

Andrzej URBANIAK

INSTYTUT INFORMATYKI
POLITECHNIKA POZNAŃSKA

KSZTAŁCENIE W ZAKRESIE AUTOMATYKI I INFORMATYKI NA KIERUNKU INŻYNIERIA ŚRODOWISKA – KONCEPCJA I DOŚWIADCZENIA

EDUCATION IN THE FIELD OF CONTROL ENGINEERING
AND COMPUTER SCIENCE ON ENVIRONMENTAL
ENGINEERING COURSE – CONCEPT AND EXPERIENCE

The paper presents the concept of subjects related to IT issues developed for the course of environmental engineering and implemented since the 1990s at the Poznan University of Technology. The evolution of the subjects' scope being carried out and the variety of presentation forms of this difficult content for a group of students were pointed out. The conclusions gathered may indicate modernization of teaching programs in the fields related to environmental engineering.

1. Wprowadzenie

Niezwykłe intensywne rozwój dyscyplin związanych z technologiami informacyjnymi (ang. *IT – Information Technology*) powoduje coraz szersze ich zastosowania we wszystkich tradycyjnych dyscyplinach technicznych takich jak mechanika, energetyka, inżynieria środowiska czy budownictwo. Na tym gruncie rodzą się również nowe dyscypliny. Klasycznym przykładem może być mechatronika jako dyscyplina, która integruje wiedzę z zakresu mechaniki, elektroniki, automatyki i informatyki. Zjawiska te wymuszają konieczność zmiany podejścia do kształcenia inżynierskiego, w którym oprócz rzetelnej wiedzy z wybranego kierunku studiów, nie może zabraknąć podstawowej wiedzy z zakresu dyscyplin związanych z IT. Zasadnicze pytania, na które należy udzielić odpowiedzi dotyczą zakresu materiału i sposobu jego efektywnej prezentacji.

Problematyka wykorzystania nowoczesnych narzędzi i metod z zakresu automatyki i informatyki w różnych dyscyplinach wiedzy i techniki jest przedmiotem wielu prac i hasłem wielu konferencji naukowych i naukowo-technicznych. Również na polskim gruncie, Polski Związek Inżynierów i Techników Sanitarnych wspólnie z Politechniką Poznańską organizował od 1994 r. cykl konferencji pod wspólnym hasłem „Komputer w ochronie środowiska”. Tematy wiodące tych konferencji dotyczyły problematyki wdrażania metod informatycznych do praktyki inżynierii środowiska [2,3,14]. Wydawane przy tej okazji materiały stanowią ciekawy obraz problemów rozpatrywanych w okresie ostatnich prawie 25 lat. Próba syntetycznej oceny rozwoju systemów wodociągowych i kanalizacyjnych w Polsce jest obszerna monografia wydana przez Polską Fundację Zasobów Wodnych, w której tradycja przeplata się z nowoczesnością [1]. Pozostaje otwarte pytanie, na ile współczesne kształcenie na kierunku inżynieria środowiska odpowiada na nowe wyzwania jakie stawia inżynierom tej specjalności praktyka projektowa i eksploatacyjna. Próbę odpowiedzi na to pytanie podjęto w poniższym tekście.

2. Integracja dyscyplin jako współczesny wyróżnik kształcenia

2.1. Dyscypliny podstawowe w kształceniu inżynierskim

Współczesne systemy kształcenia w naukach technicznych ukierunkowane są na ściśle powiązania z badaniami stosowanymi i działalnością przemysłu. W instytutach badawczych i uczelniach istnieje pełna świadomość faktu, iż nie ma rozwoju nauki i dalej możliwości jej zastosowań bez rozwoju badań w dyscyplinach podstawowych. Stąd też niezwykle istotna jest dbałość o rozwój dyscyplin podstawowych i skuteczne systemy finansowania takich badań mimo iż na tym poziomie, nie zawsze widoczne są perspektywy ewentualnych zastosowań. Silne naciski na aplikacyjny charakter badań i kształcenia płynące głównie z przemysłu prowadzą nierzadko do skrajności w tworzeniu programów kształcenia ukierunkowanych na umiejętności czysto praktyczne przy nadmiernym ograniczeniu treści teoretycznych. O ile na poziomie średniego kształcenia technicznego jest to uzasadnione, o tyle przeniesienie takiego rozwiązania na poziom inżynierski odbywa się ze szkodą dla twórczych zadań jakie winien podejmować współczesny inżynier. Konsekwencją takiego podejścia jest zatem zmniejszenie kreatywności inżyniera, a dalszej perspektywie dewaluacja kształcenia akademickiego.

2.2. Integracja dyscyplin

Aktualnie w kraju trwa dyskusja związana z tworzeniem nowej klasyfikacji dyscyplin naukowych. Ma on na celu uporządkowanie klasyfikacji oraz zdecydowane ograniczenie rozdrobnienia dyscyplin naukowych, które w Polsce przybrało nieznaną w skali europejskiej rozmiary (aktualna klasyfikacja obejmuje 8 obszarów, 22 dziedziny i 102 dyscypliny). Opierając się na klasyfikacji Organizacji Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (ang. *OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development*) można zauważyć wyróżnienie nauk interdyscyplinarnych, tworzonych na bazie dwóch różnych tradycyjnych dyscyplin np. biochemia, biotechnologia, geofizyka, inżynieria rolnicza, biologia medyczna.

W tej grupie wymienia się również informatykę [16]. Tych kilka przykładów ukazuje wyraźny brak jasnego kryterium klasyfikacyjnego.

Innym zmiennym wyróżnikiem współczesnej nauki jest wykorzystanie metod wypracowanych w jednej dyscyplinie do rozwiązywania zadań w innej dyscyplinie nauki. Wśród tych dyscyplin szczególnie miejsce zajmują badania operacyjne, które uważa się za część teorii decyzji [5]. Wykorzystanie metod badań operacyjnych jest zatem w pełni uzasadnione przede wszystkim w naukach o zarządzaniu, które w sposób naturalny związane są z systemami wspomagania decyzji. Metody badań operacyjnych, a w szczególności teoria i metody optymalizacji pozwalają na formułowanie i rozwiązanie problemów decyzyjnych o charakterze statycznym (problemy planistyczne, inwestycyjne, projektowe) oraz dynamicznym (problemy sterowania) [5,13]. Niezwykła różnorodność metod optymalizacji statycznej i dynamicznej pozwala na dobór najlepszej metody rozwiązania problemu biorąc pod uwagę specyfikę i matematyczną postać sformułowanego problemu [5]. Wśród opracowanych metod optymalizacji są również i takie, które pozwalają uwzględnić niepewność i niedokładność danych opisujących problem, co w sytuacjach praktycznych jest bardzo często spotykane.

Powyższe uwagi wskazują na fakt, iż współczesne problemy występujące w różnych dziedzinach nauk inżynierskich nie mogą być rozpatrywane tylko w zakresie danej wiedzy dziedzinowej. Efektywne rozwiązania wymagają wykorzystania metod i narzędzi różnych powiązanych ze sobą dyscyplin. Spośród różnych występujących powiązań na szczególną uwagę zasługuje niewątpliwie związek dyscypliny inżynieria środowiska z teorią sterowania i regulacji oraz informatyką.

3. Koncepcje kształcenia w zakresie inżynierii środowiska

Aktualnie obowiązujące rozporządzenia Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego oraz wymagania Polskiej Komisji Akredytacyjnej określają sposób opisu programów kształcenia na uczelniach na trzech wyróżnionych stopniach studiów: stopień I – studia licencjackie lub inżynierskie, stopień II – studia magisterskie oraz stopień III – studia doktoranckie. Inżynieria środowiska umieszczona jest w obszarze nauk technicznych (nauki inżynieryjne) zatem kształcenie na I stopniu studiów winno zakończyć się uzyskaniem tytułu zawodowego inżyniera natomiast ukończenie II stopnia studiów daje tytuł magistra inżyniera. Wprowadzenie studiów dwustopniowych miało w założeniu ułatwić porównywalność dyplomów w ramach Unii Europejskiej oraz zwiększyć możliwości bardziej elastycznego kształtowania kariery zawodowej absolwenta (ukończenie studiów I stopnia pozwala na kontynuację studiów II stopnia na dowolnie wybranym kierunku studiów).

Koncepcja kształcenia na wybranym kierunku studiów wymaga między innymi opracowania planu studiów wraz z wykazem realizowanych przedmiotów w poszczególnych semestrach. W ramach opisu przedmiotu należy zdefiniować: nazwę przedmiotu, rodzaj zajęć (wykład, ćwiczenia, laboratoria, projekty) wraz z wymiarem godzinowym oraz tzw. punkty ECTS – (ang. *Education Credit Transfer System*). Studiowanie na kierunkach technicznych (inżynierskich) wymaga przede wszystkim wiedzy z przedmiotów podstawowych. Dla kierunku inżynieria środowiska są to: matematyka, chemia i fizyka.

Należy założyć, że kandydaci podejmujący studia inżynierskie posiadają określoną wiedzę w tym zakresie ponieważ stanowi ona bazę do poszerzenia wiedzy z tego zakresu oraz rozumienia treści przedmiotów kierunkowych.

Główną grupę przedmiotów w programie studiów stanowią przedmioty kierunkowe związane z inżynierią środowiska obejmujące m.in. technologię wody i ścieków, gospodarkę odpadami, instalacje różnego typu, gazownictwo, ogrzewnictwo i wentylację [15]. Wybór tych przedmiotów i ich zakres stanowi pewien kanon kształcenia w inżynierii środowiska i wynika z przyjętego profilu studiów. Uczelnie akademickie mają w tym względzie pełną autonomię zarówno co do wyboru przedmiotów i rodzaju zajęć, zakresu treści oraz wymiaru godzin. Oznacza to, że programy kształcenia na poszczególnych uczelniach mogą się różnić w sposób dość znaczny. Stwarza to dodatkowe walory dla kandydatów przy wyborze kierunku studiów.

Intensywny rozwój technologiczny związany z produkcją nowoczesnych urządzeń związany jest również z dążeniem do coraz większego stopnia automatyzacji urządzeń z zastosowaniem układów mikroelektronicznych. W wielu rozwiązaniach wykorzystuje się podejście mechatroniczne charakteryzujące się zintegrowanym zastosowaniem układów mechaniki, elektroniki i informatyki. Nasycenie nowoczesnych urządzeń złożonymi układami mikroelektronicznymi wymaga uwzględnienia w programach studiów podstawowych treści związanych z elektroniką, automatyką i informatyką. Realizacja tego postulatu jest możliwa na dwa sposoby. Pierwszy polega na uzupełnieniu treści przedmiotów kierunkowych elementami automatyki (A), elektroniki (E) i informatyki (I). Drugi sposób polega na wprowadzeniu do programu studiów podstaw z zakresu wyżej wymienionych przedmiotów, z wyraźnym ukierunkowaniem treści na zastosowania w inżynierii środowiska. Można wskazać na zalety i wady obu podejść, a wybór winien być podyktowany doświadczeniem realizacji danego podejścia oraz oceną absolwentów studiów.

W tabeli 1 zebrano uwagi dotyczące obu możliwych podejść. Analiza wyróżnionych cech poszczególnych podejść do realizacji treści AEI pozwala wysnuć wniosek, że wybór danego podejścia winien uwzględniać docelowe przygotowanie studentów do pracy zawodowej. Uprofilowanie kształcenia na istniejące rozwiązania może stanowić istotny argument w przypadku studentów pracujących, mających styczność z omawianymi urządzeniami (np. studiujących na studiach niestacjonarnych) natomiast podejście 2 daje możliwość szerszego wyboru dalszej drogi zawodowej bez przywiązania do aktualnie spotykanych rozwiązań.

4. Struktura kształcenia w zakresie AEI na kierunku inżynierii środowiska

Kierunek inżynierii środowiska (wcześniej pod nazwą: inżynierii sanitarnej) w Politechnice Poznańskiej realizowany jest w ramach Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska. W roku 2015 obchodzony był uroczysty Jubileusz 70-lecia kształcenia na tym wydziale, natomiast kształcenie na kierunku inżynierii sanitarnej rozpoczęto w 1964 roku [4]. Już w latach 70-tych realizowano przedmiot pod nazwą Instalacje elektryczne obejmujący podstawowe pojęcia z zakresu elektrotechniki, układów zasilania w energię elektryczną oraz elementy maszyn elektrycznych. W latach 80-tych do programu studiów wprowadzono przedmiot: Automatykacja w inżynierii sanitarnej.

Treści przedmiotu obejmowały podstawy teorii sterowania i regulacji, urządzenia i elementy automatyki (regulatory i urządzenia pomiarowe) oraz przykładowe rozwiązania układów sterowania w obiektach systemu zaopatrzenia w wodę i oczyszczania ścieków oraz w systemach ogrzewania i wentylacji. W roku 1985 został przygotowany skrypt dla studentów kierunku inżynieria sanitarna pt.: Automatykacja w inżynierii sanitarnej, który doczekał się kilku wydań [11].

Tabela 1. Porównanie koncepcji kształcenia w zakresie automatyki, elektroniki i informatyki (AEI) na kierunku inżynieria środowiska

Table 1. The comparison of education conceptions in the field of control engineering, electronics and computer science (AEI) on environmental engineering course

Charakterystyka koncepcji kształcenia w zakresie AEI	Podejście 1 (treści realizowane w ramach przedmiotów kierunkowych)	Podejście 2 (treści realizowane w ramach odrębnych przedmiotów)
Poziom wymaganej wiedzy z przedmiotów podstawowych	Znaczny	Zdecydowanie większy
Poziom wymaganej wiedzy wstępnej z zakresu AEI	Znaczny	Niewielki
Poziom uogólnienia wiedzy	Mały	Duży
Trudność przyswojenia wiedzy	Średnia	Duża
Aktualność treści	Ukierunkowanie na aktualne rozwiązania	Ogólne reguły stosowanych rozwiązań
Możliwości realizacji kształcenia	Uwarunkowana wiedzą wykładowcy przedmiotu	Przygotowane przez specjalistów z zakresu AEI
Przygotowanie do pracy zawodowej	Uprofilowane (wąskie)	Uniwersalne (szerokie)
Wykorzystanie nowych rozwiązań	Utrudnione	Ułatwione
Komunikacja ze służbami AEI	Niełatwa	Ułatwiona

W aktualnej strukturze programu studiów zaproponowano trzy przedmioty podejmujące omawiane treści: dwa z nich realizowane są na I stopniu studiów (inżynierskim) oraz jeden na stopniu II – magisterskim [15]. Ogólną strukturę modułów kształcenia, ich rodzaj, wymiar godzinowy oraz zakres treści przedstawiono w Tabeli 2. W uzupełnieniu należy również wziąć pod uwagę obligatoryjny przedmiot obejmujący podstawowe treści związane z wykorzystaniem komputerów (Technologie informacyjne) realizowany na wszystkich kierunkach inżynierskich, najczęściej w I semestrze studiów. Z wybranymi elementami programowania oraz podstawami grafiki komputerowej zapoznają się studenci na zajęciach z komputerowego wspomaganie projektowania [15].

Treści przedmiotów zestawione w Tabeli 2 zawierają pewien kanon, jednakże wymagają sukcesywnego dostosowywania do zmieniających się wymagań stawianych przez praktykę inżynierską. Stąd też już w przedmiocie inżynieria elektryczna pojawiają się elementy elektroniki, automatyki i informatyki [10]. Pomocą dla studentów jest specjalistyczny, nowoczesnie opracowany podręcznik, przygotowany we współpracy wykładowców z zakresu inżynierii środowiska i inżynierii elektrycznej [6]. Zawarte w nim treści zdecydowanie wykraczają poza zakres realizowanego przedmiotu i pozwalają na znaczne rozszerzenie i ukierunkowanie wiedzy.

Może on również stanowić pomocniczy element przy wyborze specjalności na II stopniu studiów.

4.1. Studia inżynierskie

Przygotowanie do efektywnego rozumienia i wykorzystania nowoczesnych rozwiązań z zakresu automatyki, stosowanych w inżynierii środowiska, odbywa się w ramach przedmiotu: Elementy automatyki¹. Zakres treściowy przedmiotu zmieniał się w czasie realizacji. Z jednej strony założono pewien podstawowy zakres treści lecz z drugiej strony intensywny rozwój metod i narzędzi automatyki, uwarunkowany głównie rozwojem informatyki, wymuszał ciągłą aktualizację treści przedmiotu.

Nadrzędnym celem realizacji całego cyklu przedmiotów, a w szczególności przedmiotu elementy automatyki jest umożliwienie merytorycznej komunikacji między technologami (specjalistami z zakresu inżynierii środowiska) a automatykami i informatykami. Każda z wymienionych wyżej dyscyplin posługuje się własnymi specjalistycznymi pojęciami, używa języka pełnego skrótów w pełni jednoznacznych jedynie w ramach danej dyscypliny mających często znaczenie różniące się od powszechnego (popularnego) rozumienia. Realizacja rozpatrywanego pakietu przedmiotów wymaga zatem dużej dbałości o jednoznaczność stosowanych pojęć na wszystkich formach zajęć. Przekłada się to również na język opracowanych materiałów do studiowania omawianych przedmiotów oraz wybór przykładów obliczeniowych i opracowań pomocniczych do laboratoriów [8,12]. W realizacji przedmiotu Elementy automatyki, wprowadzono w ramach wykładu starannie dobrane przykłady obliczeniowe ilustrujące omawiane treści. Ten element wydaje się niezbędnym w celu uzasadnienia materiału teoretycznego prezentowanego na wykładach.

Pierwszy fragment wykładu, obejmujący minimum treści teoretycznych dotyczących układów przełączających, umożliwił uzyskanie przez studentów umiejętności syntezy prostego układu sterowania. Można zatem na tej podstawie zaprezentować cały proces projektowania układu przełączającego, począwszy od sformułowania opisu funkcjonalnego układu, poprzez zapis funkcji przełączającej i jej minimalizację, aż do realizacji logicznej na elementach w wybranym systemie funkcjonalnie pełnym.

Ten element jest również rozwijany w ramach zajęć laboratoryjnych. Można zaobserwować bardzo pozytywne reakcje studentów, które moim zdaniem uświadamiają im, że wiedza z zakresu automatyki i sterowania nie jest dostępna tylko dla wybranego grona specjalistów. W podstawowej formie również studenci kierunków niezwiązanych bezpośrednio z automatyką mogą z powodzeniem opisać i zaprojektować prosty układ przełączający np. sterujący pompą zasilającą hydrofor (typu załącz-wyłącz) z czujnikami poziomu i ciśnienia.

1 Należy w tym miejscu doprecyzować pojęcie „elementy”. Automatycy kojarzą je jednoznacznie z urządzeniami stosowanymi w układach regulacji i sterowania, tzn. z regulatorami, urządzeniami pomiarowymi oraz urządzeniami wykonawczymi.

W tym przypadku pod pojęciem elementów rozumie się podstawowe (elementarne) treści związane z automatyką. Często zatem przedmiot w programach studiów innych uczelni nosi nazwę: Podstawy automatyki.

Tabela 2. Struktura kształcenia w zakresie automatyki, elektroniki i informatyki na kierunku inżynieria środowiska [15]

Table 2. The education structure in the field of control engineering, electronics and computer science (AEI) on environmental engineering course

Nazwa modułu kształcenia (przedmiot)	Miejsce w programie studiów, wymiar godzin, punkty ECTS	Główne treści
Inżynieria elektryczna	I stopień studiów sem. 5; W-30h; Ćw- 15h; 3 ECTS	Struktura zasilania energią elektryczną obiektów Prąd elektryczny: stały, przemienny, jednofazowy i trójfazowy Rodzaje i budowa instalacji Odbiorniki energii elektrycznej: silniki, grzejniki, źródła światła Prostowniki, falowniki: regulacja prędkości obrotowej silników Elementy projektowania instalacji elektrycznych Zabezpieczenia: dobór i koordynacja Ochrona: przeciwporażeniowa, odgromowa, przepięciowa Pomiary elektryczne Bezpieczna eksploatacja urządzeń elektrycznych
Elementy automatyki	I stopień studiów Sem.6; W-30h; Lab-15h; 3 ECTS	Automatyka i sterowanie – pojęcia podstawowe Układy przełączające Liniiowe układy automatycznej regulacji Opis dynamiki obiektów Podstawowe charakterystyki układów sterowania Podstawowe czony układów sterowania Schematy blokowe Stabilność Układów regulacji Jakość układów regulacji Nieliniowe układy automatycznej regulacji Elementy i urządzenia automatyki Regulatory i sterowniki mikroprocesorowe Elementy pomiarowe Podstawy komputerowych systemów sterowania
Automatyka i sterowanie w inżynierii środowiska	II stopień studiów Sem.1; W-30h; Lab-15h; 3 ECTS	Modelowanie procesów – cele, metody, narzędzia, korzyści Monitorowanie procesów w inżynierii środowiska Nowoczesne sterowanie – systemy typu SCADA: struktury i oprogramowanie Przykłady rozwiązań w systemach zaopatrzenia w wodę i oczyszczania ścieków Przykłady rozwiązań w ogrzewnictwie i wentylacji Systemy inteligentnych obiektów Metody optymalizacji w inżynierii środowiska (formułowanie problemów, charakterystyka metod)

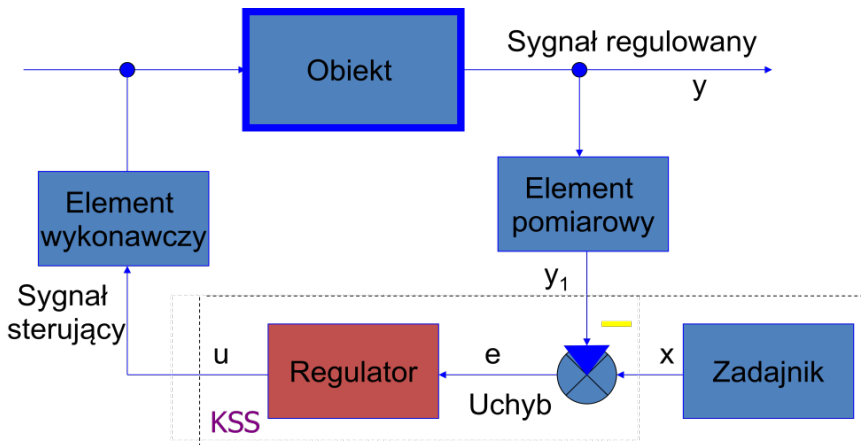
Część materiału dotycząca liniowych układów automatycznej regulacji stanowi najtrudniejszy fragment wykładu, ponieważ wymaga innego spojrzenia na objekty i procesy, które mają być poddane sterowaniu. Technolog, opisując proces, skupia swoją uwagę na produkcie, jaki uzyskuje się realizując dany proces. Zwraca uwagę na jego ilość i jakość – to jest jego zasadnicze zadanie. Inaczej proces postrzega automatyk, ponieważ interesuje go dynamika procesu – jego charakterystyka w funkcji czasu. Upraszczając powyższe uwagi można stwierdzić, że technolog skupia się na tym „co jest produkowane”, a automatyka interesuje odpowiedź na pytanie „**jak** przebiega proces”. Nie są to oczywiście rozłączne zbiory informacji i stąd tak ważny postulat umiejętności efektywnej komunikacji technologa z automatykiem. Metody i techniki stosowane w automatyce mogą być wykorzystywane w różnych dziedzinach, stąd też często określa się teorię sterowania jako naukę systemową. Fakt ten można zobrazować poprzez tzw. analogie elektryczno- mechaniczne. Tabela analogii pozwala zauważyć prawa fizyczne, których postać jest analogiczna w różnych układach, a tym samym można wskazać objekty analogiczne z punktu widzenia dynamiki procesów (np. kondensator – zbiornik, indukcyjność – masa, rezystancja – opór hydrauliczny, itp.) [12]. Z drugiej strony łatwo zauważyć, że o ile dla przypadku układów elektrycznych i mechaniki ciała stałego (ruch postępowy i obrotowy) analogie są bardzo wyraźne, o tyle dla układów mechaniki płynów konieczna jest modyfikacja zależności uwzględniająca właściwości płynów (m.in. lepkość, ściśliwość). W takich przypadkach w równaniach pojawiają się już zależności nieliniowe – co powoduje konieczność zastosowania bardziej złożonych, nieliniowych metod analizy układów. Innym rozwiązaniem, niestety nie zawsze możliwym, jest linearyzacja zależności nieliniowych [12]. W odniesieniu do układów hydraulicznych i pneumatycznych jest to często stosowane podejście, stąd też w programie przedmiotu wprowadzono treści związane z linearyzacją równań nieliniowych wykorzystując rozwinięcie funkcji nieliniowych w szereg Taylora i uwzględniając do dalszej analizy jedynie część liniową tego rozwinięcia w otoczeniu wybranego punktu.

Do opisu obiektów regulacji wykorzystano opis w dziedzinie zmiennej czasu (odpowiadający mu opis operatorowy) oraz w dziedzinie zmiennej częstotliwościowej (odpowiadający mu opis na płaszczyźnie zmiennej zespolonej). Zdefiniowano charakterystyki czasowe (impulsową i skokową) oraz w dziedzinie częstotliwości charakterystyki: amplitudową, fazową (również w wersji logarytmicznej) oraz amplitudowo-fazową na płaszczyźnie zmiennej zespolonej. W kolejnych partiach wykładu omawia się podstawowe człony dynamiczne układów sterowania wyróżniając człony proporcjonalne, całkujące i różniczkujące zarówno idealne oraz z inercją (tzw. człony rzeczywiste). Do pełnego zestawu dodaje się również człon opóźniający jako element charakteryzujący każdy rzeczywisty obiekt. Przyjęto pewien schemat prezentacji każdego członu według kolejności: równanie dynamiki (wyrażone w formie równania w funkcji czasu lub transmitancji operatorowej), charakterystyka skokowa, charakterystyka amplitudowo-fazowa, oznaczenie na schematach i przykład obiektu (procesu) odpowiadającego danej dynamice. W tej części wykorzystuje się przekształcenie Laplace’a i dla pełnego zrozumienia tej formy opisu warto jeden wykład poświęcić na przypomnienie podstawowych definicji i właściwości tej transformacji. Duży ładunek teoretycznych treści w tej części wykładu, obejmujący wiele różnych dyscyplin nauki (równania różniczkowe, transformacja Laplace’a, charakterystyki czasowe, częstotliwościowe, skale liniowe i logarytmiczne) generuje spore trudności w percepcji tych treści. Niezwykle ważne jest umiejętne wyważenie niezbędnych podstaw teoretycznych i wskazanie praktycznych implikacji omawianych zależności teoretycznych.

W kolejnych częściach wykładu omawiane są problemy prezentacji układów w formie schematów blokowych, podstawowe zasady ich przekształcania oraz problemy stabilności i jakości układów regulacji.

Omówione powyżej kluczowe idee realizacji treści w części opisanej jako liniowe układy automatycznej regulacji mają w założeniu zilustrować problemy regulacji obiektów, które można opisać za pomocą zależności liniowych. W odniesieniu do nieliniowych obiektów prezentuje się jedynie, w sposób sygnałny, wybrane dwie metody: funkcji opisywającej oraz płaszczyzny fazowej.

Kolejny ważny blok tematyczny obejmuje prezentacje głównych urządzeń wykorzystywanych do realizacji układów sterowania i regulacji [11,12]. Na rys. 1 przedstawiono schemat układu regulacji z wyszczególnieniem wszystkich jego elementów. Opis poszczególnych elementów automatyki został ograniczony do regulatorów, sterowników mikroprocesorowych i elementów pomiarowych, ze względu na ich „uniwersalny” charakter w tym sensie, że mogą one być stosowane nie tylko w inżynierii środowiska, ale również w układach regulacji innych obiektów i procesów. Pominięto zatem omawianie elementów wykonawczych specyficznych dla inżynierii środowiska takich jak: pompy i wentylatory, sterowane zawory i przepustnice, dozowniki reagentów itp. Urządzenia te są omawiane szczegółowo w ramach przedmiotów kierunkowych i często wypełniają zakres oddzielnego przedmiotu.



Rys. 1. Schemat układu regulacji (KSS – Komputerowy System Sterowania) [12]

Fig.1. The scheme of control system (KSS – Computer Control System) [12]

Regulatory traktuje się jako elementy układu regulacji, które podlegają ustalonym zasadom doboru w zależności od charakterystyk obiektu regulacji. Dobór regulatora obejmuje trzy etapy: wybór rodzaju regulatora, typu oraz dobór nastaw. Wybór rodzaju **regulatora** dokonywany jest spośród trzech podstawowych klas:

- regulatory dwu- lub trójpołożeniowe,
- **regulatory ciągle**,
- regulatory dyskretne.

W tym celu należy dokonać pewnego uproszczenia charakterystyki skokowej obiektu wyznaczając dwie wielkości: opóźnienie T_0 oraz zastępczą stałą inercji T .

Regulatory dwu- lub trójpołożeniowe, chociaż niezwykle popularne, wymagają złożonych metod analizy bowiem należy je zaliczyć do kategorii układów nieliniowych [12]. Prosty przykład analizy układu regulacji z regulatorem dwupołożeniowym zamieszczony jest w podręczniku, lecz zwykle nie wystarcza czasu na jego szczegółową analizę [12]. Ogranicza się zatem jego omawianie jedynie do intuicyjnego przebiegu wielkości wyjściowej z prezentacją podstawowych wskaźników jakości regulacji.

Kontynuując główny nurt przedmiotu ukazujący cały proces tworzenia układu regulacji liniowej, główny nacisk położono na liniowe regulatory ciągle. Stanowią one klasyczny sposób podejścia stosowany powszechnie i sprawdzony dydaktycznie. Omawia się zatem regulację proporcjonalną, całkującą i różniczkującą (ang. *Proportional-Integral-Differential - PID*) w wersji podstawowej, podając realizowaną zależność na sygnał sterujący, charakterystykę skokową regulatora oraz definicje parametrów: wzmocnienia i stałych czasowych – inercji, zdwojenia i wyprzedzenia². Takie podstawowe informacje pozwalają na wybór **typu regulatora** (P,PI,PD,PID) w zależności od charakterystyki obiektu. Zagadnienie wyboru typu regulatora jest złożone i należy je pozostawić specjalistom z zakresu automatyki. Proste wskazania mogą jedynie dotyczyć włączenia członów całkującego lub różniczkującego poprzez dobór ich stałych czasowych (człon D zwiększa pasmo przenoszenia układu, a człon I na odwrót; dodatkowo człon I zwiększa astatyzm układu). Przekładając specjalistyczne pojęcia na język technologa można w uproszczeniu przyjąć, że działanie różniczkujące (D) spowoduje uwrażliwienie układu na szybkie, intensywne zmiany (wzrasta pochodna!), natomiast działanie całkujące (I) zmniejszy „wrażliwość” układu na te zmiany. Natomiast wzrost astatyzmu układu stwarza możliwości stabilnej pracy układu regulacji dla wymuszeń (i zakłóceń), które mają charakter wyższego rzędu. Finałem doboru regulatora jest ustalenie jego nastaw. Spośród wielu specjalizowanych metod **doboru nastaw**, w ramach wykładu, prezentowana jest klasyczna metoda Zieglera – Nicholasa, opracowana doświadczalnie w 1932 roku. Metoda ta sprawdza się w pro-stych przypadkach, jednakże nie zawsze jest możliwość jej zastosowania, wymaga bowiem doprowadzenia układu do granicy stabilności (konieczność uzyskania stałych oscylacji układu), co w realnych sytuacjach, nie zawsze jest dopuszczalne [11,12]. Opis klasycznych regulatorów pozwala na zrozumienie mechanizmów działania różnych typów regulatorów i na tej podstawie można przejść do programowej realizacji regulatorów – w formie sterowników mikroprocesorowych.

2 Studenci kierunku inżynieria środowiska pozytywnie odbierają prezentacje graficzne charakterystyk.

Sterowniki mikroprocesorowe realizowane są w postaci specjalizowanych układów mikroprocesorowych, swobodnie programowalnych, tzw. sterowników PLC (ang. *Programmable Logic Controllers*) spełniających funkcje wielokanałowych regulatorów i wyposażonych w bloki komunikacji z obiektem. Innym rozwiązaniem, funkcjonalnie komplementarnym lecz sprzętowo odmiennym, są układy mikrokontrolerów, których realizacja sprzętowa polega na umieszczeniu na jednej płycie drukowanej układu mikroprocesorowego wraz z układami wejściowo-wyjściowymi łączącymi mikroprocesor z obiektem sterowanym. W wielu współczesnych rozwiązaniach mikrokontrolery stanowią integralną część obiektu sterowania i wówczas traktowane są jako tzw. systemy wbudowane, powszechnie użytkowane w życiu codziennym (telefony komórkowe, sprzęt AGD, samochody, automaty, itp.) [13].

Drugą grupą elementów automatyki omawianych w ramach wykładu są urządzenia pomiarowe. Rozwój współczesnych metod pomiaru wielkości fizykochemicznych jest niezwykle intensywny, a wspierany obliczeniowo przez układy mikroprocesorowe pozwala na uzyskanie dotąd niespotykanych możliwości poprawy jakości pomiarów, zarówno pod względem dokładności jak i szeroko rozumianej efektywności (częstotliwości pomiaru, wyznaczanie wartości zagregowanych wskaźników – np. ChZT, BZT5, filtracji i korekcji). Dużą trudność w realizacji tej partii materiału stanowi wybór przykładowych elementów pomiarowych głównych wielkości fizykochemicznych. Klasyczny zestaw obejmuje: pomiary temperatury, ciśnienia, poziomu oraz przepływu (w rurociągach i kanałach otwartych) w odniesieniu do różnych rodzajów mediów (wody, ścieków, gazów). Wiele ciekawych rozwiązań omówiono m.in. w poradnikach opracowanych dla eksploatatorów obiektów wodociągowo-kanalizacyjnych [7,9].

Przedstawiony klasyczny nurt przedmiotu podstawy automatyki, na studiach inżynierskich, został zamknięty wykładem obejmującym podstawy komputerowych systemów sterowania. Nowe obiekty w inżynierii środowiska wyposażane są bowiem najczęściej w układy sterowania wykorzystujące sterowniki PLC lub mikrokontrolery.

Przedstawiony powyżej schemat wyboru treści nauczania w zakresie automatyki pozwala absolwentom studiów inżynierskich, podejmującym działalność zawodową, na efektywną współpracę z automatykami w sprawach bieżącej eksploatacji obiektów i procesów.

4.2. Studia magisterskie

Studia II stopnia (magisterskie) realizowane aktualnie na uczelniach technicznych trwają 3 semestry i w założeniu mają służyć rozszerzeniu wiedzy uzyskanej na stopniu inżynierskim oraz rozwinięciu umiejętności teoretycznych³. Te czynniki winny powodować wzrost kreatywności studenta, a absolwent powinien być lepiej przygotowany do pracy w charakterze projektanta jak również powinien zdobyć podstawowe umiejętności w zakresie pracy naukowo-badawczej. Nielatwo zrealizować powyższe założenia w czasie 3 semestralnego cyklu, biorąc pod uwagę również fakt, że na ostatnim semestrze student realizuje pracę magisterską.

3 Istotną trudnością dydaktyczną jest konieczność uwzględnienia innego przygotowania studentów kontynuujących studia II stopnia po ukończeniu studiów inżynierskich na innych uczelniach i wydziałach, na których nie były realizowane przedmioty związane z podstawami automatyki.

Studia realizowane są w ramach dwóch specjalności: zaopatrzenie w wodę, ochrona wód i gleby oraz zaopatrzenie w ciepło klimatyzacja i ochrona powietrza.

W programie studiów realizowanym na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Poznańskiej przewidziano przedmiot: Automatyka i sterowanie w inżynierii środowiska. Wcześniej przedmiot nosił nazwę: Optymalizacja i sterowanie w inżynierii środowiska. W tej wersji nazwa bardziej precyzyjnie definiowała zakres przedmiotu, gdyż zgodnie z sugestią wydziałowej komisji programowej na kierunku, wprowadzono do tematyki wykładów wybrane zagadnienia optymalizacji [15]. Aktualna nazwa zawiera pojęcia automatyka i sterowanie, które nie są treściowo rozłączne i często w powszechnym rozumieniu funkcjonują zamiennie. Z formalnego punktu widzenia należy również podkreślić fakt, iż wykład jest prowadzony wspólnie dla wszystkich specjalności, co niewątpliwie wymaga uwzględnienia specyfiki zarówno problemów związanych z wodociągami, kanalizacją i ochroną gleby oraz ciepłownictwem, klimatyzacją i ochroną powietrza, i co za tym idzie, starannego doboru omawianych treści i przykładów rozwiązań. Wyraźne rozdzielenie treści dla poszczególnych specjalności ma miejsce w ramach zajęć laboratoryjnych.

Uwzględniając wspomniane wyżej założenie o zdobyciu przez studenta umiejętności w zakresie pracy naukowo-badawczej, pierwszy wykład podejmuje tematykę podstawowego narzędzia badawczego jakim jest modelowanie (matematyczne, fizyczne, komputerowe) [13,15].

Szczególny nacisk położono na podstawy modelowania komputerowego, stosowanego coraz częściej z wykorzystaniem specjalizowanych narzędzi programowych typu EPANET oraz dużych uniwersalnych pakietów do modelowania i symulacji typu MATLAB [3,13].

Drugi blok zagadnień teoretycznych obejmuje problemy formułowania problemów optymalizacyjnych oraz charakterystyki wybranych metod ich rozwiązywania [5]. Główny nacisk położono na poprawne formułowanie problemów optymalizacji, ponieważ na tym etapie olbrzymie znaczenie ma znajomość istoty problemów optymalizacji w inżynierii środowiska. Poprawny i szczegółowy opis sytuacji decyzyjnej, przygotowany przez technologa, umożliwia właściwe sformułowanie zadania optymalizacyjnego, w szczególności określenie warunków ograniczających wybór rozwiązania oraz definicję kryterium (lub kryteriów) optymalności [5,13]. W celu wyjaśnienia natury optymalizacji przedstawia się sposób formułowania zadań programowania liniowego (ang. *LP – Linear Programming*) oraz poszukiwania rozwiązań optymalnych dla tego typu zadań. Omawia się właściwości uzyskiwanych rozwiązań i na przykładzie prostego zadania dla dwóch zmiennych prezentuje się poszukiwanie optymalnego rozwiązania metodą graficzną. Szeroko wykorzystywane oprogramowanie do rozwiązywania zadań programowania liniowego metodą simpleksów wymaga odpowiedniej transformacji klasycznego sformułowania zadania LP do standardowego zapisu bezpośrednio przydatnego w metodzie simpleksów. W ramach wykładu przedstawia się zasady tej prostej transformacji oraz sposób zapisu pierwszej tablicy simpleksów stanowiącej etap startowy do uruchomienia komputerowego programu poszukiwania rozwiązania zadania. Zagadnienia podejmowane w ramach tych dwóch modułów zamykają część wykładu o charakterze teoretycznym.

Kolejny blok wykładowy dotyczy problematyki monitorowania obiektów i procesów wskazując na główne problemy monitorowania, zarówno sprzętowe jak i programowe. Formułuje się podstawowe wymagania stawiane systemom monitoringu oraz wskazuje się na korzyści dla bieżącej eksploatacji systemów oraz sprawnej obsługi w sytuacjach awaryjnych.

Wykorzystując system monitoringu wraz ze skalibrowanym modelem systemu można zaprogramować efektywne scenariusze działań w sytuacjach awaryjnych i skutecznie wspierać działania służb eksploatacyjnych.

W zakresie sterowania omawia się strukturę systemów zarządzania, sterowania i akwizycji danych, tzw. systemów SCADA (ang. *SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition*). Wobec wielu propozycji firmowych tych systemów formułuje się charakterystyczne wymagania, które warto przeanalizować w przypadku wyboru określonego pakietu oprogramowania [13,14]. W powiązaniu z systemami monitorowania omawia się również nowoczesne tzw. inteligentne urządzenia pomiarowe i wykonawcze [7,13].

Pozostałe fragmenty wykładu obejmują wybrane przykłady rozwiązań systemów monitorowania i sterowania w inżynierii środowiska. Dobór treści musi uwzględniać specyfikę wszystkich specjalności realizowanych na II stopniu studiów. Wynika to co najmniej z dwóch faktów. Pierwszym z nich jest wybór specjalności przez studenta, wyraźnie zainteresowanego wybranymi zagadnieniami. Z drugiej strony należy uwzględnić fakt, iż absolwenci nie zawsze podejmują działalność zawodową w pełni zgodną ze studiowaną specjalnością. Szersze przygotowanie w połączeniu z oczekiwaną kreatywnością daje im większe możliwości zatrudnienia.

Proponowany i realizowany zakres przedmiotu zdecydowanie pozytywnie oceniają absolwenci już po kilkuletnim okresie zatrudnienia, co nie zawsze jest zauważalne przez nich na etapie studiów – postrzegają ten przedmiot jako trudny i w pewnym sensie wykraczający poza ich zainteresowania.

5. Podsumowanie

Przedstawiono powyżej cykl kształcenia w zakresie tematyki związanej z automatyką, elektroniką i informatyką na kierunku inżynieria środowiska realizowanym na Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Poznańskiej. Doświadczenia zebrane w perspektywie ponad 30 lat pozwalają na wyciągnięcie wielu wniosków, które mogą być przydatne do zaprogramowania kształcenia w tym zakresie.

1. Koncepcja kształcenia z wyraźnym wydzieleniem przedmiotów w zakresie automatyki, elektroniki i informatyki pozwala na bardziej elastyczne przygotowanie absolwenta już na poziomie studiów inżynierskich I stopnia. Stwarza to również dla niego szerszą paletę wyboru zatrudnienia.
2. Proponowany cykl kształcenia wykorzystuje podstawy z zakresu technologii inżynierskich i komputerowo wspomaganego projektowania.
3. Percepcja treści wykładów uzależniona jest przede wszystkim od dobrego przygotowania w zakresie przedmiotów podstawowych, a w szczególności matematyki i fizyki.
4. Istotną trudnością przy wyborze treści kształcenia jest zachowanie właściwych proporcji między materiałem teoretycznym a praktycznymi rozwiązaniami inżynierskimi.

5. Wprowadzenie na II stopniu studiów materiału z zakresu optymalizacji, szczególnie na poziomie formułowania zadań optymalizacyjnych i podstaw poszukiwania optymalnych rozwiązań, pozwala na szersze spojrzenie na problemy z praktyki inżynierskiej również pod kątem innych kryteriów oceny rozwiązań.
6. Niezwykle pozytywnie odbierana jest przez studentów II stopnia część laboratoryjna, realizowana na fizycznych modelach obiektów występujących w inżynierii sanitarnej i wykorzystująca swobodnie programowalne układy PLC.
7. Pozytywnie należy również ocenić odmienną realizację treści wykładów (wspólną dla wszystkich specjalności) i laboratoriów (oddzielnie dla każdej specjalności), przy założeniu przemyślanego i ciągle aktualizowanego doboru ćwiczeń laboratoryjnych.

Ostateczną miarą prawidłowego zaprogramowania i realizacji kształcenia w zakresie automatyki, elektroniki i informatyki dla studentów kierunku inżynieria środowiska jest ocena absolwentów oraz pracodawców. Pozytywne reakcje i wypowiedzi absolwentów przy okazji wielu spotkań na konferencjach naukowo-technicznych i różnych szkoleniach potwierdzają, że przyjęty kierunek realizacji kształcenia w tym zakresie jest właściwy.

Bibliografia

- 1) Bylka H., Dymaczewski Z., Harasymowicz E., Jaroszynski T., Jez-Walkowiak J., Niedzielski W., Sozanski M.M., Urbaniak A., Wodociągi i kanalizacja w Polsce – tradycja i współczesność, Wydawca: Polska Fundacja Zasobów Wodnych, Poznań - Bydgoszcz, 2002
- 2) Efektywność wdrażania technologii informatycznych, Praca zbiorowa Urbaniak A., Zabawa S. (red.), PZiTS, Poznań 2005
- 3) Inteligentne systemy w inżynierii i ochronie środowiska, Praca zbiorowa Urbaniak A., Zakrzewski P. (red.), PZiTS, Poznań 2007
- 4) Jasiczak J., Wojtkowiak J., O wydziale, w: 70-lecie Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Poznańskiej 1945-2015, Wyd. PP 2015 r.
- 5) Józefowska J., Badania operacyjne i teoria optymalizacji, Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań 2012
- 6) Koczyk H., Antonowicz B., Sroczan E., Nowoczesne wyposażenie techniczne domu jednorodzinnego, Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Poznań 1998
- 7) Kubiak Z., Urbaniak A., Automatyzacja w oczyszczalni ścieków, w: Poradnik eksploatatora oczyszczalni ścieków, Dymaczewski Z. (red.), Wyd. PZiTS, Poznań 2011 (wyd. III)
- 8) Łukaszewski T., Urbaniak A., Informatyka w ochronie środowiska, Ćwiczenia laboratoryjne, Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań 2001
- 9) Poradnik eksploatatora oczyszczalni ścieków, Dymaczewski Z. (red.), Wyd. PZiTS, Poznań 1997 (wyd. II), 2011 (wyd. III)
- 10) Sroczan E., Nowoczesne wyposażenie techniczne domu jednorodzinnego. Instalacje elektryczne, Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Poznań 2004
- 11) Urbaniak A., Automatyzacja w inżynierii sanitarnej, Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań 1985 (wyd. I), 1990 (wyd. II), 1991 (wyd. III)
- 12) Urbaniak A., Podstawy automatyki, Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań 2007 (wyd. III)
- 13) Urbaniak A., Komputerowe wspomaganie eksploatacji obiektów i procesów w systemach zaopatrzenia w wodę i oczyszczania ścieków, Wyd. Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN, Studia z zakresu inżynierii nr 93, Warszawa 2016
- 14) Zastosowanie technik informatycznych w zarządzaniu systemami wodno-kanalizacyjnymi, Praca zbiorowa Urbaniak A., Klaus R., (red.), PZiTS, Poznań 2003
- 15) <http://www.put.poznan.pl/wbiis>
- 16) <http://www.oecd.org/dataoecd/36/44/38235147.pdf>

Podziękowania:

Dziękuję

- władzom Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska oraz Instytutu Inżynierii Środowiska za otwartość na propozycje realizacji modułów programowych oraz efektywną współpracę przy definiowaniu treści wykładów, ćwiczeń i laboratoriów;
- moim współpracownikom z Instytutu Inżynierii Środowiska oraz kolegom z Instytutu Informatyki PP prowadzącym wybrane formy zajęć za niezwykle rzetelne prowadzenie zajęć oraz wysiłek w przygotowaniu materiałów do zajęć.

TECHNOLOGIE UZDATNIANIA WÓD
WATER PURIFICATION TECHNOLOGIES

