

Piotr ZIEMBICKI*

WYKORZYSTANIE METOD OPTYMALIZACYJNYCH W PROJEKTOWANIU SYSTEMÓW INŻYNIERII ŚRODOWISKA

Streszczenie

Artykuł opisuje podstawowe metody optymalizacyjne oraz systemy Inżynierii Środowiska, do projektowania których mogą być wykorzystane. Przedstawia także podstawy teorii sztucznych sieci neuronowych oraz możliwości ich wykorzystania do optymalizacji tychże systemów.

WSTĘP

Podczas realizacji poszczególnych etapów projektowania systemów, urządzeń i obiektów sanitarnych inżynier ma do dyspozycji wiele możliwych rozwiązań, stąd często powstaje problem, które z nich jest najwłaściwsze. Z pomocą przychodzą metody modelowania i optymalizacji, które pozwalają sprawdzić wiele rozwiązań przy minimalnych kosztach i w konsekwencji umożliwiają opracowanie optymalnego systemu. Istnieje wiele metod rozwiązujących problemy należące do różnych klas zadań optymalizacyjnych. Algorytmy wielu z nich wykorzystują skomplikowany aparat matematyczny, co pociąga za sobą czasochłonność ich realizacji. Jednak ze względu na możliwości zastosowania techniki komputerowej do implementacji tych metod, są one powszechnie stosowane. Obok metod już opracowanych powstają nowe, do których można zaliczyć elementy sztucznej inteligencji, takie jak sztuczne sieci neuronowe czy systemy eksperckie.

PODSTAWY TEORII OPTYMALIZACJI

Optymalizacja jest to postępowanie, polegające na wyborze elementu z danego zbioru w oparciu o relacje ustalające pewien porządek w tym zbiorze. Elementami zbioru są rozwiązania konkretnych problemów, np.: różne warianty konstrukcji określonego urządzenia technicznego, rozmaite sterowania określonego procesu itd. Zbiór takich rozwiązań jest zazwyczaj ograniczony przez różnorodne warunki uboczne, jak wyma-

* mgr inż. Piotr Ziembicki – Zakład Sieci i Instalacji Sanitarnych, Politechnika Zielonogórska

gania wytrzymałości, niezawodności, wymagane ciśnienia lub inne parametry technologiczne. W tym sensie używa się pojęcia zbioru rozwiązań dopuszczalnych. Rozwiązaniem zadania optymalizacji jest takie rozwiązanie dopuszczalne, które zostało wybrane w oparciu o określoną relację porządkującą, tzw. funkcję celu zadania optymalizacyjnego, która może wynikać z kosztów realizacji rozwiązania dopuszczalnego czy też innych wskaźników jego efektywności.

Charakter zbioru rozwiązań dopuszczalnych oraz typ funkcji celu określają rodzaj zadania optymalizacji. Jeśli zbiór ma przeliczalną lub skończoną liczbę elementów, to problem optymalizacji jest dyskretny. W przeciwnym przypadku należy mówić o problemie ciągłym. Każda informacja numeryczna zapisana w maszynie cyfrowej może być reprezentowana przez element podzbioru dyskretnego skończenie wymiarowej przestrzeni rzeczywistej, jednak analiza metod optymalizacji nie trzeba ograniczać do takich właśnie zbiorów. Dyskretność zbioru, choć upraszcza rozumowanie przy niewielkiej liczbie elementów, to utrudnia efektywny wybór rozwiązań przy bardzo dużej ich liczbie. Jeśli różnice na poziomie pojedynczych elementów nie odgrywają większej roli, dogodniej jest zakładać, że zbiór ma strukturę ciągłą.

Funkcja celu może być deterministyczna lub losowa co określa odpowiednie problemy optymalizacji. Należy tu rozróżnić losowy problem optymalizacji od losowej metody poszukiwania rozwiązania optymalnego. W pierwszym przypadku funkcja celu w zbiorze określona jest tylko z pewnym prawdopodobieństwem, podczas gdy w drugim elementy zbioru są generowane w sposób losowy w trakcie obliczeń optymalizacyjnych i wykorzystywane do sprawdzenia relacji.

Rzeczywiste problemy optymalizacyjne, obejmujące również zagadnienia Sieci i Instalacji Sanitarnych są zwykle złożone i zadania optymalizacji jednokryterialnej są dla nich zbyt słabym narzędziem wspomagającym. Poważne trudności następcza często również sformułowanie odpowiedniego zadania optymalizacji jako matematycznego modelu problemu. Dlatego rozwija się szerzej pojmowana analiza modeli (lub analiza systemów), gdzie algorytmy optymalizacji są tylko jedną z wielu technik wspomagających. W połączeniu z nowoczesnymi metodami informatyki prowadzi to do powstania systemów wspomagania decyzji, w których występuje konieczność budowania wielu funkcji celu, które należy rozpatrywać łącznie w celu uzyskania właściwych wyników. Zadania z taką funkcją celu należą do optymalizacji wielokryterialnej (polioptymalizacji), która sprowadza się do ekstremalizacji funkcji celu, która jest zbiorem wielu funkcji celu.

Ponadto zadania optymalizacji dzielą się na zagadnienia bez ograniczeń i z ograniczeniami. Problemem bez ograniczeń można nazwać taki, w którym zbiór rozwiązań dopuszczalnych jest otwarty, natomiast problemem z ograniczeniami taki, w którym zbiór rozwiązań dopuszczalnych jest domknięty. Metody optymalizacji dla problemów z ograniczeniami są na ogół bardziej złożone, niż odpowiednie metody dla problemów bez ograniczeń. Wiele metod optymalizacji ograniczonej polega na sprowadzeniu zagadnienia do optymalizacji nieograniczonej.

Zagadnienia optymalizacyjne można podzielić również na statyczne i dynamiczne. Za problemy statyczne uważane są takie, w których elementy zbioru rozwiązań dopuszczalnych należą do przestrzeni skończenie wymiarowej, zaś wskaźnik jakości jest funkcją wielu zmiennych, natomiast jako problemy dynamiczne traktowane są takie, w których rozwiązania dopuszczalne są elementami przestrzeni nieskończenie wymiarowych.

Jednakże takie kryterium podziału nie odpowiada istocie różnicy pomiędzy problemami dynamicznymi a statycznymi; istnieją bowiem skończone wymiarowe problemy dynamiczne oraz nieskończone wymiarowe problemy statyczne. W celu wprowadzenia bardziej precyzyjnego podziału, problemem quasi-statycznym nazywa się takie zadanie optymalizacji, w którym rozwiązanie dopuszczalne są funkcjami, przy czym jeden z ich argumentów może być interpretowany jako czas. Jeśli podzbiór ten jest przeliczalny, to mówimy o czasie dyskretnym lub quasi-dynamicznym problemie dyskretnym w czasie. Jeśli podzbiór ten jest przedziałem na osi R^1 , mówimy o czasie ciągłym lub quasi-dynamicznym problemie ciągłym w czasie.

Następny, istotny sposób podziału problemów optymalizacji jest jeszcze silniej związany z metodą ich rozwiązywania. Istnieje klasa zagadnień, których rozwiązanie można uprościć poprzez ich podział na problemy częściowe, czyli dekompozycję. Zadania optymalizacji, rozwiązywane drogą dekompozycji i koordynacji, zwane są też problemami optymalizacji wielopoziomowej, gdyż można w nich wyróżnić co najmniej dwa poziomy optymalizacji: optymalizację rozwiązań problemów częściowych oraz optymalną koordynację tych rozwiązań prowadzącą do optymalizacji rozwiązania problemu całkowitego.

Większość metod obliczeniowych optymalizacji to metody iteracyjne, polegające na konstrukcji ciągów rozwiązań dopuszczalnych, zbieżnych do rozwiązania optymalnego. Ciąg rozwiązań dopuszczalnych nazywa się monotonicznie optymalizującym, jeśli jest on monotonicznie zbieżny do rozwiązania optymalnego, a więc jeśli kolejne elementy tego ciągu są coraz lepsze i coraz bliższe temu rozwiązaniu. W większości problemów nie jest ważne, aby podejmowane decyzje były bliskie decyzjom idealnym, ale aby efekty tych decyzji (skutki ekonomiczne, społeczne itp.) nie odbiegały zbyt od rezultatów idealnych.

Bezpośrednimi metodami optymalizacji zwane są metody konstrukcji monotonicznie optymalizujących ciągów rozwiązań dopuszczalnych, a więc metody, w których podstawą dla przyjęcia następnego rozwiązania jest poprawa jego jakości. Pośrednimi metodami optymalizacji nazywane są metody przybliżania rozwiązań optymalnych, oparte np. o poszukiwanie rozwiązań warunków koniecznych optymalności, a więc metody, w których podstawą dla przyjęcia następnego rozwiązania jest jego odległość od rozwiązania optymalnego. Większe znaczenie praktyczne mają metody bezpośrednie, gdyż każdy element ciągu monotonicznie optymalizującego może być przyjęty do praktycznej realizacji, jako najlepszy z rozwiązań dotychczas rozpatrywanych. Jednakże w przypadkach, w których trudno jest ocenić wartość optymalną wskaźnika jakości, może tu grozić przerwanie optymalizacji przy wartościach wskaźnika znacznie odbiegających od optymalnej. Dlatego też często stosuje się metody mieszane, polegające na konstrukcji ciągu monotonicznie optymalizującego uzupełnione oceną odległości rozwiązania od rozwiązania optymalnego, wykorzystywaną jako test zatrzymania obliczeń.

Metody bezpośrednie i mieszane polegają na określeniu kierunku zmiany rozwiązania dopuszczalnego i poszukiwaniu optimum w tym kierunku. Dzielą się one na gradientowe, w których do określenia kierunku wykorzystuje się znajomość gradientu funkcji celu, oraz bezgradientowe – dla przypadków, w których wyznaczenie gradientu jest niemożliwe lub zbyt pracochłonne.

OPTIMALIZACJA SYSTEMÓW INŻYNIERII SANITARNEJ

Jednym z zagadnień Sieci i Instalacji Sanitarnych, które może podlegać optymalizacji jest wybór źródeł wody dla jednostek osadniczych położonych na obszarze określonego regionu wodno-gospodarczego. Podstawową czynnością jaką należy wykonać przed przystąpieniem do sformułowania matematycznego modelu tego problemu jest analiza wielkości i jakości dyspozycyjnych zasobów wody. Umożliwia ona określenie potencjalnych źródeł wody dla rozpatrywanej grupy jednostek osadniczych.

W ten sposób powstaje sytuacja, w której mamy do czynienia z grupą źródeł będących potencjalnymi dostawcami wody oraz grupą jednostek osadniczych będących potencjalnymi odbiorcami wody uzyskanej z tych źródeł. Obydwie te grupy tworzą podstawową strukturę grupowego systemu wodociągowego. W systemie tym woda surowa może być ujmowana z każdego uprzednio określonych źródeł i po uzdatnieniu może być przesłana do poszczególnych odbiorców w ilościach odpowiadających ich zapotrzebowaniom. Do określenia modelu optymalizowanego systemu niezbędne jest wprowadzenie symboli określających poszczególne jego elementy:

U_i - źródła wody (ujęcia), $i = 1, 2, 3, \dots, m$,

M_j - odbiorcy wody (jednostki osadnicze), $j = 1, 2, 3, \dots, n$,

Q_i - średnia dobową wydajność i -tego ujęcia wody, [m^3/d]

Z_j - średnie dobowe zapotrzebowanie na wodę j -tego odbiorcy [m^3/d],

x_{ij} - ilość wody stanowiąca część wydajności i -tego źródła pobierana do zaopatrzenia w wodę j -tego odbiorcy.

Wartości x_{ij} są niewiadomymi, stanowiącymi przedmiot decyzji projektanta systemu wodociągowego, czyli są to tzw. zmienne decyzyjne. Określają one średnią dobową ilość wody pobieraną ze źródła U_i dla pokrycia zapotrzebowania odbiorcy M_j . Zmienne decyzyjne x_{ij} muszą spełniać szereg warunków ograniczających, które gwarantują pokrycie zapotrzebowania na wodę, dla wszystkich odbiorców należących do danego systemu przy jednoczesnym nieprzekraczaniu wydajności poszczególnych źródeł.

Są to:

- całkowita ilość wody uzyskiwana przez poszczególnych odbiorców ze źródła U_i nie może przekraczać jego wydajności Q_i , tj:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq Q_i, \quad i = 1, 2, \dots, m$$

- całkowita ilość wody uzyskiwana z poszczególnych źródeł przez odbiorcę M_j powinna pokryć jego zapotrzebowanie równe Z_j , tj:

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = Z_j, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

- ze względu na fakt, że zmienne decyzyjne x_{ij} określają ilości wody pobieranej z poszczególnych źródeł, ich wartości nie mogą być ujemne, stąd:

$$x_{ij} \geq 0$$

Dla rozpatrywanego problemu optymalizacyjnego wyboru źródeł wody, najbardziej odpowiednim będzie kryterium polegające na minimalizacji łącznych kosztów uzyskania wody przez wszystkie jednostki osadnicze, należące do rozpatrywanego systemu, przy jednoczesnym zagwarantowaniu pełnego pokrycia ich zapotrzebowania na wodę wodociągową o odpowiedniej jakości. Kryterium to jest oparte na zasadzie, że największą ekonomiczną efektywność uzyskuje się wtedy, gdy z góry określony efekt zostanie osiągnięty możliwie najmniejszym nakładem kosztów.

Całkowity koszt uzyskania wody K_{ij} można przedstawić w postaci funkcji zmiennej decyzyjnej x_{ij} , czyli:

$$K_{ij} = f_{ij}(x_{ij})$$

Koszty K_{ij} obejmują koszty ujmowania, uzdatniania i magazynowania, podnoszenia oraz transportu wody. Wobec tego koszt całkowity uzyskania wody wodociągowej z i-tego źródła przez j-tą jednostkę osadniczą można przedstawić w postaci następującej sumy kosztów cząstkowych:

$$K_{ij} = K_{ij}^I + K_{ij}^{II} + K_{ij}^{III} + K_{ij}^{IV}$$

gdzie:

K_{ij} – koszt całkowity uzyskania wody wodociągowej ze źródła U_i przez odbiorcę M_j

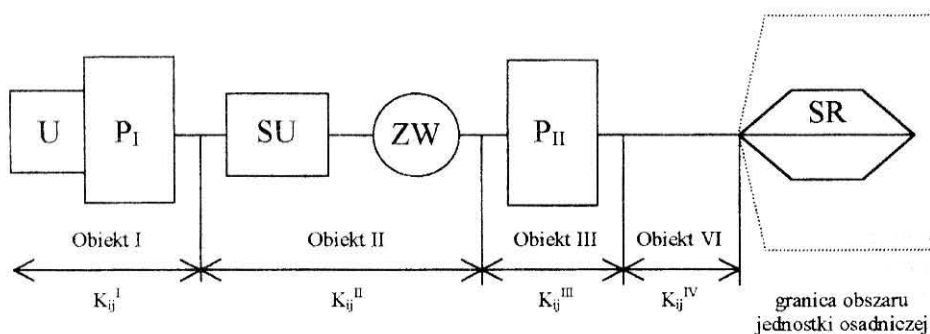
K_{ij}^I – koszt ujmowania wody wodociągowej ze źródła U_i przez odbiorcę M_j

K_{ij}^{II} – koszt uzdatniania i magazynowania wody wodociągowej pochodzącej ze źródła U_i przez odbiorcę M_j

K_{ij}^{III} – koszt podnoszenia wody wodociągowej na trasie między źródłem U_i , a odbiorcą M_j

K_{ij}^{IV} – koszt transportu wody ze źródła U_i do odbiorcy M_j

Zgodnie z przyjętym kryterium optymalizacyjnym największą efektywność grupowego systemu wodociągowego osiąga się dla minimum łącznych kosztów uzyskania wody przez wszystkich odbiorców należących do tego systemu.



Rysunek przedstawia schemat modelowanego wodociągu komunalnego, gdzie U – ujęcie, P_I – pompownia I stopnia, SU – stacja uzdatniania, ZW – zbiornik wody czystej, P_{II} pompownia II stopnia, SR – sieć rozdzielcza.

Po zsumowaniu wszystkich kosztów występujących w modelowanym systemie, łączny koszt uzyskania wody dla grupowego systemu wodociągowego można przedstawić w postaci podwójnej sumy:

$$K_G = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n K_{ij}$$

Tak przygotowany model matematyczny systemu zaopatrzenia w wodę należy teraz optymalizować wykorzystując jedną z dostępnych metod optymalizacyjnych.

Kolejnym zadaniem optymalizacyjnym w dziedzinie Sieci i Instalacji Sanitarnych może być opracowanie optymalnego systemu usuwania i unieszkodliwiania odpadów. System taki składa się z trzech podsystemów: systemu obsługi, czyli zbierania odpadów, systemu transportu oraz systemu unieszkodliwiania. Jego optymalizacja polegać będzie na poszukiwaniach rozmieszczenia punktów unieszkodliwiania w mieście lub regionie, określeniu ich mocy przerobowych oraz określeniu decyzji przewozowych dotyczących transportu zanieczyszczeń.

Unieszkodliwianie odpadów jest przedsięwzięciem ekonomicznie nieopłacalnym, głównymi źródłami kosztów są: transport odpadów z miejsca ich powstawania do miejsca utylizacji, transport produktów po utylizacji (np. transport kompostu do odbiorców, żużla, złomu, etc.), transport materiału do unieszkodliwiania (ziemia, torf, osady ściekowe, itp.). Jako główny efekt procesu unieszkodliwiania odpadów można wymienić podnoszenie stanu estetycznego i sanitarnego miasta lub regionu. Problem lokalizacji punktów unieszkodliwiania i utylizacji wymaga wielokryterialnej oceny. Można wyodrębnić następujące trzy kryteria, zawierające w swym składzie wiele kryteriów cząstkowych:

- kryterium higieniczno-sanitarne (ochrona powietrza, gleby, wody) prowadzące do wyłączenia terenów, na których nie wolno lokalizować wysypisk,
- kryterium estetyczne – powiązane z zasadami urbanistyki określającymi prawidłowość struktury miasta, żądające zachowania pasa ochronnego dla wysypisk,

- kryterium ekonomiczne – wskazujące na minimum kosztów transportu, wykorzystanie produktów przerobu odpadów w rolnictwie czy budownictwie, wykorzystanie wartości opałowej odpadów itp.

Dwa pierwsze z powyższych kryteriów są traktowane jako warunki ograniczające decyzje. Trzecie określa minimalizację kosztów przy spełnieniu określonych warunków ograniczających. Kryterium higieniczno-sanitarne jest tu najważniejsze. Sanitarna ochrona powietrza atmosferycznego, wód powierzchniowych i gleby jest jednym z najważniejszych zadań ochrony zdrowia ludności i ważną funkcją wyposażenia techniczno-sanitarnego miast i osiedli. Wymagania stawiane przez higienę w odniesieniu do nieczystości miejskich mają charakter sanitarno-epidemiologiczny i estetyczny. Dotyczą one nieczystości zarówno stałych jak i płynnych i są uzasadnione zagrożeniem zdrowotności, które istnieje przy wszelkich nieczystościach. Złe zlokalizowane punkty unieszkodliwiania są niejednokrotnie przyczyną deformacji struktury miasta i powodem niepotrzebnie ponoszonych dodatkowych dużych kosztów związanych z usunięciem skutków ewentualnych błędnych lokalizacji wysypisk śmieci.

Ekonomiczne aspekty problemu lokalizacji punktów unieszkodliwiania odpadów sprowadzają się przede wszystkim do zagadnień ekonomiki zakładów unieszkodliwiania oraz ekonomiki transportu.

Zagadnienie ekonomiki zakładów unieszkodliwiania jest bardzo złożone. Budowa i prowadzenie tych zakładów jest połączone ze znacznymi kosztami. Nie można oczekiwać większej dochodowości w tego rodzaju zakładach i z reguły istnieje konieczność dotowania ich działalności. Pośrednim efektem ekonomicznym jest podnoszenie stanu sanitarnego miasta, a efekty bezpośrednie, to dochód ze sprzedaży kompostu w kompostowniach, energii i zużła w spalarniach, a także ze sprzedaży odzyskanych surowców wtórnych.

Zagadnienie ekonomiki transportu sprowadza się do zagadnienia transportu odpadów z miejsc ich powstawania do punktów unieszkodliwiania oraz do problemu gromadzenia i zbierania odpadów, przejazdów z bazy do rejonu zbiórki i z powrotem do bazy, transportu produktów przeróbki odpadów, transportu materiałów do zakładów unieszkodliwiania etc. Zadanie optymalizacyjne polega na znalezieniu takiego wariantu lokalizacji nowych punktów unieszkodliwiania i utylizacji, wielkości przerobu tych punktów, a także wielkości przerobu punktów istniejących (rozbudowa, pozostawienie na dotychczasowym poziomie, likwidacja), aby osiągnąć minimum kosztów obsługi w zakresie usuwania i unieszkodliwiania odpadów. W tym celu wprowadza się następujące oznaczenia:

i - miejsca powstawania odpadów określające rejonów jednorodnych, $i = 1, 2, 3, \dots, m$;

j - punkty unieszkodliwiania odpadów, $j = 1, 2, \dots, n$;

a_i - ilość odpadów w rozpatrywanym przedziale czasu i w i -tym rejonie zbiórki, $[m^3/\text{rok}]$,

c_{ij} - łączne koszty jednostkowe związane z usuwaniem, unieszkodliwianiem i utylizacją odpadów, $[w \text{ zł}/m^3]$,

b_j - moc przerobowa punktów unieszkodliwiania i utylizacji, $[m^3/\text{rok}]$,

x_{ij} - powiązania transportowe rejonów zbiórki i punktów unieszkodliwiania i utylizacji, czyli ilość jednostek odpadów transportowych z rejonu i -tego do punktu j -tego – jest to zmienna decyzyjna, $[m^3/\text{rok}]$,

Parametr c_{ij} ujmuje koszty związane z całym procesem usuwania, unieszkodliwiania i utylizacji odpadów, począwszy od gromadzenia i transportu odpadów do punktów unieszkodliwiania i utylizacji, przez proces unieszkodliwiania i utylizacji, aż do transportu produktów przerobu do odbiorcy (kompostu, żużla, surowców wtórnych itp.). W kosztach ujmuje się również zyski z tytułu sprzedaży produktów przerobu surowców wtórnych, energii itp. Zadanie optymalizacyjne obejmuje więc:

- ilość odpadów transportowych z i -tego do j -tego miejsca jest równa bądź większa od zera,

$$x_{ij} \geq 0$$

- łączna ilość odpadów powstająca w i -tym miejscu jest w całości usuwana,

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i$$

- moc przerobowa danego miejsca unieszkodliwiania musi być większa lub co najmniej równa ilości dostarczonych odpadów,

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} < b_j$$

- dążyć trzeba do minimalizacji funkcji kosztów,

$$K = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} \cdot x_{ij} \rightarrow \min$$

SZTUCZNE SIECI NEURONOWE

Rozwiązywanie zadań optymalizacyjnych wiąże się niejednokrotnie z wykonaniem dużej liczby obliczeń numerycznych. Spowodowane jest to wysokim stopniem skomplikowania zadania oraz dużą liczbą kroków algorytmu, które należy wykonać. Ponieważ tradycyjne komputery są urządzeniami sekwencyjnymi (tzn. nie przetwarzają danych równolegle), to realizacja takich obliczeń może wiązać się z długim czasem pracy maszyny, a co za tym idzie wysokim kosztem przeprowadzenia optymalizacji zagadnienia. Jednym ze sposobów obniżenia tych kosztów jest zastosowanie innych metod obliczeniowych, np. sztucznych sieci neuronowych.

Sztuczne sieci neuronowe są wynikiem prac nad zrozumieniem budowy i zasad funkcjonowania mózgu. Przetwarzanie informacji w tego rodzaju strukturach, podobnie jak w ich biologicznym pierwowzorze, jest realizowane przez siatkę węzłów obliczeniowych (tzw. neuronów) i ich połączenia. Przy czym skala jest nieporównywalna, w ludz-

kim mózgu jest ok. 10^{11} neuronów i ok. 10^{14} połączeń między nimi, natomiast obecnie budowane sztuczne sieci neuronowe składają się kilkudziesięciu, najwyżej z kilkuset neuronów w warstwie. Z technicznego punktu widzenia sztuczny neuron jest elementem, którego właściwości odpowiadają własnościom neuronu biologicznego. Można go traktować jako przetwornik sygnałów, którego zasada działania polega na sumowaniu sygnałów wejściowych, pomnożonych przez odpowiednie współczynniki (tzw. wagi), a następnie na poddawaniu otrzymanej sumy działaniu funkcji aktywacji i wyznaczaniu na tej podstawie aktywności neuronu. Funkcja aktywacji może mieć różne postaci, najczęściej jest to funkcja skoku jednostkowego, sigmoidalna czy tangensoidalna.

Operacje wykonywane przez pojedynczy sztuczny neuron nie odzwierciedlają możliwości sztucznych sieci neuronowych. Dopiero połączenie ich w odpowiednią strukturę nadaje im cechy charakterystyczne dla biologicznych systemów neuronowych. Ogólnie można wyróżnić trzy rodzaje takich struktur:

- sieci jednokierunkowe, tzn. sieci o jednym kierunku przepływu sygnałów,
- sieci rekurencyjne, tzn. sieci ze sprzężeniem zwrotnym,
- sieci komórkowe.

Podstawową właściwością sieci neuronowych jest zdolność adaptacyjna (czyli zdolność uczenia się) umożliwiająca taki dobór jej parametrów, który pozwoli na dostosowanie działania sieci do rozwiązywania określonego problemu. Z technicznego punktu widzenia problem uczenia sieci polega na wyznaczeniu odpowiednich wartości współczynników wag połączeń między elementami przetwarzającymi, czyli neuronami. Techniki uczenia dzieli się na dwie grupy: uczenie nadzorowane (z nauczycielem) oraz uczenie nienadzorowane (bez nauczyciela).

Dopiero nauczona na reprezentatywnym zbiorze danych sieć może być wykorzystywana do rozwiązywania problemów, do których została zaprojektowana. Sztuczne sieci neuronowe doskonale nadają się do rozwiązywania zagadnień, w których zastosowanie klasycznych metod numerycznych jest mało efektywne lub wręcz niemożliwe. Decydują o tym m.in. takie cechy jak: zdolność do generalizacji (uogólniania danych), interpolacja i predykcja (określanie przyszłych zachowań się systemu na podstawie ciągu wartości z przeszłości), mała wrażliwość na błędy w zbiorach danych, zdolność do efektywnej pracy nawet po częściowym uszkodzeniu sieci, przetwarzanie równoległe i rozproszone (w realizacji sprzętowej). Ponadto sztuczne sieci neuronowe znakomicie sprawdzają się w zagadnieniach identyfikacji oraz wszędzie tam gdzie dane są niedokładnie określone czy wręcz rozmyte. Mimo, że komputery przewyższają zarówno biologiczne jak i sztuczne systemy neuronowe w zadaniach wymagających dokładnych i szybkich obliczeń arytmetycznych, to jednak sztuczne sieci neuronowe stanowią nową, bardzo obiecującą generację systemów przetwarzających informację.

Zdolność sieci neuronowych do wykonywania obliczeń równoległych oraz wynikająca stąd możliwość przetwarzania ogromnych ilości informacji powodują duże zainteresowanie ich zastosowaniem przy rozwiązywaniu czasochłonnych i złożonych problemów optymalizacyjnych. Stopień współbieżności obliczeń w sieciach neuronowych jest wielokrotnie większy niż w najnowocześniejszych systemach wieloprocesorowych. Daje to możliwość znacznego przyspieszenia obliczeń, zwłaszcza przy rozwiązywaniu zadań optymalizacji kombinatorycznej.

Obecnie istnieją dwa główne podejścia do zagadnienia neuronowej optymalizacji. Pierwsze, bardziej rozpowszechnione, polega na sprowadzeniu zadania optymalizacji do problemu minimalizacji funkcji energii rekurencyjnej sieci neuronowej, która jest w tym przypadku traktowana jako układ minimalizujący. Drugie podejście polega na zaprojektowaniu sieci konkurencyjnej, w której neurony rywalizują między sobą by stać się aktywnymi. Przykładem rekurencyjnej sieci neuronowej jest sieć Hopfielda, której działanie jest oparte na samorzutnej minimalizacji funkcji energii, co sugeruje potencjalną możliwość jej zastosowania przy rozwiązywaniu zadań optymalizacji.

Przy zastosowaniu sztucznych sieci neuronowych do rozwiązywania zadań optymalizacyjnych problem polega na odpowiednim przejściu od zadania minimalizacji funkcji celu problemu wyjściowego (z uwzględnieniem istniejących ograniczeń) do zagadnienia minimalizacji funkcji energii sieci neuronowej. Z taką transformacją wiążą się następujące kwestie:

- określenie takiego sposobu reprezentacji problemu przy użyciu sieci neuronowych, aby na podstawie końcowego stanu sieci (wartości wyjść elementów przetwarzających) możliwe było określenie rozwiązania oryginalnego problemu.,
- określenie funkcji energii w taki sposób, aby jej minimum odpowiadało optymalnemu rozwiązaniu problemu wyjściowego,
- określenie wartości wag połączeń sieci oraz pobudzeń zewnętrznych poszczególnych elementów przetwarzających,
- określenie postaci równań dynamiki poszczególnych elementów w sposób zapewniający zmniejszenie wartości funkcji energii w procesie ewolucji całej sieci,
- określenie wartości początkowych wejść poszczególnych elementów (determinują one końcowy stabilny stan sieci),

W problemach optymalizacji kombinatorycznej funkcję energii najczęściej wybiera się postaci:

$$E = \sum_j A_j \cdot (\text{"miara naruszenia } j\text{-tego ograniczenia"}) \\ + B \cdot (\text{"funkcja celu problemu wyjściowego"})$$

przy czym A i $B > 0$ są parametrami (współczynnikami wagowymi). Poprzez minimalizację funkcji energii staramy się równocześnie zminimalizować wyjściową funkcję celu oraz zmaksymalizować stopień spełnienia ograniczeń. Końcowy rezultat zależy w dużym stopniu od właściwego wyboru parametrów A_j oraz B (niestety, często jedynym sposobem takiego wyboru pozostaje metoda prób i błędów).

W zagadnieniach Sieci i Instalacji Sanitarnych sztuczne sieci neuronowe mogą optymalizować wszelkiego rodzaju zadania transportowe, np. przy wykorzystaniu sieci Hopfielda rozwiązującej problemy optymalizacyjne zbliżone do „problemu komiwojażera”. W przypadku optymalizacji systemu zaopatrzenia w wodę można z funkcji celu przejść na funkcję energii sieci rekurencyjnej i przy jej pomocy znaleźć szukane ekstremum funkcji.

WNIOSKI

Metody matematycznego modelowania, symulacji i optymalizacji zagadnień sieci i instalacji sanitarnych są obecnie często stosowane, co przy wykorzystaniu komputerów daje możliwości ich lepszego projektowania i bardziej ekonomicznego eksploataowania. Rozwijanie istniejących metod i opracowywanie nowych, jest ważnym etapem rozwoju tej dziedziny Inżynierii Sanitarnej. Szybki rozwój komputerów, duża ich dostępność i względnie niskie ceny umożliwiają wykorzystanie metod, które do tej pory nie były stosowane ze względu na duży stopień skomplikowania oraz czasochłonność koniecznych do wykonania obliczeń. W tym kontekście wydaje się, że rozwiązywanie problemów optymalizacyjnych w systemach sieci i instalacji sanitarnych będzie się wiązało ze znajomością obsługi podstawowych programów komputerowych, oraz w przypadku bardziej skomplikowanych zagadnień, ze znajomością zasad programowania. Ponieważ, w wielu przypadkach klasyczne metody informatyczne są niewystarczające lub nieoptymalne, istnieje konieczność stosowania innych, nowych technik rozwiązywania problemów optymalizacyjnych, np. metod sztucznej inteligencji, w tym sztucznych sieci neuronowych, systemów ekspertowych, czy opartych na sztucznych sieciach neuronowych systemów wspomaganie decyzji. Można przypuszczać, iż popularność oraz mnogość metod neuronowej optymalizacji znajdzie swoje odzwierciedlenie w zastosowaniu ich do optymalizacji zagadnień Inżynierii Środowiska.

LITERATURA

- [1] BIEDUGNIS S., Miłaszewski R.: *Metody optymalizacyjne w wodociągach i kanalizacji*, PWN, 1993
- [2] FINDEISEN W., Szymanowski J., Wierzbicki Andrzej: *Teoria i metody obliczeniowe optymalizacji*, PWN, 1980
- [3] GOLIŃSKI J.: *Metody optymalizacyjne w projektowaniu technicznym*, WNT, 1974
- [4] GABRYSZEWSKI T.: *Wodociągi*, ARKADY, 1983
- [5] LUENBERGER D.: *Teoria optymalizacji*, PWN, 1974
- [6] OSOWSKI S.: *Sieci neuronowe w ujęciu algorytmicznym*, WNT 1996
- [7] ROMAN M. i in.: *Wodociągi i Kanalizacja. Poradnik*, ARKADY, 1991
- [8] ŻURADA J., Barski M., Jędruch W.: *Sztuczne sieci neuronowe*, PWN, 1996