernikiem dopasowania modeli liniowych jest współczynnik determinacji. Ponadto przed zastosowaniem modelu dokonuje się również następujących sprawdzeń [Dittmann, 2016]:

- oceny istotności parametrów strukturalnych,
- oceny symetrii odchyłeń losowych,
- oceny losowości odchyłeń losowych,
- oceny niezależności odchyłeń losowych,
- oceny nieobciążoności odchyłeń losowych,
- oceny normalności rozkładu odchyłeń losowych,
- testu Shapiro-Wilka.



Zastosowanie prognozy wymaga przyjęcia poniższych założeń:

1. Występuje stabilność pomiędzy zmienną prognozowaną, a zmiennymi objaśniającymi.
2. Rozkład składnika losowego nie zmienia się w czasie.
3. Znane są wartości zmiennych objaśniających w okresie, do którego odnosi się prognoza.
4. Dopuszczalna jest ekstrapolacja modelu poza obszar zmienności zmiennych objaśniających.

Metody jakościowe

Metoda delficka polega na kilkakrotnym ankietowaniu grupy ekspertów, czyli osób zaproszonych do udziału w badaniu ze względu na posiadaną wiedzę, najczęściej osób reprezentujących różne dziedziny wiedzy. Po przeprowadzeniu ankiet przeprowadza się statystyczną analizę zgodności ich opinii. W zależności od skali, która była używana przy udzielaniu odpowiedzi zgodność opinii ekspertów ustala się według poniższych formuł.

1. Skala przedziałowa lub skala ilorazowa – do oceny zgodności można użyć rozstępu międzykwartylowego:

$$\Delta = Q_3 - Q_1, \quad (14)$$

gdzie: Q_1 – kwartył pierwszy,

Q_3 – kwartył trzeci.

Zgodność opinii ekspertów uznaje się za wystarczającą, gdy rozstęp międzykwartylowy ich odpowiedzi nie przekroczy ustalonej wartości progowej.

2. Skala nominalna – do oceny zgodności można użyć współczynnika dyspersji względnej klasyfikacji:

$$h = \frac{k}{k-1} \left(1 - \sum_{j=1}^k f_j^2 \right), \quad (15)$$

$$0 \leq h \leq 1,$$

gdzie: k – liczba kategorii odpowiedzi w pytaniu,

f_j – częstość wystąpienia j -tej kategorii jako odpowiedzi w ogólnej liczbie odpowiedzi.

Zgodność opinii ekspertów uznaje się za wystarczającą, gdy wartość współczynnika dyspersji względnej klasyfikacji h jest bliska zeru.



3. Skala porządkowa – do oceny zgodności można użyć współczynnika konkordancji

$$W = \frac{12S}{n^2(k^3 - k)}, \quad (16)$$

$$0 \leq W \leq 1$$

$$S = \sum_{j=1}^k \left(\sum_{i=1}^n x_{ij} - \bar{x} \right)^2$$

$$\bar{x} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k x_{ij}$$

gdzie: n – liczba ekspertów,

k – liczba kategorii odpowiedzi w pytaniu,

x_{ij} – ranga nadana j -tej kategorii odpowiedzi przez i -tego eksperta.

Zgodność opinii ekspertów uznaje się za wystarczającą, gdy wartość współczynnika konkordancji jest bliska jedności.

W przypadku zgodności ekspertów za prognozę przyjmuje się opinię najczęstszą lub średnią. Ocena jej dopuszczalności przeprowadzana jest na podstawie błędów *ex post* wcześniejszych prognoz lub na podstawie ocen ekspertów. Jeżeli zgodność ekspertów była niewystarczająca, to należy powtórzyć ankietę.

Burza mózgów w prognozowaniu to metoda jakościowa polegająca na kreatywnym myśleniu grupowym, które ma na celu wygenerowanie jak największej liczby pomysłów, scenariuszy lub możliwych przyszłych zdarzeń, mogących wpływać na daną prognozę. Jest to metoda szczególnie użyteczna w warunkach dużej niepewności, zmienności lub braku wystarczających danych ilościowych. Prognozowanie odbywa się według poniższego scenariusza:

1. Zebranie zespołu ekspertów/interesariuszy.

Zespół może składać się z osób mających różne kompetencje i doświadczenia, co zwiększa różnorodność perspektyw.

2. Określenie celu prognozy.

3. Swobodne generowanie pomysłów.

W pierwszej fazie ważne jest, aby nie oceniać żadnych pomysłów.



4. Grupowanie i analiza pomysłów.

Po wygenerowaniu pomysłów następuje ich analiza, ocena wykonalności i wpływu.

Pomysły mogą być grupowane w scenariusze lub traktowane jako czynniki ryzyka/szanse.

5. Tworzenie scenariuszy lub wniosków prognostycznych

Na podstawie wybranych pomysłów można stworzyć kilka wariantów przyszłości (np. optymistyczny, pesymistyczny, realistyczny) lub sformułować wnioski dotyczące możliwego rozwoju sytuacji.

Zalety burzy mózgów w prognozowaniu:

- Pobudza kreatywność – pozwala spojrzeć poza standardowe schematy.
- Uwzględnia wiele punktów widzenia – wykorzystuje wiedzę ekspercką i doświadczenie uczestników.
- Pomaga identyfikować czynniki nieoczywiste – może ujawnić tzw. czarne łabędzie lub słabe sygnały zmian.

Wady burzy mózgów w prognozowaniu:

- Subiektywność – wyniki zależą od jakości zespołu i moderatora.
- Brak twardych danych – metoda nie daje liczbowych prognoz.

Opinia sprzedawców w prognozowaniu polega na zbieraniu prognoz sprzedaży od pracowników działu sprzedaży, którzy mają bezpośredni kontakt z klientami i rynkiem.

Prognozowanie odbywa się według poniższego scenariusza:

1. Zbieranie prognoz od sprzedawców.

Sprzedawcy oceniają, ile produktów lub usług uda się sprzedać w danym okresie na swoim obszarze.

2. Konsolidacja prognoz.

Prognozy indywidualne są zbierane i agregowane przez dział sprzedaży (np. w formie sumy lub średniej).

3. Analiza i korekta.

Dział planowania może zweryfikować liczby, korygować je w razie potrzeby (np. jeśli są nierealistyczne), lub zestawić z danymi historycznymi i sezonowością.

4. Użycie prognozy.



Zalety prognozowania na podstawie opinii sprzedawców:

- bliskość rynku – sprzedawcy znają swoich klientów, wiedzą o ich planach zakupowych, problemach, konkurencji;
- wczesne wykrywanie zmian – sprzedawcy mogą zauważyć trendy lub sygnały, zanim pojawią się w danych ilościowych;
- zaangażowanie zespołu.

Wady prognozowania na podstawie opinii sprzedawców:

- subiektywność i stronniczość,
- brak spójności metodologicznej,
- czasochłonność.

Opinia kierownictwa w prognozowaniu polega na tworzeniu prognoz przez grupę menedżerów wyższego szczebla zarządzania i ekspertów wewnętrznych firmy. Metoda ta jest stosowna, gdy brakuje danych ilościowych lub są one niewiarygodne, a także gdy kluczową rolę odgrywają intuicja i doświadczenie zarządu, szczególnie przy prognozowaniu strategicznym.

Prognozowanie odbywa się według poniższego scenariusza:

1. Zebranie grupy decyzyjnej.
2. Dyskusja i analiza danych – analizowane są dostępne informacje, dane historyczne, trendy rynkowe, dane.
3. Formułowanie prognoz.
4. Uzgodnienie wspólnej prognozy.

Zalety prognozowania na podstawie opinii kierownictwa:

- doświadczenie i wiedza ekspercka;
- szybkość;
- holistyczne spojrzenie – łączy różne perspektywy: finansową, sprzedażową, operacyjną, strategiczną.

Wady prognozowania na podstawie opinii kierownictwa:

- subiektywność – prognozy opierają się na opiniach, nie na twardych danych;



- ryzyko błędów decyzyjnych;
- wpływ dynamiki grupy.

Opinia ekspertów spoza przedsiębiorstwa w prognozowaniu polega na pozyskaniu prognoz i ocen od zewnętrznych specjalistów mających wiedzę, doświadczenie i obiektywny ogłód sytuacji rynkowej, technologicznej, ekonomicznej lub społecznej. Metodę tę stosuje się, gdy potrzebna jest niezależna ocena lub wsparcie strategiczne.

Prognozowanie odbywa się według poniższego scenariusza:

1. Dobór ekspertów zewnętrznych (naukowcy, analitycy, klienci, przedstawiciele organizacji branżowych, doświadczeni praktycy spoza firmy).
2. Przekazanie celu i kontekstu prognozy.
3. Zbieranie opinii i ocen.
4. Analiza i agregacja opinii.

Zebrane informacje są analizowane, porównywane, a następnie opracowywana jest prognoza na podstawie uśrednionych lub ujednoliconych stanowisk ekspertów.

Zalety prognozowania na podstawie opinii ekspertów:

- obiektywizm – eksperci nie są powiązani z firmą, więc ich prognozy są niezależne od wewnętrznych interesów;
- dostęp do aktualnej wiedzy – eksperci często dysponują unikalną wiedzą branżową, technologiczną lub prognostyczną.

Wady prognozowania na podstawie opinii ekspertów:

- kosztowność;
- czasochłonność.

Badanie intencji nabywców w prognozowaniu polega na zbieraniu informacji bezpośrednio od klientów na temat ich planów zakupowych, preferencji i oczekiwań, a następnie wykorzystaniu tych danych do przewidywania przyszłego popytu. Prognozowanie odbywa się według poniższego scenariusza:

1. Określenie celu badania.
2. Przygotowanie narzędzi badawczych - tworzenie kwestionariuszy, ankiet.
3. Zbieranie danych od klientów



4. Analiza zebranych intencji - na podstawie deklaracji klientów szacuje się przyszły - popyt.
5. Ustalenie prognozy - przekształca się dane jakościowe w prognozę liczbową.

Zalety prognozowania na podstawie badania intencji nabywców:

- Bezpośrednie źródło danych – informacje pochodzą od samych klientów, nie przez pośredników.
- Przydatna przy nowych produktach – gdy nie ma danych historycznych, intencje mogą być pierwszym źródłem prognozy.
- Możliwość testowania reakcji rynku – pozwala zbadać, jak rynek zareaguje na pomysł, zanim firma poniesie koszty wdrożenia.

Wady prognozowania na podstawie badania intencji nabywców:

- Wpływ formy badania, tj. źle sformułowane pytania lub nieprofesjonalne badanie mogą prowadzić do błędnych wniosków.

4. Symulacje

Rola symulacji w przedsiębiorstwie

Jak już zostało to zaznaczone na wstępie, symulacje w przedsiębiorstwie służą do modelowania i analizowania procesów biznesowych. Umożliwiają prognozowanie skutków decyzji bez ryzyka ponoszenia realnych strat. Dzięki symulacjom można testować wiele scenariuszy, optymalizować procesy produkcyjne, logistyczne czy finansowe oraz identyfikować potencjalne problemy. Symulacje pozwalają zatem planować działania czy zarządzać ryzykiem. Jest to narzędzie wspomagające zarządzanie, które może istotnie przyczynić się do podejmowania bardziej świadomych i racjonalnych decyzji.

Rola symulacji w przedsiębiorstwie jest istotna, ponieważ wspiera podejmowanie decyzji strategicznych i operacyjnych. Dzięki nim można analizować złożone procesy bez ryzyka ingerencji w rzeczywiste funkcjonowanie organizacji. Ułatwiają także testowanie nowych rozwiązań technologicznych, logistycznych lub organizacyjnych, zanim zostaną one wdrożone. W rezultacie symulacja przyczynia się do zwiększenia efektywności działania przedsiębiorstwa oraz ograniczenia kosztów i błędów decyzyjnych.



Rodzaje symulacji

Symulacje wymagają budowy **modelu** odzwierciedlającego rzeczywistość. Modele w symulacjach to uporządkowane reprezentacje rzeczywistych zjawisk, systemów lub procesów, które umożliwiają przewidywanie ich zachowania w różnych warunkach. Model jest właśnie odzwierciedleniem obiektu (zjawiska, systemu) za pomocą wybranych narzędzi. W zależności od potrzeb, które determinują do sporządzenia symulacji, model powinien odzwierciedlać te cechy, które są istotne ze względu na badany aspekt jego funkcjonowania. Jest to zatem uproszczony schemat danego obiektu (zjawiska, systemu) ułatwiający jego implementację i symulację komputerową.

Podział modeli jest następujący [Krupa, 2017]:

- modele fizyczne – odzwierciedlają cechy fizyczne obiektów rzeczywistych;
- modele matematyczne – odzwierciedlają system za pomocą obiektów i relacji między nimi, opisanych zależnościami matematycznymi.

Klasyfikacja modelu służących do symulacji [Fishman, 2017, Krupa, 2017]:

1. Modele deterministyczne – zakładają stałość warunków i brak losowości, stosowane są np. w optymalizacji procesów produkcyjnych; relacje między elementami modelu oraz atrybuty obiektów są tu ściśle określone.
2. Modele stochastyczne (probabilistyczne) – uwzględniają elementy losowe i zmienność warunków, typowe dla analiz ryzyka.
3. Modele analityczne – opierają się na analitycznych zależnościach między poszczególnymi parametrami opisującymi model.
4. Modele numeryczne – bazujące na metodach numerycznych.
5. Modele statyczne – zmienne opisujące model nie zależą od czasu.
6. Modele dynamiczne - zmienne opisujące model zależą od czasu.

Ważnym pojęciem modelowania systemów jest sprzężenie zwrotne, które powoduje ich dynamikę. Sprzężenie zwrotne w symulacjach komputerowych to mechanizm, w którym wyniki działania systemu wpływają z powrotem na jego dalsze zachowanie. Wyjście z modelu oddziałuje na jego wejście, modyfikując kolejne stany symulowanego procesu.

Symulacje podobnie jak modele można określić jako deterministyczne, stochastyczne, numeryczne i komputerowe – realizowane przy użyciu specjalistycznych programów (np.



symulacje statystyczne Monte Carlo), dyskretne i ciągłe (rozdzielane ze względu na sposób opisu zmiennych czasowych).

Metoda Monte Carlo pozwala rozwiązywać zagadnienia matematyczne drogą modelowania statystycznego, polegający na dobieraniu do rozwiązywanego problemu takiego procesu losowego, którego parametry statystyczne przybliżałyby poszukiwane wartości rozwiązań.

Przykład wykorzystania symulacji Monte Carlo

Symulacja dotyczy szacowania przychodu ze sprzedaży kawy w okresie 1095 dni przy założeniu następujących danych:

- cena jednostkowa produktu wynosi 10 PLN;
- dzienna liczba klientów jest zmienna losowo, a jej średnia zgodnie z rozkładem normalnym wynosi 60, przy odchyleniu standardowym $\sigma = 10$;
- prawdopodobieństwo zakupu przez klienta wynosi 33 %.

Należy sporządzić symulacje przychodu dziennego przez okres 1095 dni oraz określić średni przychód wraz odchyleniem standardowym.

Rozwiązanie przeprowadzono przy pomocy programu MAPLE, gdzie kod rozwiązania został podany poniżej:



```

> restart : with(Statistics) : with(plots) : with(plottools) :

> # Dane
cena := 10 :                # cena produktu (PLN)
num_simulations := 1095 :   # liczba dni
E := 60 :                   # średnia liczba klientów dziennie
σ := 10 :                   # odchylenie standardowe
purchase_probability := 0.33 : # prawdopodobieństwo zakupu

# Rozkłady losowe
customers := RandomVariable(Normal(E, σ)) :
buyers := (n) → Sample(RandomVariable(Binomial(n, purchase_probability)), 1)[1] :

# Pętla symulacyjna
revenues := [seq(
  proc()
    local n_customers, n_buyers;
    n_customers := round(Sample(customers, 1)[1]) :
    if n_customers < 0 then n_customers := 0 end if;
    n_buyers := buyers(n_customers) :
    return cena * n_buyers :
  end proc(), i = 1 .. num_simulations
)]:

# Wyniki
mean_revenue := Mean(revenues);
std_revenue := StandardDeviation(revenues);

printf("Średni dzienny przychód: %.2f PLN\n", mean_revenue);
printf("Odchylenie standardowe: %.2f PLN\n", std_revenue);

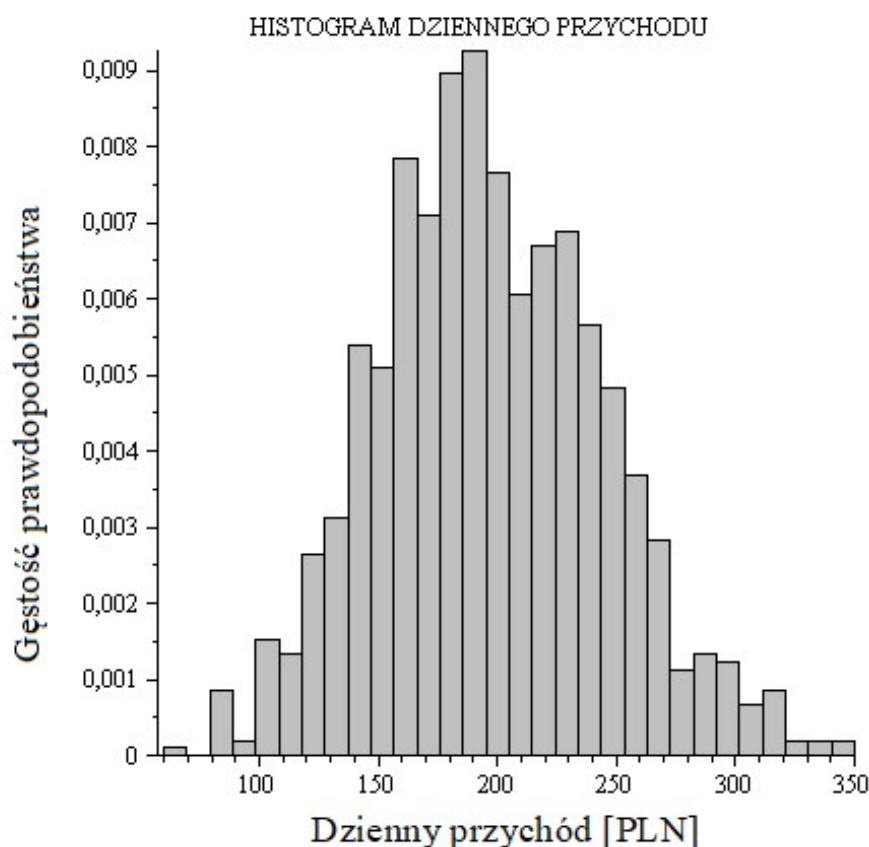
# Wizualizacja
Histogram(revenues, color = grey, title = "HISTOGRAM DZIENNEGO PRZYCHODU");

mean_revenue := 196.7397260
std_revenue := 49.01461206

Średni dzienny przychód: 196.74 PLN
Odchylenie standardowe: 49.01 PLN

```

W przedstawionej symulacji została oszacowana codzienna liczba klientów, obliczony przychód dzienny jako liczba kupujących pomnożona przez cenę produktu i na tej podstawie został obliczony średni przychód, który wynosi 196,74 PLN. Histogram dziennego przychodu zgodnego z rozkładem normalnym, przy odchyleniu standardowym równym 49,01 PLN, został przedstawiony na rys. 10.



Rys. 10. Histogram dziennego przychodu ze sprzedaży kawy

Bibliografia

Banks, J., Carson, J. S., Nelson, B. L., Nicol, D. M. (2010). Discrete-event system simulation (5th ed.). Prentice Hall.

BazEkon – Baza danych ekonomicznych. (n.d.). Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie.

<https://bazekon.uek.krakow.pl/>

Boylan, J. E., Syntetos, A. A. (2010). Forecasting for inventory planning: A 50-year review. Journal of the Operational Research Society, 61(S1), S49–S58.

<https://doi.org/10.1057/jors.2009.27>

Dittmann, P. (2016). Prognozowanie w przedsiębiorstwie. Metody i ich zastosowanie.

Wydawnictwo Nieoczywiste – imprint GAB Media.

Fildes, R., Goodwin, P. (2007). Forecasting support systems: What we know, what we need to know. International Journal of Forecasting, 23(3), 599–615.

<https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2007.05.008>



- Fishman, G.S. (1981). Symulacja komputerowa. Pojęcia i metody. Warszawa, PWE.
- Hyndman, R. J., Athanasopoulos, G. (2021). Forecasting: Principles and practice (3rd ed.). OTexts. <https://otexts.com/fpp3/>
- Jain, S., Lechevalier D., Lechevalier, D. (2011). Simulation-based decision support systems in production and operations management. International Journal of Production Research, 49(12), 3681–3682.
- Kot, S. M., Jakubowski, J., Sokołowski, A. (2011). Statystyka. Difin SA.
- Krupa, K. (2017). Modelowanie, symulacja i prognozowanie. Systemy ciągłe. Wydawnictwo Naukowe WNT.
- Kubiak, B. F. (2017). Zarządzanie informacją w przedsiębiorstwie. Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Law, A. M. (2014). Simulation modeling and analysis (5th ed.). McGraw-Hill.
- Makridakis, S., Wheelwright S. C., Hyndman R. J. (1998). Forecasting: Methods and applications (3rd ed.). Wiley.
- Mentzer, J. T., Moon M. A (2004). Understanding demand. In Demand forecasting in the supply chain (pp. 3–30). Supply Chain Management Review.
- Nowak, E. (2008). Prognozowanie gospodarcze. Metody i zastosowania. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne.
- Płaczek, E., Tomanek, M. (2011). Symulacja komputerowa w zarządzaniu. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej.
- Silver, E. A., Pyke, D. F., Thomas, D. J. (2016). Inventory and production management in supply chains (4th ed.). CRC Press.



Anna Waligórska-Kotfas

TECHNOLOGY TRANSFER AND KNOWLEDGE MANAGEMENT

*Information is the oil of the 21st century,
and analytics is the combustion engine.*

Peter Sondergaard, Gartner Research

Technological transformations of the 20th century have brought extensive socio-economical changes referred to as the *third wave*, *knowledge society*, *network society*. After the industrial society based on manufacturing, and the post-industrial one, in which a key role has been played by the service sector, time has come for the information society where information has become a special intangible asset, frequently more valuable than material possessions. The present-day society founded on acquisition, retrieval, distribution, and manipulation of data and information and consequently on creation of both explicit and tacit knowledge, is universally recognized as giving the footing to the knowledge-based economy which in turn becomes more interdependent on a current phenomenon by the name of *Big Data*. In view of the above changes knowledge management and technology transfer play a significant role in the knowledge-based economy and industry 4.0.

1. Theoretical Background: The Hierarchy of Knowledge

Epistemologically, *knowledge* as a key resource of today's organizations is created by processing, interpretation and interconnection of *information*; which in turn is based on *data*, raw facts, signs and symbols that by categorization, condensation, contextualization and correction become purposeful and relevant. The pinnacle of the hierarchy is *wisdom* recognized as accumulated knowledge allowing to act critically in new situations and interconnected with ethical judgement (Rowley, 2007, 163-180). The review of selected definition of the terms *data*, *information*, and *knowledge* is presented in table 1.

Historically, T.S. Eliot, is regarded in the literature discourse as the 20th century precursor of the concept of the knowledge hierarchical structure since he contemplated the following question: "Where is the wisdom we have lost in knowledge? Where is the knowledge we have lost in information?" (Eliot, 1991, p. 147). Subsequently, the knowledge hierarchy



founded on the *data* → *information* → *knowledge* → *wisdom* scheme was formulated by M. Zeleny (1987, no. 7, 59-70), and R. Ackoff (1989, 3-9) completed it with the fifth degree, *understanding*, which was positioned between *knowledge* and *wisdom*, while stating that each subsequent level is founded on the former one and emerges out of it. The criticism of the Ackoff's concept of the five-level knowledge pyramid can be found in the work of G. Bellinger, D. Castro and A. Mills, who argued that the understanding cannot be seen as a separate tier since its inextricable linkage to each stage of cognition. Therefore, the following cognitive chain with the corresponding processes was proposed: *data* → (understanding relationships) → *information* → (understanding patterns) → *knowledge* (understanding principles) → *wisdom*. Additionally, T.H. Davenport and L. Prusak (1998) enriched *the knowledge pyramid* adding five methods of converting *data* into *information*, such as contextualization, categorization, calculation, correction and condensation. In the ongoing dispute, the knowledge hierarchy was supplemented by further indicators related to *meaning* and *value* or *programmability*, as well as the levels, namely *enlightenment* or *truth*. Some researchers postulated that the individual steps of the hierarchy should be regarded as the continuum rather than the separate parts, while J. Rowley (2007, 163-180) turned the knowledge pyramid by 180 degrees creating *the knowledge funnel*, where data is recognized as an input whilst knowledge is an output, so that the overall cognitive construction is teetering on knowledge and is about to collapse without it

Table 1. The review of selected definitions of *data*, *information*, *knowledge*

Autor	Data	Information	Knowledge
Zeleny (1987)	Know-Nothing	Know-How.	Know-What.
Ackoff (1989)	Symbols representing the properties of objects or events.	Processed data containing descriptions and answers to who, what, where, how many questions.	Instructions answering how-to questions.
Davenport, Prusak (1998)	A set of discrete, objective facts about events.	A message meant to change the way the receiver perceives something. It has meaning and is organized to some purpose.	A mix of framed experience, values, contextual information, and expert insight that provides a framework for evaluating and incorporating new experiences and information.
OECD (2000)	The actual state of the world.	Indicators that are accessible to the agents representing the state of the world).	Both an input (competence) and output (innovation) in the production process.
Kisielnicki, Sroka (2001)	Can be processed using computer equipment.	Resource which allows to increase the level of knowledge about the surrounding world.	The source of all action is performed by intelligent people. Interdependent facts, and the strategy for solving problems.

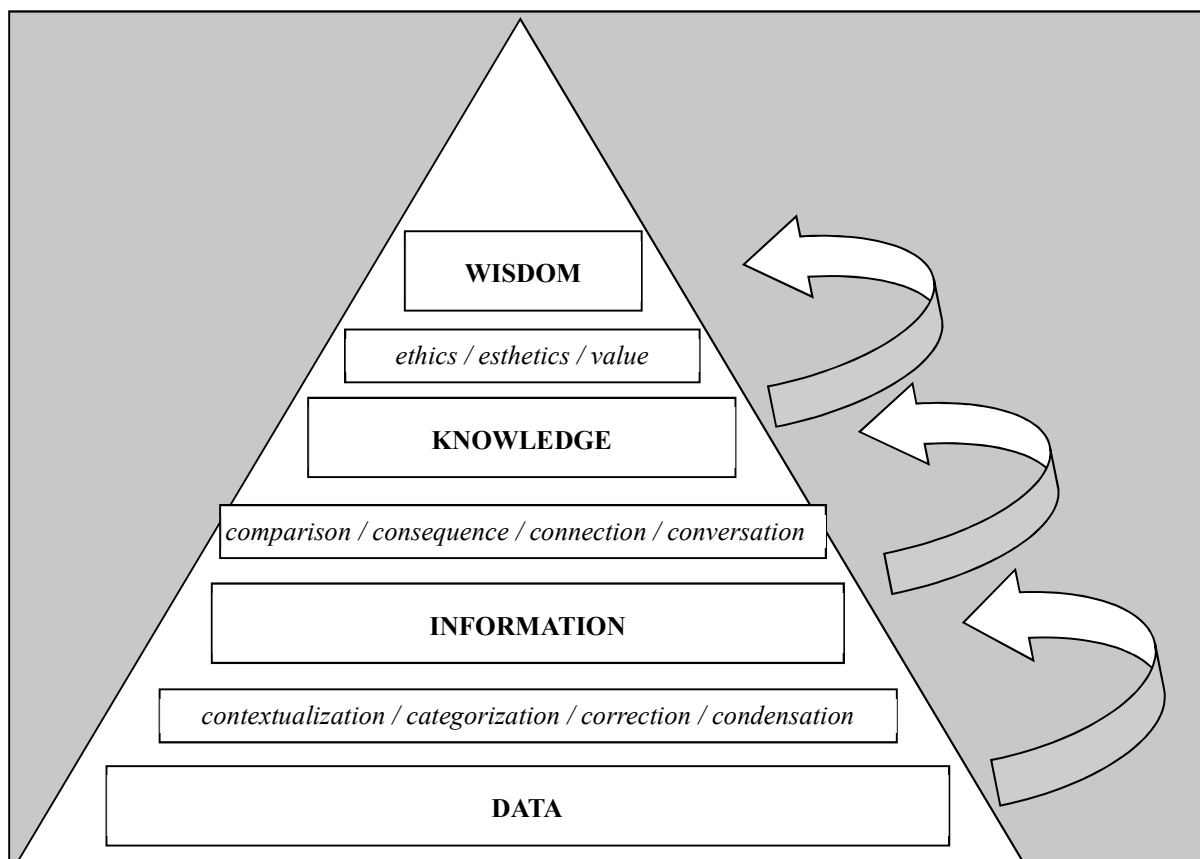


Hey (2004)	A resource. Manipulable Objects. A solid, physical, thing with an objective existence.	Can be processed and accessed, generated and created, transmitted, stored, sent, distributed, produced and consumed, searched for, used, compressed and duplicated.	Personal, subjective and inherently local. Internalized by the knower, and as such is 'shaped' by their existing perceptions and experiences.
Materska (2007)	Facts, signs, or observations recorded "on" or "in" medium.	Data in relation to the specified context organized according to certain categories.	The translation of complex information structures into new performance contexts. Intuitive, so that it is complicated to define and analyze.
Robertson (2013)	Depending on the research methods data can be inductively used to form conclusions or deductively taken from the conclusions.	The intellectual content of commodified and reified documents.	Justified true belief.
Stefanowicz (2013)	Elements currently stored by the respective characters.	The relationship existing between single elements of the message.	Simultaneous consideration of information, context and experience.

Source: own elaboration (based on Zeleny, 1987, 59-70; Ackoff, 1989, 3-9, 35; Davenport, Prusak, 1998; OECD, 2000; Kisielnicki, Sroka, 2005; Hey, 2004; Materska, 2007; Robertson, 2013; Stefanowicz, 2013).

Despite the diversities in the study literature there is a universal agreement on the following features: firstly, the key structure is DIKW scheme, and its elements are arranged in the same order; secondly, the succeeding tier is explained by the previous one with the implementation of the appropriate transformation pattern; finally, the predominant issue is to comprehend and clarify the processes occurring between the consecutive layers. The knowledge hierarchy, or DIKW⁸ pyramid, is presented in picture 1.

⁸ The acronym comes from Data → Information → Knowledge → Wisdom.



Pict. 1. DIKW pyramid and the processes between its levels
Source: own elaboration.

2. The Big Phenomenon of Big Data

The revolution in information and communication technologies (ICTs) has implied the revaluation of the classical paradigm of the socio-economical realms towards information society (IS) and knowledge-based economy (KBE), where the informational mode, in which data and information processing together with knowledge generation and diffusion by means of multimodal, flexible, and networked communication, is both the main form of social interaction and the fundamental source of productivity and competitive advantage (Castells, 2013).

The 21st century paradox of IS and KBE lies the fact that the development of ICTs allows almost instant access to data and information, their creation and transmission, production and consumption, but parallelly it generates the abundance of data and triggers an abnormality recognized as information explosion leading to information overload (Ruff, 2002, 1-13; Eppler, Mengis, 2004, 1–20). The problem is clearly illustrated in a series of studies under the common name *Digital Universe* prepared by IDC enterprise on behalf of EMC Corporation. The ongoing



research in which the amount of data generated each year is being measured gives the footing to formulate forecasts. The seventh report, published in 2014 and entitled *The Digital Universe of Opportunities: Rich Data and the Increasing Value of the Internet of Things* shows the increasing importance of wireless technologies, mobile devices, intelligent products and businesses defined by the software in the data output (IDC).

The development of digital and mobile devices together with improved, accelerated and predominantly wireless Internet access, the expansion of interactive communication through social media, the universality of city monitoring, and the Internet of Things⁹ catalyze the double upsurge in the size of the digital universe every two years. Therefore, between 2013 and 2020 the amount of prosumed data is to increase tenfold and will reach the level of 44 ZB¹⁰, which translates to more than 5 TB (5,000 GB) for each person on Earth. According to IDC, the number of devices or objects that can be computerized and connected to the Internet, is approaching 200 billion, and 7% of them (14 billion) are already interacting online. The data generated by these devices currently represents 2% of the world data and the IDC's predictions state that by 2020 the number of network-connected devices will have multiplied to reach the level of 32 billion and will have produced 10% of the world data.

The concept of the "Digital Universe" has expanded significantly since its introduction. Recent reports provide updated insights into the sheer scale and dynamics of global data growth (Wright, 2024):

- data volume growth: the global data sphere has grown dramatically, reaching 120 zettabytes (ZB) in 2023 and projected to increase to 181 ZB by 2025, this growth is driven by the proliferation of connected devices and the expansion of digital ecosystems;
- device connectivity: as of 2024, the number of connected devices worldwide exceeds 40 billion, with significant contributions from the Internet of Things (IoT), by 2025, IoT devices are expected to generate nearly half of the world's data;
- data distribution and usage: video content now dominates global internet traffic, accounting for over 53% of all data usage, the rise of video-based platforms, such as

⁹ Internet of Things (IoT) refers to a global infrastructure for the IS, enabling advanced services by interconnecting (physical and virtual) things based on existing and evolving interoperable information and communication technologies.

¹⁰ Zettabyte equals 10^{21} bytes (1,000,000,000 TB).



TikTok and YouTube, has accelerated this trend and social media and gaming are other significant contributors;

- enterprise data explosion: businesses increasingly generate data, especially through advanced technologies like AI, machine learning, and edge computing, so enterprises must adapt their IT infrastructures to manage this surge effectively and predictions suggest a significant expansion in edge and cloud storage solutions;
- global impact: in 2024, approximately 67% of the world's population uses the internet, contributing vast amounts of user-generated data, the average person interacts with data-intensive applications for over six hours daily.

The exponential growth of data together with the increase in the computing power, the research on artificial intelligence, and data mining has led to the creation of tools to analyze large, diverse, variable, and often unstructured data sets, referred to as Big Data, in order to transform them into purposeful information and consequently to interconnect and interpret into knowledge. The most concisely the term of Big Data is defined as datasets that cannot be processed or analyzed using traditional processes or tools (Zikopoulos at al., 2012). To put it differently, the data growth has multiplied sharply to such extend that conventional database management tools or data processing tools have become inefficient to handle those complex sets of data. The ambiguity and subjectivity of the definition is implied by the constant technological advancement over time which in turn results in assumption that the size of datasets that could be qualified as Big Data will parallelly increase (McKinsey Global Institute).

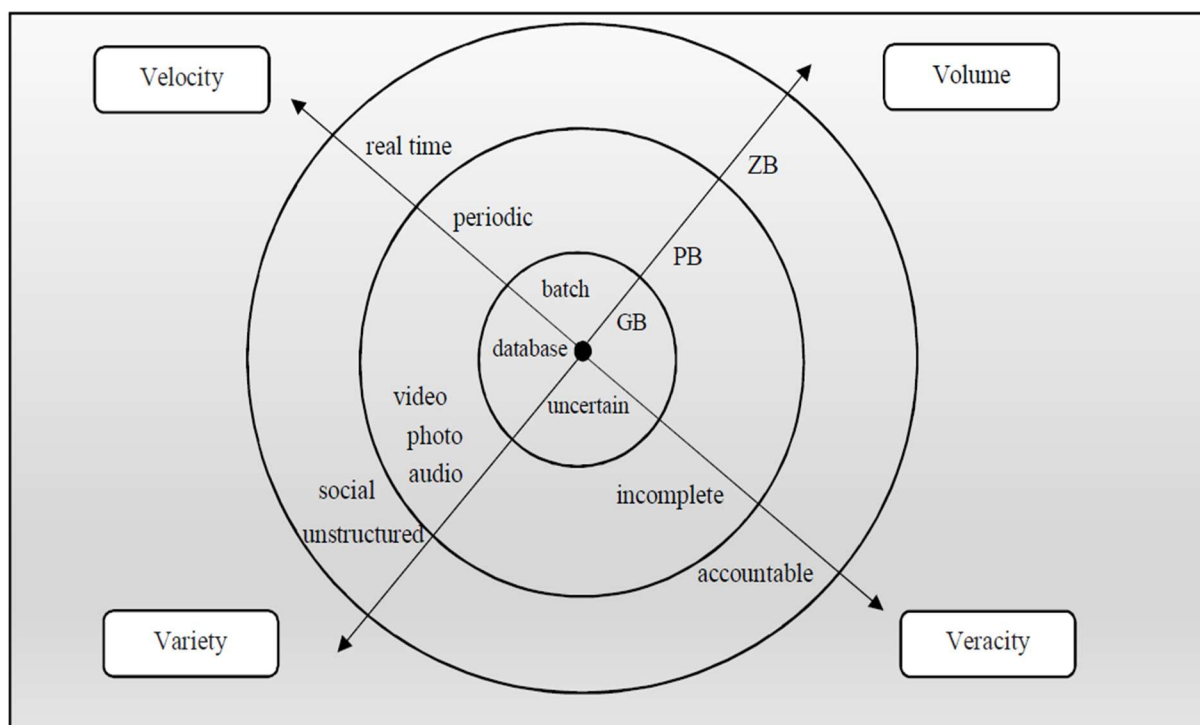
Big Data, as a process of analyzing data, is characterized by increasing number of parameters. Currently the literature discourse mentions four dimensions (V^4) distinguished in Big Data description, namely volume, variety, velocity, veracity. Volume interrelates the amount of data currently counted in petabytes or exabytes¹¹. Variety refers to the semantic heterogeneity represented by numerous sources and types of data both structured and unstructured, not only from the traditional sources such as spreadsheets and databases, but also coming in the formats of emails, photos, videos, PDFs, audio, websites, tweets, blogs, comments, tags, SMS messages, WiFi location tracking, etc. Velocity corresponds real-time data processing, which can in turn provide the strategic competitive advantage. Veracity

¹¹ Petabyte equals 10^{15} bytes (1,000 TB), exabyte equals 10^{18} bytes (1,000,000 TB).



concentrates on data relevance in order to avoid bias, noise and abnormality in data (Hitzler, Janowicz, 2013, 233-235). The Big Data dimensions are illustrated in picture 2.

From the broader, not only technological, but interdisciplinary perspective Big Data is the coexistence and mutual impact of technology, analysis and mythology. The technology aspect is realized in maximizing computation power together with algorithmic preciseness to acquire and process, interrelate and correlate, parallel and juxtapose data. The analysis component focuses on identifying patterns in order that economic, social, technical, and legal claims could be made. The mythology facet lies in the widespread belief that large data sets offer a higher form of intelligence and knowledge which can generate insights that were previously impossible, with the aura of truth, objectivity, and accuracy (boyd¹², Crawford, 2012).



Pict. 2 Big Data V⁴ dimensions
Source: own elaboration.

The reasoning founded on Big Data can offer extensive insight into many complex issues and can improve the quality of administration on both government and local level, as well as scientific research, let alone business decision-making. According to Nadolny (2012) Big Data,

¹² Original spelling of the author's name not capitalized: danah michele boyd.



recorded and annotated, integrated, modelled, and interpreted, is currently utilized in the following areas:

- administration and public sector (the efficient coordination and the effective management of administrative, municipal and social services, especially in crisis situations);
- banking (the evaluation of the client's creditworthiness, the detection of potential credit card fraud);
- marketing (the identification of customer needs and shopping behaviors);
- medicine and health care (the collection of patient's vital signs, the treatment monitoring, the effective use of medicines and hospital resources);
- manufacturing sector (the forecast of product demand, the process optimization);
- customer relationship management (the canvass of new customers, the notion of interconnection between demographic and behavioral patterns, the identification of brand ambassadors in the social media);
- human resources management (the worktime monitoring, the efficiency and quality analysis of social networks to find informal leaders in the organization).

A practical exemplification of the beneficial adoption of Big Data can be illustrated by the cases enumerated below. A major US retailer adds weather data to its distribution algorithms so that it can model delivery paths and can use disparate sources for improved logistics. An Indian telecommunications enterprise analyzes billions of call records daily to target customers for special offers, which results in increasing loyalty among customers. A police department in a major US city installs traffic cameras throughout the city so license plates can be read. The obtained data are used to identify stolen vehicles in real time, which in turn translates into reduction of illegal behavior since many crimes are committed in stolen automobiles (Jewell et al., 2014). A search engine tracks the incidence of flu-related search terms and can identify possible flu outbreaks one to two weeks earlier than official health reports (Bollier, 2010).

Notwithstanding the enormous potential benefits of using Big Data, the other side of the coin needs to be recognized, particularly in the light of information ethics (IE). Among the IE research areas, there are three fields of ethical dilemmas corresponding to the production of information, its classification, and finally the access and dissemination of information (ICIE, 2024). Information is considered in the IE conceptualization as (Burr, Floridi, 2020):



- a resource (input) – moral issues arising from *the triple A: availability, accessibility, accuracy* of informational resources, independently of their format and physical representation; additionally, from the information consumer's point of view the questions concerning reliability, trustworthiness, and relevance of information sources need to be raised here;
- a product (output) – ethical problems regarding pragmatic rules of communication such as accountability, liability, libel, plagiarism, advertising, propaganda, misinformation;
- a target (environment) – the dilemmas over information security, its vandalism, piracy, and hacking, intellectual property rights, freedom of expression, and censorship, filtering, and contents control; the social dimension includes the digital divide and the ICTs illiteracy.

In view of IE theory, the ethical consideration facing Big Data regarded as both the input and the environment should include the fact that although the data for analysis is collected anonymously and from legitimate sources with law-restricted access, one can doubt whether Internet users consciously accept the rules and privacy policy of the services they use. Furthermore, the ongoing controversy of so-called public data in the social media sites is the battleground between privacy campaigners and transparency supporters. Additionally, acquired data may not be adequately protected and therefore can leak, be traded or stolen. On top of that, since anonymity in the Internet is apparent, even aggregated data can be sensitive and may unleash surveillance, or even discrimination, against citizens by both the state and corporations.

The ethical dilemmas interrelated to the Big Data adoption are illustrated by the morally questionable examples. The first of them relates to a supermarket chain which, in order to analyze its customers' shopping behaviors, implemented software allowing pregnancy prediction score to be established by connecting the purchase to Customer ID number, their credit card, and email address and consequently the product offer was adjusted. Therefore, even though the customer does not inform anyone, let alone the retail outlet, about their condition, the retail network has information on the subject (Hill, 2012). The second case is of a drugstore chain which applied an algorithm to predict whether an individual suffers from one of 17 diseases, including diabetes, tobacco-related cancer, cardiovascular disease, and depression based on analyzing his or her buying habits. Accordingly, a person's life expectancy is estimated and insurance rates may increase (Marr, 2021).



Regarding Big Data as the output brings the question of data analysis and interpretation. The process of deciding which data attributes and variables are essential and which could be ignored together with the algorithms applied in computerized data sifting tend to be error-prone so that patterns are identified where none are existing. The noticeable instance of that is the case of Jeff Bezos, who demonstrated the Amazon recommendation engine in front of an audience. To validate its efficiency and practicality he accessed his own set of recommendations to surprisingly notice the first recommendation as *Slave Girls from Beyond Infinity*, a choice triggered by Bezos's purchase of a DVD of *Barbarella*, a classic Jane Fonda movie, the previous week (Bollier, 2010).

The social approach to the Big Data menace is correlated with creation of the digital divide. Despite the fact that common perception of Big Data is that it offers easy access to massive amounts of data, in real circumstances the access is not straightforward and frequently limited by funds. Additionally, the advantages are those with extensive and sophisticated computational skills. Furthermore, Big Data ensues a transformation in a social stratification system from the hierarchy founded on socioeconomic variables to the one established on the modality of the digital competence since within its realm are "those who create data (both consciously and by leaving digital footprints), those who have the means to collect it, and those who have the expertise to analyze it" (Manovich, 2011). Albeit the ultimate class is the smallest, it is the most privileged and endowed with power to determine the rules about the use of Big Data and participants of the process (boyd¹³, Crawford, 2012). Therefore, the divide into proletariat, digitariat, and cogitariat is reinforced.

From the ontological perspective the peril of Big Data is induced by the question whether a scientific construction of theories and models, particularly in social sciences, might be discarded and replaced by search for correlation, whatever intricate and complex. Another words, as Bollier (2010) asks: can science advance without coherent models, unified theories, or mechanistic explanation and rely on automatically generated correlations? Can enormous datasets and advanced linkage techniques prevail over hypothesis in scientific inquiry? Can quantity mean quality to such extend that the aura of Big Data infallibility is able to overpower epistemological objectivity?

¹³ Original spelling of the author's name not capitalized: danah michele boyd.



The invoked above issues corresponding the Big Data hazards are perceived by EU citizens: 81% feel that they do not have complete control over their personal data online; 70% are anxious about their information being used for a different purpose from the one it was collected for; 69% would like to give their explicit approval before the collection and processing of their personal data; 55% are concerned about the recording of their activities via payment cards and via mobile phones; only 24% have trust in online businesses such as search engines, social networking sites and e-mail services; only 18% fully read privacy statements of the network services they use (EC, 2015). The subject matter is recognized by the European Parliament, the Council and the Commission and resulted in reaching agreement on December 15th, 2015, on the new data protection rules, establishing a modern and harmonized data protection framework across the EU. Hence, the Regulation 2016/679 and the Directive 2016/680 are entered into force and will have to be applied and transposed into national level legislative regulations by May 2018. Therefore, the protection of people regarding the processing of personal data will be strengthened by a right to access and correction of personal data, an explicit right to be forgotten, a right to object to data processing, and the right to be informed when data security is breached. Additionally, the collection and processing of such data will be determined and controlled (EC, 2021).

3. Knowledge Management

Knowledge as an asset in the organization or enterprise is divided into two categories: 1) explicit knowledge, and 2) tacit (implicit) knowledge.

Explicit knowledge (knowing-that) is knowledge which is easily:

- codified and digitized in books, documents, reports, memos, etc.;
- identified, articulated, shared and employed.

Whereas tacit knowledge (knowing-how) is the knowledge which is embedded in the human mind through experience and jobs. Therefore it is firmly connected with personal wisdom and experience, so that it is context-specific, more difficult to extract and codify, and it includes one's insights, intuitions. Table 2 summarizes the differences between explicit and tacit knowledge.



Table 2. Explicit Knowledge vs. Tacit (Implicit) Knowledge

Explicit Knowledge	Tacit (Implicit) Knowledge
objective, rational, technical	subjective, cognitive, experiential learning
structured	personal
fixed content	context sensitive/specific
context independent	dynamically created
externalized	internalized
easily documented	difficult to capture and codify
easy to codify	difficult to share
easy to share	has high value
easily transferred/taught/learned	hard to document
exists in high volumes	hard to transfer/teach/learn
	involves a lot of human interpretation

Source: own elaboration.

From the theoretical point of view knowledge management is seen as the systematic management of an organization's knowledge assets for the purpose of creating value and meeting tactical and strategic requirements. It consists of the initiatives, processes, strategies, and systems that sustain and enhance the storage, assessment, sharing, refinement, and creation of knowledge (Frost, 2021). Knowledge management implies a strong tie to organizational goals and strategy, and it involves the management of knowledge that is useful for some purpose and which creates value for the organization. Thus, knowledge management involves the understanding:

- where and in what forms knowledge exists;
- what the organization needs to know;
- how to promote a culture conducive to learning, sharing, and knowledge creation;
- how to make the right knowledge available to the right people at the right time;
- how to best generate or acquire new relevant knowledge;
- how to manage all of these factors so as to enhance performance in light of the organization's strategic goals and short term opportunities and threats.

In view of the factors mentioned above knowledge management has to:

- create or provide the right tools and structures (e.g. teams, etc.) within the organization culture, so as to enhance learning;
- understand the value and applications of the new knowledge created;
- store this knowledge and make it readily available for the right people at the right time;
- continuously assess, apply, refine, and remove organizational knowledge in conjunction with concrete long- and short-term factors.

Therefore, knowledge management depends upon:



- the management of the organization's knowledge creation and conversion mechanisms;
- organizational memory and retrieval facilities;
- organizational learning;
- organizational culture.

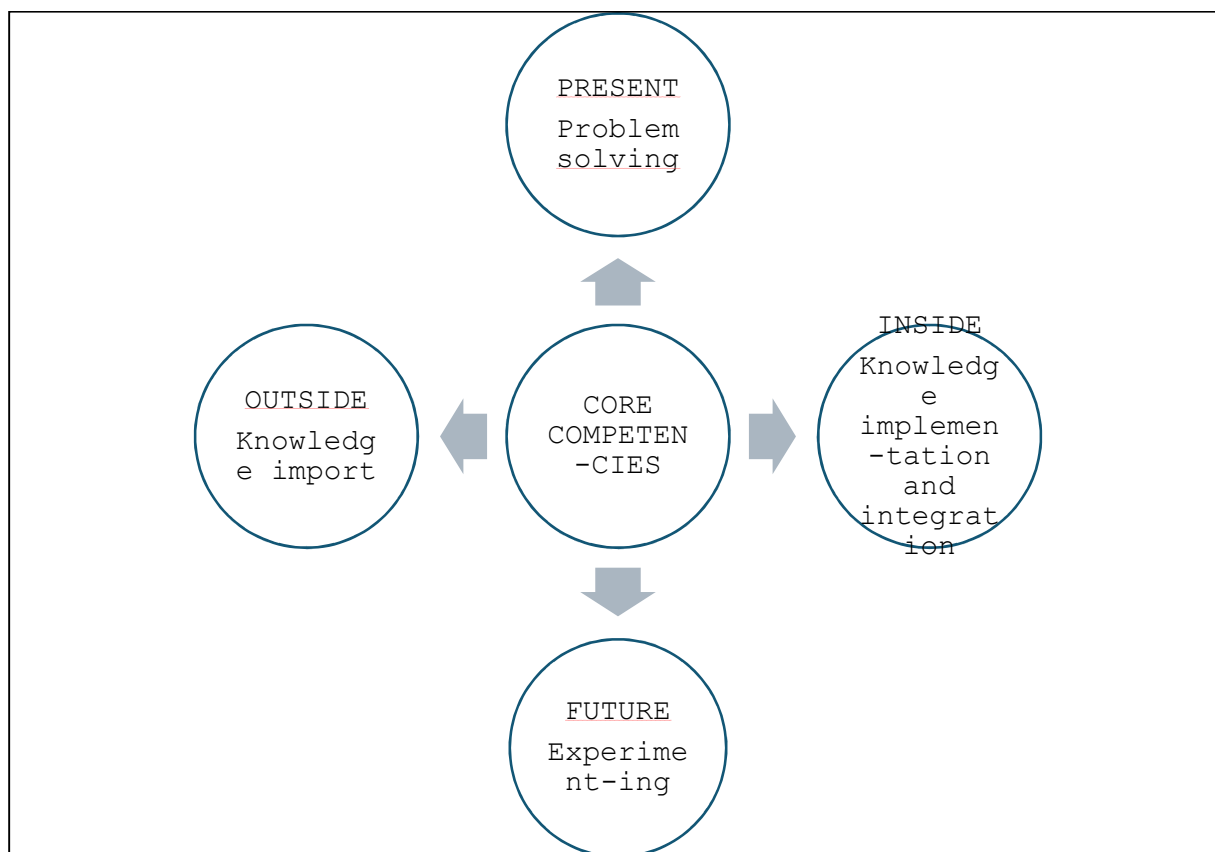
Discussing the core components of knowledge management following elements must be taken into account:

- knowledge creation and acquisition: organizations foster innovation by encouraging creativity and acquiring external insights. techniques like brainstorming sessions, research collaborations, and data mining help generate valuable knowledge;
- knowledge storage and organization: centralized repositories, such as databases and knowledge management systems (KMS), ensure that critical knowledge is stored systematically for easy retrieval;
- knowledge sharing: effective sharing mechanisms, such as collaborative platforms and knowledge-sharing cultures, allow teams to build on each other's expertise;
- knowledge application: knowledge management is incomplete without the practical use of knowledge, which includes integrating knowledge into decision-making and operational workflows.

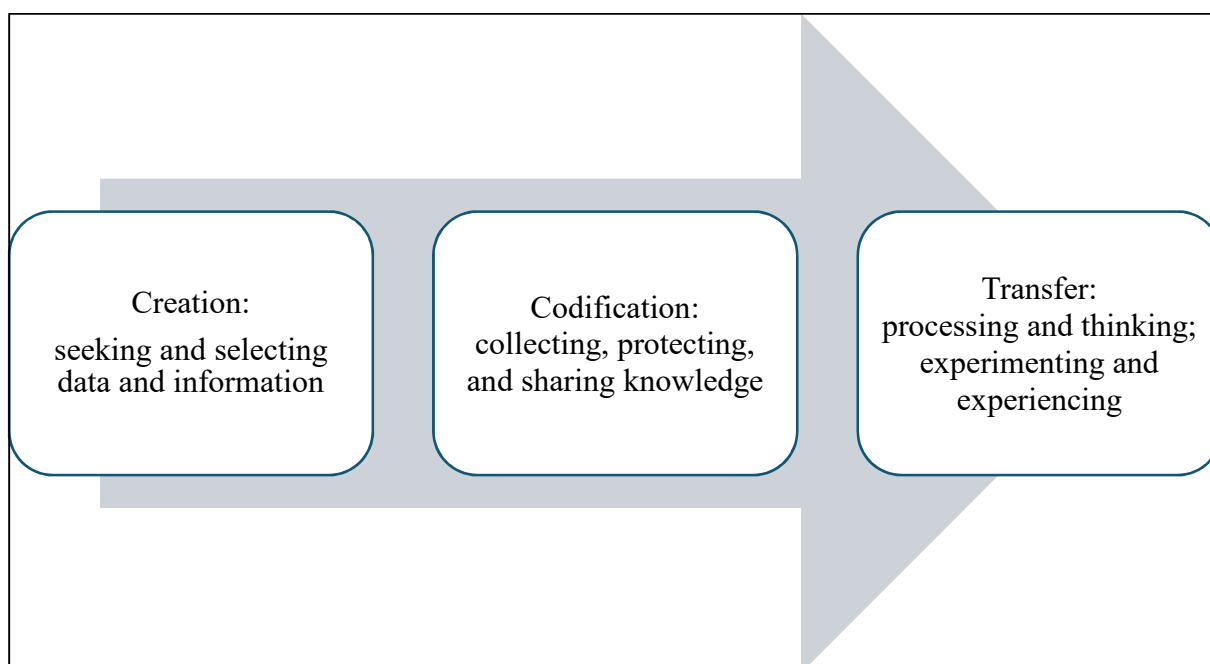
When discussing knowledge management, three models should be mentioned: 1) wellsprings of knowledge model; 2) process model; 3) SECI model.

In the wellsprings of knowledge model, introduced by Leonard-Barton (1998) and presented in picture 3, the explicit knowledge (acquired from inside and outside and then codified in a data-base) is presented as the most important resource that gives a competitive advantage.

In the process model, based on the experience of big consulting firms, Davenport and Prusak (1998) emphasized the sequence of actions (process), so that the input (documents, data) creates the output (information, knowledge, decisions) as shown in picture 4.



Pict. 3 Wellsprings of knowledge model
Source: own elaboration.



Pict. 4 Knowledge management process model
Source: own elaboration.



The SECI model (Socialization, Externalization, Combination, Internalization), developed by Nonaka and Takeuchi (2000) and shown in picture 5 and 6, provides a dynamic framework for understanding how knowledge is created and shared through the interaction between individuals, groups, and organizations. It's a foundational model in knowledge management, especially when exploring how tacit and explicit knowledge flow within and across organizational levels. Sets of interactions in the SECI model are as follows:

- Socialization (Tacit to Tacit)

This phase involves sharing tacit knowledge directly between individuals, often through observation, imitation, practice, or shared experiences. It typically happens in informal settings, such as mentorships, apprenticeships, or team collaboration. Here, interaction is primarily individual-to-individual, relying on trust and physical proximity.

Example: A junior engineer learns troubleshooting skills by shadowing a senior technician on site.

- Externalization (Tacit to Explicit)

Externalization is about articulating internal tacit knowledge into comprehensible forms that can be shared—such as metaphors, diagrams, or documented procedures. This phase often requires group-level interaction, such as brainstorming or workshops, where individual insights are transformed into collective understanding.

Example: A team creates a manual based on personal experiences with a new software system.

- Combination (Explicit to Explicit)

In this phase, explicit knowledge from different sources is combined, categorized, and systematized into new knowledge. This can occur at group or organizational levels, often supported by IT systems, databases, or document management platforms.

Example: A company compiles customer feedback, market analysis, and product specs into a strategic report.

- Internalization (Explicit to Tacit)

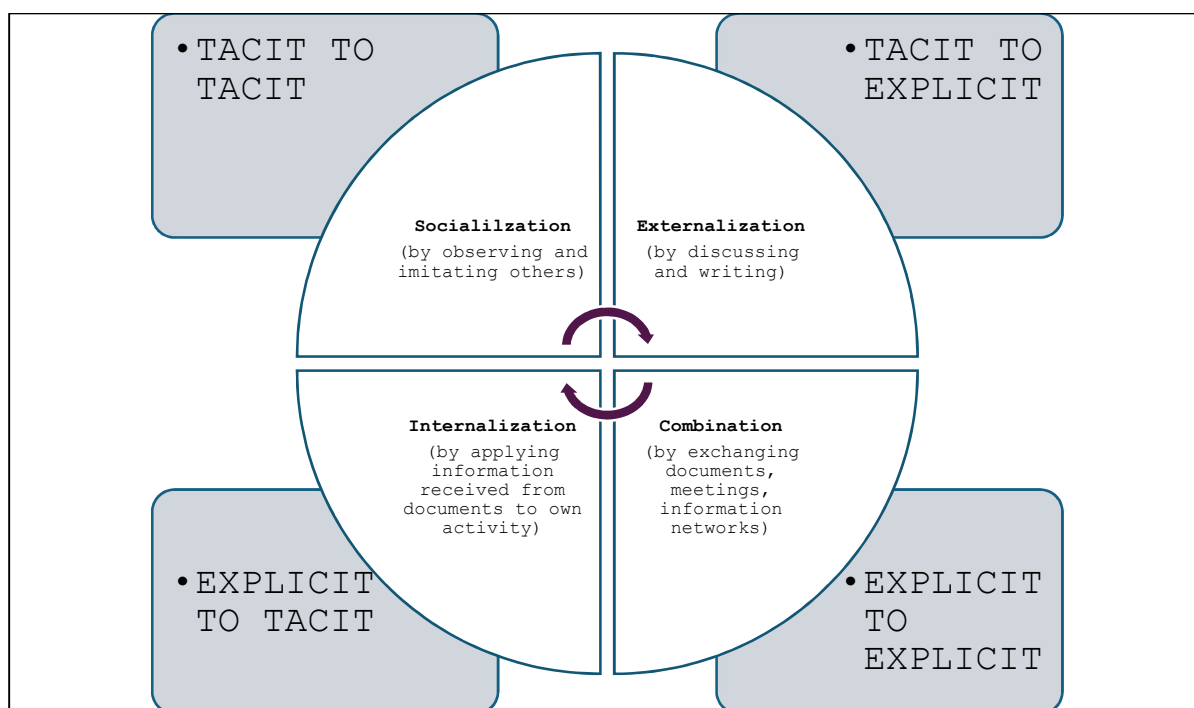
Internalization is the process by which individuals absorb explicit knowledge and convert it into tacit knowledge through practice and experience. This interaction happens between the organization and the individual, often supported by training programs, simulations, or hands-on practice.



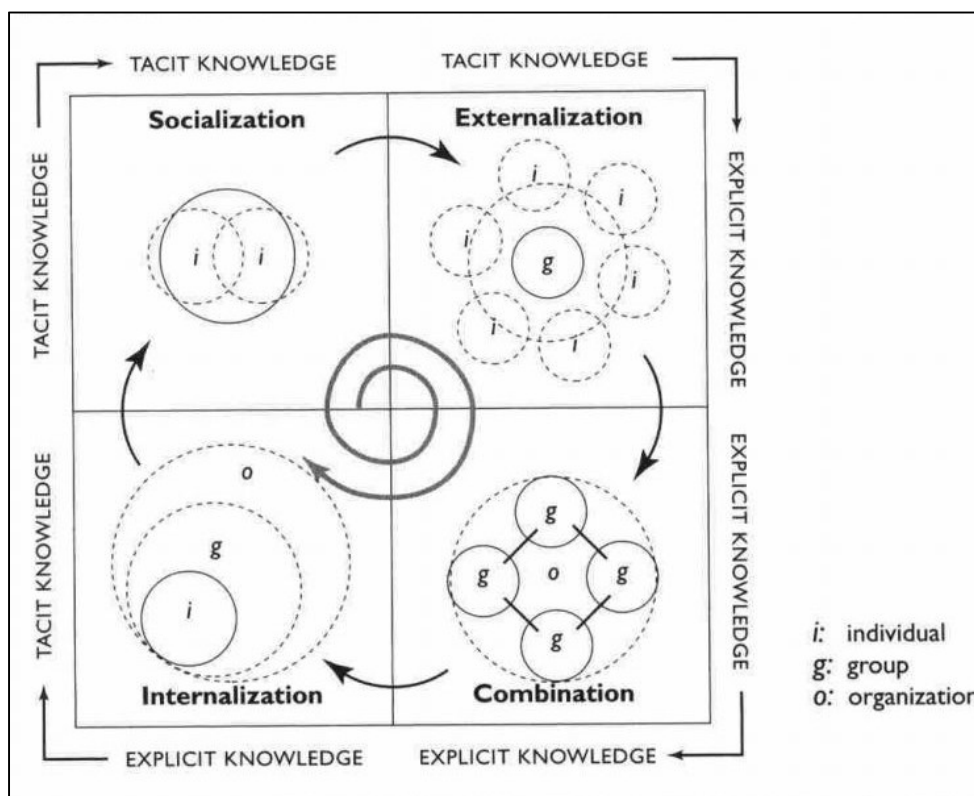
Example: Employees attend a training session and gradually develop intuitive mastery of a complex tool.

The interactions could also come across the mentioned above levels:

- individual ↔ individual: (e.g., mentoring, storytelling – Socialization);
- individual → group: (e.g., sharing ideas in meetings – Externalization);
- group → organization: (e.g., codifying team learnings into policy – Combination);
- organization → individual: (e.g., onboarding, learning-by-doing – Internalization).



Pict. 5 Knowledge management SECI model
Source: own elaboration.



Pict. 6 SECI model as a set of interactions

Source: Wang, Kim, 2023.

Discussing SECI model of knowledge management the role of coaching, mentoring and even storytelling should be considered, as it shifts the focus from systems and technologies to the deeply human aspects of how knowledge is shared, retained, and internalized in organizations. These approaches help bridge the gap between tacit and explicit knowledge, the very essence of effective knowledge management, by fostering trust, learning relationships, and meaningful context.

Coaching in the workplace supports individual learning and development, helping employees transform general knowledge into personal competence. A coach doesn't just provide information, they ask questions, give feedback, and help the coachee to reflect. From a knowledge management perspective, coaching:

- supports internalization (explicit to tacit) by helping individuals embed knowledge through guided practice;
- encourages knowledge transfer, especially in adapting organizational knowledge to personal goals and roles;



- creates a space for continuous learning, aligning personal growth with organizational strategy.

Mentoring on the other hand is a powerful tool because it supports the transfer of deep, experience-based (tacit) knowledge from one person to another. In contrast to coaching, mentoring tends to focus on long-term development and broader professional insight, so mentoring:

- enables socialization (tacit to tacit), a core part of Nonaka's SECI model;
- preserves institutional memory by passing on *how things are done* beyond what's written;
- strengthens intergenerational knowledge flow, which is especially important in succession planning.

Which brings us to storytelling – one of the most natural and ancient forms of knowledge sharing. In knowledge management, stories bring data and procedures to life, turning them into actionable, memorable lessons, as storytelling:

- makes abstract or complex knowledge relatable and contextual;
- helps convey culture, values, and lessons learned that might not appear in formal documentation;
- encourages sense-making, especially in times of change or crisis.

Together, coaching, mentoring, and storytelling contribute to a more people-centered knowledge ecosystem. They emphasize that knowledge isn't just stored in databases, it lives in people, relationships, and shared experiences. These practices complement technological KM tools by addressing the human dimension of knowledge, foster trust, reflection, and culture, which are critical for sustainable knowledge sharing, and support leadership development, resilience, and organizational learning.

Summing up, the undeniable advantages of implementing knowledge management in organizations include:

- enhanced efficiency: knowledge management minimizes redundancies, reduces time spent searching for information, and streamlines processes;
- innovation: by pooling diverse ideas, organizations foster creative solutions to complex challenges;
- employee engagement: knowledge management empowers employees with resources and a collaborative culture, boosting morale and retention;



- competitive edge: companies with robust knowledge management systems adapt quickly to market changes, staying ahead of competitors.

Implementing knowledge management faces hurdles such as resistance to change, technological limitations, and knowledge silos. Addressing these requires a combination of strong leadership, investment in training, and the adoption of user-friendly tools.

The rise of artificial intelligence and machine learning is transforming knowledge management. These technologies enable automated categorization, predictive analytics, and more intuitive knowledge retrieval, making knowledge management more accessible and efficient. Additionally, a growing emphasis on organizational learning and digital collaboration tools is redefining how businesses manage and utilize knowledge.

In conclusion, effective knowledge management is no longer optional, it is essential for organizations seeking to thrive in the knowledge economy. By embracing knowledge management practices, companies can unlock their full potential and foster sustainable growth. In an age where AI and digital systems are central to knowledge management, coaching, mentoring, and storytelling remind us that the most valuable knowledge often can't be written down. It must be experienced, interpreted, and personalized. These human-centered methods ensure that knowledge isn't just stored, but lived and passed on with care and meaning.

4. Knowledge protection

Knowledge protection is a vital component of knowledge management, focused on securing an organization's most valuable assets, such as its know-how, experience, and intellectual capital, from loss, theft, misuse, or unauthorized access. In today's dynamic, digital, and competitive environment, protecting knowledge is just as important as creating or sharing it. There are several types of knowledge that require protection: tacit knowledge (intuitive, experience-based know-how residing in individuals), explicit knowledge (codified knowledge in documents, systems, or procedures), and strategic knowledge (innovation-related or business-critical insights that give an organization its competitive edge). Each of these types faces different risks, ranging from employee turnover and cyberattacks to accidental data loss or deliberate industrial espionage.

To address these risks, organizations implement diverse protection strategies. These include technical measures such as:

- cybersecurity protocols, data encryption, and access control systems;



- legal protections like patents, copyrights, and non-disclosure agreements;
- organizational practices such as knowledge audits, succession planning, mentoring, and employee awareness training.

Effective knowledge protection also means identifying what knowledge is most valuable, classifying it appropriately, and establishing policies on how it should be stored, shared, or restricted. Importantly, knowledge protection must be integrated into the organization's culture, so that employees understand not only the tools and rules, but also the reasons behind them.

Despite its importance, organizations often face barriers to effective knowledge protection. These can include a lack of awareness or training, poor documentation of knowledge assets, resistance to knowledge classification, over-reliance on informal knowledge sharing, or insufficient IT infrastructure. Cultural barriers, such as low trust, fear of surveillance, or an aversion to control, can also discourage employees from engaging in protective behaviors. In global or networked organizations, additional challenges include cross-border legal complexities and inconsistent protection standards.

Knowledge protection plays a critical role across the SECI model, safeguarding knowledge as it moves through the phases of socialization, externalization, combination, and internalization. It also underpins each level of the DIKW pyramid, ensuring the reliability of data, the accuracy of information, the security of knowledge, and the soundness of decisions derived from wisdom. Ultimately, effective knowledge protection is about enabling organizations to innovate, collaborate, and grow, confident that their most important ideas and insights are not only used wisely, but kept safe for the future.

5. Technology Transfer

The term *technology* is defined as the practical application of knowledge. In other words, it is an application of science used to solve problems. It needs to be underlined that technology develops and explains the human-made world, so it involves development, processing, and management, while science explains the natural world, therefore science refers to systematic methodology used to gather accurate information about shared reality. In the era of industry 4.0 technology is used by enterprises and businesses to stay competitive, create new products and services and deliver these products and services to their customers on time and within budget. Undoubtedly, technology brings advantages to businesses since it: accelerates innovation, enhances sharing information, improves data storage, and simplifies communication.



Technology transfer plays a critical role in fostering innovation, economic growth, and the development of new products and services. Technology transfer refers to the process of sharing or disseminating technology, knowledge, skills, or expertise between organizations, institutions, or individuals. It acts as a bridge between research and practical application, enabling ideas and innovations to reach broader audiences and industries. Key Characteristics of technology transfer are:

- bidirectional exchange: technology can flow from academia to industry, from industry to academia, or even between nations,
- enhancement of innovation: helps refine existing technologies by integrating external expertise,
- customization: adapting the technology for different industries, geographies, or purposes.

Examples of technology transfer include:

- licensing patents: allowing a company to produce a patented product or process,
- university-industry collaboration: universities partnering with companies to transform research into product,
- open-source platforms: sharing software tools freely for wider adoption and development.

Successful technology transfer depends on several interconnected key elements:

- knowledge and innovation: at the heart of technology transfer is the idea or invention, typically protected by intellectual property rights such as patents, copyrights, or trade secrets,
- stakeholders: key players include academic institutions, private firms, research laboratories, governments, and international organizations. each stakeholder brings unique strengths and perspectives to the process,
- mechanisms: licensing agreements (providing permission to use the technology under agreed conditions), joint ventures (collaborative projects to co-develop technologies), spin-off companies (creating new businesses to commercialize technologies),
- regulatory and legal frameworks: national and international policies guide how technologies can be shared or exported, ensuring ethical and legal compliance.



The process of technology transfer is typically organized in the following way:

- identification: spotting innovative technologies with the potential for broader applications. this can come from academic research, corporate research and development, or independent inventors,
- assessment: examining the technical, financial, and market viability of the technology. questions addressed include: Is technology scalable? Is there demand for it?,
- protection: intellectual property protection is essential to safeguard the technology's uniqueness and value. this involves patents, copyrights, or trademarks,
- partnering: identifying organizations or companies that can adopt or commercialize the technology. this often includes negotiation of terms and mutual expectations,
- agreement: drafting contracts, such as licensing deals or partnership agreements, that detail the rights, responsibilities, and financial arrangements between parties,
- implementation: applying the technology in its new setting, which may involve training, adaptation, and continued collaboration.

Describing technology transfer as a lifecycle consists of: research and development, invention, evaluation, intellectual property protection, marketing, licensing, product development, public use and economic growth.

The following levels of technology transfer can be distinguished:

- micro:
 - university to business (barriers to business-university collaboration),
 - inter-firm (company to company),
 - intra-firm (within the company: department to department or location to location);
- meso (Technology Transfer Offices, technology incubators, science parks):
 - cross-sector,
 - cross-industry,
 - cross-region;
- macro:
 - cross-country (usually more developed to less developed).



Technology transfer can be also classified based on its direction and scope:

- horizontal transfer: technology is shared between entities operating in the same level of a supply chain or industry, enhancing competitive parity, e.g. a manufacturing technique shared among automotive companies,
- vertical transfer: moving technology along the production chain, from research to production and then to the market. this ensures end-to-end application of innovation,
- international transfer: sharing technologies across borders to promote development and address global challenges, e.g. exporting solar power solutions to developing nations.

Here are real-world examples of technology transfer across various domains:

- Pharmaceuticals: COVID-19 vaccines
 - Technology: mRNA vaccine technology developed by BioNTech and Moderna.
 - Transfer process:
 - Academic and small biotech companies pioneered mRNA technology.
 - Partnerships with large pharmaceutical companies, e.g. Pfizer, allowed for mass production and global distribution.
 - Governments and international organizations facilitated scaling through funding and agreements.
 - Outcome: rapid development and widespread distribution of vaccines worldwide.
- Information technology: the Internet
 - Technology: The foundational technologies of the Internet (e.g., TCP/IP protocols).
 - Transfer process:
 - Developed initially through U.S. Department of Defense-funded research (ARPANET).
 - Transferred to academia and later to the private sector.
 - Open standards allowed private companies to create products like browsers and web services.
 - Outcome: Internet commercialization, leading to global connectivity and innovation in industries such as e-commerce and social media.



- Renewable energy: solar panels
 - Technology: Photovoltaic (PV) cells developed at Bell Labs in the 1950s.
 - Transfer process:
 - Initial R&D funded by government and academic research.
 - Transfer to private companies enabled commercialization and mass production.
 - Continuous improvements through global partnerships and government subsidies.
 - Outcome: Affordable solar energy solutions now widely adopted in residential, industrial, and utility-scale projects.
- Consumer electronics: touchscreen technology
 - Technology: touchscreen interfaces developed in the 1960s by researchers at the University of Kentucky and later refined by CERN and Bell Labs.
 - Transfer process:
 - Academic research transitioned to commercial use via licensing to companies like IBM and Apple.
 - Further innovation by private companies for integration into smartphones and tablets.
 - Outcome: the ubiquity of touchscreens in devices such as iPhones, iPads, and ATMs.
- Space exploration: satellite technology for earth applications
 - Technology: satellite imaging and remote sensing technologies developed by NASA.
 - Transfer process: technologies transferred to private companies and agencies for applications like weather forecasting, agriculture monitoring, and disaster management.
 - Outcome: commercial satellite services such as GPS, earth imaging, and broadband connectivity.
- Automotive: electric vehicle batteries
 - Technology: lithium-ion batteries originally developed in the 1970s by researchers at Exxon and later refined by Sony.



- Transfer process:
 - The technology transitioned to electric vehicle (EV) manufacturers like Tesla and General Motors.
 - Government incentives accelerated EV adoption and charging infrastructure development.
- Outcome: significant growth in the EV market, reducing dependence on fossil fuels.

These examples highlight how diverse stakeholders, i.e. research institutions, governments, and private companies, collaborate in the technology transfer process to bring innovations to market. The examples also show the transformative potential of technology transfer when executed effectively.

6. Artificial intelligence in knowledge management and technology transfer

Artificial intelligence (AI) is a branch of computer science that focuses on creating systems capable of mimicking human intelligence. At its core, AI works by analyzing large sets of data, identifying patterns, and learning from them to make predictions, decisions, or even generate new content. This is often done through machine learning, where algorithms improve over time based on the data they process, and deep learning, which uses complex neural networks inspired by the human brain. For example, an AI might be trained on thousands of images to recognize faces, or on years of financial data to forecast market trends. Thanks to advances in computing power and the vast availability of data, today's AI systems can perform tasks that once seemed purely human, like understanding language, recognizing emotions, or even holding a conversation.

What makes modern AI especially powerful is its ability to adapt. Rather than relying on fixed rules, AI can respond to new inputs, learn from outcomes, and improve its performance over time. In practical terms, this means AI can assist in diagnosing medical conditions, driving cars, recommending products, detecting fraud, or translating languages with increasing accuracy. The more it learns, the better it gets. And because AI doesn't tire, forget, or get overwhelmed by information overload, it can be an invaluable support in fast-paced environments where decisions need to be made quickly and accurately.

However, as with any powerful tool, AI comes with risks. Its decisions are only as good as the data it's trained on and that data can be biased, incomplete, or misunderstood. An AI



system trained on historical hiring practices might unknowingly reinforce discrimination. A chatbot might spread misinformation if it's fed unreliable sources. There's also the risk of over-reliance: when people begin to trust AI without understanding how it works or questioning its outputs, mistakes can go unnoticed until they cause real harm. The black-box nature of many AI systems makes it difficult to explain how a decision was made, which can be dangerous in high-stakes environments like healthcare, finance, or law enforcement.

We live in a time where knowledge is everything, but there's often too much of it and not enough time to find what matters. That's where AI-powered knowledge management comes in. Instead of just archiving files and documents, knowledge management today is about making sure people can actually find, understand, and use the knowledge they need when they need it. AI can pull information from different sources, highlight patterns, and even predict what might be useful based on what someone is working on. It can turn scattered data into clear insights, saving time and reducing frustration. For employees, this means fewer dead ends and more support for making informed decisions.

But AI in knowledge management isn't just about efficiency. It's about helping people do their best work. Good knowledge management needs to feel intuitive, trustworthy, and human-centered. People still want to understand where information comes from, why it matters, and how to apply it in their specific context. That's why transparency, ethics, and human oversight are more important than ever. AI should enhance human judgment, not replace it and when done right, it does exactly that. It helps people learn from each other, avoid repeated mistakes, and build on what others have done before.

One area where this is making a big difference is in technology transfer the process of turning research and innovation into real-world products and solutions. Whether it's a university lab developing a new material or a startup creating a medical breakthrough, getting ideas into the hands of people who can use them is a complex process. AI can help by finding connections that humans might miss like matching a research project with an industry partner, or spotting a funding opportunity based on trends in related fields. In today's fast-moving world, where collaboration across sectors is key and timing is everything, these tools help bring ideas to life faster and more effectively (Russell, Norvig, 2022).

At the heart of all this lies the DIKW pyramid: Data, Information, Knowledge, Wisdom. AI excels at handling data and transforming it into information – structured, searchable, and sortable. Through AI-enhanced knowledge management, that information becomes knowledge:



contextual, meaningful, and actionable. But wisdom, the ability to make sound judgments and ethical decisions, still rests with people. That final step in the pyramid requires human reflection, values, and experience. As we integrate AI more deeply into knowledge management and technology transfer, it becomes clear that success doesn't come from technology alone, it comes from the thoughtful combination of intelligent systems and human insight.

To sum up, AI offers powerful tools to manage knowledge, accelerate innovation, and support collaboration across disciplines. It helps make sense of complexity, connects ideas with action, and turns potential into progress. But the human role remains essential. We must shape these tools with care, remain aware of their limitations, and ensure that they serve the greater good. Knowledge has always been power, but in the AI era, the real power lies in how we choose to use it.

Bibliography

- Ackoff, R.L., From Data to Wisdom. *Journal of Applied Systems Analysis*. 1989, vol. 16, pp. 3-9.
- Bellinger G., Castro D., Mills A., Data, Information, Knowledge, and Wisdom. Retrieved from: <http://www.systems-thinking.org/dikw/dikw.htm> (access: 27.10.2021).
- Bollier D., *The promise and Peril of Big Data*. Washington 2010.
- boyd d., Crawford K., Critical Questions for Big Data: Provocations for a Cultural, Technological, and Scholarly Phenomenon. *Information, Communication & Society*, 2012, vol. 15, issue 5, pp. 662-679.
- Burr, C., Floridi, L. (2020). *The Ethics of Digital Well-Being: A Multidisciplinary Perspective*. Springer.
- Castells M., *Społeczeństwo sieci*. Warszawa 2013.
- Davenport T.H., Prusak L., *Working Knowledge: How Organizations Manage What They Know*. Harvard 1998.
- EC, Special Eurobarometer 431: Data Protection. 2015.
- EC, The EU Data Protection Reform and Big Data: Factsheet. Retrieved from: http://ec.europa.eu/justice/data-protection/files/data-protection-big-data_factsheet_web_en.pdf (access: 28.10.2021).
- Eliot T.S., *Collected Poems 1909-1962*. Orlando 1991.



- Eppler M.J., Mengis J., The Concept of Information Overload - A Review of Literature from Organization Science, Accounting, Marketing, MIS, and Related Disciplines. The Information Society: An International Journal. 2004, no. 20(5), pp. 1–20.
- Frost A., Knowledge Management Tools. Retrieved from: <https://www.knowledge-management-tools.net/knowledge-management.html> (access: 28.10.2021).
- Hey J., The Data, Information, Knowledge, Wisdom Chain: The Metaphorical Link. 2004. Retrieved from: <http://www.dataschemata.com/uploads/7/4/8/7/7487334/dikwchain.pdf> (access: 28.10.2021).
- Hill K., How Target Figured Out a Teen Girl Was Pregnant Before Her Father Did. Forbes 2012-02-16. Retrieved from: <http://www.forbes.com/sites/kashmirhill/2012/02/16/how-target-figured-out-a-teen-girl-was-pregnant-before-her-father-did/> (access: 27.10.2021).
- Hitzler P., Janowicz K., Linked Data, Big Data, and the 4th Paradigm. Semantic Web. 2013, no. 4(3), pp. 233-235.
- ICIE, International Centre for Information Ethics. Retrieved from: <http://https://icie.ibict.br/> (access: 13.12.2024).
- IDC, The Digital Universe of Opportunities: Rich Data and the Increasing Value of the Internet of Things. Retrieved from: <https://www.emc.com/collateral/analyst-reports/idc-digital-universe-2014.pdf> (access: 25.10.2021).
- Jewell D. et al., Performance and capacity implications for big data. IBM Redbooks 2014. Retrieved from: <http://www.redbooks.ibm.com/redpapers/pdfs/redp5070.pdf> (access: 27.10.2021).
- Kisielnicki J., Sroka H., Systemy informacyjne biznesu: informatyka dla zarządzania. Warszawa 2005.
- Leonard-Barton D., Wellsprings of Knowledge: Building and Sustaining the Sources of Innovation. Harvard Business School Press, Harvard, 1998.
- Manovich L., Trending: the promises and the challenges of big social data. In: Debates in the Digital Humanities, ed. M.K. Gold, Minneapolis 2011.
- Marr B., The 5 Scariest Ways Big Data is Used Today. Retrieved from: <http://data-informed.com/the-5-scariest-ways-big-data-is-used-today/> (access: 21.10.2021).
- Materska K., Informacja w organizacjach społeczeństwa wiedzy. Warszawa 2007



- McKinsey Global Institute, Big Data: the Next Frontier for Innovation, Competition, and Productivity. Retrieved from: http://www.mckinsey.com/insights/business_technology/big_data_the_next_frontier_for_innovation (access: 27.10.2021).
- Nadolny M., Data Economy – gospodarka oparta na danych. Warszawa 2012.
- Nonaka I., Takeuchi H., Kreowanie wiedzy w organizacji: jak spółki japońskie dynamizują procesy innowacyjne. Poltext, Warszawa 2000.
- OECD, Knowledge Management in the Learning Society. Paris 2000.
- Robertson T.D., The Data/Information/Knowledge/Wisdom Hierarchy Goes to Seminary. Advances in the Study of Information and Religion. 2013, vol. 3, article 7.
- Rowley J., The Wisdom Hierarchy: Representations of the DIKW Hierarchy. Journal of Information Science. 2007, no. 33, pp. 163-180.
- Ruff J., Information Overload: Causes, Symptoms and Solutions. Harvard Graduate School of Education. 2002, pp. 1-13.
- Russell, S., Norvig, P. (2020). Artificial Intelligence: A Modern Approach. Hoboken: Pearson.
- Stefanowicz B., Informacja, wiedza, mądrość. Warszawa 2013.
- Wang, J., Kim, E. (2023). The Development and Validation of an Instrument to Collaborative Teaching Assessment under the Impact of COVID-19 through the SECI Model. Sustainability 2023, 15(12), 9540; <https://doi.org/10.3390/su15129540> (access: 4.06.2025).
- Wright, A. (2024). Revelations in the Global DataSphere. 2024: Key Trends and Takeaways. Retrieved from: <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=US52269924> (access: 13.12.2024).
- Zeleny M., Management support systems: towards integrated knowledge management. Human Systems Management. 1987, no. 7, pp. 59-70.
- Zikopoulos P.C. et al., Understanding Big Data: Analytics for Enterprise Class Hadoop and Streaming Data. New York 2012.
- Zwolenski, M., Weatherill, L. (2020). The Digital Universe: Rich Data and the Increasing Value of the Internet of Things. Journal of Telecommunications and the Digital Economy, 2, 9.