

Na prawach rękopisu

INSTYTUT INŻYNIERII LĄDOWEJ
POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ

Raport serii PRE nr 2/81

OPTIMALIZACJA PROJEKTOWANIA
SIECI INFRASTRUKTURY TECHNI-
CZNEJ UZBROJENIA PODZIEMNEGO
Z UWZGLĘDNIENIEM WARUNKÓW
EKSPLOATACJI

Cezary Madryas

Praca doktorska

Promotor: Prof. dr hab. inż. Jędrzej Kuczyński

Słowa kluczowe: uzbrojenie podziemne,
budowa i eksploatacja,
optymalizacja

Wrocław 1981

Promotorowi wyrazy podziękowania
za opiekę naukową składa

autor

SPIS RZECZY	Str.
1. WSTĘP	5
1.1. Przedmiot opracowania	5
1.2. Cel, tezy oraz zakres i możliwości stosowania pracy	6
1.3. Charakterystyka dotychczas podejmowanych prób oceny techniczno-ekonomicznej efektywności sieci uzbrojenia podziemnego	7
2. TECHNICZNE ASPEKTY BUDOWY I EKSPLOATACJI SIECI UZBROJENIA PODZIEMNEGO W NOWO BUDOWANYCH OSIEDLACH MIESZKANIOWYCH	13
2.1. Wprowadzenie	13
2.2. Rodzaje sieci i systemy transportu mediów	13
2.3. Układy sieci	14
2.4. Sposoby ułożenia przewodów sieci uzbrojenia podziemnego	15
2.5. Systemy energetyczne, możliwości substytucji nośników energii	16
2.6. Rodzaje kanalizacji i systemy transportu ścieków	19
3. ANALIZA CZYNNIKÓW KSZTAŁTUJĄCYCH KOSZTY INWESTYCYJNO-EKSPLOATACYJNE ZEWNĘTRZNYCH SIECI UZBROJENIA PODZIEMNEGO DLA NOWYCH OSIEDLI MIESZKANIOWYCH	22
3.1. Wprowadzenie	22
3.2. Koszty inwestycyjne	22
3.3. Koszty eksploatacji zmienne	31
4. FUNKCJA KRYTERIUM I JEJ UPROSZCZENIA	46
4.1. Metoda kosztów rocznych	46
4.2. Postać szczegółowa funkcji kryterium oraz podział zmiennych decyzyjnych	49

5. ALGORYTM ANALIZY I OCENY OSZ	53
5.1. Opis ogólny algorytmu	53
5.2. Zapis szczegółowy algorytmu - SAA	54
5.3. Procedura I - metoda optymalnego wyznaczania położenia osiedlowych punktów zasilania /OPZ/	56
5.4. Procedura II - metodyka grupowania danych dla potrzeb ETO	70
6. CHARAKTERYSTYKA WYBRANYCH ELEMENTÓW ZBIORU ZMIENNYCH NIEZALEŻNYCH /X/ I SUGEROWANYCH /Y/ ORAZ ICH WPLYWU NA UKSZTAŁTOWANIE OSZ	79
6.1. Wprowadzenie	79
6.2. Wpływ substytucji nośników energii na przekroje sieci i tuneli wieloprzewodowych	79
6.3. Koncepcja wewnątrzosiedlowego systemu kanaliza- cji deszczowej i sanitarnej	86
6.4. Wpływ sposobu ułożenia sieci na tempo realizacji osiedla mieszkaniowego	95
7. WNIOSKI	101
WYKAZ OZNACZEŃ LITEROWYCH	103
LITERATURA	106

1. WSTĘP

1.1. Przedmiot opracowania

Problem optymalnego wyboru tras i metod realizacji elementów infrastruktury uzbrojenia podziemnego narasta w kraju do rangi problemów podstawowych. Wynika to ze stałego rozwoju ośrodków miejskich, a nade wszystko budownictwa mieszkaniowego co zmusza do wkraczania z zabudową na tereny nieuzbrojone. Brak zainwestowania sprawia, że obszary te charakteryzuje zwiększona ilość potencjalnie możliwych wariantów tras uzbrojenia oraz metod jego realizacji. Dodatkowo, ewolucja wymagań w stosunku do nowych zespołów mieszkaniowych powoduje konieczność zapewnienia im dostawy wszelkiego rodzaju mediów, a zatem prowadzenia na ogół pełnego asortymentu sieci uzbrojenia podziemnego. Spełnienie powyższego wymogu przy pomocy rozwiązań technicznie i ekonomicznie uzasadnionych jest możliwe wyłącznie na drodze doskonalenia metod projektowania infrastruktury technicznej, opartych dotychczas głównie na doświadczeniu projektanta. Szczególnie ważki problem stanowi opracowywanie metodyki porównywania projektowanych rozwiązań uwzględniającej specyfikę ich procesu inwestycyjnego i eksploatacji.

Przedmiotem prowadzonych rozważań będą zatem techniczno-ekonomiczne aspekty projektowania, realizacji oraz eksploatacji infrastruktury uzbrojenia podziemnego dla nowych osiedli mieszkaniowych. Punktem wyjścia do opracowania tematu było rozeznanie zasad i tendencji w projektowaniu sieci zaopatrzeniowych w Polsce i poza jej granicami. Na tej podstawie stwierdzono ogromne zaniedbania w zakresie opracowań dotyczących tych zagadnień w Polsce w stosunku do innych krajów, w tym również NRD, ZSRR, CSRS oraz WRL. Zaniedbania te dotyczą głównie nowych technik układania sieci oraz kryteriów ich techniczno-ekonomicznej oceny. Konieczność podjęcia badań tej tematyki potwierdziło również nadesłane w 1978 roku przez BSiPKiIM we Wrocławiu do Zespołu Badawczego Inżynierii Miejskiej w Politechnice Wrocławskiej zlecenie na temat "Optymalizacja sieci podziemnych przewodów w infrastrukturze technicznej", realizowane przy współudziale autora niniejszej rozprawy.

1.2. Cel, tezy oraz zakres i możliwości stosowania pracy

Ilość oraz różnorodność czynników wpływających na ukształtowanie OSZ /osiedlowych systemów zaopatrzeniowych/ zmniejszają prawdopodobieństwo właściwego wyboru rozwiązania wyłącznie w oparciu o intuicję projektanta. Wyjątkowo wyraźnie problem ten rysuje się w przypadku projektowania nowych obszarów zabudowy, gdzie liczba potencjalnych rozwiązań wyraźnie wzrasta, ze względu na brak ograniczeń, jakie występują przy istniejącym zainwestowaniu. Szerokie możliwości wyboru wariantów inspirowane do poszukiwań metodyki ich oceny, eliminującej subiektywne odczucia projektantów. Celem pracy jest więc opracowanie algorytmu postępowania tzn. metodyki analizy i oceny OSZ, dla ułatwienia projektowania, umożliwiającej wybór optymalnego rozwiązania przy zadanych warunkach. Przyjęty cel pociąga za sobą główną tezę pracy: istnieją możliwości ustalenia zasad oceny lokalizacji tras przewodów OSZ i różnych typów ich ułożeń dla dowolnych schematów zabudowy, w oparciu o proste metody matematyczne oraz kryteria techniczno-ekonomiczne. Aby osiągnąć cel pracy przeprowadzono szerokie studia literaturowe oraz szereg analiz z zakresu techniczno-ekonomicznych aspektów zagadnienia.

Za narzędzie umożliwiające ujęcie wszystkich elementów i czynników, przy całej ich różnorodności, występujących w procesie projektowania nowych fragmentów miast uznano zasady rachunku ekonomicznego, a za jednostki miary /oceny/ jednostki pieniężne.

Zatem jako kryterium optymalizacji zwane również funkcją celu zostanie przyjęte minimum kosztów, a rozwiązaniem najkorzystniejszym będzie to, które je spełni.

Przy analizie kosztów, poza kosztami inwestycyjnymi, uwzględnione zostaną koszty eksploatacji sieci i ich zawodności w całym okresie amortyzacji. Zdaniem autora, tylko taka ocena porównywanych rozwiązań może wyłonić wariant optymalny. Długi okres eksploatacji elementów uzbrojenia podziemnego może powodować, że zwiększone nakłady inwestycyjne wynikające z realizacji koncepcji kosztowniejszej, o podwyższonych walorach eksploatacyjno-niezawodnościowych będą ekonomicznie uzasadnione. Dodatkową korzyścią proponowanej metodyki oceny OSZ jest duże prawdopodobieństwo przełamania

istniejącej dotychczas bariery psychologicznej powodującej wśród inwestorów niechęć do stosowania rozwiązań inwestycyjnie droższych, jak np. tunele wieloprzewodowe.

Uwzględnienie kosztów zawodności jako jednego z kryteriów oceny sieci zaopatrujących dla sektora komunalnego stanowi novum.

Koszty te są jednak wyjątkowo ważnym elementem analizy, będąc jednocześnie wskaźnikiem stopnia komfortu użytkowego przyjętej koncepcji rozwiązania.

Z technicznego punktu widzenia projektowanie sieci uzbrojenia podziemnego to przede wszystkim ustalenie przebiegu ich tras w planie oraz sposobów ułożenia poszczególnych odcinków. Przedstawiona w oparciu o zasady matematyczne, metodyka najkorzystniejszego wyboru tras przewodów i sposobów ich ułożenia będzie funkcjonowała dla wszystkich rodzajów sieci oraz ich układów przy dowolnie wybranym planie zabudowy. Zgodnie z celem pracy przy doborze metod matematycznych, jak również konstruowaniu algorytmów uwzględnione w możliwie największym stopniu będą względy ich wykorzystania w praktyce projektowej.

1.3. Charakterystyka dotychczas podejmowanych prób oceny techniczno-ekonomicznej efektywności sieci uzbrojenia podziemnego

Na podstawie przeprowadzonych studiów literaturowych dotyczących tematu [17,18,38,39,43,44,45,52,55,56] można stwierdzić, że problem oceny techniczno-ekonomicznej efektywności OSZ jak dotąd w kraju nie doczekał się opracowania o charakterze ogólnym, ujmującego wszystkie elementy uzbrojenia podziemnego równocześnie. Prace dotyczące tego zagadnienia mające często charakter studialny i zawężają analizy do wybranych składników całkowitej sumy kosztów, określonych rodzajów sieci lub konkretnych, a nawet przykładowych sposobów ich realizacji. Braku inicjacji podjęcia tej tematyki w pełnym zakresie należy dopatrywać się w konieczności uwzględnienia w uniwersalnym algorytmie oceny, specyfiki procesu inwestycyjno-eksploatacyjnego dla różnych układów i sposobów ułożeń wszystkich rodzajów sieci co znacznie poszerza obszar poszukiwań.

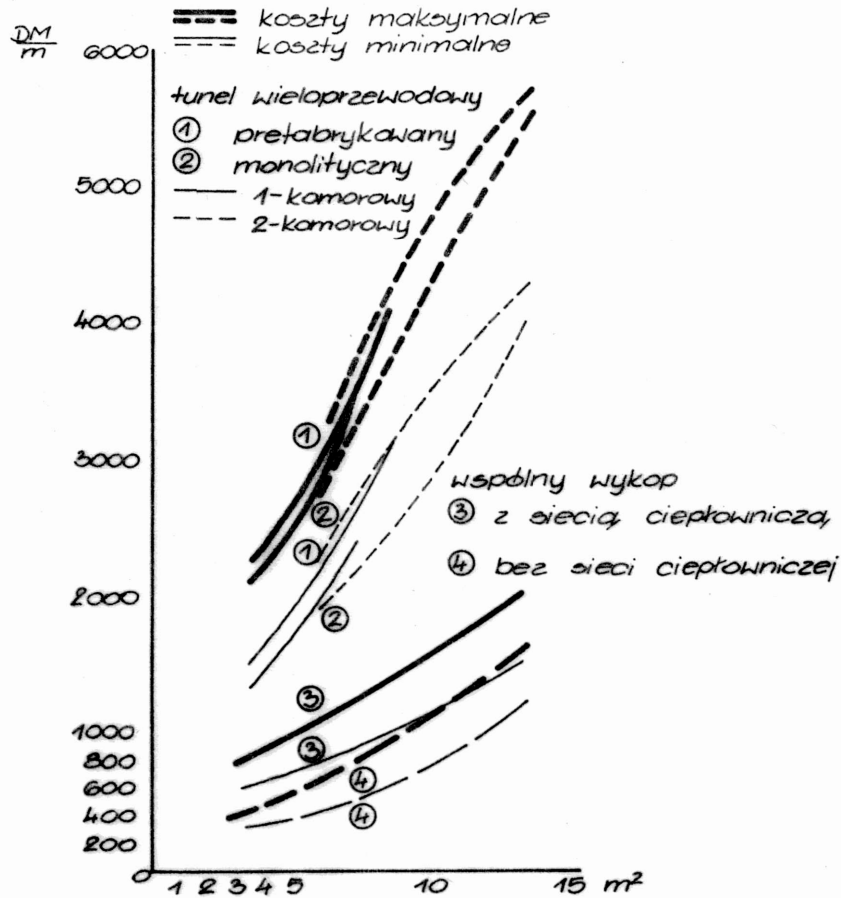
Spośród krajowych opracowań, ze względu na swój zakres, na uwagę zasługuje [44]. Celem tej pracy była próba "znalezienia kierunków nowoczesnego i oszczędnego projektowania sieci uzbrojenia jednostek osiedlowych". Przeprowadzone przez trzy biura projektów studia porównawcze trzech wariantów rozwiązań systemów uzbrojenia dla kilku osiedli, doprowadziło do określenia przybliżonych wskaźników techniczno-ekonomicznych dla ułożeń sieci we wspólnych wykopach, tunelach wieloprzewodowych i gruncie z zachowaniem normatywnych odległości. Jednak zdaniem autorów, ze względu na niejednakowy sposób gromadzenia danych, przedstawionych wyników nie można uznać za wyczerpujące temat, gdyż nie zezwalają na wyciągnięcie wniosków o charakterze ogólnym.

Dostępne autorowi opracowania zagraniczne sprowadzają się w głównej mierze do porównań kosztów inwestycyjnych dla różnych ułożeń tych samych sieci [7,14,63]. Takie ujmowanie problemu można tłumaczyć dużą ilością realizacji systemów zaopatrzeniowych nietradycyjnymi metodami, co zezwala na przeprowadzenie opracowań statystycznych.

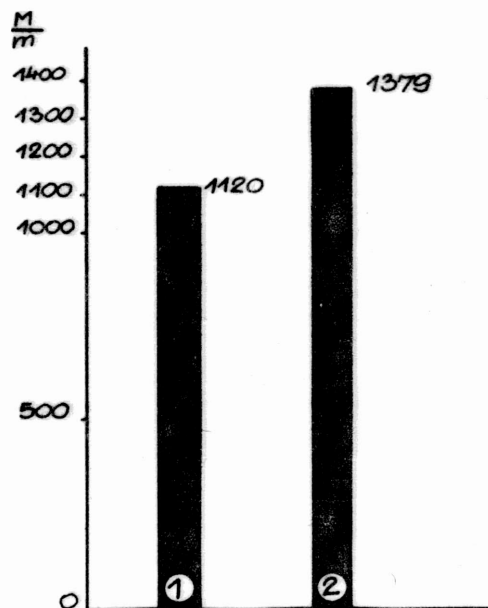
Na rys. 1.1 przedstawiono wykresy zmienności przybliżonych maksymalnych i minimalnych kosztów inwestycyjnych dla identycznych przewodów układanych we wspólnych wykopach oraz tunelach wieloprzewodowych realizowanych w dwóch odmiennych technologiach. Ponadto, wykresy uwzględniają wszystkie nakłady dodatkowe związane z montażem przewodów, ułożeniem nawierzchni nad kanałem lub wykopem itp.

Przedstawione na rysunku krzywe dobrze charakteryzują wrażliwość kosztów na zmiany warunków lokalnych. Przy identycznych gabarytach budowli ich wahania mogą dochodzić do 25 % wartości. Zilustrowane wyniki są efektem porównań studialnych [14]. Wartości kosztów dla rzeczywistych realizacji według [14,63] przedstawiono na rysunkach 1.2 - 1.4.

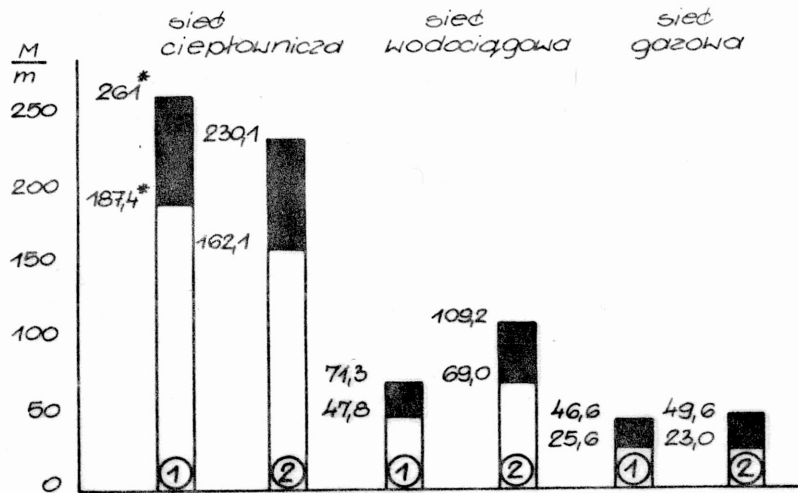
Rysunek 1.2 porównuje wielkości jednostkowych łącznych kosztów inwestycyjnych budowy i wyposażenia tunelu "Schwarzwasserweg" w Suhl z alternatywnym ułożeniem przewodów we wspólnym wykopie, a na rys. 1.3 przedstawiono koszty przewodów i montażu wybranych elementów uzbrojenia dla obu rozwiązań.



Rys. 1.1. Krzywe zmienności kosztów inwestycyjnych dla przewodów ułożonych we wspólnych wykopach i tunelach wieloprzewodowych.

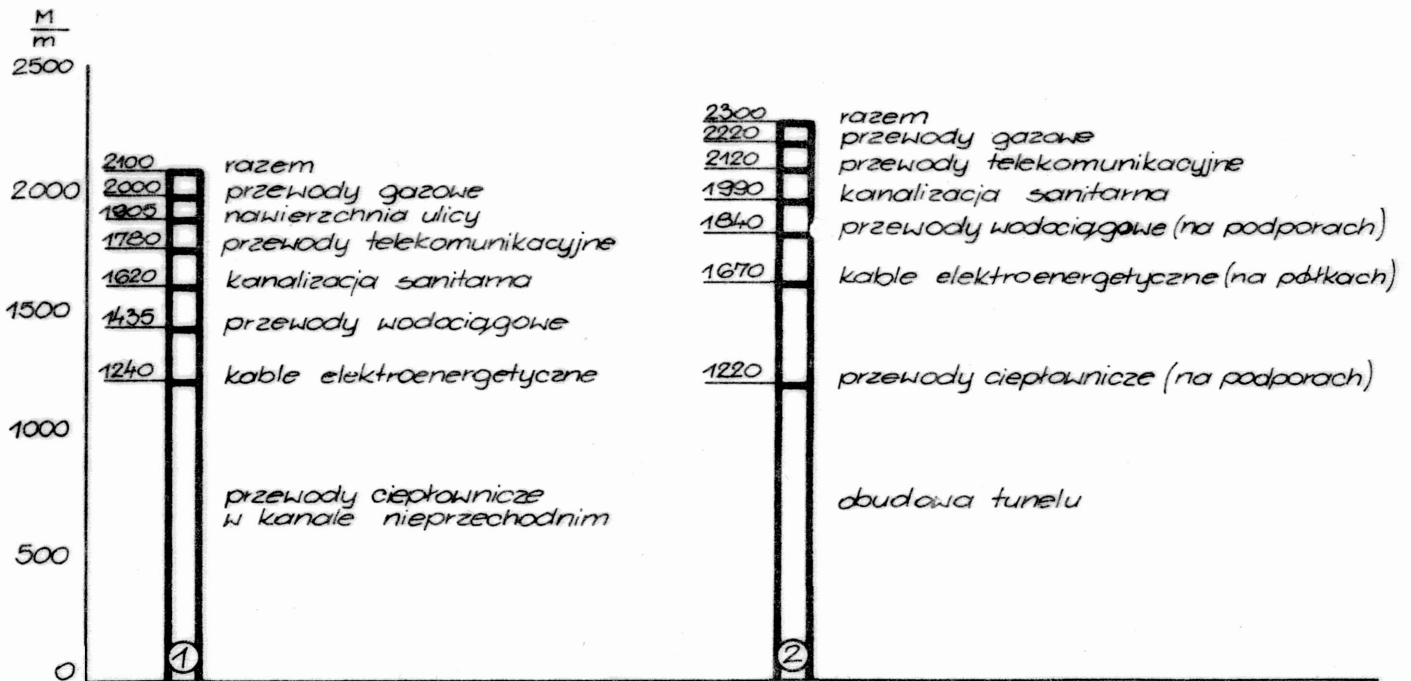


Rys. 1.2. Łączne nakłady inwestycyjne dla ułożeń:
 1 - we wspólnym wykopie,
 2 - w t.w. "Schwarzwasserweg" w Suhl.



Rys. 1.3. Koszty przewodów i montażu dla ułożeń:

- 1 - we wspólnym wykopie,
- 2 - w t.w. "Schwarzwasserweg" w Suhl,
- - koszty materiałów,
- - koszty montażu,
- * - w obudowie nieprzechońniej.



Rys. 1.4. Łączne nakłady inwestycyjne dla ułożeń:

- 1 - we wspólnym wykopie,
- 2 - w t.w. "Jena-Lobeda" w Jenie.

Inny przykład porównania kosztów inwestycyjnych z ich specyfikacją dla kolejnych sieci przedstawiono na rys. 1.4.

Zaprezentowane rysunki ze względu na zawężony zakres informacji oraz ograniczenie analizy do kosztów inwestycyjnych nie stanowią

podstawy do oceny układów OSZ ani wyciągania wniosków o charakterze ogólnym. Są wyłącznie ilustracją jednego z kierunków badań jakie prowadzono w NRD i RFN w celu określenia najkorzystniejszych układów uzbrojenia podziemnego. Pełna ocena OSZ wymaga przeprowadzenia kompleksowej analizy kosztów, dla zadanych warunków lokalnych, z uwzględnieniem wpływu urbanistyki osiedla i położenia osiedlowych punktów zasilania /OPZ/^{1/} na koszty inwestycyjne przy różnych sposobach ułożenia sieci oraz porównania kosztów eksploatacji i zawodności w całym okresie amortyzacji dla rozpatrywanych wariantów.

Szerokie studium planowania i rozmieszczania uzbrojenia w nowych osiedlach mieszkaniowych w nawiązaniu do struktury i charakteru ich zabudowy przeprowadzono w [50,51].

Autor obu opracowań określał proporcje między długościami ciągów uzbrojenia a powierzchniami osiedli i liczbą ich mieszkańców dla większości zrealizowanych w okresie powojnym zespołów mieszkaniowych NRD. Ponadto przeprowadził szeroką dyskusję nad problemem wpływu ustawienia budowli względem siebie na warunki uzbrojenia, a ściśle na długości tras jego elementów. Podobne zagadnienie aczkolwiek w zawężonym zakresie przedstawiono w pracy [25].

Problem wpływu lokalizacji OPZ na koszty uzbrojenia terenu poruszono w [60,61]. Autor opracowań zaproponował metodę klasyfikacji obszarów pod zabudowę względem kosztu ich zaopatrzenia w wybrane media. Przedstawiona "metoda izolinii" dzieli osiedle na fragmenty, do których koszty dostawy będą jednakowe i może mieć zastosowanie przy ustaleniu urbanistycznej koncepcji zabudowy terenu lub oceny jego przydatności pod zainwestowanie. Dla potrzeb prowadzonej w pracy analizy niezbędne jest opracowanie procedury zezwalającej na takie zaprojektowanie położenia OPZ aby koszty transportu mediów dla przyjętej koncepcji zabudowy były minimalne.

Uwzględnienie kosztów eksploatacji na etapie projektowania wymaga znajomości charakterystyk użytkowych sieci uzbrojenia podziemnego. Zasadniczą część tych kosztów stanowią koszty energii niezbędnej do transportu mediów oraz pokrycia strat sieciowych. Ich wielkość

^{1/} - dla kanalizacji sanitarnej i deszczowej punkty odbioru mediów.

można prognozować na podstawie znajomości parametrów technicznych eksploatowanych sieci i zespołów pompowych oraz oporów przepływu mediów. Określenie stałych kosztów eksploatacji nie sprawia trudności gdyż stanowią one pewien procent nakładów inwestycyjnych. Problem leży natomiast w porównaniu kosztów zawodności rozpatrywanych układów, których ilościowe określenie wymaga znajomości opracowań statystycznych z zakresu awaryjności sieci przy różnych sposobach ułożenia.

Wstępne rozpoznanie tej sprawy wykazało, że informacje w tym zakresie są zbyt ubogie i opracowywane pod nieco innym kątem [47, 20, 65]. Wynika to zapewne z braku instrukcji dotyczących metodyki opisów awarii jakie powinni prowadzić użytkownicy sieci. Opracowanie tego tematu dla sieci wodociągowej i kanalizacyjnej podjęto w [22, 23, 24]. Wyniki proponowanej akcji mogą być jednak wykorzystane dopiero w przyszłości, gdyż miarodajny materiał statystyczny będzie można uzyskać, aż za lat kilkanaście. Pełny zakres danych musi dotyczyć wszystkich rodzajów sieci przy różnych sposobach ich ułożenia, co w chwili obecnej w kraju nie jest możliwe do przeprowadzenia ze względu na znikomą ilość realizacji nietradycyjnych sposobów układania sieci.

Materiały zagraniczne w tym zakresie ze zrozumiałych względów nie są ujawniane bądź też niechętnie udostępniane. Dostępne autorowi opracowanie dotyczące eksploatacji tuneli wieloprzewodowych [62] nie wniosło do tematu specjalnych nowości.

Osobny problem to określenie wysokości strat u odbiorców komunalnych w wyniku przerw w dostawach mediów, a w szczególności ich niewymiernej części jaką stanowi utrata komfortu oraz powodowane nią stany zdenerwowania mieszkańców. Przeliczanie tych strat dla przerw w dostawie energii elektrycznej przeprowadzono w [53], jednak proponowana metodyka wydaje się nie ujmować wszystkich czynników.

Mimo skąpego zakresu informacji dotyczących problematyki zawodności OSZ w pracy podjęto próbę analitycznego ujęcia strat zawodności układu w funkcji ukształtowania sieci oraz sposobów ułożenia jej odcinków. Takie ujęcie tematu stanowi pewne wyprzedzenie, jednak zdaniem autora dotychczasowy brak danych nie powinien być czynnikiem hamującym działania w tym zakresie, gdyż każde opóźnienie

w chwili obecnej powoduje przesunięcie terminu projektowania OSZ z uwzględnieniem ich zawodności.

2. TECHNICZNE ASPEKTY BUDOWY I EKSPLOATACJI SIECI UZBROJENIA PODZIEMNEGO W NOWO BUDOWANYCH OSIEDLACH MIESZKANIOWYCH

2.1. Wprowadzenie

W rozdziale tym będą scharakteryzowane te z najważniejszych czynników zależnych od decyzji projektanta uzbrojenia podziemnego nowych osiedli mieszkaniowych, które najwydatniej decydują o cechach wybranych rozwiązań. Zaliczono do nich rodzaje sieci i systemy transportu mediów, technicznie dopuszczalne układy sieci, sposoby ich ułożenia, systemy kanalizacji sanitarnej i deszczowej. Wskazano również na znaczenie jakie może mieć możliwość substytucji nośników energetycznych.

Zagadnienia te mogą wydać się ogólnie znane, jednak krótkie omówienie ich w niniejszej pracy uznano za celowe ze względu na rolę, jaką odgrywają w prowadzonych rozważaniach oraz procesie projektowania OSZ.

2.2. Rodzaje sieci i systemy transportu mediów

Współczesne wyposażenie mieszkań i obiektów usługowych związanych z zabudową mieszkaniową wymaga doprowadzenia energii, wody, łączności oraz odprowadzenia ścieków sanitarnych i deszczowych. W większości z realizowanych w Polsce miejskich zespołów mieszkaniowych potrzeby te są pokrywane doprowadzeniem sieci: ciepłowniczych /wodnych/, elektroenergetycznych /średniego i niskiego napięcia/, gazowych /średnio- i niskociśnieniowych/, wodociągowych, kabli telekomunikacyjnych oraz systemu kanalizacji grawitacyjnej. Taki sposób zaopatrzenia zmusza do prowadzenia pełnego /maksymalnej ilości przewodów/ asortymentu uzbrojenia podziemnego, co często nie jest rozwiązaniem najkorzystniejszym.

Osobne zagadnienie stanowią zasady transportu, jakim podlegają przepływające media. Ze względu na to kryterium systemy trans-

portu mediów podzielono w pracy na: grawitacyjne, ciśnieniowe oraz przenoszenia ładunków.

Istota systemów grawitacyjnych, jakie tworzą wyłącznie sieci kanalizacji sanitarnej i deszczowej, polega na wymuszeniu ruchu mediów poprzez wykorzystanie ich siły ciężkości. Ścieki płyną grawitacyjnie od najwyższej położonego punktu układu do najniższej położonego dzięki odpowiednim pochyleniom dna kanałów. Cecha ta sprawia, że sieci tej kanalizacji tworzą najszttywniejszy element uzbrojenia podziemnego uwarunkowany ukształtowaniem terenu a projektowania ich tras nie można łączyć z pozostałymi rodzajami elementów uzbrojenia. Wspólną cechą, istotną dla prowadzonych rozważań, pozostałych systemów transportu /ciśnieniowego oraz przenoszenia ładunków/, jest ich zdolność do przenoszenia mediów bez względu na ukształtowanie profilu podłużnego przewodów. Właściwość ta daje podstawę do traktowania w dalszej części analizy sieci tych systemów, jako "jednego przewodu zastępczego". Takie ujęcie problemu stanowi z pewnością innowację w stosunku do obecnie panujących poglądów, mogąc budzić pewne kontrowersje, niewątpliwie jednak może się przyczynić do znacznego ułatwienia procesu projektowania.

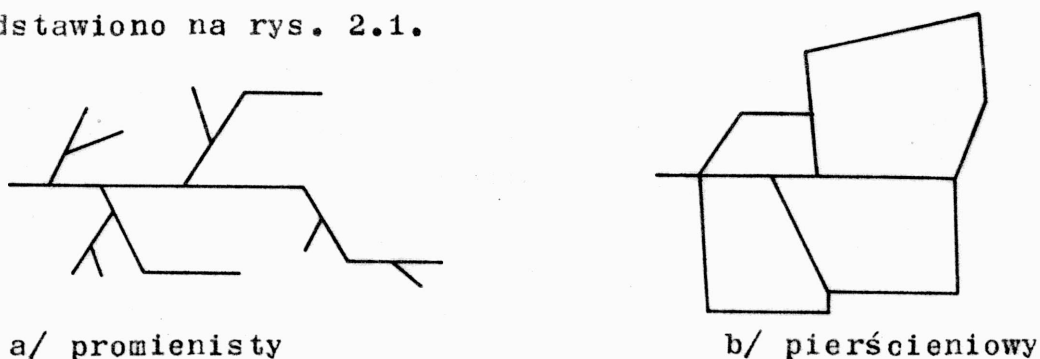
2.3. Układy sieci

Ze względu na przeznaczenie przewody systemów zaopatrzeniowych dzielą się na przewody główne - magistrale i przewody rozdzielcze. Podział ten zależnie od wielkości sieci można kontynuować wyróżniając magistrale I, II-i III-rzędne, a wśród przewodów rozdzielczych co najmniej I- i II-rzędne.

Dla sieci o małych zasięgach /w skali osiedla, a nawet dzielnicy/ może zachodzić przypadek, że średnice wszystkich przewodów będą zbliżone do siebie, a nawet jednakowe, wówczas nie będzie podziału na magistrale i przewody rozdzielcze.

Magistrale służą w zasadzie wyłącznie do zasilania przewodów rozdzielczych, które z kolei bezpośrednio zasilają punkty odbioru /budynki, obiekty usługowe itd/.

Ze względu na ukształtowanie sieci w planie rozróżnia się dwa układy podstawowe, których pochodnymi są wszystkie inne rozwiązania. Są to układy promieniste /zwane również rozgałęzionymi/ oraz pierścieniowe /inaczej obwodowe/. Schematy tych układów przedstawiono na rys. 2.1.



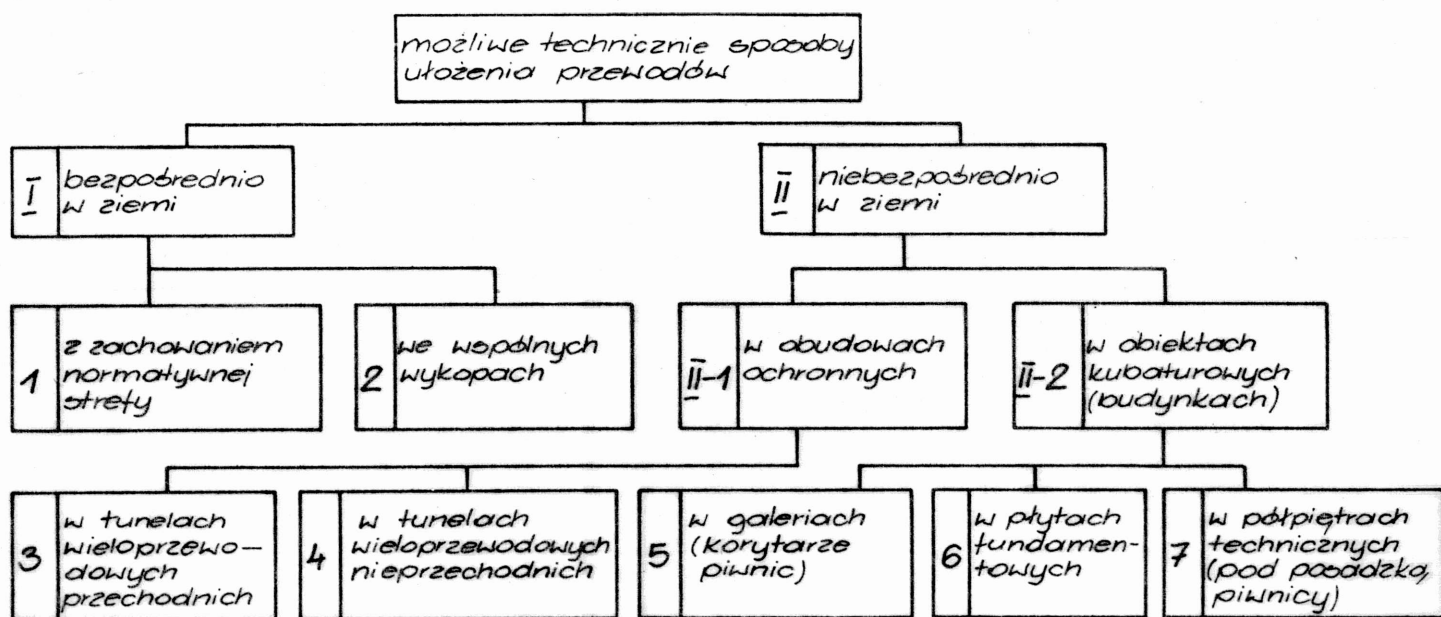
Rys. 2.1. Układy sieci.

W sieci pierścieniowej, gdzie obwody tworzą zamknięte pętle, możliwa jest dostawa medium co najmniej z dwóch kierunków, co decyduje o jej wyższych walorach eksploatacyjnych. Układy takie nie są stosowane w przypadku systemów grawitacyjnych, gdzie mamy do czynienia wyłącznie z sieciami promienistymi. Dla sieci ciśnieniowych niejednokrotnie układ promienisty stanowi etap początkowy w budowie całego systemu, ulegając przekształceniu na sieć obwodową poprzez likwidację ślepych końcówek /spięcia/ w dalszych etapach rozbudowy.

2.4. Sposoby ułożenia przewodów sieci uzbrojenia podziemnego

Analizując dotychczas zrealizowane różnymi sposobami ułożenia sieci uzbrojenia podziemnego, można je podzielić i przedstawić schematycznie jak na rys. 2.2.

Jak wynika z rysunku 2.2 znanych jest siedem technicznie możliwych sposobów układania sieci, dla których przekroje poprzeczne przez ich trasy pokazano na rys. 2.3. Układanie sieci bezpośrednio w ziemi z zachowaniem strefy jest sposobem najstarszym ze znanych oraz najczęściej stosowanych w naszym kraju, stąd też w pracy będzie on określony jako "tradycyjny". Pozostałe metody /"nietradycyjne"/ układania przewodów znajdują obecnie coraz szersze zastosowanie, a szczególnie tunele wieloprzewodowe w połączeniu z galeriami w podziemiach budynków.



Rys. 2.2. Technicznie możliwe sposoby ułożenia sieci uzbrojenia podziemnego.

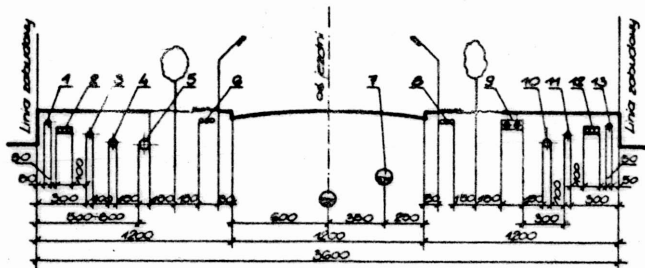
Rozwiązania polegające na umieszczaniu przewodów w półpiętrach technicznych były realizowane w ZSRR. Najnowszą i jak dotąd rzadko stosowaną metodą jest układanie przewodów w płytach fundamentowych. Autorowi znany jest przykład takiej realizacji uzbrojenia w obecnie budowanej nowej dzielnicy mieszkaniowej Ilmenau /NRD/.

2.5. Systemy energetyczne, możliwości substytucji nośników energii

Potrzeby energetyczne mieszkańca współczesnego osiedla oraz funkcjonujących na jego terenie usług można podzielić na cztery podstawowe grupy:

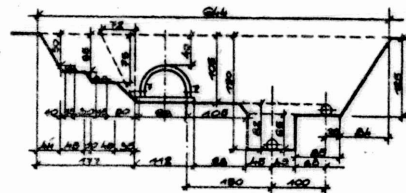
- ogrzewanie, wentylacja i klimatyzacja pomieszczeń,
- przygotowanie ciepłej wody użytkowej,
- przygotowanie posiłków,
- oświetlenie i drobny napęd.

Energię dla potrzeb ostatniej grupy można dostarczać wyłącznie za pośrednictwem energii elektrycznej bez możliwości substytucji, natomiast potrzeby energetyczne trzech pierwszych grup

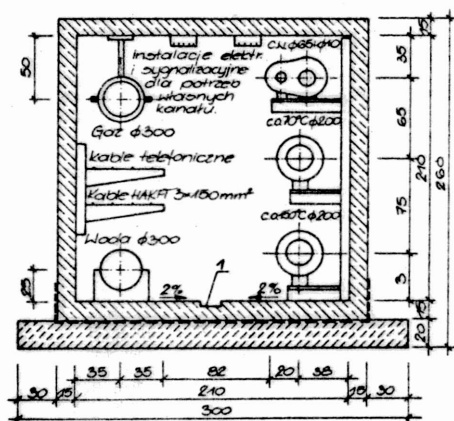


Przykładowe rozmieszczenie przewodów podziemnych w przekroju poprzecznym ulicy.
 1-kanalizacja telef., 2 i 13-kable elektroenergetyczne, 3 i 12-gazociągi rozdzielcze, 4 i 11-przewody wodociągowe rozdzielcze, 5-przewód wodociągowy magistralny, 6 i 9-kable oświetl., 7-kanalizacja sanitarna, 8-kanalizacja deszczowa, 10-kanat ciepłowniczy

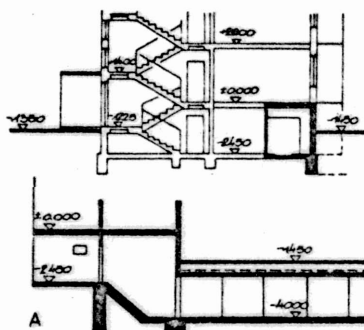
g-1



g-2

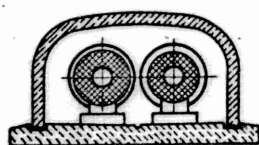


g-3

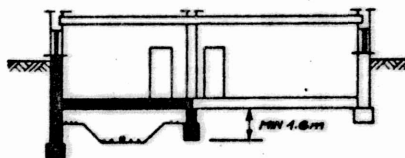


Usytuowanie galerii przewodowej w piwnicy budynku
 A-podłączenie galerii do tunelu przewodowego

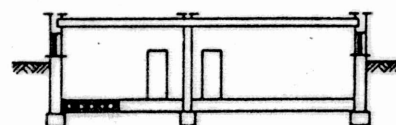
g-4



g-5



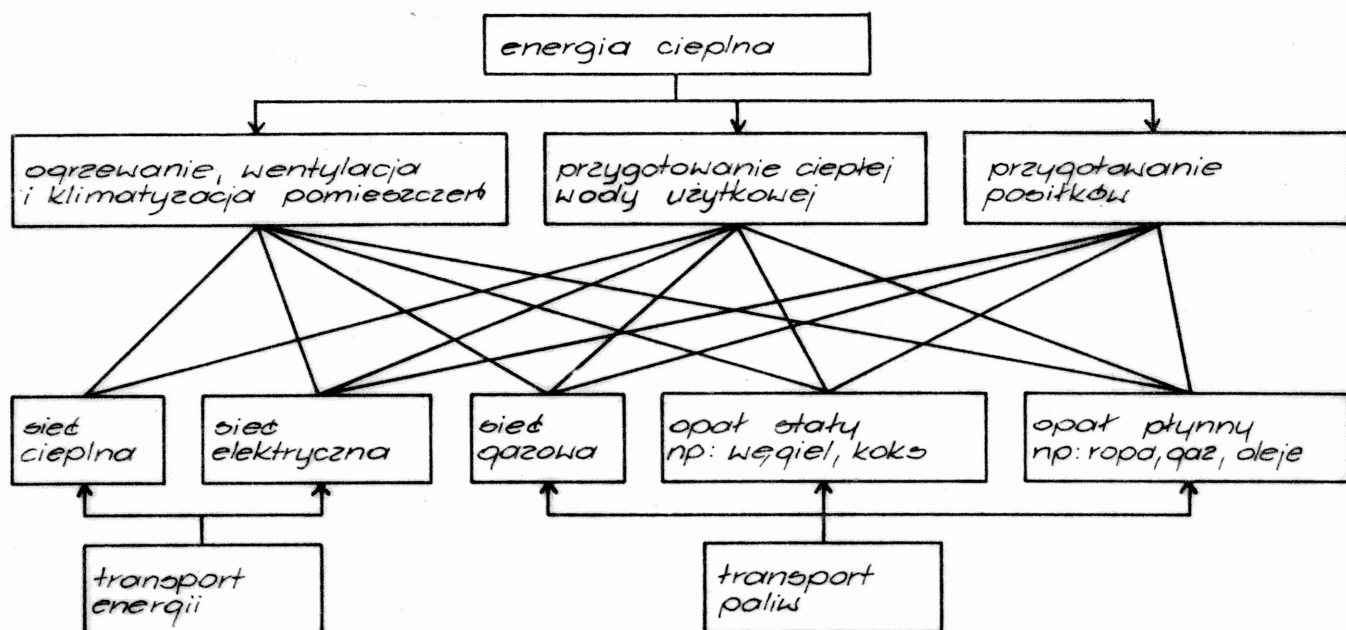
g-6



g-7

Rys. 2.3. Techniczne możliwości układania sieci uzbrojenia podziemnego
 g-wskaznik identyfikacji kolejnych sposobów ułożenia wg. wartości przyjętych na rys.22

mogą być pokrywane przy użyciu różnych nośników według schematu przedstawionego na rysunku 2.4.



Rys. 2.4. Schemat technicznych możliwości wyboru nośników energii cieplnej.

W większości przypadków wybór rodzaju stosowanych nośników zależy od energetycznej polityki danego regionu, a nawet kraju i wychodzi poza kompetencje projektanta sieci. Jednak obserwowana w chwili obecnej sytuacja na rynku surowców energetycznych potwierdza małą stabilność ich cen. Przewartościowanie surowców może sprawić, że problem substytucji nośników już niedługo nabierze znaczenia podstawowego.

Innym nie mniej ważnym aspektem zagadnienia są walory eksploatacyjne różnych mediów oraz wpływ ich użytkowania na środowisko naturalne człowieka. Z wymienionych względów zagadnienia te są od dawna przedmiotem rozważań w wielu krajach. Przykładowo, w większości realizowanych osiedli mieszkaniowych w NRD zrezygnowano z prowadzenia sieci gazowej dla przygotowania posiłków zastępując ją instalacją elektryczną.

Również z tych powodów algorytm oceny ekonomicznej efektywności sieci uzbrojenia podziemnego, będący celem tej pracy, zostanie tak zbudowany, aby umożliwiał ocenę rozwiązania przy różnych

wariantach energetycznych. Dodatkowo zostaną przedstawione wyniki własnych badań autora nad wpływem tych wariantów na wymiary poprzecznego przekroju tunelu wieloprzewodowego.

2.6. Rodzaje kanalizacji i systemy transportu ścieków

W zależności od zadań, które ma spełniać kanalizacja według [4] można ją podzielić na:

- kanalizację częściową, odprowadzającą z reguły ścieki bytowo-gospodarcze i przemysłowe lub w przypadkach wyjątkowych ścieki opadowe i wody gruntowe,
- kanalizację pełną, odprowadzającą ścieki bytowo-gospodarcze i przemysłowe oraz wody opadowe i gruntowe.

Przy obecnym poziomie rozwoju infrastruktury technicznej uzbrojenia podziemnego w miastach, w większości przypadków realizuje się kanalizację pełną.

W zależności od systemu sieci do odprowadzania ścieków i wód opadowych kanalizacja dzieli się na ogólnospławną i półrozdzielną. Istotę kanalizacji ogólnospławnej stanowi prowadzenie wspólnych przewodów dla ścieków sanitarnych i deszczowych, których przekroje są wymiarowane na podstawie spływów deszczowych. Stąd też pełne ich wykorzystanie ma miejsce w stosunkowo krótkim czasie w ciągu roku lub nawet raz na kilka lat, natomiast w przypadku wystąpienia deszczów o maksymalnych natężeniach kanalizacja nie spełnia w pełni swego zadania. Systemy kanalizacji ogólnospławnej wymagają większych nakładów inwestycyjnych i eksploatacyjnych na oczyszczalni ścieków, chociaż różnice tych kosztów zazwyczaj nie przekraczają kosztów budowy drugiej sieci [4].

Wprowadzenie poprzez przewody burzowe rozcieńczonych ścieków do odbiorników wód deszczowych oraz uniemożliwienie wtórnego wykorzystania wód opadowych, przy obecnym stopniu skażenia środowiska oraz przy panującym w kraju deficycie wody konsumpcyjnej, stanowią największe wady tego systemu ewakuacji ścieków.

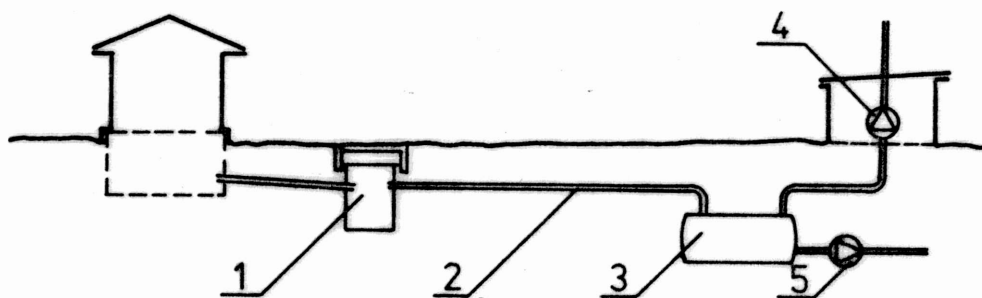
System kanalizacji rozdzielczej wymaga prowadzenia osobnych przewodów dla ścieków sanitarnych i deszczowych. Dodatkowo, dla zapewnienia przepływów zachodzi konieczność nadania większych spad-

ków podłużnych kanałom sanitarnym co zwiększa ich zagłębienia. Czynniki te powodują, że koszty budowy takiej kanalizacji mogą być wyższe niż dla systemu ogólnospławnego. Poza dużą kapitałochłonnością inwestycji w przypadku bezpośredniego odprowadzenia wód deszczowych do odbiorników, wadą tej kanalizacji jest znaczne zanieczyszczenie środowiska.

Zasady pracy i stosowania kanalizacji półrozdzielczej są podobne jak dla pełnego systemu rozdzielczego. Wymaga ona użycia separatorów oraz powiększonych przekrojów sieci ściekowej w celu umożliwienia przerzutów do niej wód opadowych. Poza obniżonymi nakładami inwestycyjnymi, w przypadku bezpośredniego odprowadzania wód deszczowych do odbiorników, najlepiej ze wszystkich systemów spełnia wymogi ochrony środowiska, wskutek przekazania maksymalnych zanieczyszczeń wód opadowych z początkowej fazy deszczu do kanalizacji sanitarnej.

Ze względu na specyfikę transportu ścieków sanitarnych i deszczowych systemy kanalizacji można podzielić na: grawitacyjne, ciśnieniowe i podciśnieniowe.

Schemat kanalizacji podciśnieniowej pokazano na rysunku 2.5. [11].



Rys. 2.5. Schemat układu kanalizacji podciśnieniowej: 1 - urządzenie sterujące zaworem odprowadzającym ścieki, 2 - sieć przewodów podciśnieniowych, 3 - zbiornik gromadzący ścieki, 4 - pompa próżniowa, 5 - pompa ściekowa.

Czynnikiem powodującym grawitacyjny przepływ ścieków jest ich energia potencjalna wywołana przyciąganiem ziemskim, a wynikające stąd konsekwencje dla ukształtowania sieci omówiono w punkcie 1.1.

Istota systemu ciśnieniowego i podciśnieniowego polega na wymuszeniu ruchu medium poprzez działanie pomp tłoczących lub ssących

wytwarzających w sieci odpowiednio nadciśnienie lub podciśnienie. Jak już nadmieniono, czynnik ten może mieć zasadnicze znaczenie dla projektowania, gdyż upodabnia pracę kanalizacji sanitarnej i deszczowej do pozostałych elementów uzbrojenia podziemnego, uniezależniając transport ścieków od ukształtowania profilu podłużnego przewodów.

W przypadku projektowania OSZ istotne jest przede wszystkim rozważenie możliwości ciśnieniowej ewakuacji ścieków sanitarnych, ponieważ ich ilości oraz trasy pokrywają się z siecią wodociągową. Trasy kanalizacji deszczowej, której projektowanie podlega odmiennym kryterium a ilości ścieków zależą od rodzaju i ukształtowania zlewni, mogą znacznie odbiegać od tras sieci dla innych mediów. Problem ten zostanie szczegółowiej omówiony w dalszej części pracy.

Czynnikami hamującymi podejmowanie decyzji o realizacji systemów ciśnieniowych są: konieczność budowy przepompowni, zatrudnienia stałej obsługi systemu oraz koszty energii w całym okresie eksploatacji. Dodatkowo, przewody ciśnieniowe muszą być zabezpieczone na załamaniach przed siłami pochodzącymi od uderzeń płynących mediów.

Systemy podciśnieniowe nie realizowane dotychczas w kraju, wg [11] nadają się raczej do ewakuacji ścieków sanitarnych z obszarów o luźnej zabudowie typu jednorodzinnego lub wiejskiego.

Wynika to z konieczności utrzymania hermetycznej szczelności domowych urządzeń sanitarnych, co przy zbyt dużej ich ilości staje się praktycznie niewykonalne.

3. ANALIZA CZYNNIKÓW KSZTAŁTUJĄCYCH KOSZTY INWESTYCYJNO-EKSPLOATACYJNE ZEWNĘTRZNYCH SIECI UZBROJENIA PODZIEMNEGO DLA NOWYCH OSIEDLI MIESZKANIOWYCH

3.1. Wprowadzenie

Koszty budowy i funkcjonowania infrastruktury technicznej uzbrojenia podziemnego dzielą się na koszty inwestycyjne /I/ oraz eksploatacyjne /K/. Ich wielkości zależą od szeregu czynników, a wzajemne relacje powodują, że nie sposób mówić o ocenie poprawności rozwiązania ze względu na minimum ich sumy bez ich równoczesnego rozpatrzenia.

W niniejszym rozdziale podjęto próbę matematycznego zapisu wymienionych kosztów z uwzględnieniem najważniejszych czynników, które je kształtują.

Celem zamierzenia jest przedstawienie zapisu umożliwiającego porównanie ekonomicznej efektywności różnych wariantów rozwiązania.

3.2. Koszty inwestycyjne

Problem wysokości kosztów budowy elementów uzbrojenia podziemnego podejmowano w wielu pracach [31,32,33,38,39,43]. Krótki przegląd tych prac ma na celu ukazanie wieloaspektowości problematyki kształtowania się tych kosztów. Złożoność ich struktury w warunkach przebudowy starych zespołów miejskich przedstawiono w [33], a dla nowoprojektowanych osiedli temat ten podjęto w [31,32,39]. Opracowanie [55,56] dotyczy konkretnych przykładów realizacji sieci wodociągowych i kanalizacyjnych, natomiast autorka [38] porusza problem kosztów kanalizacji w terenie płaskim dla pasmowego typu zabudowy miejskiej. Mimo tak szerokiej rozpiętości zawartej w opracowaniach problematyki można z nich wyciągnąć pewne wnioski o charakterze ogólnym.

Zatem z uwagi na podobieństwo przebiegu procesu budowy i czynników kształtujących koszty realizacji poszczególnych sieci uzbrojenia podziemnego można uznać, że charakterystyki funkcji ich zmien-

ności będą podobne. W takim ujęciu jednostkowe /w odniesieniu do jednostki długości/ koszty budowy dowolnej sieci w funkcji jej średnicy i warunków lokalnych można określić jak dla sieci wodociągowej [43] zależnością w postaci ogólnej:

$$J = A + B d^{(n)} \quad \text{zł/m} \quad 3.1$$

gdzie: A, B, n - parametry zmienne w zależności od warunków gruntowo-wodnych, materiałów, głębokości ułożenia przewodu itp.,

d - średnica sieci.

Całkowity koszt uzbrojenia terenu dla jednakowych lub różnych długości i ilości odcinków sieci będzie przedstawiała formuła:

$$J = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m l_{ij} A_{ij} + B_{ij} d_{ij}^{(n_{ij})} \quad \text{zł} \quad 3.2$$

Powyższy zapis (3.2) jest za mało dokładny dla potrzeb prowadzonej w pracy analizy, wskazuje jednak na rolę doboru zmiennych d oraz l w procesie optymalizacji projektowania systemów uzbrojenia podziemnego. Generalnie, koszty inwestycyjne rosną ze wzrostem średnicy przewodów. Krzywe przebiegu funkcji ich wzrostu mogą być nieciągłe co wynika z charakteru zmienności d i l. Skokowość zmian średnic wynika z asortymentu produkowanych wyrobów /katalogowe wymiary średnic/, natomiast długości sieci zależą od przyjętej koncepcji urbanistycznej osiedla dla których mogą być projektowane w wielu wariantach, przy czym dla wybranego pozostają stałe. Dodatkowym czynnikiem powodującym skoki kosztów są przyjęte rozwiązania materiałowo-technologiczne /np. rury bezszwowe, konstrukcje monolityczne lub prefabrykowane itp./, których ceny stanowią zbiory elementów o skokowo zmiennych wartościach.

Dyskretny charakter zmian zmiennych decyzyjnych l i d, cen materiałów oraz rozwiązań technologicznych i urbanistycznych nadaje procesowi optymalizacji specyficzny charakter, o czym będzie mowa w dalszej części pracy.

W związku ze zbyt małą dokładnością zapisu 3.2 zachodzi konieczność rozbicia kosztów inwestycyjnych na koszty cząstkowe oraz kolejnego ich omówienia.

Podział kosztów inwestycyjnych na koszty cząstkowe i ich charakterystyka

Dekompozycja kosztów inwestycyjnych wymaga wprowadzenia nowych oznaczeń i indeksów identyfikacyjnych. Sumaryczny koszt $/I/$ podzielono na sześć kosztów składowych oznaczonych odpowiednio indeksami cyfrowymi od 1 do 6 umieszczonymi u góry po prawej stronie symbolu literowego. Do kosztów tych zaliczono: koszty robót ziemnych $/I^1/$, robót budowlanych $/I^2/$, przewodów wraz z osprzętem $/I^3/$, montażu $/I^4/$, izolacji $/I^5/$ oraz robót dodatkowych $/I^6/$. Symbolem k_{ijc}^g oznaczono c-te jednostkowe koszty inwestycyjne na i-tym odcinku j-tej sieci przy g-tym sposobie jej ułożenia. Indeks $c = 1 \dots 6$ jest mnemotechnicznie związany z głównymi składnikami dekompozycji $/I^c/$, natomiast $g = 1 \dots 7$ przyjmuje wartości zgodnie z przyjętym porządkiem na rysunku 2.2 identyfikując koszty w zależności od sposobu ułożenia sieci.

Koszty robót ziemnych

Koszty te mogą charakteryzować się dużymi rozpiętościami w ramach tej samej sieci nawet przy jednakowych średnicach jej przewodów i długościach odcinków. Niezależnie bowiem od gabarytów sieci zależą od warunków gruntowo-wodnych, głębokości ułożenia przewodów oraz wybranej techniki prowadzenia robót. Ich składowe to koszty wydobycia gruntu, odkładu, odwozu jego nadwyżki oraz koszty umocnień skarp wykopów i pompowania wody. Wzrastają zawsze wraz z głębokością wykopu i stopniem nawodnienia gruntu, co szczegółowiej omówiono w pracach [17,38,55,56]. Dla zadanego obszaru zabudowy /lokalizacji osiedla/ warunki gruntowo-wodne oraz topografia terenu są narzucone przez naturalne ukształtowanie środowiska. Możliwości regulacji kosztów leżą zatem w wyborze sposobu ułożenia sieci oraz techniki prowadzenia robót ziemnych i odwodnieniowych, a dla i-tego odcinka j-tej sieci przy g-tym sposobie jej ułożenia można je zapisać:

$$I_{ji}^1 = l_{ji} k_{ji1}^g \quad \text{zł} \quad 3.3$$

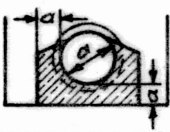
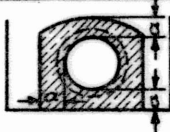
Dla ułożeń przewodów w osobnych wykopach z zachowaniem normatywnych odległości, wartości jednostkowego kosztu robót ziemnych $/k_{ji1}^g/$ należy obliczać dla każdego rodzaju sieci oddzielnie. Dla ułożeń we wspólnych wykopach, tunelach wieloprzewodowych oraz półpiętrach technicznych koszty będą rozkładały się na wszystkie elementy uzbrojenia jednakowo, a ich wartość pozostanie funkcją przyjętej koncepcji rozmieszczenia przewodów w przekroju poprzecznym. Dla przewodów prowadzonych w galeriach i płytach fundamentowych koszty robót ziemnych równają się zero.

K o s z t y r o b ó t b u d o w l a n y c h

Wysokość jednostkowych kosztów robót budowlanych $/k_{ji2}^g/$ wynika ze specyfiki ułożenia sieci oraz przyjętych technologii jej realizacji. Dla ułożeń bezpośrednio w ziemi wartość ich zależy od przyjętego kształtu fundamentów pod przewody, a dla ułożeń bez nich równa się kosztom budowy studzienek przypadających na 1 mb trasy. Stosowane przekroje fundamentów dla rur układanych w gruncie oraz wartości wynikających stąd współczynników zwiększenia ich nośności według [30] pokazano na rysunku 3.1.

Z rysunku tego wynika, że przy wybranym typie fundamentu jego koszt jednostkowy jest funkcją średnicy rury decydującej o ilości zużytego materiału.

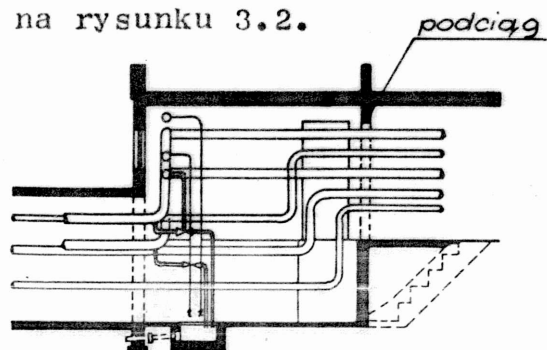
Obudowy pojedynczych sieci są stosowane w formie prefabrykowanych łupin żelbetowych dla przewodów sieci ciepłowniczej /patrz rysunek 2.3/ lub w postaci wielokanałowych żelbetowych bloczków prefabrykowanych dla kabli telekomunikacyjnych i elektroenergetycznych. Są to rozwiązania typowe dla realizowanych w kraju systemów zaopatrzeniowych. Zatem przy umieszczeniu elementów OSZ bezpośrednio w ziemi koszty robót budowlanych w skali całego systemu stanowią sumę kosztów wynikających ze specyfiki ułożeń kolejnych sieci. Dla ułożeń w tunelach wieloprzewodowych wysokość kosztów budowlanych zależy od wybranej technologii realizacji obudowy /monolityczna lub prefabrykowana/ oraz wymiarów i kształtu jej przekroju poprzecznego, a zatem średnic przewodów w niej prowadzonych i obciążeń budowli. Przy obliczeniu kosztów jednostkowych dodatkowo w tym przypadku należy je powiększyć o koszt budowy komór technicznych przypadający na 1 mb trasy.

L.p.	Spóób ułożenia rury	
1	 Rura ułożona wprost na gruncie, pogłębienia na złączach	1.1
2	 Połączenia kielichowe grunt uformowany na 90°	1.5
3	 Rura ze stopką, ułożona wprost na gruncie	1.5
4	 Spód rury podbitý dwustronnie piaskiem dobrze zagęszczonym, pogłębienia na złączach	1.5
5	 Rura ułożona na podłożu z be- tonu uformowanego na 90°	2.0
6	 Rura ułożona na podłożu z be- tonu uformowanego na 120°	2.0
7	 Rura podbita dwustronnie be- tonem, aż do połowy przekroju.	2.0
8	 Rura obetonowana ze spodu i boków $a_{min} = 10 \text{ cm}$ w ogóle $a = 0.12d$	3-4
9	 Rura obetonowana łącznie z górną częścią $a_{min} = 10 \text{ cm}$	3-8

Rys. 3.1. Różne sposoby ułożenia rur na podłożu gruntowych [30].

Przystosowanie ciągów piwnicznych do prowadzenia sieci wymaga wydzielenia biegnącego wzdłuż budynku korytarza o wolnym od zabudowy świetle przekroju poprzecznego. Wiąże się to z koniecznością zastąpienia poprzecznych ścian nośnych podciągami dla oparcia stropu parteru, co zilustrowano na rysunku 3.2.

Rys. 3.2. Adaptacja piwnic dla prowadzenia uzbrojenia podziemnego /galeria/ [59].

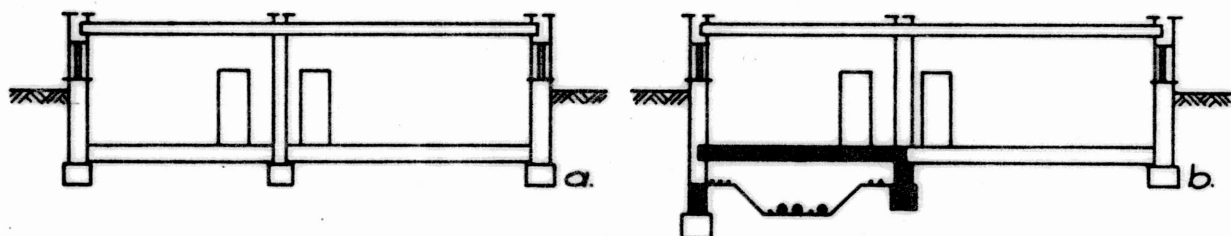


Oddzielenie galerii od pozostałej części kondygnacji piwnicznej może wymagać /w zależności od wybranego sposobu podparcia przewodów/ budowy wzdłuż wydzielanego ciągu ściany o takich parametrach technicznych aby możliwe było przytwierdzenie do niej konstrukcji wsporczych dla ułożenia sieci.

W przypadku stosowania U-kompensacji lub kompensacji liniowych na sieci cieplnej należy wykonać znaczne poszerzenia korytarzy w miejscach ich lokalizacji.

Dodatkowy wzrost kosztów prowadzenia sieci w galeriach wynika ze strat kubatury piwnicznych kondygnacji budynków, która dla innego sposobu ułożenia mogłaby być wykorzystana na piwnice lokatorskie lub garaże w przypadku budynków mieszkalnych, bądź magazyny czy pomieszczenia techniczne dla obiektów o charakterze usługowym.

Nadwyżki kosztów inwestycyjnych wynikających z powyższych zmian adaptacyjnych budowli w przeliczeniu na 1 mb sieci należy traktować jako jednostkowe koszty budowlane dla tego typu ułożenia. Realizacja półpięter technicznych pociąga za sobą konieczność głębszego posadowienia ław fundamentowych oraz budowy dodatkowego stropu, co pokazano na rysunku 3.3.



Rys. 3.3. Przekrój przez piwnice: a - bez półpiętra technicznego; b - z półpiętrzem technicznym.

Wartości jednostkowych kosztów budowlanych dla ułożeń sieci poza ośrodkiem gruntowym rozkładają się równomiernie na wszystkie ich rodzaje. Dla przewodów prowadzonych w galeriach i półpiętrach technicznych zależą w głównej mierze od rodzaju konstrukcji budynku. Koszty robót budowlanych dla przewodów układanych w płytach fundamentowych ze względu na znikomo małe ich wartości, wynikające głównie z wykonania otworów w płycie, można uznać

za pomijalnie małe. Koszty budowlane dla i-tego odcinka j-tej sieci przy g-tym sposobie ułożenia wyrażono równaniem:

$$I_{ij}^2 = l_{ij} k_{ij2}^g \quad \text{zł} \quad 3.4$$

K o s z t y p r z e w o d ó w w r a z z o s p r z ę t e m

Ceny przewodów zależą od materiału z jakiego są wykonane przewody i rosną ze wzrostem ich średnic. Podobnie kształtuje się przebieg wzrostu kosztów armatury, której ceny w ramach tego samego asortymentu zależą od jej typu i są wyższe dla montowanych na przewodach o większych średnicach. Wysokość tych cen ujmują odpowiednie katalogi wyrobów typowych.

Celem nadrzędnym przy projektowaniu średnic przewodów uzbrojenia jest taki ich dobór aby dostarczały niezbędne ilości mediów. Stąd też ekonomika ich projektowania związana jest z prawami jakim podlegają przepływy transportowanych w przewodach substancji. Możliwość zmniejszenia średnic przewodów /ciśnieniowych/ przy stałej ich długości i zachowaniu bilansu przepływów leży w regulacji ciśnienia jakie wywierają zespoły pompowe. Zwiększenie ciśnienia może być słuszne w przypadku dążenia do minimalizacji średnic, zmusza jednak do stosowania droższych przewodów i armatury oraz powoduje wzrost kosztów pompowania /eksploatacji/. Wydaje się zatem, że w dobie kryzysu energetycznego rozwiązań takich nie można uznać za słuszne, a zdaniem autora należy spodziewać się wzrostu tendencji do przyjmowania większych średnic celem zmniejszenia kosztów pompowania. Minimalizacji kosztów powinno upatrywać się raczej na drodze wdrażania nowych technologii produkcji rur /z tańszych materiałów/ oraz izolacji cieplnych o lepszych właściwościach, co pozwoliłoby rekompensować nadwyżki kosztów inwestycyjnych związanych z przewymiarowaniem średnic sieci. W algorytmie końcowym koszty rur wraz z osprzętem dla i-tego odcinka j-tej sieci można ująć wzorem:

$$I_{ij}^3 = k_{ij3}^g l_{ij} \quad \text{zł} \quad 3.5$$

Wartości kosztu jednostkowego / k_{ij3}^g / dla przewodów ułożonych bez dostępu do armatury należy powiększyć o koszt urządzeń /cię-

gien, prowadnic itp./ do jej regulacji z odległości /np. powierzchni terenu/.

K o s z t y m o n t a ż u

Koszty montażu wynikają z kosztu pracy sprzętu zmechanizowanego /dźwigi, samochody itp./ oraz ludzi i wzrastają dla większych ciężarów i wymiarów elementów. Koszty te nabierają odmiennego znaczenia dla różnych ułożeń.

Dla przewodów umieszczonych bezpośrednio w ziemi, w płytach fundamentowych i półpiętrach technicznych jednostkowy koszt montażu $/k_{ij4}^g/$ należy liczyć jako sumę kosztów montażu rurociągów i armatury. Dla ułożeń we wspólnych obudowach i galeriach koszty te zostają powiększone o koszty montażu urządzeń wsporczych /wsporniki, półki itp./.

W odniesieniu do i-tego odcinka j-tej sieci przy jej g-tym ułożeniu można je przedstawić wzorem:

$$I_{ij}^4 = l_{ij} \cdot k_{ij4}^g \quad \text{zł} \quad 3.6$$

K o s z t y i z o l a c j i

Analogicznie do kosztów montażu koszty izolacji różnią się dla odmiennych sposobów ułożenia sieci oraz rozmiarów przewodów. Dodatkowo, koszty te będą zależały od rodzaju materiału izolacyjnego oraz poziomu wody gruntowej i agresywności środowiska.

Szczególnie drogie mogą okazać się izolacje /zabezpieczenia/ w przypadku zagrożenia obiektu prądami błędzającymi, gdzie oprócz ochrony biernej zajdzie konieczność stosowania ochrony czynnej /np. drenaże elektryczne itp./. W zależności od sposobu ułożenia sieci, dla elementów umieszczonych bezpośrednio w gruncie oraz w płytach fundamentowych i półpiętrach technicznych, przez jednostkowy koszt izolacji $/k_{ij5}^g/$ należy rozumieć koszt zabezpieczenia przewodów i armatury. Dla ułożeń w tunelach wieloprzewodowych i obudowach nieprzechodnych koszty te wzrastają o koszt izolacji obudowy i urządzeń wsporczych, a dla przewodów prowadzonych

w galeriach do kosztów izolacji rur i armatury należy doliczać koszty zabezpieczenia urządzeń wsporczych. Odcinkowe koszty izolacji j-tej sieci ułożonej w g-ty sposób można zapisać:

$$I_{ij}^5 = l_{ij} k_{ij5}^g \quad \text{zł} \quad 3.7$$

K o s z t y r o b ó t d o d a t k o w y c h

Koszty te będą związane wyłącznie z pewnymi sposobami ułożenia sieci, a ściśle dotyczą przewodów umieszczonych w tunelach wieloprzewodowych przechodnich i galeriach. Należy do nich zaliczyć koszty materiału, budowy i eksploatacji, oświetlenia wnętrza tunelu lub galerii, wentylacji, jak również koszty systemów zabezpieczających /pompy odwadniające, gazoszczelne przegrody poprzeczne, wykrywacze zawartości gazu, automatyczne odcięcia przepływu mediów itp./ oraz pomieszczeń kontroli pracy i wynagrodzeń obsługi. Koszty te można rozłożyć równomiernie na wszystkie rodzaje prowadzonych w tunelu lub galerii sieci, a w odniesieniu do i-tego odcinka dowolnej z j-tych sieci można je zapisać

$$I_{ij}^6 = l_{ij} k_{ij6}^g \quad \text{zł} \quad 3.8$$

Indeks g w tym przypadku może przyjmować wartość $g = 3$ lub $g = 4$ co odpowiada umieszczeniom przewodów w przechodnich tunelach wieloprzewodowych lub galeriach.

S u m a r y c z n y z a p i s k o s z t ó w i n w e s t y c y j n y c h d l a O S Z

Łączne nakłady inwestycyjne dla dowolnie wybranej sieci OSZ są sumą iloczynów jednostkowych kosztów częściowych na rozpatrywanych jej odcinkach przez długości tych odcinków:

$$I_j = \sum_{i=1}^m \sum_{c=1}^6 l_{ij} k_{ijc}^g \quad \text{zł} \quad 3.9$$

W takim razie całkowity koszt inwestycyjny dla wszystkich sieci będzie równy:

$$I = \sum_{j=1}^n I_j \quad \text{zł} \quad 3.10$$

Przedstawiony wzorami 3.9 i 3.10 zapis kosztów jest formułą uproszczoną. Takie ujęcie tematu wynikało z faktu, że ten rodzaj kosztów jest stosunkowo dobrze rozpoznany, ponadto zaś problem ich porównania dla wybranych wariantów sprowadza się do wykonania odpowiednich kosztorysów [45].

Celem przeprowadzonej w tym rozdziale analizy było wyłącznie ukazanie podstawowych różnic, jakie projektant winien uwzględnić w trakcie dokonywania porównań oraz formalizacja matematycznego zapisu tych kosztów niezbędnego dla budowy końcowego algorytmu oceny.

Istotę zagadnienia stanowi natomiast konieczność szczegółowego omówienia i zapisu kosztów eksploatacji OSZ oraz sposobu ich obliczania. Wynika to z braku takich odkonań w dotychczas prowadzonych analizach porównawczych różnych wariantów uzbrojenia mimo roli, jaką wielkość tych kosztów może odegrać na etapie podejmowania decyzji o wyborze rozwiązania.

3.3. Koszty eksploatacji zmienne

W p r o w a d z e n i e

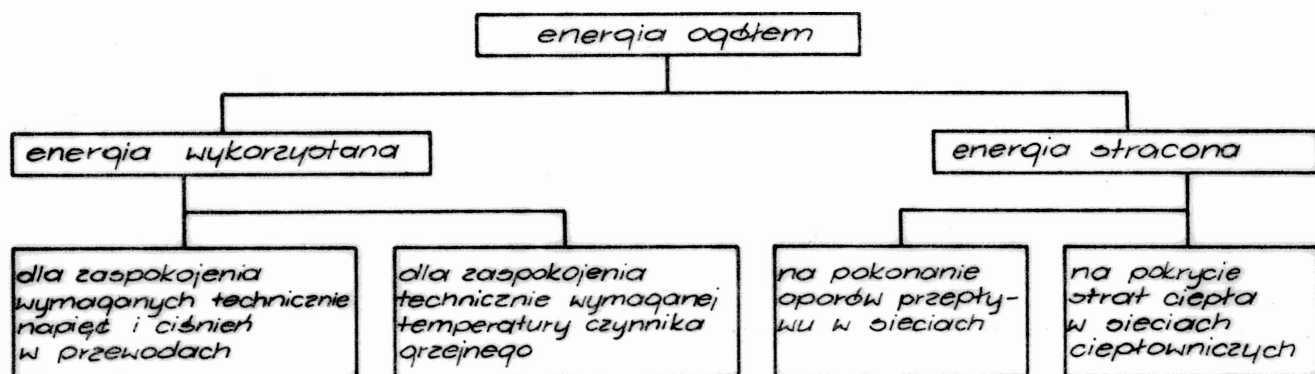
Zmienne koszty eksploatacji urządzeń infrastruktury podziemnej uzbrojenia miast, to koszty jej funkcjonowania na określonym poziomie technicznym. Do grupy tych kosztów zaliczono koszty energii niezbędnej dla transportu mediów i pokrycia strat sieciowych, oraz dodatkowo koszty zawodności układu. Wielkości tych kosztów w dużej mierze zależą od sposobu ułożenia sieci oraz wyboru ich tras. Szczególnie mocno różnice te są odczuwalne w przypadku kosztów zawodności, co wynika z odmiennych warunków pracy rurociągów i armatury, jakie stwarzają różne sposoby ich ułożenia.

Przedstawiona dekompozycja kosztów eksploatacji zmiennych wymaga osobnego omówienia kolejnych jej składników oraz wprowadzenia nowych oznaczeń. Dużą literką *K* z indeksem cyfrowym "1" umieszczonym w prawym górnym rogu symbolu oznaczono łączne koszty strat

sieciowych $/K^1/$, a z analogicznie umieszczonym indeksem "2" - łączne koszty zawodności OSZ $/K^2/$.

K o s z t y e n e r g i i o r a z c h a r a k t e r y s -
t y k a o z y n n i k ó w j e k s z t a ł t u j ą c y c h

Energię zużywaną dla zaspokojenia potrzeb OSZ podzielono według schematu przedstawionego na rysunku 3.4.



Rys. 3.4. Schemat rozkładu energii dla zaspokojenia potrzeb osiedli mieszkaniowych.

Zatem koszty energii stanowiące tu główny składnik ogólnego zmiennego kosztu eksploatacji będą przedstawione w funkcji zasadniczych parametrów opisujących sieci systemu zaopatrzeniowego.

S t r a t y c i e p ł a w p r z e w o d a c h
c i e p ł o w n i c z y c h

Sieć cieplna prowadzona w ośrodku o niższej temperaturze od temperatury transponowanego medium oddaje część energii do otoczenia. Zwykle ta część oddawanego ciepła wraz z energią niezbędną dla jego pozyskania i transportu tracona jest bezużytecznie. W wyjątkowych tylko przypadkach istnieją okoliczności sprzyjające jej wykorzystaniu w sposób użyteczny. Dla przewodów prowadzonych w kondygnacjach piwnicznych budynków ciepło to może być oddawane do pomieszczeń wymagających ogrzania, a w przypadku sieci

prowadzonych w ziemi rozwiązaniem takim może być prowadzenie tras kanałów pod ciągami chodników, co umożliwiłoby utrzymanie ich w stanie niezamarzania w okresie zimowym.

Powstające w trakcie przepływu straty ciepłne sieci dzielą się na liniowe i miejscowe, a ich sumę dla j-tej sieci złożonej z m odcinków można przedstawić wzorem [21]:

$$\Delta Q_j = \sum_{i=1}^m l_{ij} (1 + a_{ij}^c) k_{ij}^R f_{ij} \Delta t_{ij} \quad W \quad 3.11$$

Wymiary średnic przewodów determinujące wielkości pola ich powierzchni $/f_i/$ oraz będące jednym z czynników kształtujących wartość współczynnika przenikania ciepła przewodu izolowanego $/k_i^R/$ są uzależnione /przy zachowaniu stałego ciśnienia/ od wariantu zaspokojenia potrzeb energetycznych osiedla. Decyzja co do jego wyboru, jak dotychczas, leży w gestii instytucji ustalających koncepcję energetyczną zaopatrzenia całego miasta lub regionu, a nie projektantów sieci uzbrojenia podziemnego. Zmiennymi decyzyjnymi zależnymi od projektantów pozostają zatem długości odcinków sieci oraz poprzez wybór sposobów ułożenia /patrz rysunek 2.2/ wartości różnic temperatur $/\Delta t_i/$ i współczynników przenikania ciepła $/k_i^R/$ zależnych od temperatury otoczenia sieci oraz jego agresywnych wpływów, jak również innych czynników decydujących o wyborze rodzaju izolacji. Przy czym, dla wybranego wariantu ułożenia wartości $/\Delta t_i/$ pozostaje stała, natomiast $/k_i^R/$ zmienia się w funkcji cech materiałów izolacyjnych i ich grubości, dobór których rzutuje również na poziom kosztów inwestycyjnych. Stąd też, do końcowego algorytmu oceny niezbędne jest wprowadzenie wielkości sieciowych strat ciepła w funkcji grubości kolejnych warstw izolacji i ich cech materiałowych. W odniesieniu do 1 mb cylindrycznych powierzchni izolowanych /rur/ wielowarstwowo wartość współczynnika przenikania ciepła według [49] wyraża się wzorem:

$$k^R = \frac{\pi}{\frac{1}{\alpha^w d^w} + \sum_{1}^w \frac{1}{2\lambda_w} \ln \frac{D_w^1}{D_w} + \frac{1}{\alpha^z d^z}} \frac{W}{m^0 k} \quad 3.12$$

Po wprowadzeniu wyrażenia 3.12 do wzoru 3.11 otrzymano równanie:

$$\Delta Q_j = \sum_{i=1}^m \frac{\pi l_{ij} (1 + a_{ij}^0) \Delta t_{ij}}{\frac{1}{\alpha_{ij}^w d_{ij}^w} + \sum_{1}^w \frac{1}{2\lambda_{wij}} \ln \frac{D_{wij}^1}{D_{wij}} + \frac{1}{\alpha_{ij}^z d_{ij}^z}} \quad \text{W 3.13}$$

O p o r y p r z e p ł y w u w p r z e w o d a c h
c i ś n i e n i o w y c h

Przy ruchu ustalonym w prostoliniowych przewodach straty liniowe ciśnienia są proporcjonalne do współczynnika tarcia λ , długości przewodu l oraz kwadratu prędkości przepływu medium v , a odwrotnie proporcjonalne do średnicy przewodu d . Wielkość oporów miejscowych występujących przy zmianie kierunków /np. łuki, kolanka itp./, na wszelkiego rodzaju armaturach, zmianach przekroju strugi / np. w odgałęzieniach / lub jej prędkości /przy zmianie przekroju przewodu/, można zastąpić ustaloną uprzednio długością zastępczą, tzn. długością przewodu o tej samej średnicy dającą stratę takiej wielkości, jak przeszkoda.

Przyjęcie takiego uproszczenia jest słuszne z uwagi na znikome wielkości strat, jakie występują na przeszkodach lokalnych w stosunku do wielkości strat liniowych. Dla gazu opory miejscowe nie przekraczają 10 % oporów liniowych [3], dla wody przy obliczaniu sieci zewnętrznych są pomijalnie małe [46], a dla sieci ciepłowniczych wahają się w granicach 10 - 20 % [21].

W takim ujęciu straty mocy zespołu pompowego dla pokonania oporów w j -tym przewodzie można wyrazić wzorem:

$$\Delta R_j = \frac{\gamma_j}{2g} \sum_{i=1}^m Q_{ji} \lambda_{ji} \frac{l_{ji} (1 + a_{ji}) v_{ji}^{(2)}}{d_{ji}} \quad \text{W} \quad 3.14$$

Parametrami zależnymi od decyzji projektanta uzbrojenia podziemnego są w tym przypadku wymiary średnic przewodów oraz długości ich odcinków, jak również wartość dodatku na straty miejscowe a_{ji} regulowane poprzez ukształtowanie sieci na planie.

S t r a t y w l i n i a c h e l e k t r o e n e r g e - t y c z n y c h

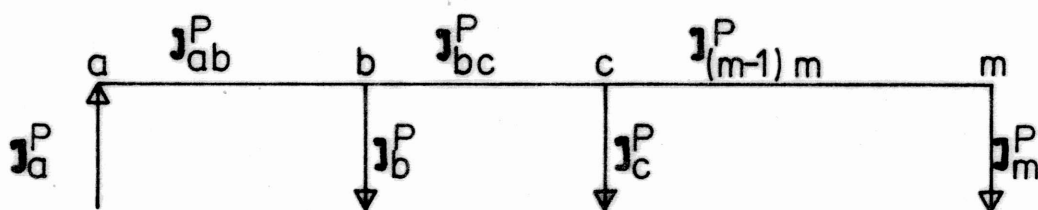
Wzdłuż całego toru elektroenergetycznego, we wszystkich ogniwach łańcucha przenoszenie energii /wytworzenia, przetwarzania, przesyłania i zużycia/ część jej wydziela się w postaci ciepła i w danym urządzeniu lub miejscu jest bezużyteczna, a nawet szkodliwa. Część ta, nazywana jest stratą energii. Jej wielkość przy przepływie prądu przez rezystencje $/R/$ można obliczyć ze wzoru [48]:

$$\Delta A = \Delta P t^P \quad J \quad 3.15$$

Wyrażenie 3.15 jest słuszne w przypadku, gdy straty mocy nie ulegają zmianie, największe ich wartości występują w liniach i transformatorach, natomiast w dławikach i stykach są pomijalnie małe.

Straty mocy powodują nagrzanie urządzeń sieciowych oraz obniżają ich sprawność przesyłania zmuszając do stosowania większych przekrojów sieci, niż to wynika z mocy zapotrzebowania przez odbiorców. W celu otrzymania ścisłych wyników obliczeń strat mocy czynnej powinno się przyjmować prądy i napięcia występujące w rozważanym odcinku. W praktyce wystarczające dokładności otrzymuje się przyjmując jednakowe napięcia na całej długości odcinka lub nawet napięcia znamionowe [48].

W torach z odbiorami rozłożonymi wzdłuż linii straty mocy należy obliczać oddzielnie dla każdego odcinka położonego między sąsiednimi odbiorami. Przykład takiej linii pokazano na rys. 3.5.



Rys. 3.5. Układ odbiorów rozłożonych wzdłuż linii.

Dla takiego przypadku straty mocy wyraża równanie:

$$P = I_{ab}^P (2) R_{ab} + I_{bc}^P (2) R_{bc} + \dots + I_{(m-1)m}^P (2) R_{(m-1)m} \quad W \quad 3.16$$

Podstawiając do wzoru 3.16 zależności:

$$I^p = \tau_1 A \quad 3.17$$

$$R = \frac{1}{\gamma_s^0} \Omega \quad 3.18$$

otrzymujemy wyrażenie:

$$\Delta_P = \frac{\tau_{ab}^{(2)} l_{ab}^{(3)}}{\gamma_{ab}^0 s_{ab}} + \frac{\tau_{bc}^{(2)} l_{bc}^{(3)}}{\gamma_{bc}^0 s_{bc}} + \dots + \frac{\tau_{(m-1)m}^{(2)} l_{(m-1)m}^{(3)}}{\gamma_{(m-1)m}^0 s_{(m-1)m}} \quad W \quad 3.19$$

które w formie uproszczonej można zapisać:

$$\Delta_{P_j} = \sum_{i=1}^m \frac{\tau_{ij}^{(2)} l_{ij}^{(3)}}{\gamma_{ij}^0 s_{ij}} \quad W \quad 3.20$$

Sumaryczny koszt energii pokrywającej straty sieciowe

Roczny koszt energii elektrycznej niezbędnej dla zapewnienia pracy zespołu pompowego dla j-tej sieci wg [46] można ująć równaniem:

$$E_j = \frac{1}{\eta_j} N_j^p e T_j \quad \text{zł/rok} \quad 3.21$$

Przyrównując moc zespołu pompowego $/N_j^p/$ do mocy traconej wskutek oporów przepływu w odpowiadającej mu sieci ciśnieniowej /patrz równanie 3.14/, otrzymujemy wartość rocznych kosztów traconej energii elektrycznej:

$$E_j^{\Delta R} = \frac{e T_j \Delta_{R_j}}{\eta_j} \quad \text{zł/rok} \quad 3.22$$

Dla sieci elektroenergetycznych wartość tych strat jest wprost proporcjonalna do czasu wykorzystania sieci w ciągu roku $/t_j^u/$ oraz jednostkowej ceny energii $/e/$ i można ją zapisać:

$$E_j^{\Delta P} = e t_j^u \Delta_{P_j} \quad \text{zł/rok} \quad 3.23$$

Roczne koszty straty ciepła dla j-tego przewodu ciepłowniczego według [21] określa równanie:

$$E_j^{\Delta Q} = c \cdot t_j^u \Delta Q_j \quad \text{zł/rok} \quad 3.24$$

W takim ujęciu całkowity koszt energii traconej stanowiący pierwszy /podstawowy/ składnik ogólnego kosztu eksploatacji $/K^1/$ wyrażono wzorem:

$$K^1 = \sum_{j=1}^n (E_j^{\Delta R} + E_j^{\Delta P} + E_j^{\Delta Q}) \quad \text{zł/rok} \quad 3.25$$

Sumaryczny zapis kosztów strat sieciowych powinien obejmować również straty powodowane ucieczkami mediów oraz ciepła do gruntu w wyniku niezlokalizowanych nieszczelności przewodów i uszkodzeń izolacji oraz spowodowanej tym utraty ciśnienia w przewodach. Występowanie tych strat związane jest wyłącznie ze sposobami ułożenia sieci, które uniemożliwiają ich stałą kontrolę, a zatem z ułożeniami bezpośrednio w gruncie, w tunelach nieprzechodnych oraz płytach fundamentowych. Dlatego też, na etapie projektowania systemów, przy ocenie kosztów traconej energii dla wymienionych sposobów ułożenia, należy wprowadzić zastępcze ceny wytwarzania ciepła $/c/$ oraz produkcji energii elektrycznej $/e/$ uwzględniające ich przyrost w wyniku omawianych strat.

Praktyczne określenie wysokości tych przyrostów w obecnej chwili jest niemożliwe ze względu na brak badań dotyczących tego problemu. Lokalizacja miejsc systematycznych przecieków o małych wydatkach jest niemożliwa w wyniku codziennej obserwacji układu.

Bilansu traconych w ten sposób mediów można dokonać w oparciu o porównanie ich ilości wysyłanej przez wytwórcę z ilością zużywaną przez odbiorców. Wyliczenia takie mogą być możliwe na podstawie obserwacji sieci przy stałej kontroli sprawności urządzeń pomiarowych /liczników zużycia/.

W przypadku określania strat energii cieplnej lub ciśnienia podobnych obserwacji można dokonać poprzez konfrontację odczytów na manometrach i termometrach z założeniami projektowymi.

Prowadzenie badań na przestrzeni kilku lat może doprowadzić do wyprowadzenia wniosków o charakterze ogólnym oraz nakreśli obraz procesu starzenia się przewodów i izolacji. Zdaniem autora, obserwacje takie prowadzone przez użytkowników poszczególnych sieci powinny rozpocząć się już w najbliższym czasie.

K o s z t y z a w o d n o ś c i u k ł a d ó w s i e c i z a o p a t r z e n i o w y c h

Miernikiem porównywalności OSZ ze względu na pewność ich zasilania muszą być straty gospodarcze występujące u odbiorców w wyniku przerw w dostawach mediów. Dla osiedli mieszkaniowych podstawową grupę odbiorców stanowią odbiorcy komunalni, skąd wynika trudność wymiernego oszacowania tych strat ze względu na brak racjonalnych metod ich wyznaczania. Jak nadmieniono, próby określenia wysokości strat dla przerw w dostawach energii elektrycznej do sektora komunalnego podejmowano w [5,53]. Autorowi nieznane są natomiast podobne działania dla pozostałych rodzajów mediów, mimo niewątpliwej potrzeby ich prowadzenia. Przyczyną przerw w dostawie mogą być awarie /niezmierzone przerwy w pracy sieci/ lub planowe wyłączenia, które wynikają z potrzeb konserwacji OSZ /np. sezonowy przegląd sieci ciepłowniczych lub oczyszczenie kanalizacji/. Drugi "element zawodności" układu pominięto w dalszej analizie, traktując jego występowanie jako konieczne na obecnym etapie rozwoju techniki, a jego koszt można zakwalifikować do stałych kosztów eksploatacji. Awarie wynikają z technicznych niedoskonałości urządzeń /gdyż wiadomo, że nie istnieją takie urządzenia, dla których prawdopodobieństwo bezawaryjnego działania równałoby się jedności/ oraz szkodliwego działania bodźców zewnętrznych /agresywne wpływy środowiska gruntowo-wodnego, prądów błędzących, obciążeń itp./.

M e t o d a w s p ó ł c z y n n i k ó w z a w o d n o ś c i

Najczęściej stosowana metoda współczynników zawodności do perspektywicznej oceny zawodności urządzeń /mogąca mieć zastosowanie na etapie projektowania sieci/ opiera się na założeniu, że współczynnik zawodności q kolejnych elementów tworzących układ jest prawdopodobieństwem ich awarii w czasie ruchu. Końcowym wynikiem obliczeń prowadzonych według elementarnego rachunku prawdopodobieństwa algebry zdarzeń losowych są tzw. współczynniki wypadkowe, będące prawdopodobieństwem awarii zgrupowania elementów /układu/, przy założeniu, że awarie poszczególnych

elementów są zdarzeniami niezależnymi. Według [53] miarę awaryjności q dla tej metody można zdefiniować:

$$q = \frac{\bar{N} \bar{t}^{au}}{T^r} \quad 3.26$$

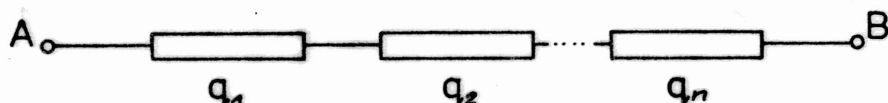
gdzie: $T^r = T^v + T^a$ - planowany czas ruchu,
 $T^a = \bar{N} \bar{t}^{au}$ - spodziewany, zsumowany czas awarii w planowanym czasie ruchu.

Miarą bezawaryjnej pracy urządzeń są współczynniki niezawodności p będące dopełnieniem do jedności współczynnika awaryjności q :

$$p = 1 - q \quad 3.27$$

W OSZ mamy do czynienia z szeregowymi, równoległymi i szeregowo-równoległymi zgrupowaniami elementów odpowiadających kolejno układom promienistym, pierścieniowym i mieszanym. Ocena wypadkowego współczynnika zawodności jest różna dla każdego ze zgrupowań, skąd wynika konieczność krótkiego jej omówienia.

Cechą zgrupowań szeregowych, rys. 3.6, jest ich zdolność do pracy /transportu mediów/ w przypadku zdolności ruchowej wszystkich elementów.



Rys. 3.6. Zgrupowanie szeregowe.

Przy założeniu, że awarie poszczególnych elementów są zdarzeniami niezależnymi prawdopodobieństwo zdatności zgrupowania jest iloczynem:

$$p_{AB} = \prod_{i=1}^n p_i = \prod_{i=1}^n (1 - q_i) \quad 3.28$$

a współczynnik awaryjności:

$$q_{AB} = 1 - p_{AB} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - q_i) \quad 3.29$$

Dla zgrupowań składających się z n elementów, przy pominięciu iloczynów współczynników zawodności poszczególnych elementów wartość awaryjności wyraża się zależnością przybliżoną:

$$q_{AB} \cong \sum_{i=1}^n q_i \quad 3.30$$

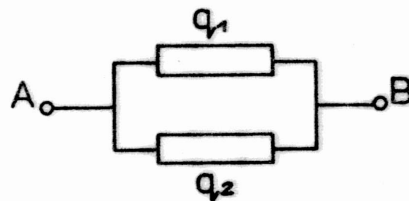
W praktyce projektowej z reguły mamy do czynienia z 2-elementowymi układami równoległymi, w których jeden stanowi 100 % rezerwę drugiego. W związku z powyższym, w pracy zaniechano przedstawienia teorii dotyczącej niezawodności n-elementowych układów równoległych uznając, że jest ona opisana w literaturze specjalistycznej [6,19,53]. Dla OSZ przykład układu równoległego stanowi dwuprzewodowa linia przesyłowa tego samego medium, podwójne źródło zasilania, układ pierścieniowy lub tp. Dla takich przypadków przerwa w dostawie wystąpi przy równoczesnym uszkodzeniu obu elementów, a prawdopodobieństwo takiego zdarzenia wynosi:

$$q_{AB} = q^{(2)} \quad 3.31$$

przy założeniu, że:

$$q_1 = q_2$$

Na rysunku 3.7 przedstawiono schemat ideowy zgrupowania równoległego.



Rys. 3.7. 2-elementowe zgrupowanie równoległe.

Widać zatem, że następuje tu zmniejszenie niezawodności w porównaniu z jednym elementem o zawadności q o wartości przedstawioną wzorem:

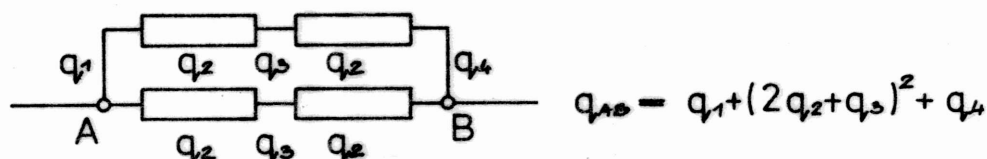
$$q = q - q^2 = q(1 - q) \quad 3.32$$

Zwiększona niezawodność układów pierścieniowych /równoległych/ wynika również z faktu, że przy wyznaczaniu miar zawadności kolejnych elementów zgrupowania za czas $\bar{t}^{au}$ można uważać długość przerwy w zasilaniu, która wynika z odcięcia dopływu do miejsca awarii oraz zmiany kierunku zasilania /bez czasu naprawy awarii/.

Jednak po uwzględnieniu wszystkich bodźców i współzależności, jakie towarzyszą awariom zgrupowań równoległych takie oceny ich niezawodności są zbyt optymistyczne [9].

Przebieg procesu rozbudowy osiedla w czasie jak również zespół czynników kształtujących jego formę niezależnie od projektanta uzbrojenia podziemnego powodują, że w praktyce często mamy do czynienia ze zgrupowaniami elementów znacznie odbiegających od prostych zgrupowań szeregowych lub równoległych. Elementy OSZ przybierają często postać wielokrotnych połączeń równoległych spiętych ze sobą elementami o charakterze zgrupowań szeregowych lub połączeń równoległych kilku podukładów szeregowych.

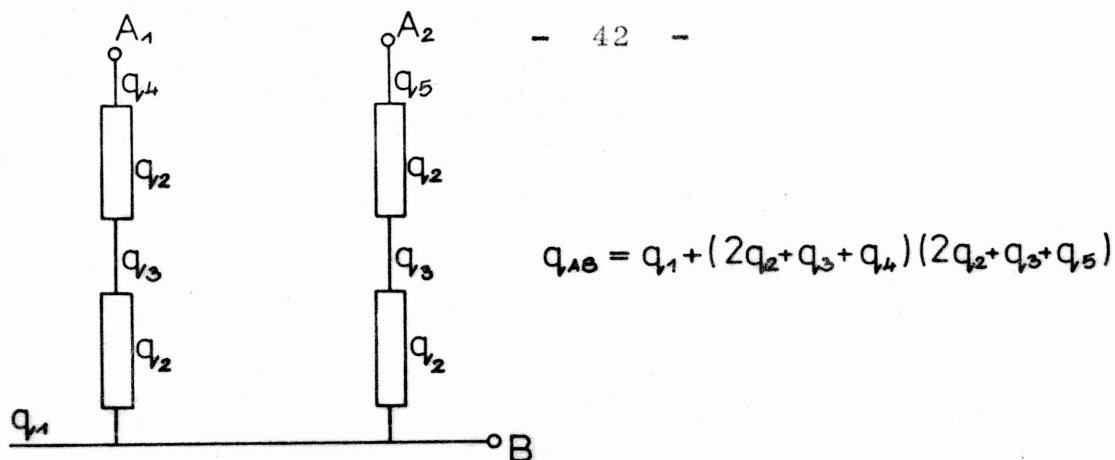
Dla układów, gdzie połączenia równoległe nie zawierają więcej niż 2 do 3 elementów z przewagą dalszych połączeń szeregowych wypadkowy współczynnik zawodności można wyznaczyć po wstępnym wyznaczeniu współczynnika zawodności zgrupowania równoległego /zwykle o 100 %-towej rezerwie/, a następnie zawodności dla otrzymanego w wyniku przekształcenia zgrupowania szeregowego. Na rysunku 3.8 przedstawiono omówiony przykład i wyznaczono jego współczynnik zawodności.



Rys. 3.8. Układ szeregowo-równoległy - wariant I.

Jeżeli w układzie występuje połączenie równoległe dwóch lub więcej podukładów szeregowych, wtedy najpierw wyznacza się wypadkowe współczynniki podukładów szeregowych, a następnie dokonuje się analizy czystego układu równoległego. Przykład takiego rozwiązania z wyliczeniem jego współczynnika zawodności przedstawiono na rysunku 3.9.

Przedstawiony sposób postępowania dla zgrupowań mieszanych jest dopuszczalny w przypadku małej liczby połączeń równoległych /do trzech/. Dla zgrupowań bardziej złożonych wyznaczanie wypadkowych



Rys. 3.9. Układ szeregowo-równoległy - wariant II.

współczynników jest skomplikowane i wymaga z reguły stosowania ETO. Ilościowe wyznaczenie współczynnika zawodności q wymaga oznaczenia wielkości zmiennych niezależnych /założenie def./ $\bar{N}$ i $\bar{t}^{au}$. Zmienna $\bar{N}$ jest funkcją odporności elementów na zakłócenia i zależy w głównej mierze od poziomu wykonawstwa. Zmienna $\bar{t}^{au}$ uzależniona jest od technicznych możliwości usuwania uszkodzeń, w tym przede wszystkim od łatwości dostępu do uszkodzenia, czasu jego lokalizacji oraz jakości obsługi. Zatem w przypadku uwzględniania kosztów zawodności przy ocenie efektywności ekonomicznej wybranego wariantu OSZ należy posługiwać się histogramami intensywności uszkodzeń elementów sporządzonych dla kolejnych sieci w funkcji kalendarzowego czasu rocznego oraz odpowiadającym im rozkładem zmiennych $\bar{t}^{au}$. Histogramy powinny być sporządzone przez przedsiębiorstwa, w gestii których leży utrzymanie technicznej sprawności sieci. Kilkuletnie obserwacje procesów usuwania awarii oraz częstości ich powstawania mogą stanowić podstawę do opracowań statycznych o charakterze ogólnym.

P r ó b a m a t e m a t y c z n e g o z a p i s u k o s z t ó w z a w o d n o ś c i O S Z

W przypadku miejskich sieci zaopatrzeniowych intensywność uszkodzeń $/\bar{N}/$ odpowiada oczekiwanej wartości liczby uszkodzeń w ciągu roku $/B^a/$. Dla ułatwienia korzystania z opracowań statystycznych liczby te można podawać w odniesieniu np. do 100 mb trasy oraz posługiwać się przeciętnymi czasami wytrącenia danego elementu z ruchu $/\bar{t}^{pu}/$. W przypadku niejednakowego sposobu ułożenia poszczególnych odcinków sieci, wyznaczenie jej wypadkowego współczynnika awaryjności $/q_j/$ musi być poprzedzone wyznaczeniem takich współczynników dla kolejnych jej odcinków $/q_{ij}/$.

Wynika to ze specyfiki pracy elementów przy różnych typach ułożeń oraz zmiany warunków dostępności do miejsc awarii. Przykładowo, dla tej samej sieci inną będzie liczba uszkodzeń $/B^a/$ oraz czasy ich likwidacji $/\bar{t}^{pu}/$ dla przewodów ułożonych w gruncie, których trasa przebiega pod jezdnią, niż dla jej odcinków ułożonych w galeriach lub tunelu zbiorczym. Zatem histogramy ilości uszkodzeń oraz przeciętnych czasów wytrącenia elementów z ruchu muszą być opracowywane dla różnych sposobów ułożenia sieci oddzielnie.

Dla tak przyjętych oznaczeń awaryjność i-tego odcinka j-tej sieci można zapisać wzorem:

$$q_{ij} = 10^{(-2)} \frac{B_{ij}^a \bar{t}_{ij}^{pu}}{T_{ij}^r} l_{ij} \quad 3.33$$

gdzie: $10^{(-2)} \frac{B_{ij}^a \bar{t}_{ij}^{pu}}{T_{ij}^r}$ - prawdopodobieństwo uszkodzenia 1 mb sieci /dla histogramów opracowanych w odniesieniu do 100 mb sieci/.

Po określeniu współczynników zawodności $/q_{ij}/$, traktując odcinki jako kolejne elementy sieci, należy wyznaczyć jej wypadkowy współczynnik awaryjności $/q_j/$ według zasad dla zgrupowania, któremu odpowiada jej układ /promienisty, pierścieniowy, mieszany/.

Znając wartość współczynnika $/q_j/$ dla danej sieci oraz zaplanowaną ilość medium dla odbiorcy $/M_j^p/$ można przystąpić do określenia ilości medium niedostarczonego $/M_j^u/$ z tytułu przerw awaryjnych w zależności od $/q_j/$, a zatem w funkcji rocznego czasu niezdatności sieci $/B_{ij}^a \bar{t}_{ij}^{pu}/$ oraz długości jej odcinków $/l_{ij}/$:

$$M_j^u = q_j M_j^p \quad \text{a/rok} \quad 3.34$$

Wychodząc z zależności 3.34 oraz znając ekonomiczny równoważnik strat u odbiorcy powodowanych niedostarczeniem jednostki j-tego medium $/\alpha_j^u/$ można określić wysokość strat gospodarczych, jakie ponosi odbiorca:

$$Z_j^u = \alpha_j^u M_j^u \quad \text{zł/rok} \quad 3.35$$

Wymierne określenie wysokości współczynników α_j^u wymaga osobnych badań i w praktyce może okazać się dość trudne. Badania takie muszą być prowadzone dla każdego rodzaju sieci osobno. Jak już nadmieniono, w kraju problem ten jest najlepiej rozpoznany dla sieci elektroenergetycznych. Wydaje się jednak, że nieodzwonione jest prowadzenie podobnych badań dla pozostałych typów sieci, których awarie powodują również znaczne straty. Przykładowo, straty te mogą pochodzić ze wzrostu liczby zachorowań w wyniku dłuższego niedogrzenia mieszkań, braku możliwości wezwania odpowiednich służb /straży pożarnej, pogotowia ratunkowego itp./ w przypadku przerwy telekomunikacji, czy wreszcie utraty aktywności w pracach domowych w czasie awarii sieci wodociągowej lub gazowej. Do kosztów u dostawców mediów ponoszonych w wyniku przerw w dostawach j-tych sieci zaliczono koszty ewentualnych odszkodowań dla odbiorców Z_j^0 za straty spowodowane niespodziewanymi przerwami w dostawie /np. wypadki na nieoświetlonych klatkach schodowych, kradzieże, zalania mieszkań itp./ oraz straty związane z wymianą lub naprawą uszkodzonych elementów w wyniku awarii Z_j^a . Koszty te są proporcjonalne do ilości awarii B_j^a oraz odpowiednio do średnich kosztów odszkodowań przypadających na awarię α_j^0 lub napraw poawaryjnych α_j^a i można je wyrazić wzorami:

$$Z_j^0 = l_j B_j^0 \alpha_j^0 \quad \text{zł/rok} \quad 3.36$$

$$Z_j^a = l_j B_j^a \alpha_j^a \quad \text{zł/rok} \quad 3.37$$

S u m a r y c z n y k o s z t z a w o d n o ś c i OSZ

Łączne straty wynikające z zawodności j-tej sieci są sumą kosztów składowych wyrażonych zależnościami od 3.35 do 3.37 i można je zapisać równaniem:

$$K_j^2 = Z_j^u + Z_j^0 + Z_j^a = q_j M_j^p \alpha_j^u + l_j B_j^a (\alpha_j^0 + \alpha_j^a) \quad \text{zł/rok} \quad 3.38$$

Dla całego systemu osiedlowego zaopatrywanego przez n sieci zapis ten przyjmie postać:

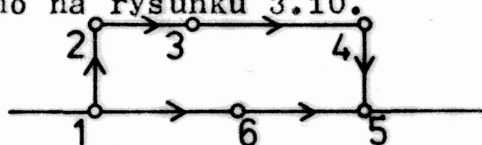
$$K^2 = \sum_{j=1}^n K_j^2 \quad \text{zł/rok} \quad 3.39$$

W przedstawionym równaniu kosztów zmiennymi zależnymi od decyzji projektanta pozostają współczynniki zawodności j -tych sieci. Z reguły będą one mniejsze dla rozwiązań o podwyższonych kosztach inwestycyjnych, jak ułożenia w tunelach wieloprzewodowych czy układy pierścieniowe /większe długości sieci/. Zatem z ekonomicznego punktu widzenia problem niezawodności OSZ zazwyczaj będzie pozostawał w sprzeczności z dążeniem do uzyskania minimum kosztów inwestycyjnych, równocześnie zaś układy bardziej niezawodne będą tańsze w eksploatacji. Dodatkowo można w tym miejscu nadmienić, że np. układy pierścieniowe poza zwiększoną niezawodnością funkcjonowania charakteryzują się niższymi kosztami pompowania. Wynika to z II-go prawa Kirchhoffa, zgodnie z którym dla sieci pierścieniowych i wielopierścieniowych strata ciśnienia dla każdego pierścienia /z uwzględnieniem znaku strat wynosi zero

$$\sum_{i=1}^m h_i = 0 \quad 3.40$$

gdzie: h_i - bezwzględna wartość straty w i -tym odcinku sieci.

Odpowiadający temu schemat rozkładu strat ciśnienia w pierścieniu zilustrowano na rysunku 3.10.



$$\Delta h_{12} + \Delta h_{23} + \Delta h_{34} + \Delta h_{45} - \Delta h_{56} - \Delta h_{61} = 0$$

Rys. 3.10. Schemat ideowy rozkładu ciśnienia w sieci pierścieniowej.

S u m a r y c z n y z a p i s z m i e n n y c h k o s z t ó w e k s p l o a t a c j i O S Z

Zgodnie z przyjętym podziałem zmiennych kosztów eksploatacyjnych i o h łączna wartość jest sumą uzyskanych w wyniku dekompozycji składników i dla całego systemu infrastruktury technicznej, uzbrojenia podziemnego można ją wyrazić wzorem:

$$K^{rz} = K^1 + K^2 = \sum_{j=1}^n E_j^{\Delta R} + E_j^{\Delta P} + E_j^{\Delta Q} + Z_j^u + Z_j^o + Z_j^a \quad \text{zł/rok} \quad 3.41$$

4. FUNKCJA KRYTERIUM I JEJ UPROSZCZENIA

4.1. Metoda kosztów rocznych

Jako funkcję kryterium przyjęto koszty roczne określone według [28,37]. Wybrana metoda pozwala na stosunkowo proste ujęcie rachunkowe procesów dynamicznych. Koszty roczne $/K^{rc}/$ można przedstawić w postaci sumy kosztów rocznych rozszerzonej reprodukcji $/K^{rr}/$ oraz kosztów eksploatacji $/K^r/$

$$K^{rc} = K^{rr} + K^r \quad \text{zł/rok} \quad 4.1$$

Koszty eksploatacji dzielą się na koszty roczne eksploatacji stałe $/K^{rs}/$, zależne od wartości inwestycji oraz koszty zmienne $/K^{rz}/$ zależne od produkcji, którymi w przypadku OSZ będą koszty strat sieciowych i zawodności:

$$K^r = K^{rs} + K^{rz} = rI + K^{rz} \quad 4.2$$

gdzie: r - współczynnik rocznych kosztów stałych /robocizny, konserwacji oraz innych opłat bieżących/, za wyjątkiem raty rozszerzonej reprodukcji,

I - całkowite nakłady inwestycyjne.

Ze względu na dynamikę wzrastania proces inwestycyjny jest procesem ciągłym, co zmusza do uwzględnienia w rachunku czynnika czasu. Strumienie kosztów /nakłady w czasie/ dla kolejnych wariantów mogą być różne, skąd ich obiektywne porównywanie musi opierać się na metodzie polegającej na przeliczaniu kosztów na określony rok, zwanej metodą dyskonta.

Rozkłady nakładów inwestycyjnych i kosztów eksploatacji są znane, gdyż wynikają z rocznych harmonogramów budowy osiedla oraz przekazywanie jego kolejnych części do użytkowania. W tabeli 4.1 przedstawiono ogólny zapis ich przebiegu w czasie dla dowolnej z j -tych sieci:

Tabela 4.1.

Charakterystyka czasowa rozkładu kosztów
inwestycyjnych i eksploatacyjnych dla OSZ

Koszty \ Rok	0	1	2 ...	t ...	x ...	N
Inwestycyjne	J_{j0}	J_{j1}	$J_{j2} \dots$	$J_{jt} \dots$	$J_{jx} \dots$	
Eksploatacyjne zmienne		K_{j1}^{rz}	$K_{j2}^{rz} \dots$	$K_{jt}^{rz} \dots$	$K_{jx}^{rz} \dots$	K_{jN}^{rz}
Eksploatacyjne stałe		K_{j1}^{rs}	$K_{j2}^{rs} \dots$	$K_{jt}^{rs} \dots$	$K_{jx}^{rs} \dots$	K_{jN}^{rs}

Różne w ciągu rozpatrywanego czasu nakłady inwestycyjne: J_{j0} , $J_{j1} \dots J_{jt} \dots J_{jx}$ można zastąpić równomiernie rozłożonymi kosztami rocznymi rozszerzonej reprodukcji:

$$K_j^{rr} = r \sum_{t=0}^x J_{jt} (1 + p)^{(-t)} \quad 4.3$$

gdzie:

$$r = \frac{p (1 + p)^{(N)}}{(1 + p)^{(N)} - 1} \quad 4.4$$

przy czym: N - ostatni rok eksploatacji osiedla /okres amortyzacji/,

p - stopa odpisu akumulacyjnego,

J_t - nakłady inwestycyjne w roku t,

x - ilość lat inwestowania,

t - kolejny rok obliczeń

Zależność 4.3 jest słuszna, jeżeli rozpatrywane części OSZ mają ten sam okres amortyzacji /N/. W innym przypadku należy oddzielnie obliczać ratę rozszerzonej reprodukcji /r/. Dla systemu infrastruktury technicznej uzbrojenia podziemnego osiedli okresem amortyzacji jest całkowity czas użytkowania osiedla, zatem okres amortyzacji dla wszystkich sieci zaopatrzeniowych /N/ jest jednakowy. Założenie takie nie wyklucza różnych długości cykli technicznej sprawności elementów OSZ w przyjętym okresie

amortyzacji. Długość tych cykli będzie w głównej mierze zależała od sposobu ułożenia odcinków sieci. Dla ułożeń w gruncie /szczególnie dla narażonych na wpływy obciążeń i agresywne działanie środowiska/ czasy technicznej sprawności sieci będą krótsze niż dla elementów układanych w obudowach, półpiętrach technicznych, galeriach czy płytach fundamentowych, gdzie okres ten będzie praktycznie równy okresowi amortyzacji budowli. Mimo to dla mieszanego ułożenia sieci czas amortyzacji musi być taki sam dla wszystkich jej odcinków, przy czym niektóre z nich mogą być w tym okresie kilkakrotnie wymienione nawet, gdy ilość wymian nie będzie pełną wielokrotnością cykli ich technicznej sprawności.

Niejednakowe roczne koszty eksploatacyjne zmienne: K_{j1}^{rz} , K_{j2}^{rz} ...
... K_{jN}^{rz} można zastąpić równoważnymi rocznymi kosztami eksploatacji - K_j^{rz} :

$$K_j^{rz} = a^r \sum_{t=1}^N K_{jt}^{rz} (1+p)^{(N-t)} \quad 4.5$$

gdzie:

$$a^r = \frac{p}{(1+p)^{(N)} - 1} \quad 4.6$$

Rata odpisu amortyzacyjnego przy amortyzacji progresywnej $/a^r/$ zależy od wysokości stopy procentowej i długości okresu eksploatacji $/N/$. Różne w rozpatrywanym czasie roczne koszty eksploatacyjne stałe zależne od całkowitych nakładów inwestycyjnych /bez dyskontowania/ można zastąpić równoważnymi kosztami o jednakowej wartości przez cały okres:

$$K_j^{rs} = a^r r \sum_{t=1}^N (1+p)^{(N-t)} \sum_{t=0}^X J_{jt} \quad 4.7$$

W takim ujęciu niejednakowe koszty ujęte w tabeli 4.1. można zastąpić ich kosztami równoważnymi o jednakowej wartości w każdym roku, co pokazano w tabeli 4.2, a całkowite koszty roczne dla j-tej sieci można zapisać:

$$K_j^{rc} = r \sum_{t=0}^X J_{jt} (1+p)^{(-t)} + a^r \sum_{t=1}^N K_{jt}^{rz} (1+p)^{(N-t)} + a^r r \sum_{t=1}^N (1+p)^{(N-t)}$$

$$\sum_{t=0}^X J_{jt} \quad \text{zł/rok} \quad 4.8$$

Tabela 4.2.

Rozkład równoważnych kosztów inwestycyjnych
i eksploatacyjnych OSZ dla całego okresu
amortyzacji

Koszty \ Rok	0	1	2 ...	t ...	x ...	N
Rozszerzonej reprodukcji	-	K_J^{rr}	$K_J^{rr} \dots$	$K_J^{rr} \dots$	$K_J^{rr} \dots$	K_J^{rr}
Eksploatacji zmienne	-	K_J^{rz}	$K_J^{rz} \dots$	$K_J^{rz} \dots$	$K_J^{rz} \dots$	K_J^{rz}
Eksploatacji stałe	-	K_J^{rs}	$K_J^{rs} \dots$	$K_J^{rs} \dots$	$K_J^{rs} \dots$	K_J^{rs}

Roczne koszty całego układu zaopatrzeniowego, dla powyższego zapisu kosztów kolejnych sieci, przedstawia formuła:

$$K^{rc} = \sum_{j=1}^n K_J^{rc} \quad \text{zł/rok} \quad 4.9$$

W przeprowadzonej analizie dokonano pewnych uproszczeń:

- wartość na dzień dzisiejszy przyjęto jako wartość z końca roku zerowego,
- nakłady inwestycyjne dokonywane w ciągu całego roku przyjmowano jako dokonane z końcem roku,
- ze względu na jednakową ilość dostarczanych mediów dla każdego z wariantów pominięto obliczanie efektu ekonomicznego

4.2. Postać szczegółowa funkcji kryterium oraz podział zmiennych decyzyjnych

W celu pełnego ukazania zależności jakie zachodzą pomiędzy zmiennymi konieczne jest przekształcenie ogólnego zapisu funkcji kryterium /równanie 4.9 / do postaci szczegółowej, którą po podstawieniu poprzednio wyprowadzonych zależności można przedstawić równaniem:

$$\begin{aligned}
 K^{rc} = & r \sum_{t=0}^x \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m \sum_{c=1}^6 l_{ijt} k_{ijc}^g (1+p)^{(-t)} + a^r \sum_{t=1}^N \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m \left[\right. \\
 & \frac{e^T_j \gamma_j \varrho_{jit} \lambda_{ji} v_{jit}^{(2)} l_{jit} (1+a_{ji})}{\gamma_j 2g' d_{ji}} + \frac{e^u_j \tau_{jit}^{(2)} l_{jit}^{(3)}}{\gamma_{ji}^0 s_{ji}} + \\
 & + \frac{\pi c t_j^u \Delta_{ji} l_{jit} (1+a_{ji}^c)}{1} + \frac{1}{\alpha_{ji}^w d_{ji}^w} + \sum_{i=1}^m \frac{1}{2 \lambda_{wji}} \ln \frac{D_{wji}^1}{D_{wji}} + \frac{1}{\alpha_{ji}^z d_{ji}^z} + \\
 & + q_{jt} M_{jt}^p \alpha_j^u + l_{jit} B_{jt}^a (\alpha_j^o + \alpha_j^a) \left. \right] (1+p)^{(N-t)} + \\
 & + a^r r \sum_{t=1}^N (1+p)^{(N-t)} \sum_{t=0}^x \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m \sum_{c=1}^6 l_{ijt} k_{ijc}^g \quad \text{zł/rok} \quad 4.10
 \end{aligned}$$

Za kryterium optymalizacji /oceny rozwiązań/ w pracy uznano minimum kosztów tzn. rozwiązaniem optymalnym będzie to, które spełni minimum funkcji kryterium w okresie amortyzacji, co wyraża warunek:

$$K^{rc} \rightarrow \min \quad 4.11$$

Osiągnięcie rozwiązania jest możliwe na drodze równoczesnej oceny wszystkich zmiennych i wyboru takiego ich zbioru, przy których warunek 4.11 będzie spełniony.

Specyfika procesu projektowania, realizacji i eksploatacji sieci uzbrojenia podziemnego powoduje, że niektóre spośród występujących we wzorze 4.10 zmiennych będą zależały od czynników niemierzalnych.

Dodatkowo, skokowe zmiany wielu czynników mogą być przyczyną dyskretnego charakteru zmian zmiennych decyzyjnych przyjmujących w takich przypadkach wartości stałe w określonych przedziałach. Osobny podział zmiennych wynika z ich uzależnienia od decyzji projektanta. Stąd też zaszła konieczność ujęcia zmiennych i czynników je kształtujących w grupy /zbiory/ elementów o odpowiednich cechach.

Podział zmiennych decyzyjnych

Zmienne decyzyjne oraz czynniki je kształtujące podzielono na dwa zbiory. Pierwszy z nich stanowi zbiór elementów /zmiennych i czynników/ niezależnych /X/, do którego zaliczono:

- ceny /wielkości katalogowe/ materiałów, robocizny i pracy sprzętu, kształtujących częściowe nakłady inwestycyjne oraz koszty remontów w okresie eksploatacji,
- opłaty za energii; - e, c ,
- wielkości zapotrzebowań /obciążeń/ w rozpatrywanym okresie $\tau_j = \tau_j(t)$, $M_j^p = M_j^p(t)$, $Q_j = Q_j(t)$; $t \in \langle 1 \dots N \rangle$,
- czasy wykorzystania sieci w rozpatrywanym okresie $t_j^u = t_j^u(t)$, $T_j = T_j(t)$; $t \in \langle 1 \dots N \rangle$,
- sprawności zespołów pompowych - η_j ,
- parametryczne cechy materiałów i mediów: $\lambda, \gamma, \gamma^0, t^c, \alpha^w, \alpha^z, \lambda^w$,
- jednostkowe wysokości kosztów strat u odbiorców oraz odszkodowań i napraw poawaryjnych: $\alpha^0, \alpha^u, \alpha^a$,
- właściwości niezawodnościowe elementów wynikające z jakości produkcji,
- częstości awarii i czasy ich napraw dla kolejnych sposobów ułożeń $B_j^a = B_j^a(g, t)$, $\bar{t}^{pu} = \bar{t}^{pu}(g)$,
- lokalizacje obszaru analizy /osiedla/ względem odbiornika ścieków i punktów wytwarzania mediów,
- topografię terenu,
- warunki gruntowo-wodne,
- wielkość obszaru analizy,
- wariant energetycznego zasilania osiedla zależny od "energetycznej polityki" regionu lub miasta.

Odpowiednio zmienne zależne oraz czynniki je kształtujące podzielono na dobierane przez projektanta w oparciu o katalogi i rozwiązania typowe oraz zasady projektowania wynikające z technicznych możliwości i ograniczeń /zmienne sugerowane/ /Y/ i zaliczono do nich:

- stosowane typy budowli i ich układy,
- możliwe ustawienia budynków lub ich zespołów /kryteria urbanistyczne/,
- techniczne możliwości ułożeń sieci - g ,

- typy rur, armatury i innych elementów gotowych,
- rodzaje materiałów budowlanych,
- technologie robót budowlano-montażowych,
- planowany czas amortyzacji N ,
- harmonogram realizacji i przekazywania obiektów do eksploatacji,
- zasady obliczeń branżowych.

Drugą grupę zmiennych zależnych stanowią zmienne wynikowe $/Z/$ będące efektem podjętych decyzji na podstawie analizy zbiorów X i Y ; $Z = f(X, Y)$. Do grupy tej zaliczono:

- wybrane typy zabudowy /wysoka, niska/,
- przyjęty układ budynków,
- ilości sieci - j - /wariant energetyczny zasilania osiedla, typ kanalizacji/,
- długość sieci - l_{ij} ,
- przekroje przewodów - d_{ij} , s_{ij} ,
- sposoby ułożenia odcinków - g_{ij} ,
- składy /zgrupowanie elementów/ sieci /promieniowe, pierścieniowe, mieszane/,
- współczynniki zawodności - q_j ,
- okres realizacji $\langle 0 \dots \infty \rangle$.

Niektóre zmienne zbioru X mogą być ciągle w określonych przedziałach, natomiast zmienne zbioru Y i Z przyjmują wartości dyskretne odpowiadające danym katalogowym oraz dopuszczalnym technicznie rozwiązaniom. Problem zatem można zakwalifikować do zadań programowania nieliniowego, a funkcja kryterium jest nieróżniczkowalna. Zachodzi jednak okoliczność ograniczająca zakres optymalizacji i wykluczająca stosowanie zmodyfikowanego lub gotowego algorytmu z zakresu programowania nieliniowego [16,66,54]. Wynika to z braku możliwości określenia zależności matematycznych pomiędzy wszystkimi zmiennymi i czynnikami, które je kształtują ze względu na niewymierność niektórych z nich. Można natomiast badać podatność funkcji na zmiany zmiennych oraz stosując metodę systematycznego przeszukiwania zbioru zmiennych tak je dopasować, aby osiągnięte rozwiązanie czyniło zadość przyjętej funkcji kryterium.

5. ALGORYTM ANALIZY I OCENY OSZ

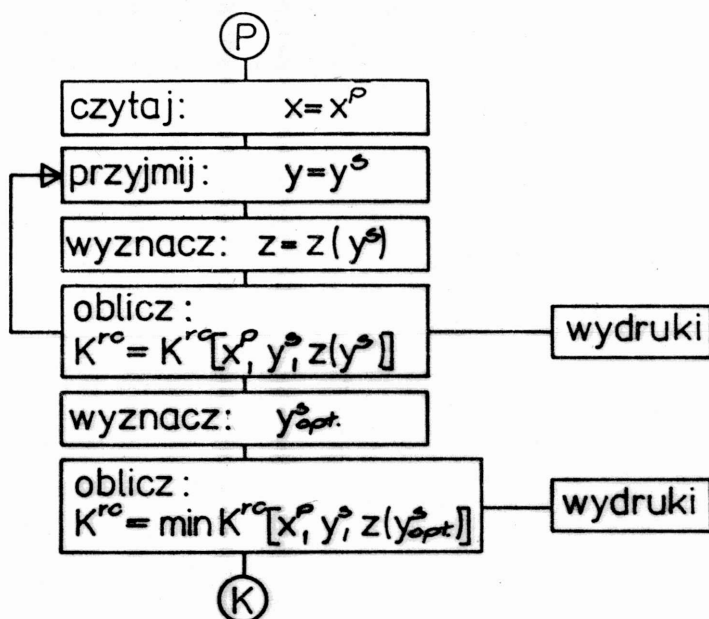
5.1. Opis ogólny algorytmu

Schemat algorytmu analizy OSZ musi być zgodny z metodyką projektowania infrastruktury uzbrojenia podziemnego i odpowiadać przyjętemu podziałowi zmiennych. Ze względu na niewymienność niektórych elementów zbiorów X , Y , Z mamy do czynienia z zadaniem optymalizacji o ograniczonym zakresie. Efektywne wyniki rozwiązania można otrzymać tak ustawiając zadanie, aby zbiór zmiennych X i Y stanowił dane wejściowe. Zakładamy zatem a priori wartości zmiennych $X = X^P$ i na ich bazie przyjmujemy zgodnie z zasadami projektowania zbior zmiennych sugerowanych $Y = Y^S$ ograniczając go do grupy rozwiązań najkorzystniejszych do zastosowania w danych warunkach. Na tej podstawie wyznaczamy pierwszy zbiór zmiennych $Z = Z(Y^S)$ oraz odpowiadających mu kosztów. Dalsze poszukiwanie rozwiązania optymalnego polega na wyborze kolejnego układu sieci /promienisty, pierścieniowy, mieszany/ oraz sposobów ułożenia jej odcinków /zmienne zbioru Y^S / i przeszukiwaniu zbioru zmiennych $/Y^S/$ pod kątem przeprowadzonych zmian, a następnie wyznaczeniu zbioru zmiennych $Z = Z(Y^S)$ oraz odpowiadających im kosztów. Operację należy powtarzać do uzyskania takiego podzbioru zmiennych sugerowanych /uwarunkowania wynikają z ograniczeń technicznych/ Y_{opt}^S , aby uzyskane rozwiązanie /zbiór zmiennych wynikowych $Z = Z(Y_{opt}^S)$ spełniało warunek:

$$K^{rc} = \min K^{rc} [X^P, Y^S, Z(Y_{opt}^S)] \quad 5.1$$

Opisany powyżej tok postępowania można przedstawić w formie schematu blokowego jak na rysunku 5.1.

Zilustrowany na rysunku 5.1 schemat blokowy jest zapisem zbyt uproszczonym dla potrzeb dalszych rozważań. Taki układ algorytmu może bowiem odpowiadać procesowi projektowania większości urządzeń technicznych, gdyż ze względu na swą ogólną postać nie zawiera charakterystycznych elementów właściwych konkretnym urządzeniom. W następnym punkcie pracy przedstawiony zostanie



Rys. 5.1. Schemat blokowy algorytmu analizy i oceny OSZ - postać ogólna.

zapis szczegółowy algorytmu techniczno-ekonomicznej analizy OSZ w pełni uwzględniający specyfikę procesu ich projektowania, realizacji i eksploatacji.

5.2. Zapis szczegółowy algorytmu - SAA

Poniżej w oparciu o ogólny schemat algorytmu analizy OSZ /patrz rys. 5.1/ oraz zasady projektowania osiedli przedstawiono szczegółowo kolejność operacji prowadzących do wyznaczenia OSZ spełniającego przyjęte kryterium optymalizacji /warunek 4.11/.

Kolejność zadań jest następująca:

- 1/ Przyjmij zmienną X^P .
- 2/ Określ typ zabudowy.
- 3/ Określ układ zabudowy.
- 4/ Ustal harmonogramy realizacji i przekazywania obiektów w kolejnych latach procesu inwestycyjnego $0 \dots x$.
- 5/ Oblicz zapotrzebowanie na j -te media dla kolejnych elementów zabudowy - m_{zj} .
- 6/ Przyjmij energetyczny wariant zasilania osiedla.
- 7/ Określ system kanalizacyjny.

- 8/ Na podstawie 6 i 7 przyjmij ilość sieci - n .
- 9/ Określ położenie osiedlowych punktów zasilania - OPZ^{1/}.
- 10/ Przyjmij trasę sieci i jej układy /promienisty, pierścieniowy, mieszany/.
- 11/ Wybierz technicznie możliwe sposoby ułożenia kolejnych odcinków dla wybranej trasy i jej układu - g .
- 12/ Określ długości odcinków w kolejnych latach okresu inwestowania - l_{ijt} .
- 13/ Oblicz przekroje przewodów - d_{ij} , s_{ij} .
- 14/ Przyjmij typy materiałów budowlanych i izolacji oraz przewodów i armatury dla kolejnych sposobów ułożenia odcinków.
- 15/ Ustal technologie robót budowlano-montażowych dla wybranych sposobów ułożenia odcinków.
- 16/ Określ jednostkowe cząstkowe koszty inwestycyjne dla alternatywnych typów ułożenia odcinków w przyjętym układzie sieci: k_{ijc}^g .
- 17/ Wyznacz sumaryczne jednostkowe nakłady inwestycyjne dla kolejnych odcinków j -tych sieci - k_{ij}^g .
- 18/ Oblicz całkowite jednostkowe inwestycyjne koszty odcinków - k_i^g .
- 19/ Czytaj średnie częstości awarii dla i -tych odcinków j -tych sieci w kolejnych latach okresu eksploatacji - $B_{ijt}^a = B_{ij}^a(g, t)$.
- 20/ Przyjmij średnie czasy napraw tych awarii $\bar{t}_{ij}^{pu} = \bar{t}_{ij}^{pu}(g)$.
- 21/ Wylicz odcinkowe współczynniki zawodności w kolejnych latach okresu eksploatacji - $q_{ijt} = q_{ij}(g, t)$.
- 22/ Wylicz wypadkowe współczynniki zawodności j -tych sieci dla przyjętego ich układu /10-ty punkt/ - $q_{jt} = q_j(q_{ijt})$.
- 23/ Wyznacz planowane wielkości j -tych dostaw /z uwzględnieniem ich zmienności w kolejnych latach okresu inwestycyjnego/ - M_{jt}^p .
- 24/ Przyjmij wartości ekonomicznych równoważników strat z tytułu zawodności j -tych sieci - α_j^u , α_j^a , α_j^o .
- 25/ Przyjmij lub wyznacz wartości parametrów stałych określających koszty strat sieciowych dla j -tych sieci.

1/ Dla kanalizacji punkty ewakuacji ścieków.

- 26/ Określ /z uwzględnieniem ich zmienności w kolejnych latach okresu inwestycyjnego/ wartości: Q_{jit} , v_{jit} , τ_{jit} .
- 27/ Oblicz koszty inwestycyjne w kolejnych latach budowy osiedla - I_{jt} .
- 28/ Oblicz koszty roczne dla całego układu - K^{rc} - Wydruk.
- 29/ Wybierz rozwiązanie spełniające kryterium - $K^{rc} = K_{min}^{rc}$.
- 30/ Przyjmij następny układ sieci $\rightarrow$ powrót $\rightarrow$ zadanie 10.
- 31/ Powtarzaj zadanie 11 - 29 - Wydruki.
- 32/ Określ podzbiór Y_{opt}^s $K^{rc} = \min K^{rc} [X^p, Y^s, Z(Y_{opt}^s)]$.

Wybór optymalnego wariantu OSZ według przedstawionego algorytmu /SAA/ wymaga stosowania EMC dla rozwiązania zadań oznaczonych numerami 9 i 28. W pierwszym przypadku wynika to z możliwości wystąpienia dużej ilości punktów odbioru /budynków/ lub większej liczby osiedli, w drugim, że złożonej postaci równania funkcji kryterium [4.9].

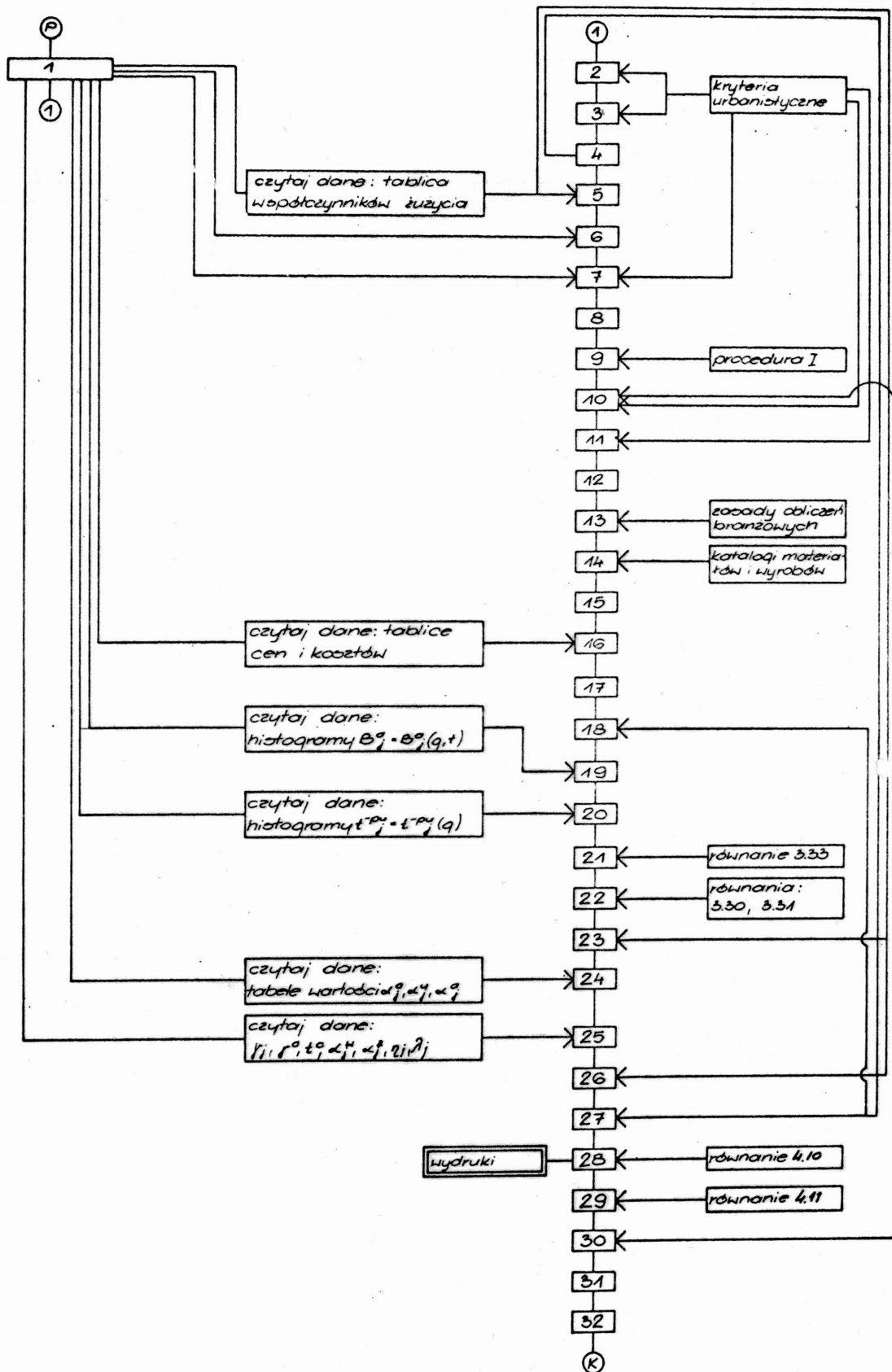
W dalszej części tego rozdziału zostanie przedstawiony algorytm wyznaczania optymalnego położenia osiedlowych punktów zasilania nazwany w pracy "procedurą I" oraz metodyka grupowania zmiennych dla potrzeb ETO nazwany "procedurą II".

Poniżej na rysunku 5.2 przedstawiono schemat blokowy szczegółowego algorytmu analizy techniczno-ekonomicznej /SAA/ osiedlowych systemów zaopatrzeniowych pokazujący sieć powiązań i zależności między poszczególnymi zadaniami.

5.3. Procedura I - metoda optymalnego wyznaczania położenia osiedlowych punktów zasilania /OPZ/

W p r o w a d z e n i e

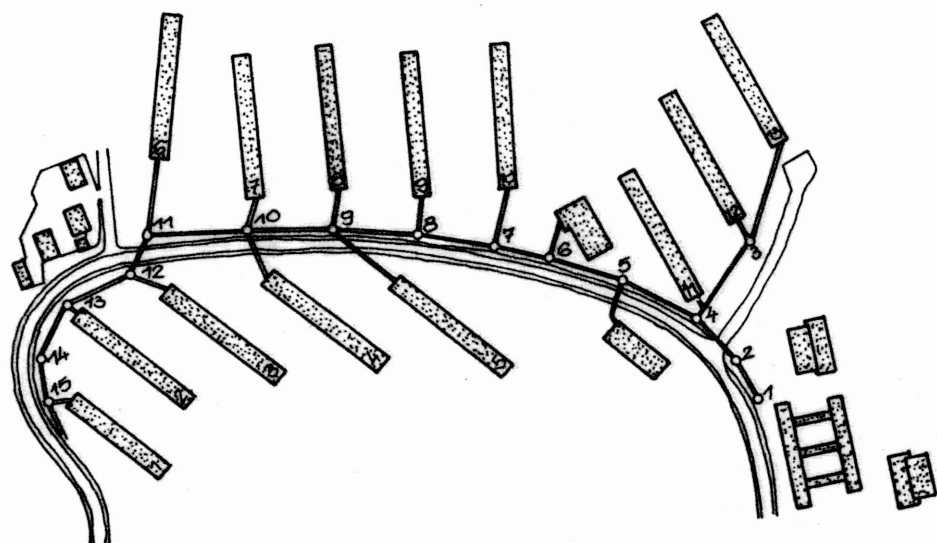
Problem doprowadzenia mediów do obszaru nowozainwestowywanego pojawia się już w chwili organizacji zaplecza placu budowy, które należy wyposażyć w niezbędne ich ilości dla zaspokojenia podstawowych potrzeb załogi oraz procesów budowlanych. Lokalizacja punktów zasilania względem rozpatrywanego obszaru zależy od jego położenia w stosunku do zakładów produkcji mediów oraz odbiorników ścieków i wód deszczowych. Problem najkorzystniejszego wyboru położenia OPZ związany jest zatem z projektowaniem układów magistralnych w skali miasta lub dzielnicy i wyboru miejsc pod nową zabudowę.



Rys 52 Schemat blokowy szczegółowego algorytmu analizy (SAA) i oceny osiedlowych systemów zaopatrzeniowych

Zgodnie z tematem pracy zagadnienia uzbrojenia loco granica osiedla wychodzą poza zakres analizy, jednak ze względu na rolę, jaką odgrywa lokalizacja OPZ dla optymalnego projektowania OSZ, temat ten omawiam nieco szerzej.

Najkorzystniejsze warunki dla uzbrojenia obszaru stwarza przypadek lokalizacji OPZ po jednej z jego stron, co umożliwia sprowadzenie sieci do wspólnego położenia. Zezwala to na wspólne ich układanie już od granic osiedla, a zatem realizację systemu w dowolny z omówionych sposobów /patrz punkt 2.4/. Przykład takiego rozwiązania ilustruje rysunek 5.3.



Rys. 5.3. Rozplanowanie tuneli zbiorczych w Suhl [15].

Możliwość spełnienia powyższych warunków dla nowo projektowanych osiedli mieszkaniowych należy wiązać z ich "miejscem" w procesie rozwoju współczesnych aglomeracji miejskich.

W warunkach polskich najczęściej reprezentowaną jest aglomeracja rozwijająca się w postaci koncentrycznej plamy. Dla takiego modelu nowa dzielnica może być lokalizowana w paśmie zabudowy realizowanej wzdłuż arterii komunikacyjnych lub w strefie międzypasmowej. Kształt dzielnicy, jako zespołu wyodrębnionego zależy od wzajemnego układu osiedli mieszkaniowych.

Dla dzielnic budowanych wzdłuż arterii komunikacyjnych osiedla tworzą ciąg następujących po sobie obszarów zabudowy, a w "przestrzeniach międzypasmowych" dzielnice mogą przybierać formę za-

budowy "dywanowej" [36]. Rozwój miast na danych kierunkach sprawia, że osiedla mieszkaniowe zostają jednoznacznie zorientowane względem zakładów wytwarzania mediów, które z reguły pozostają skupione wokół jądra aglomeracji. Wyłącznie w przypadku budowy nowych zakładów projektant ma do czynienia z możliwością ich wyboru.

Dla obu przypadków zachodzi konieczność wyznaczenia tras przewodów magistralnych, przy czym mogą to być ich wiązki prowadzące kilka mediów obok siebie. Przecięcia się tych tras z granicami osiedli ustalają położenia OPZ.

Z a ł o ż e n i a i o p i s p r o c e d u r y I

Przedstawione na planie rozwoju miast osiedla można traktować, jako wyodrębnione układem komunikacyjnym lub terenami zielonymi fragmenty dzielnicy, a odbiorców mediów /budynki/ przedstawić w postaci zbioru z punktów tzn. $Z = \{z\}$ oznaczonych dowolnie kolejnymi liczbami 1, 2, ... z. Następnie, zgodnie z 5-tym zadaniem algorytmu /patrz punkt 5.2/, należy obliczyć wielkości zapotrzebowań m_{zj} kolejnych obiektów zabudowy i wyznaczyć położenie środka ciężkości obciążeń całego osiedla $W(x,y)$ w przyjętym układzie współrzędnych OXY, spełniającego warunek:

$$W = \sum_{j=1}^n \sum_{1}^z l_j m_{zj} \rightarrow \min \quad 5.2$$

Punkt $W(x,y)$ jest zatem miejscem geometrycznym, z którego doprowadzenie mediów do kolejnych budynków wymaga realizacji najkrótszych tras przewodów przy zadanych średnicach $/d_j/$ wynikających z wielkości obciążeń $/m_{zj}/$.

Metoda wyznaczania środka ciężkości kilku punktów o różnych wagach jest klasycznym zadaniem z zakresu statyki graficznej, stąd też w pracy pominięto jej opis. Dla dużej ilości punktów można skorzystać z metody iteracyjnej, szczególnie której wraz z programem na EMC Odra 1204 w języku Algol podano w pracy [39]. Wyznaczone punkty /środki ciężkości mogą reprezentować osiedla, przy czym każdemu z nich należy przyporządkować odpowiedniej

wartości wagi V . Wielkości wag dla wszystkich rodzajów mediów, za wyjątkiem ścieków opadowych, będą wprost proporcjonalne do liczby mieszkańców pód warunkiem, że osiedla są wyposażone w usługi zgodnie z obowiązującymi normatywami urbanistycznymi [70]. Proponuje się przyjmować wagę równą jedności dla osiedla najliczej zasiedlonego oraz odpowiednie /proporcjonalne do liczby mieszkańców/ wartości ułamków dla pozostałych osiedli. Wagi będą zatem spełniały warunek:

$$0 < V \leq 1$$

5.3

Określone wagi wskazują kolejność wyboru osiedli w celu optymalnej gradacji średnic przewodów.

Ilości ścieków opadowych zależą od rodzaju zlewni, tzn. jej wielkości oraz zagospodarowania, a nie zależą od liczby mieszkańców. Zachodzi zatem konieczność osobnego wyznaczania wag dla kanalizacji deszczowej i porównania ich z wyznaczonymi dla pozostałych rodzajów mediów. Wagami w tym przypadku będą liczby wprost proporcjonalne do ogólnych ilości wód deszczowych, jakie należy ewakuować z danego osiedla, przy czym sposób ich oznaczania może być identyczny z przedstawionym poprzednio. Istnieje duże prawdopodobieństwo, że dla podobnych warunków topograficznych i gruntowych oraz zbliżonych charakterów zabudowy /zagospodarowanie terenu/ będą one pokrywały się z wagami wyznaczonymi dla pozostałych rodzajów mediów, bowiem w takich przypadkach powierzchnie osiedli będą również proporcjonalne do liczby mieszkańców. Dla nieznacznych różnic między wagami można podejmować próby ich niwelacji poprzez regulację ilości dopływających ścieków opadowych do sieci. Niektóre z technicznych możliwości takich zabiegów opisano w pracy [58]. Dla znacznych rozpiętości wag należy wyznaczyć osobne układy sieci, po czym porównać ich koszty. Może bowiem okazać się, że ze względu na gabaryty sieć deszczowa będzie układem nadrzędnym, któremu warto podporządkować trasy pozostałych elementów uzbrojenia. Innym determinantem wpływającym na wybór trasy kanalizacji deszczowej i sanitarnej jest zaprojektowany sposób transportu mediów. Dla systemów ciśnieniowych zasady wyboru tras tych sieci podlegają identycznemu kryterium jak dla po-

zostałych mediów. W przypadku gdy ze względu na ukształtowanie terenu projektant staje przed koniecznością zaplanowania układów grawitacyjnych, decydującymi parametrami o wyborze trasy stają się wówczas wartości rzędnych wysokościowych punktów odbioru. Optymalizacja układu w takim ujęciu musi przebiegać w kierunku wyboru najkorzystniejszego profilu podłużnego kanałów dla trasy, której przebieg narzucają rzędne punktów odbioru. Położenie początkowego punktu układu określa rzędna najniżej położonej posadzki piwnicznej najwyższej wybudowanego budynku spośród wszystkich obiektów dzielnicy, z których należy odprowadzić ścieki, zaś punktu końcowego rzędna dna kolektora przy oczyszczalni ścieków lub kolektorze głównym, do którego podłączono dzielnicę. Kolejność włączania punktów do sieci odpowiada kolejności zmniejszania się wartości rzędnych wysokościowych, a spadki odcinków, które je łączą, muszą spełniać warunek:

$$i_{\min} < i < i_{\max} \quad 5.4$$

gdzie: $i_{\min}$, $i_{\max}$ - odpowiednio minimalne i maksymalne dopuszczalne spadki dla kanalizacji według [4].

Identycznym kryteriom podlegają zasady projektowania kanalizacji deszczowej, przy czym początkiem układu w jej przypadku jest rzędna najwyższej położonego dna studzienki wpustu ulicznego dla całej dzielnicy. Oparty na powyższych założeniach model doboru optymalnego profilu podłużnego dla kanałów grawitacyjnych opracowano w [33]. Autor uwzględnia czynniki ekonomiczne, wymagania hydrauliczne i eksploatacyjne oraz techniczne związane z koniecznością podłączenia innych kanałów do kanału projektowanego.

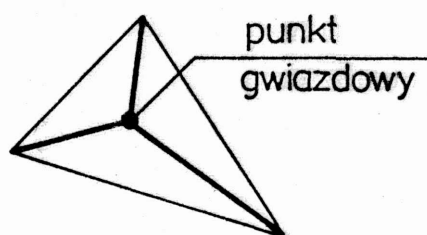
Algorytm modelu przystosowano do prowadzenia obliczeń z wykorzystaniem ETO, a odpowiednie programy znajdują się w bibliotece Instytutu Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej.

Zagadnienia optymalizacji trasowania układów sieciowych z wystarczającą dokładnością opisano w literaturze specjalistycznej [1, 2, 11, 13, 29, 35, 39, 40, 41, 54]. W oparciu o przeprowadzone studia literaturowe i przedstawione powyżej założenia opracowano algorytmy wyznaczania optymalnego położenia OPZ, dla zadanego układu osiedli bądź zgrupowań budowli, zaopatrywanych promienistymi lub pierścieniowymi układami sieci.

Algorytmy optymalnego trasowania
układów sieciowych

Algorytmy trasowania optymalnych
układów sieci promienistych

Sieci promieniste można porównać z grafami bez cykli /nie mającymi łańcuchów zamkniętych/[41]. Rozwiązania zadania można zatem poszukiwać na drodze adaptacji jednego z gotowych algorytmów opartych na bazie teorii grafów. Dla sieci łączącej punkty o jednakowych wagach najwygodniejszym do stosowania w praktyce projektowej wydaje się być algorytm Kruskala [2,29,39]. Ponieważ algorytm ten jest szczegółowo omówiony w zacytowanych pozycjach literaturowych w pracy zaniechano jego opisu. W praktyce projektant ma do czynienia w przeważającej liczbie przypadków z układami punktów o różnych wagach, co wynika z niejednakowej liczby mieszkańców kolejnych osiedli dzielnicy. Zatem za celowe uznano przedstawienie metodyki optymalnego trasowania sieci promienistych łączących takie punkty. Jednym z algorytmów umożliwiających rozwiązanie tego problemu jest metoda "ślizgającego się żebra" zaproponowana przez Cola [10], której modyfikację dla potrzeb optymalizacji układów sieci ciepłowniczych dokonano w [39]. Utworzona zgodnie z nią sieć promieniowa rysuje się jako układ łamanego przewodu magistralnego przechodzącego przez tzw. "punkty gwiazdowe" oraz przyłączy biegnących w kierunku wierzchołków "konturu elementarnego". Przez "kontur elementarny" rozumieć należy funkcjonalną sieć łączącą trzy zadane wierzchołki trójkąta w "punkcie gwiazdowym", co przedstawiono na rysunku 5.4.



Rys. 5.4. Budowa "konturu elementarnego".

Dla wierzchołków konturu o różnych wagach położenie punktu gwiazdowego powinno spełniać równanie 5.2, co jest jednoznaczne z wyznaczeniem ich środka ciężkości. Wyjściową czynnością w opisanej metodzie jest ustalenie położenia rozpatrywanych punktów odbioru /środku ciężkości osiedli spełniające równanie 5.2 / i źródła zasilania w obranym układzie współrzędnych OXY. Po określeniu obciążeń /zapotrzebowań kolejnych osiedli/ należy przystąpić do określenia numeracji punktów. Numer pierwszy otrzymuje źródło mediów, a następne /według modyfikacji przedstawionej w pracy [39]/ te punkty, których ilorazy odległości od źródła przez ich wagi będą najmniejsze. Tworzone kolejno "punkty gwiazdowe" otrzymują numery dalsze. Przy ilości n punktów wierzchołkowych otrzymuje się $n-2$ "punktów gwiazdowych". Algorytm polega na budowie trzech tablic incydencji:

- tablicy punktów wierzchołkowych - $A \{ a_{ij} \}$,
- tablicy punktów gwiazdowych - $B \{ b_{ij} \}$,
- kolumny wektora przepływów - $C \{ c_j \}$.

Wyrazy tablic A i B przyjmują wartości 1 lub 0 przy czym 1 oznacza istnienie połączenia między wierzchołkami "i" i "j". W kolumnie C dla następujących po sobie iteracji zestawia się numery kolejnych punktów węzłowych charakteryzujących się przepływami sumarycznymi.

Budowę sieci rozpoczyna się od skonstruowania konturu elementarnego dla trzech pierwszych wierzchołków 1, 2, 3 z "punktem gwiazdowym" oznaczonym numerem $n + 1$, przy czym $m_{1j} = m_{2j} + m_{3j}$. Następne punkty przyłącza się szukając najkrótszej ich odległości od krawędzi /żebra/ już utworzonych. Można tego dokonać prowadząc prostą prostopadłą do ramienia konturu przez dany punkt lub przy braku uzasadnienia prowadzenia prostopadłej przez znalezienie najkrótszej odległości podłączonego punktu od wierzchołków już rozpatrywanych. Procedura ta jest powtarzana w celu uzyskania wstępnego położenia następnych punktów gwiazdowych.

Ostateczną lokalizację ich położenia wyznacza się na drodze iteracji przy uwzględnieniu obciążeń poszczególnych wierzchołków /osiedli/ i węzłów odpowiadających aktualnym przepływowi. Iteracji dokonuje się do momentu uzyskania odchyłki mniejszej od przyjętej.

Podany sposób jest pracochłonny i wymaga stosowania ETO. Program oparty na jego bazie dla optymalnego trasowania sieci ciepłowniczych opracowano w [39].

Na rysunku 5.5 przedstawiono tok postępowania przy budowie sieci promieniowej metodą "ślizgającego się zebra" dla przykładowego rozmieszczenia osiedli o różnych liczbach mieszkańców.

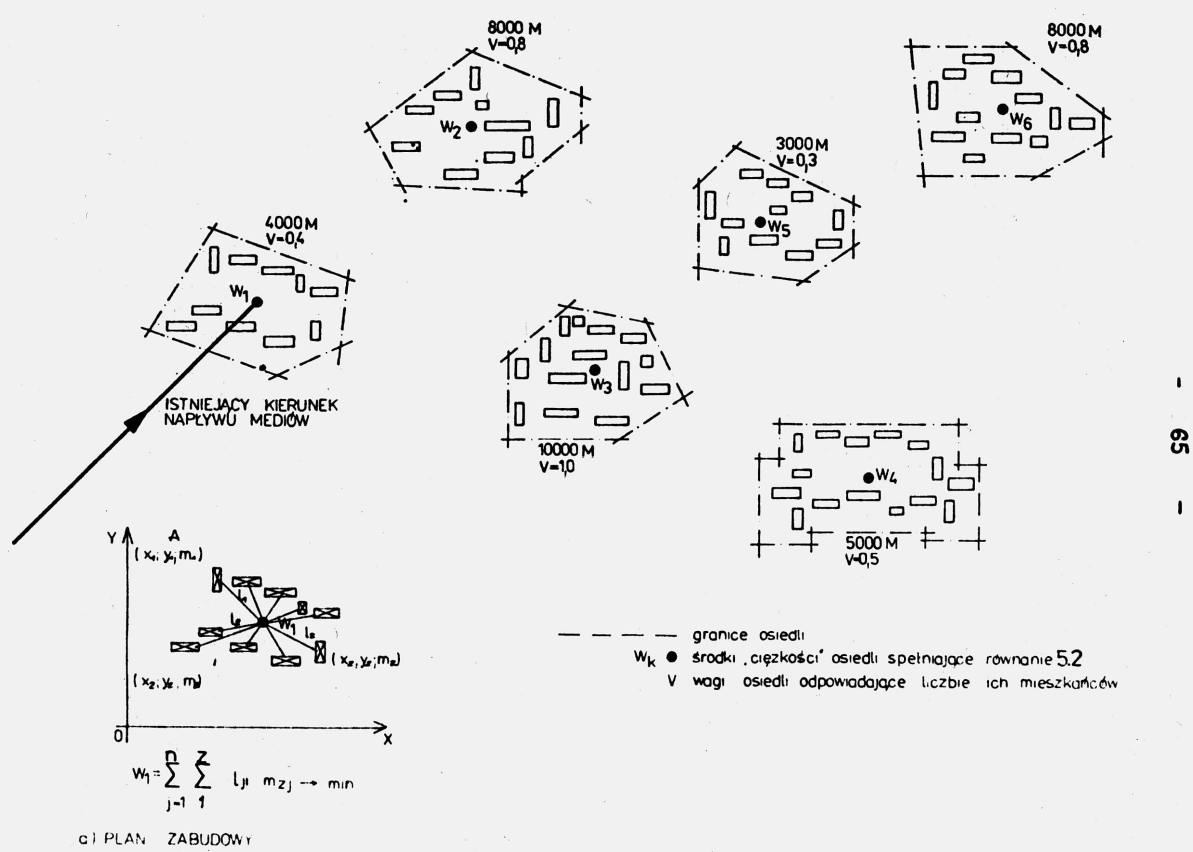
Przedstawioną metodę można adaptować do trasowania układów gravitacyjnych. W takim zadaniu mamy do czynienia z układem punktów o z góry narzuconej numeracji. Numer pierwszy otrzymuje punkt najwyżej położony, a następne numery punkty według kolejności zmniejszania się rzędnych. Dodatkowo dochodzi ograniczenie sformułowane zależnością 5.4.

Trasowanie sieci rozpoczyna się od wyznaczenia "punktu gwiazdowego" położonego w środku ciężkości obciążeń punktów oznaczonych trzema pierwszymi numerami: przy założeniu, że spadki otrzymanych krawędzi konturu /przyłączy/ spełnią warunek 5.4. Dalsze operacje należy przeprowadzać według opisanej procedury.

A l g o r y t m y t r a s o w a n i a o p t y m a l n y c h
u k ł a d ó w s i e c i p i e r ś c i e n i o w y c h

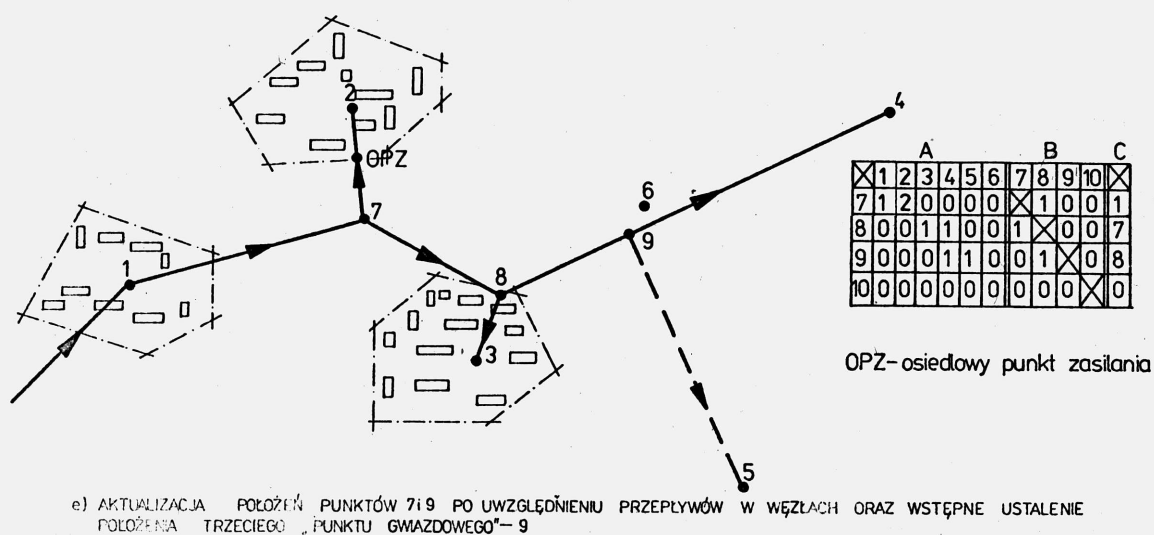
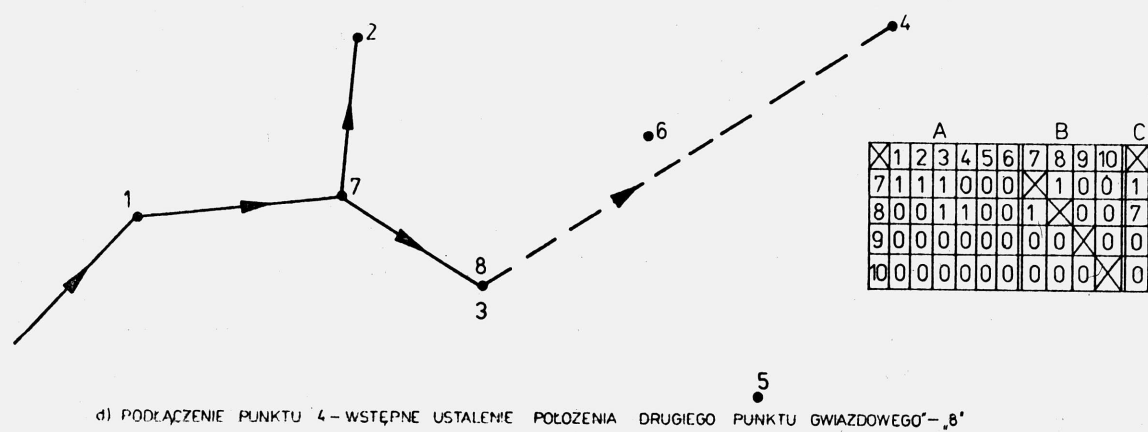
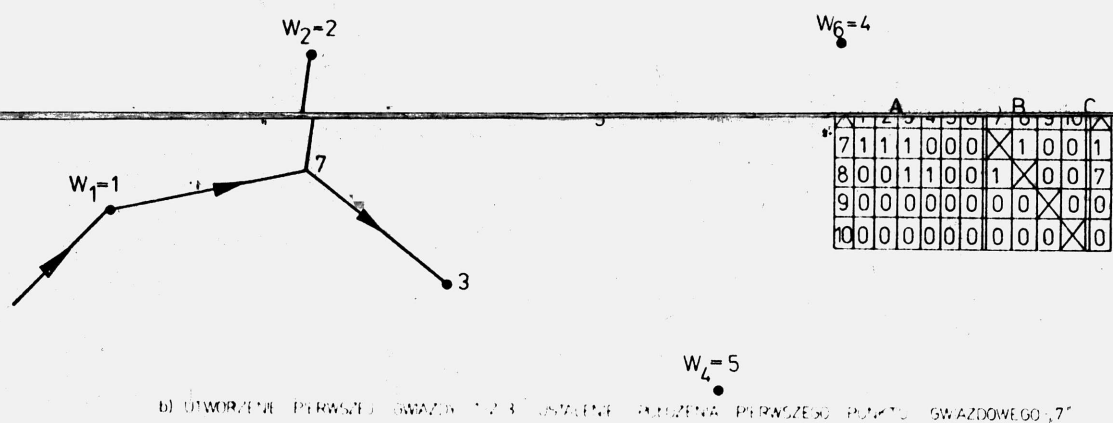
Sieć pierścieniową można porównać do grafu z cyklami /mającego łańcuchy zamknięte/.

Zadanie minimalizacji jej długości przypomina "zadanie komiwojaza". W zagadnieniu tym poszukiwać należy drogi charakteryzującej się najmniejszym kosztem, przechodzącej przez każdy z węzłów /punkty ciężkości osiedli/ tylko jeden raz i powracającej do węzła wyjściowego. Rozwiązanie analityczne zadania dotychczas nie jest znane, a za najefektywniejszą metodę uważa się procedurę iteracyjną Little'a [35,54]. Metoda ta zwana powszechnie "branch and bound" /rozdziálu i ograniczeń/ jest metodą bardzo dokładną i przy większej ilości punktów wymaga stosowania ETO. Program oparty na jej bazie został już w kraju opracowany [2]. Rozwiązanie zadania można również otrzymać na drodze porównania wszystkich możliwych wariantów tras, których ilość dla układu n punktów wynosi $(n-1)!$. Taki sposób postępowania jest możliwy wyłącznie dla bardzo małej ilości punktów.



a) PLAN ZABUDOWY

macierz odległości						macierz wskaźników gradacji						kolumna numeracji	
	W ₁	W ₂	W ₃	W ₄	W ₅	W ₆	W ₁	W ₂	W ₃	W ₄	W ₅	W ₆	
W ₁	0	3.2	39	7.1	5.7	8.1	0	4.0	3.9	14.2	19.0	10.1	1
W ₂		0	30	5.9	3.5	6.0		0	3.0	11.8	11.6	7.5	2
W ₃			0	3.3	2.5	5.5			0	6.6	8.3	6.9	3
W ₄				0	3.0	4.3				0	10.0	5.4	5
W ₅					0	3.0					0	3.7	6
W ₆						0						0	4



Rys. 63. Schemat ideowy metodyki wyznaczania położenia OPZ dla promienistych układów sieci OSZ.

Algorytmami mniej pracochłonnymi dającymi rozwiązania "suboptymalne" o wystarczającej dokładności dla potrzeb projektowania systemów sieci zaopatrzeniowych są algorytmy Ackoffa i Sasieniego [1] oraz metoda "konturu granicznego" zaproponowana przez Nicholsona [44].

W niniejszej pracy omówiono ostatnią z wymienionych metod, gdyż przy kilkunastu punktach nie wymaga stosowania ETO, a zatem z powodzeniem może być wykorzystywana w codziennej praktyce projektowej. Przy większych ilościach punktów część z nich można wyeliminować przez utworzenie punktów zastępczych leżących w środku ciężkości grupy punktów eliminowanych.

Adaptacja algorytmu Nicholsona dla potrzeb prowadzonych rozważań nie wymaga dodatkowych modyfikacji związanych z nadaniem wag kolejnym punktom odbioru, co wynika ze specyfiki pracy układów pierścieniowych. Korzyści i wady ich stosowania omówiono w rozdziale 3. Do głównych zalet należą zerowanie spadków ciśnień oraz zwiększenie niezawodności układu. Zwiększenie niezawodności, a zatem wyeksponowanie głównej zalety sieci pierścieniowych jest możliwe wyłącznie w przypadku takiego doboru jej średnic, aby zapewnione były identyczne warunki transportu mediów w obu kierunkach.

Warunek ten spełnia pierścień o jednakowej średnicy rury na całej długości, przy czym musi ona być zwymiarowana na sumę zapotrzebowań dla wszystkich punktów odbioru.

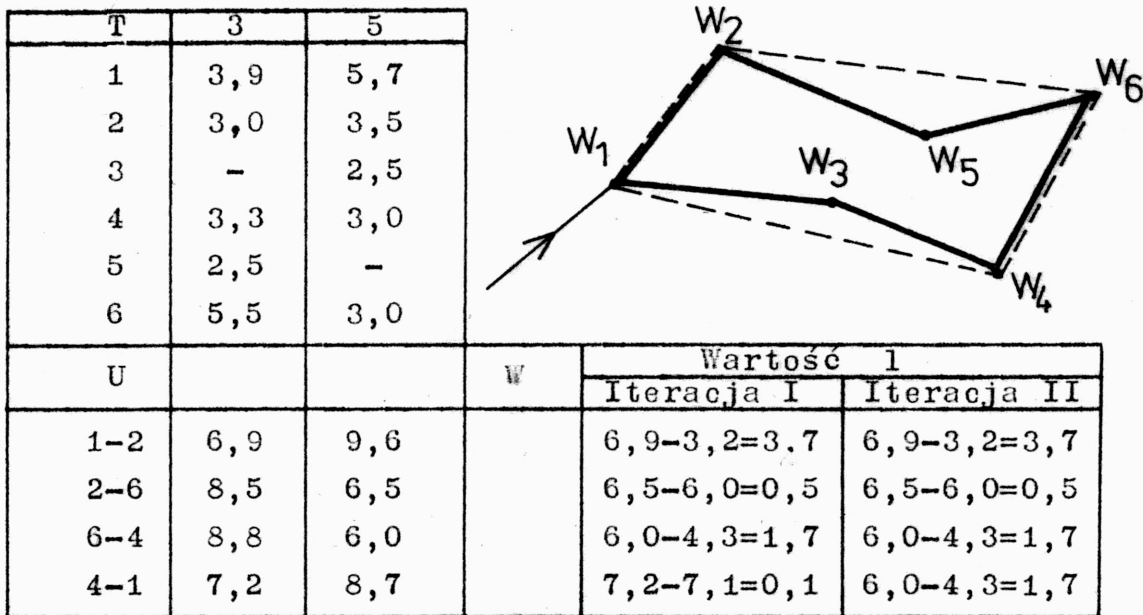
Tok postępowania w metodzie "konturu granicznego" jest następujący: należy połączyć ze sobą punkty skrajne i orientacyjnie wyznaczyć miejsca włączenia punktów wewnętrznych. W przypadku braku zdecydowanych preferencji włączania punktów należy wykonać dodatkowe obliczenia, których kolejność przebiegu przedstawiono poniżej.

Rozmieszczenie punktów i macierz ich odległości w przedstawionym na rysunku przykładzie przyjęto identyczne jak w punkcie poprzednim. Zadanie sprowadza się do zbadania dla każdej z sąsiadujących par punktów wartości przyrostów długości trasy Δl spowodowanych włączeniem punktu wewnętrznego. Minima tych przyrostów określają miejsce najkorzystniejszego włączenia punktów.

Macierz T grupuje odległości między punktami tworzącymi kontur graniczny, a punktami wewnętrznymi. Wyrazy tablicy U to drogi między kolejnymi punktami konturu granicznego przebiegające przez rozważany punkt wewnętrzny. Elementy macierzy W podają $\Delta l_{\min}$ kolejnych iteracji rachunku i są otrzymane w wyniku porównania różnic minimalnych wartości z wierszy macierzy U i odpowiadających im długości odcinków granicznych. Ilość iteracji musi być równa liczbie punktów wewnętrznych.

Na rysunku 5.6 przedstawiono przykład wyboru najkorzystniejszego układu trasy sieci pierścieniowej łączącej zadane punkty wg algorytmu Nicholsona.

Rysunek 5.7 jest ilustracją rozmieszczenia OPZ przy tak wyznaczonym układzie dla planu zabudowy z rysunku 5.5.

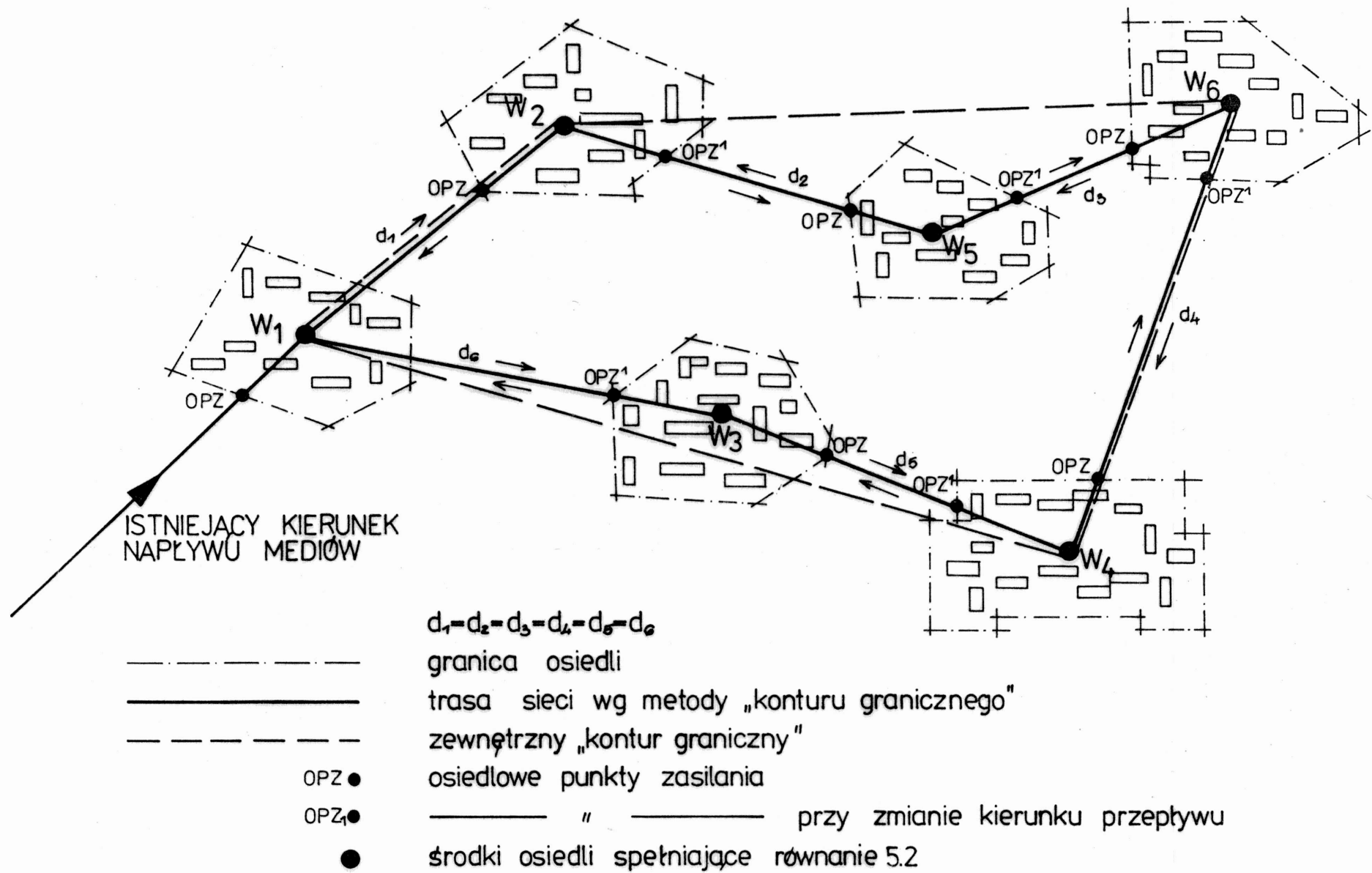


$$l = l_{12} + l_{25} + l_{56} + l_{64} + l_{43} + l_{31} =$$

$$= 3,2 + 3,5 + 3,0 + 4,3 + 3,3 + 3,9 = 21,2$$

Rys. 5.6. Wybór minimalnej trasy sieci pierścieniowej metodą "konturu granicznego".

Układy pierścieniowe nie są stosowane w przypadku kanalizacji grawitacyjnej, co wynika z konieczności zachowania wymaganych spadków dna przewodów, a zatem ustalenia wyłącznie jednego kierunku przepływu.



Rys.5.7. Płożenie OPZ dla pierściewego układu sieci wytrasowanego wg algorytmu Nicholsona.

U w a g i o g ó l n e

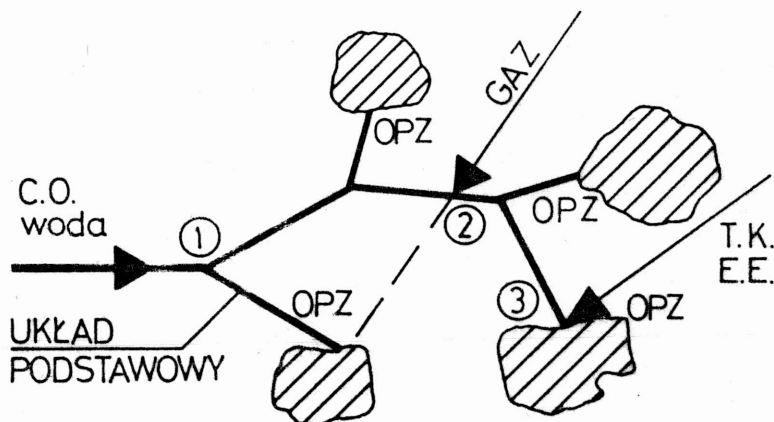
Przedstawione algorytmy wyznaczania optymalnego położenia OPZ powinny być stosowane na etapie sporządzania planów generalnych rozwoju miast, przy określaniu tras przewodów magistralnych. Przy kilku kierunkach napływu mediów do obszaru zasilanego proponowana metodyka dla układów promienistych wymaga wprowadzenia dodatkowych uproszczeń i nie prowadzi do wyboru rozwiązania optymalnego dla wszystkich rodzajów sieci równocześnie.

Kolejność czynności w opisanym przypadku jest następująca: po wyznaczeniu "wag" osiedli oraz zorientowaniu ich "punktów ciężkości" w obranym układzie współrzędnych OXY należy wyznaczyć położenie OPZ dla sieci, której realizacja wymaga najwyższych nakładów inwestycyjnych /np. sieci ciepłowniczej/. Następnie wyznaczamy wskaźniki gradacji punktów odbioru względem kolejnych zakładów produkcji mediów /ilorazy odległości zakładów produkcji do "środków ciężkości" przez "wagi" osiedli/, po czym do osiedli o najmniejszych wartościach wskaźników, najkrótszymi drogami, prowadzimy przewody zasilające. Miejsca przecięcia się przewodów z wyznaczonym uprzednio układem podstawowym /mogą być nimi określone już OPZ/ wyznaczają położenie nowych punktów źródłowych. Na dalszych odcinkach trasy układów będą się pokrywały. Pominięcie kolejności zasilania dla wszystkich punktów odbioru w funkcji ich wag i odległości od źródła powoduje przewymiarowanie średnic przewodów włączonych na niektórych odcinkach, zwiększając tym samym ogólne nakłady inwestycyjne na OSZ.

Schemat sieci promienistej z kilkoma punktami zasilania przedstawiono na rys. 5.8.

Lokalizacja punktów zasilania układów pierścieniowych nie wpływa na jakość rozwiązania, ze względu na jednakowe średnice przewodów na całej długości sieci.

Wyznaczone przedstawionymi metodami układy tras oraz położenie OPZ nie stanowią rozwiązań szczegółowych. W przypadku kolizji z pozostałościami zainwestowania /grupa budynków, zbiornik itp./ lub przeszkodami naturalnymi /grupa drzew, staw itp./ dodatkowo należy dokonać optymalizacji szczegółowej umożliwiającej wybór



- 1- punkt źródłowy dla C.O. i wody
2- punkt źródłowy dla gazu
3- punkt źródłowy dla kabli elektroenergetycznych i telekomunikacji
OPZ-osiedlowe punkty zasilania

Rys. 5.8. Schemat sieci promienistej z kilkoma punktami źródłowymi.

najkorzystniejszego sposobu ominięcia przeszkody. Odmienny aspekt stanowi zagadnienie współpracy specjalistów kilku branż przy projektowaniu sieci uzbrojenia podziemnego. Współdział projektantów dróg może doprowadzić do częściowego /a nawet pełnego/ dopasowania tras obu układów. Korzyści takiego rozwiązania wynikają z obniżonych kosztów oświetlenia ulic oraz możliwości utrzymania niezamierzniętych nawierzchni chodników, w przypadku prowadzenia płytko ułożonych sieci ciepłowniczych w ciągach dla ruchu pieszych. Obniżenie kosztów może przynieść również dopasowanie ciągów drenażu do projektowanych tras sieci.

Zasygnalizowane problemy powinny zostać poddane szczegółowym analizom w osobnych opracowaniach.

5.4. Procedura II - metodyka grupowania danych dla potrzeb ETO

W p r o w a d z e n i e

Celem operacji oznaczonych numerami od 11 do 28 ogólnego algorytmu analizy jest wybór najkorzystniejszego ze względu na przyjęte kryterium optymalizacji /równanie 4.9/ wariantu realizacyjnego /układu kolejnych odcinków/ wybranego /10 punkt SAA/ układu sieci. Zadanie sprowadza się do oceny kosztów inwestycyjno-eksploatacyjnych kolejnych rozwiązań różniących się między

sobą odmiennymi sposobami ułożenia następujących po sobie odcinków. Przy znacznej ilości odcinków oraz analizie wszystkich potencjalnie możliwych sposobów ich układania ilość wariantów jest tak duża, że ich wyznaczanie oraz obliczenie kosztów dla każdego z nich może być trudne do wykonania nawet przy użyciu ETO. Dodatkowo, operacje komplikuje złożona postać funkcji kryterium oraz duża ilość zmiennych i parametrów określających wysokość nakładów eksploatacyjnych.

Zadaniem procedury II jest zatem prezentacja wygodnej dla praktycznego stosowania metodyki przygotowywania danych wyjściowych umożliwiającej wykorzystanie ETO oraz przedstawienie możliwości wprowadzenia uproszczeń nie wpływających ujemnie na jakość prowadzonej analizy.

O g r a n i c z e n i a w y b o r u s p o s o b ó w u ł o- ż e ń k o l e j n y c h o d c i n k ó w s i e c i

Trasowanie sieci /10-ty punkt SAA/ sprowadza się do wyboru jej układu oraz położenia kolejnych odcinków. W ogólności trasy tych odcinków mogą zostać zlokalizowane w przestrzeniach międzyblokowych, częściowo lub w pełni pokrywać się z układem komunikacyjnym oraz przebiegać przez kondygnacje piwniczne budowli kubaturowych lub w ich pobliżu. Projektant staje zatem przed koniecznością wyboru najkorzystniejszych sposobów ułożenia kolejnych odcinków sieci wynikających ze specyfiki jej lokalizacji. Istnieje siedem technicznie różnych możliwości układania przewodów, co szczegółowiej omówiono w punkcie 2.3. Jeżeli zatem przez g_i oznaczmy ilość technicznie możliwych ułożeń m -tych odcinków sieci, to liczba wszystkich wariantów ułożenia m odcinkowego przewodu będzie równa iloczynowi:

$$R = \prod_{i=1}^m g_i \quad 5.5$$

Ze wzoru 5.5 wynika, że przy dużej ilości odcinków oraz technicznych możliwości ich ułożeń liczba wariantów R może osiągać znaczną wartość.

Stąd też na tym etapie projektowania zachodzi konieczność uwzględnienia warunków ograniczających i dokonania wstępnej selekcji potencjalnie możliwych sposobów ułożenia, do tych, dla których realizacja może okazać się w rzeczywistości możliwa.

Ograniczenia te poza wynikającymi z charakteru zmiennych zbioru zmiennych sugerowanych Y /typy oraz rodzaje budowli i ich konstrukcji, ustawienia budynków itp./ będą wynikały również z konieczności zapewnienia:

- technologicznej i organizacyjnej ciągłości realizacji obiektów,
- "płynności" połączeń kolejnych odcinków ułożonych różnymi sposobami.

Zdaniem autora po analizie powyższych ograniczeń ilości rozpatrywanych wariantów układania odcinków sieci będą ograniczone do takich ich kombinacji, jak np.: przechodni tunel wieloprzewodowy - galeria - wspólny wykop.

Porównań kosztów eksploatacyjnych należy dokonywać dla rozwiązań skrajnych, gdyż rozwiązania pośrednie będą charakteryzowały się wyłącznie mniejszym lub większym udziałem określonych sposobów ułożenia. Dalszego uproszczenia analizy, bez umniejszania jej wartości, dokonuje się poprzez właściwy podział sieci na odcinki. Jako kryterium przy oznaczaniu długości "umownego" odcinka l_{ij} należy tu stosować podobieństwo technicznych możliwości jego ułożenia, rozbiórów mediów /zachowanie stałych średnic/ oraz warunków lokalnych /gruntowo-wodnych, topograficznych, zagospodarowanie terenu itp./, a nie kształtu geometrycznego. Zatem długość odcinka może stanowić sumę długości odcinków łamanej, dla których techniczne możliwości i warunki ułożenia są identyczne. Taki podział sieci zezwala uniknąć określania zbyt dużej ilości jednakowych parametrów.

G r u p o w a n i e z m i e n n y c h i p a r a m e t r ó w s t a ł y c h

Po dokonaniu powyżej opisanej analizy ograniczeń oraz podziału sieci na odcinki można przystąpić do przygotowywania danych wyjściowych dla ETO. Kolejność czynności przy określaniu danych odpowiada porządkowi SAA i obejmuje:

- 1/ wyznaczenie wysokości jednostkowych częściowych kosztów inwestycyjnych dla rozpatrywanych wariantów ułożenia kolejnych odcinków sieci - k_{ijc}^g ,
- 2/ określenie długości odpowiadających sobie odcinków w alternatywnych rozwiązaniach $/l_{ijt}/$ w kolejnych latach okresu inwestycyjnego,
- 3/ podział i wyznaczenie wartości parametrów zmiennych i stałych określających składniki kosztów eksploatacji.

Sposób realizacji powyższych punktów wymaga dodatkowego komentarza z powodu szerokiej możliwości wprowadzenia dalszych uproszczeń, oraz konieczność ustalenia wygodnej formy zapisu.

Jednostkowe częściowe koszty inwestycyjne kolejnych odcinków sieci rozpatrywanego wariantu można zestawiać w tablicach, w których ilość kolumn odpowiadać będzie liczbie sieci $/n/$, a w wierszach zestawione zostaną te same rodzaje kosztów. W ostatnim wierszu tablicy należy zestawić wartości łącznych jednostkowych kosztów inwestycyjnych dla danego odcinka j -tej sieci, stanowiących sumę wyrazów z kolejnych kolumn. Ostatni wyraz tego wiersza powinien przedstawiać sumę wszystkich wyrazów w nim zestawionych, czyli łączny jednostkowy koszt inwestycyjny danego odcinka. Wyznaczenie kosztu łącznego jest uzasadnione w przypadku jednakowej długości wszystkich sieci na tym odcinku. Warunek ten dla tego samego układu sieci $/10$ -ty punkt SAA/ będzie spełniony dla wszystkich sposobów jej układania za wyjątkiem sieci umieszczonych w gruncie z zachowaniem normatywnych odległości, gdzie może zachodzić konieczność wydłużenia na danym odcinku którejs z nich w celu omińnięcia przeszkody. Przypadek taki na terenach nowozainwestowanych będzie należał do rzadkości. Proponowany sposób zapisu kosztów częściowych w formie tablicy jest wygodny dla praktycznego stosowania i w znacznym stopniu wyklucza popełnienie błędu.

Schemat ogólny tablicy odcinkowych kosztów inwestycyjnych przedstawiono na rysunku 5.9.

Tablice te w całości, ostatnie ich wiersze lub wartości łącznych jednostkowych kosztów odcinkowych $/k_i^g/$ mogą być umieszczone na planszach ogólnych $/planach realizacyjnych/$ obok kolejnych odcinków sieci. Odcinki sieci dla tego samego układu łączą identyczne

$$\sum_{c=1}^6 k_{ijc}^g$$

k_{i11}^g	...	k_{ij1}^g	...	k_{in1}^g	
.	.	.	.	.	
.	.	.	.	.	
k_{i16}^g	...	k_{ij6}^g	...	k_{in6}^g	
k_{i1}^g	.	k_{ij}^g	.	k_{in}^g	k_i^g

$$\sum_{j=1}^n k_{ij}^g$$

Rys. 5.9. Schemat ogólny tablicy jednostkowych kosztów inwestycyjnych.

punkty odbioru /budynków/, których położenie pozostaje niezmiennie. Różnice długości odpowiadających sobie odcinków w alternatywnych wariantach mogą zatem wynikać z odmiennych sposobów ich ułożenia.

Długości odcinków dla kolejnych lat okresu inwestycyjnego należy zestawiać w tablicach $/l_{ijt}/$, gdzie ilość kolumn będzie równa liczbie sieci, a wierszy - ilości odcinków, na które sieci zostały podzielone. Schemat takiej tablicy przedstawiono poniżej /może ona być również umieszczona na planszy ogólnej/:

$$l_{ijt} = \begin{bmatrix} l_{11t} & \dots & l_{ijt} & \dots & l_{1nt} \\ l_{i1t} & \dots & l_{ijt} & \dots & l_{int} \\ l_{m1t} & \dots & l_{mj} & \dots & l_{mnt} \end{bmatrix} \quad 5.6$$

W przypadku wspólnych ułożeń sieci będzie to tablica /macierz/ jednokolumnowa, gdyż długości poszczególnych przewodów na odpowiadających sobie odcinkach są jednakowe

$$l_{it} = \begin{bmatrix} l_{1t} \\ \vdots \\ l_{it} \\ \vdots \\ l_{mt} \end{bmatrix} \quad 5.7$$

Litery wykreślone pogrubioną kursywą należy tu interpretować jako macierze.

Dla przyjętego układu sieci i jej trasy /10-ty punkt SAA/ bez względu na sposób ułożenia odcinków duża grupa wielkości określających koszty eksploatacyjne pozostaje niezmienna. Wielkości te można więc traktować jako stałe współczynniki dla różnych wariantów realizacji tego samego układu, a wprowadzenie ich do ogólnego zapisu funkcji kryterium jest konieczne ze względu na zachowanie fizycznej interpretacji wyrażeń /jednostek/, które opisują.

Wielkości te podzielono według kolejności ich występowania w równaniu 4.10 na trzy grupy, a następnie dla grup tych określono wypadkowe współczynniki zastępcze:

$$v_{jit} e T_j \gamma_j \lambda_{ji} \eta_j g' d_{ji} q_{jit} \rightarrow A = \frac{e T_j \gamma_j q_{jit} \lambda_{ji} v_{jit}^{(2)}}{\eta_j 2g' d_{ji}} \quad 5.8$$

$$e t_j^u \tau_{jit} \gamma_{ji}^o s_{ji} \rightarrow B = \frac{e t_j^u \tau_{jit}^{(2)}}{\gamma_{ji}^o s_{ji}} \quad \frac{złNm^2}{kWsrok} \quad 5.9$$

$$c \pi t_j^u \rightarrow C = c t_j^u \quad złh/rok \quad 5.10$$

$$M_{jt}^p \alpha_j^u \alpha_j^o \alpha_j^a \rightarrow D = M_{jt}^p \alpha_j^u \quad zł/rok \quad 5.11$$

$$\rightarrow E = \alpha_j^o + \alpha_j^a \quad zł/szt \quad 5.12$$

Dla kilkuletniego okresu realizacji sieci /osiedla/ zmienne oznaczone indeksem "t" przyjmują różne wartości w kolejnych latach okresu inwestycyjnego, co wynika z etapowego przekazywania obiektów do użytkowania, przy czym

$$v_{jit_{min}} < v_{jit} < v_{jit_{dop}} \quad 5.13$$

Zmiany tych wielkości można uwzględniać dopiero na etapie wyznaczenia kosztów dla wybranego już wariantu, a do tego czasu uważać

je za stałe, gdyż zależą wyłącznie od rozbiórów kolejnych mediów, a nie zależą od sposobu układania odcinków. Przy wyznaczaniu kosztów końcowych zmienne Q_{ijt} , v_{ijt} , τ_{ijt} , M_{jt}^p zestawiamy w tablicach trójwymiarowych /jak długości odcinków l_{ijt} / /. Przy czym, do obliczeń kosztów eksploatacji w przedziale $\langle x + 1, N \rangle$ należy przyjmować stałe wartości tych zmiennych równe wartościom z końca ostatniego roku okresu inwestycyjnego $/x/$. W rzeczywistości zmiennymi po całym okresie amortyzacji będą również ceny energii $/e/$ i wytwarzanie ciepła $/c/$ oraz wartości współczynników: $\alpha_j^u, \alpha_j^o, \alpha_j^a$.

Analiza tego zagadnienia wychodzi poza zakres opracowania, należy jednak nadmienić, że do czasu ustalenia cen względem stałego poziomu odniesienia, a nie ich wartości rynkowych, które mogą być ustalane tendencyjnie, problem ten jest praktycznie nierozwiązywalny. W pracy zatem przyjęto uproszczenia, polegające na przyjęciu stałych cen /w całym okresie amortyzacji sieci/.

Pozostałe zmienne, określające koszty eksploatacji podzielono na dwie grupy. Do pierwszej zaliczono te, których wartości zależą od sposobu ułożenia sieci oraz geometrii jej trasy, lecz nie ulegają zmianie w okresie amortyzacji: a_{ji} , a_{ji}^c , Δ_{tij} , α_{ij}^w , d_{ij}^w , w , λ_{wij} , D_{wij}^1 , D_{wij} , d_{ij}^z /. Podobnie jak w przypadku kosztów inwestycyjnych wartości tych zmiennych można zestawiać na planie realizacyjnym obok odcinków, którym odpowiadają. Wyznaczanie ich nie powinno nastręczać trudności, gdyż są to parametry techniczne znane projektantowi w chwili przyjęcia określonego rozwiązania /geometrii sieci, ułożenie odcinków, rodzajów izolacji itp./.

Problemem okazuje się dopiero określenie wartości drugiej grupy zmiennych tzn. niezawodnościowych parametrów sieci $/q_{jt}, B_{jt}^a/$. Zadanie to należy rozpocząć od wyznaczenia i umieszczenia na planie ogólnej odcinkowych współczynników zawodności $/q_{ijt}/$ /patrz równanie 3.33 /, określenie których jest konieczne dla wyznaczenia wypadkowych miar zawodności całych zgrupowań /układów/ sieci $/q_{jt}/$.

Obecnie w kraju wyznaczanie tych wartości jest niemożliwe, ze względu na niedobór informacji dotyczących tego tematu. Brak opracowań statystycznych /histogramów B_t^a i $\bar{t}^{pu}$ /, a zatem funkcji opisujących zmiany niezawodnościowych cech różnych sieci w kolej-

nych latach okresu amortyzacji, powoduje, że do chwili pojawienia się takich opracowań w celu określenia łącznych kosztów zawodności OSZ projektant byłby zmuszony do obliczania oddzielnie miar zawodności zgrupowań dla kolejnych lat okresu eksploatacji. Pomijając fakt, że zadanie to znacznie utrudniałoby proces oceny rozwiązań, to obecnie jest i tak niewykonalne na skutek braku odpowiednich danych. Stąd też, zdaniem autora, do czasu zakończenia badań dotyczących tego tematu nie może być mowy o pełnej optymalizacji OSZ, a wybrane do realizacji warianty w wyniku analizy uproszczonego kryterium optymalizacji /bez uwzględnienia kosztów zawodności/ stanowią wyłącznie rozwiązanie suboptymalne. Badania takie należy rozpocząć od gromadzenia danych dotyczących liczby awarii w ciągu kolejnych lat okresu amortyzacji B_t^a , ich typu oraz czasów usuwania $\bar{t}^{au}$. Swym zakresem muszą obejmować wszystkie rodzaje sieci, różne średnice i materiały rur oraz typy armatury, jak również wszystkie sposoby ich ułożenia. Liczność populacji danych musi być taka, aby możliwa była obróbka statystyczna zgromadzonego materiału, a co za tym idzie, wypracowanie wniosków i zależności o charakterze ogólnym /np. wykresy rozkładu B_t^a w czasie i tabele średnich wartości $\bar{t}^{pu}$ /. Zdaniem autora, gromadzeniem informacji powinny zająć się odpowiednio przeszkolone ekipy z przedsiębiorstw eksploatujących poszczególne elementy uzbrojenia podziemnego. Prace te należałoby rozpocząć możliwie szybko, gdyż jest oczywiste, że uzyskanie pełnego materiału może zająć nawet kilkanaście lat.

U p r o s z c z o n y z a p i s f u n k c j i k r y t e r i u m

Po podstawieniu do równania 4.10 wypadkowych współczynników stałych wyrażonych zależnościami od 5.8 do 5.12 oraz wyrażenia określającego odcinkowe koszty inwestycyjne k_{ij}^g , otrzymujemy uproszczoną postać funkcji celu:

$$K^{ro} = r \sum_{t=0}^X \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m l_{ijt} k_{ij}^g (1+p)^{-t} + a^r \sum_{t=1}^N \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m [$$

$$\begin{aligned}
 & A l_{ijt}(1+a_{ij}) + l_{ijt}^{(3)} B + \frac{C l_{ijt} \Delta_{t_{ij}}^{(1+a_{ij}^c)}}{\frac{1}{\alpha_{ij}^w d_{ij}^w} + \sum_{1}^w \frac{1}{2\lambda_{wij}} \ln \frac{D_{wij}^1}{D_{wij}} + \frac{1}{\alpha_{ij}^z d_{ij}^z}} + \\
 & + D_{q_{jt}} + E l_{ijt} B_{jt}^a \Big] (1+p)^{(N-t)} + a^r r \sum_{t=1}^N (1+p)^{(N-t)} \\
 & \sum_{t=0}^X \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m l_{ijt} k_{ij}^g \quad \text{zł/rok} \quad 5.14
 \end{aligned}$$

Przedstawiony zapis uwzględnia, omówiony w poprzednim punkcie, brak wrażliwości niektórych zmiennych na zmiany sposobów układania sieci. Wybór optymalnego rozwiązania spośród jednakowych układów /różniących się wyłącznie odmiennymi sposobami ułożenia kolejnych odcinków/ nie wymaga zatem określenia rzeczywistych wartości współczynników A , B , C ponieważ pozostają one stałe dla wszystkich wariantów i można przyjąć, że równają się jedności $/A = B = C = 1/$, przy zachowaniu ich wymiaru fizycznego /jednostek/. Uproszczenie takie znacznie skraca czas obliczeń zwiększając efektywność procesu projektowania. Do czasu braku możliwości określenia niezawodnościowych parametrów sieci należy przyjmować zerowe wartości współczynników D i E , $/D = E = 0/$.

Dalszego uproszczenia zapisu można by dokonać w wypadku posiadania odpowiedniego zakresu informacji dotyczących optymalnego doboru izolacji w zależności od ich cech materiałowych, sposobów ułożenia sieci oraz średnic i materiału przewodów ciepłowniczych. Wyniki takich badań mogłyby zezwolić na wprowadzenie w miejsce niewygodnej do prowadzenia obliczeń formy zapisu odpowiednich funkcji bądź wartości stałych.

Temat ten, jak dotąd, pozostaje otwarty mimo iż jego podjęcie jest wyjątkowo uzasadnione.

Finalny wybór optymalnego rozwiązania wymaga wyznaczenia rzeczywistych wartości współczynników stałych $/A, B, C/$ dla "wstępnie" wybranych rozwiązań /na podstawie uproszczonego zapisu funkcji celu - równanie 5.14 /, a następnie obliczenia ich łącznych kosztów według równania 4.10, co wymaga stosowania ETO. Stąd też, w celu umożliwienia praktycznego wykorzystania pracy, uznano

za celowe opracowanie programu na EMC, umożliwiającego przeliczanie równania 4.10. Program ten znajduje się w pracowni ETO Instytutu Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej.

6. CHARAKTERYSTYKA WYBRANYCH ELEMENTÓW ZBIORU ZMIENNYCH NIEZALEŻNYCH /X/ I SUGEROWANYCH /Y/ ORAZ ICH WPLYWU NA UKSZTAŁTOWANIE OSZ

6.1. Wprowadzenie

W rozdziale tym przedstawiono wyniki niektórych przemyśleń autora dotyczących korzyści, jakie mogą wpływać ze stosowania nietradycyjnych metod realizacji uzbrojenia oraz zwiększania jego "elastyczności" poprzez dobór różnych nośników energii. Przeprowadzone badania dotyczą wpływu substytucji mediów energetycznych na przekroje przewodów OSZ oraz tuneli wieloprzewodowych, w których przewody te mogą być umieszczane. Ponadto omówiono główne korzyści i wady stosowania ciśnieniowych systemów transportu ścieków oraz kryteria technicznych możliwości umieszczania kanalizacji deszczowej i sanitarnej w tunelach wieloprzewodowych. W ostatniej części rozdziału poruszono zagadnienia związku wybranych metod układania przewodów z tempem budowy całego osiedla.

6.2. Wpływ substytucji nośników energii na przekroje sieci i tuneli wieloprzewodowych

Pole powierzchni przekroju tunelu wieloprzewodowego zależy od rodzaju przewodów w nim prowadzonych, sposobu ich ułożenia oraz kształtu obudowy. Poniżej przeprowadzono analizę wpływu różnych wariantów energetycznych zaopatrzenia osiedli /patrz rozdział 2.5/ na wielkości takich pól. Porównań dokonano przyjmując prostokątny kształt przekroju oraz kolejność układania przewodów i doboru odległości między nimi według [67]. Wybór prostokątnego kształtu obudowy uzasadnia fakt, że charakteryzuje się on najmniejszym współczynnikiem powierzchni straconej.

Jako dane wyjściowe do konkretnych analiz posłużyły wyniki obliczeń średnic przewodów uzbrojenia podziemnego przeprowadzonych dla modelowego osiedla mieszkaniowego o pięciotysięcznej liczbie mieszkańców, w zabudowie wielorodzinnej i odpowiadającej jej strukturze usług.

Przez model rozumie się tu osiedle "zbudowane" wyłącznie w oparciu o obowiązujące wskaźniki zapotrzebowania przyjmowane przy prognozach rozwoju miejskich zespołów osiedleńczych. Założono najwyższe klasy wyposażenia mieszkań oraz pełną rozbudowę sektora usług. Szczegółowy tok obliczeń jest w posiadaniu autora niniejszego opracowania.

Wielkości alternatywnych powierzchni pól przekrojów tunelu wieloprzewodowego wyznaczono wykorzystując formułę matematyczną opisującą pole prostokąta przy zastosowaniu zapisu średnic przewodów i normatywnych odległości oraz trybu postępowania zgodnie z przedstawioną poniżej metodyką, dla której przyjęto następujące oznaczenia:

- $j = 1 \dots n$ - numery bloków tzn. fragmentów przekroju kanału zbiorczego o wymiarach $S_{i_{\max}}^j$ $H_{k_{\max}}^j$, oddzielone od siebie przejściami dla obsługi i konstrukcją kanału zbiorczego, zawierających różne sieci ułożone obok siebie lub nad sobą wraz z ich konstrukcją nośną,
- $i = 1 \dots n$ - numery kolejnych rzędów ułożonych obok siebie sieci w j -tym bloku,
- $k = 1 \dots n$ - numery kolejnych kolumn ułożonych nad sobą sieci w j -tym bloku,
- $l = 1 \dots n+1$ - numery kolejnych dopuszczalnych odległości między elementami i -tego rzędu,
- $m = 1 \dots n+1$ - numery kolejnych dopuszczalnych odległości między elementami k -tej kolumny,
- d_{ik}^j - średnica zewnętrzna przewodu wraz z izolacją w i -tym rzędzie, k -tej kolumnie j -tego bloku w m ,
- s_{il}^j - l -ta minimalna dopuszczalna odległość między przewodami, przewodem a wewnętrzną powierzchnią konstrukcji, przewodem a skrajem konstrukcji, na

- której leży lub grubość konstrukcji ochronnej przewodu w i-tym rzędzie j-tego bloku w m ,
- h_{km}^j - m-ta dopuszczalna odległość między przewodami, przewodem a wewnętrzną powierzchnią konstrukcji, przewodem a konstrukcją ochronną lub grubość konstrukcji ochronnej w k-tej kolumnie j-tego bloku w m ,
- S_i^j - szerokość i-tego rzędu w j-tym bloku w m ,
- H_k^j - wysokość k-tej kolumny w j-tym bloku w m ,
- H - wysokość pola powierzchni wewnętrznej kanału zbiorczego m ,
- L - szerokość pola powierzchni kanału zbiorczego m ,
- F - pole powierzchni wewnętrznej kanału zbiorczego m^2 .

Dla tak przyjętych oznaczeń wyprowadzono następujące zależności:

$$F = L H \quad m^2 \quad 6.1$$

$$H = H_{k_{\max}}^j \gg B \quad 6.2$$

$$L = \sum_{j=1}^n S_{i_{\max}}^j + (n - 1) A \quad 6.3$$

$$S_i^j = \sum_{k=1}^n d_{ik}^j + \sum_{l=1}^{n+1} S_{il}^j \quad 6.4$$

$$H_k^j = \sum_{i=1}^n d_{ik}^j + \sum_{m=1}^{n+1} h_{km}^j \quad 6.5$$

gdzie: A = 0,8 m - minimalna dopuszczalna szerokość przejścia dla obsługi w świetle urządzeń według [68],
 B = 1,8 m - minimalna dopuszczalna wysokość przejścia dla obsługi w świetle urządzeń według [68].

W oparciu o przedstawione zależności matematyczne oraz wyniki przeprowadzonych obliczeń średnic przewodów dla przyjętych zapotrzebowań zestawione w tabeli 6.1, określono minimalne powierzchnie przekrojów wewnętrznych tuneli wieloprzewodowych, a wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 6.2. Analizą nie objęto przewodów kanalizacji sanitarnej i deszczowej zakładając ich lokalizację poza obrębem tunelu wieloprzewodowego.

Tabela 6.1.

Średnice przewodów uzbrojenia podziemnego dla pięcioletniego osiedla mieszkaniowego
w zabudowie wielorodzinnej przy różnych wariantach zaopatrzenia w energię

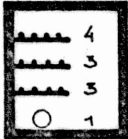
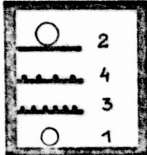
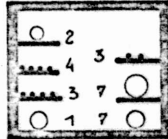
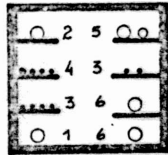
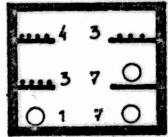
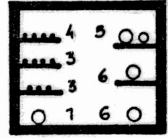
Lp.	Rodzaj sieci		Średnice przewodów w m					
			W a r i a n t y					
			I	II	III	IIIa	IV	IVa
1	Wodociągowa		0,300	0,300	0,300	0,150	0,300	0,150
2	Gazowa ^{1/}	ziemny miejski		0,350 0,450	0,150 0,200	0,150 0,200		
3	Elektroenerge- tyczna	niskiego napięcia	5x0,050	2x0,050	2x0,050	2x0,050	3x0,050	3x0,050
		średniego napię- cia	2x0,080	2x0,080	2x0,080	2x0,080	2x0,080	2x0,080
		oświetlenie uliczne	2x0,040	2x0,040	2x0,040	2x0,040	2x0,040	2x0,040
4	Telekomunikacyjna		4x0,040	4x0,040	4x0,040	4x0,040	4x0,040	4x0,040
5	Ciepła woda ^{2/} użytkowa /scentralizowana/	przewód wodny cyrkulacja				0,285/125/ 0,100 /40/		0,285/125/ 0,100 /40/
6	Ogrzewanie zdalaczynne ^{2/}	zasilanie powrót				0,310/150/ 0,250/150/		0,310/150/ 0,250/150/
7	Sieć ciepłownicza dla wody i ogrze- wania ^{2/}	zasilanie powrót			0,360/200/ 0,300/200/		0,360/200/ 0,300/200/	
8	Kanalizacja	tłoczna grawitacyjna	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200

1/ Rozważono alternatywę transportu gazu ziemnego lub miejskiego.

2/ Średnice przewodów sieci ciepłej podano wraz z izolacją /średnice bez izolacji
podano w nawiasach/.

Tabela 6.2.

Minimalne powierzchnie przekrojów tunelu wieloprzewodowego
dla różnych wariantów uzbrojenia terenu

Wariant	Przyjęty schemat rozmieszczenia przewodów	Wymiary przekroju						Część powierzchni w odniesieniu do największego przekroju
		Obliczone			Przyjęte			
		L ₀ m	H ₀ m	F ₀ m ²	L m	H m	F m ²	
I		1,57	1,77	2,77	1,60	1,80	2,88	0,66
II		1,84	2,12	3,90 ^{1/}	1,85	2,15	3,97 ^{1/}	0,92
		1,84	1,97	3,62	1,85	2,00	3,70	0,86
III		2,10	1,84	3,86 ^{1/}	2,10	1,85	3,88 ^{1/}	0,90
		2,05	1,79	3,66	2,05	1,80	3,69	0,85
IIIa		2,12	1,96	4,15 ^{1/}	2,15	2,00	4,30 ^{1/}	1,00
		2,07	1,96	4,05	2,10	2,00	4,20	0,97
IV		2,06	1,68	3,46	2,10	1,80	3,78	0,87
IVa		2,08	1,62	3,36	2,10	1,80	3,78	0,87

Uwaga: oznaczenia przewodów /numery/ według kolejności ich występowania w tabeli 6.1.

^{1/} - wymiary przekrojów w przypadku użycia gazu miejskiego.

Na podstawie analizy tabeli G.2 można wnioskować, że najkorzystniejszym ze względu na wielkość pola przekroju poprzecznego tunelu wieloprzewodowego jest I wariant uzbrojenia, polegający na prowadzeniu energii elektrycznej dla wszystkich energetycznych potrzeb osiedla. Najmniej efektywne ze względu na to kryterium jest prowadzenie pełnego asortymentu sieci z czteroprzewodową siecią ciepłowniczą włącznie /III wariant/. Niezmiernie ważne dla procesu projektowania okazuje się istnienie możliwości zmian powierzchni przekroju tunelu wieloprzewodowego również w przypadku z góry narzuconych nośników energii. Można tego dokonywać poprzez właściwe rozmieszczenie tych samych przewodów oraz trafny wybór systemu sieci ciepłowniczych /sieć dwu lub czteroprzewodowa - wariant III i IV/. Optymalne rozwiązanie tego problemu leży wyłącznie w gestii projektanta i zależy od jego inicjatywy i doświadczenia.

Istotny wpływ na wielkość przekroju tunelu wywierają również techniczne parametry transportowanych mediów, jak np. kaloryczność gazu /wariant II i III/. W przypadku prowadzenia małej ilości sieci o niedużych średnicach może nastąpić niepełne wykorzystanie przekroju tunelu /wariant IV/, co zmniejsza jego ekonomiczną efektywność lub uniemożliwia optymalny dobór proporcji między wymiarami przekroju /wariant II/. W praktyce sytuacje takie mogą wystąpić na końcówkach układów promienistych. Projektant powinien wtedy rozważyć możliwość stosowania tuneli nieprzechodnych lub wspólnych wykopów.

Efektom substytucji nośników energii, poza opisanym jej wpływem na przekroje przewodów, jest zmiana kosztów inwestycyjno-eksploatacyjnych pozostałych elementów systemu zaopatrzeniowego.

W granicach osiedla, przy pełnym asortymencie sieci, elementy te stanowią: stacje redukcyjne i transformatorowe, komory cieplne, przyłącza, instalacje wewnętrzne w budynkach oraz odbiorniki mediów. Eliminacja jednego z nośników energii powoduje zmniejszenie kosztów inwestycyjnych o koszty elementów związane z eliminowaną siecią, przy równoczesnym wzroście nakładów na przewody i urządzenia tych z pozostających sieci, których obciążenia ulegną zwiększeniu.

Najkorzystniejszego bilansu kosztów można oczekiwać w przypadku pierwszego z rozpatrywanych wariantów /tabela G.2/, gdyż rezygnacja z prowadzenia sieci gazowej i cieplnej powoduje nieznaczny

wzrost ilości przewodów elektroenergetycznych. Wyjątkowo duże znaczenie ma tu eliminacja instalacji gazowej i ciepłej z budynków, co poza zmniejszeniem nakładów inwestycyjnych upraszcza projektowanie konstrukcji /brak przejść przez elementy nośne/ oraz ułatwia i skraca realizację obiektów.

Różne wysokości kosztów eksploatacji odmiennych rozwiązań energetycznych /liczone w granicach osiedla/ wynikają przede wszystkim ze zmiany bilansu kosztów transportu. Szczególnie widoczne będzie to w przypadku eliminacji przewodów ciśnieniowych /gazowych lub ciepłowniczych/, dla których zapewnienie technicznej sprawności wymaga znacznie większego zużycia energii od jej strat na wprowadzonych w ich miejsce przewodach elektroenergetycznych. Następny element ogólnego bilansu kosztów stanowią koszty zawodności, których wartość dla mniejszego asortymentu sieci powinna być niższa. Dodatkowo, na koszty te wpłyną różnice wynikające ze specyfiki awarii i ich usuwania dla różnych rodzajów sieci przy identycznych sposobach ich ułożenia.

Osobne zagadnienie stanowi komfort użytkowania poszczególnych mediów oraz sprawność ich odbiorników. Istotną rolę w kształtowaniu kosztów odgrywa tu problem bezwładności urządzeń odbiorczych. Możliwość ich regulacji z natychmiastowym efektem w zależności od warunków zewnętrznych /np. temperatury otoczenia/ może przynieść w skali kraju oszczędności energii przekraczające straty jakie wynikają z wykorzystania droższego medium.

Szczególnie predysponowane są w tym przypadku grzejniki elektryczne, których efektywność stosowania dodatkowo wzrasta dla grzejnictwa akumulacyjnego umożliwiającego wypełnienie doliny obciążeń.

6.3. Koncepcja wewnątrzosiedlowego systemu kanalizacji deszczowej i sanitarnej

K a n a l i z a c j a d e s z c z o w a

Sposób rozbudowy współczesnych miast powoduje duże trudności odprowadzania ścieków z nowych dzielnic. Ich ewakuacja wyjątkowo odbywa się z ominięciem starej sieci kanalizacyjnej o ograniczonej przepustowości. Szczególnie wydatnie na zwiększenie jej obciążeń hydraulicznych wpływa transport wód opadowych. Dlatego niezmiernie ważne jest takie zaprojektowanie systemu odprowadzenia tych wód, aby w sposób minimalny obciążały istniejącą kanalizację.

Równie istotną rolę w kształtowaniu techniczno-ekonomicznej efektywności układu ewakuacji wód deszczowych odgrywa system ich transportu.

W przypadku zlewni położonych powyżej odbiornika wód opadowych istnieje możliwość grawitacyjnego odprowadzenia ścieków. Ograniczenia optymalizacji takich systemów omówilem wcześniej /pkt 5.3/.

Dla kanału położonego poniżej odbiornika zachodzi konieczność pompowania ścieków. Koszty eksploatacji systemów ciśnieniowych zależą od wysokości podnoszenia $/H_j/$, długości przewodów $/l_j/$ oraz ilości tłoczonego medium $/Q_j/$. Optymalizacja projektowania z uwagi na te koszty musi przebiegać w kierunku minimalizacji wymienionych wartości.

Zmiany wysokości podnoszenia $/H_j/$ wynikającej z różnicy poziomów zlewni i odbiornika można /w ograniczonym zakresie/ dokonywać poprzez właściwy dobór zagłębień kanałów.

Zagłębienia kanalizacji deszczowej zależą od tego, czy podłączone są do niej wyłącznie wpusty kanalizacji ulicznej, czy również przewody odprowadzające wodę z dachów lub wpustów podwórzowych. Dla sieci z podłączonymi wpustami podwórzowymi zagłębienie kanału według [4] można wyliczyć ze wzoru:

$$H = p + d + i L + h (Z_m - Z_p) \quad m \quad 6.6$$

gdzie: p - przykrycie przykanalika w punkcie początkowym m ,
 d - średnica przykanalika m ,
 i - spadek przykanalika /min 1 %/ % ,
 L - odległość wpustu podwórzowego od kanału m ,
 h - wysokość włączania przykanalika kanału m ,
 Z_m - rzędna terenu nad kanałem m ,
 Z_p - rzędna terenu nad początkiem przykanalika m .

Zaprojektowanie kanalizacji o minimalnych zagłębieniach jest zatem możliwe dla pochyłości terenu większych od spadków kanalizacji oraz w przypadku rezygnacji z podłączania do niej wpustów podwórzowych zastępując je innymi formami ewakuacji wody jak np. retencja czy dobór roślinności o dużych możliwościach transpiracji. Jeżeli ze względu na znaczną ilość wody zachodzi konieczność budowy wpustów podwórzowych należy je lokalizować jak najbliżej sieci ulicznej, a wody prowadzić do nich odpowiednio wyprofilowanymi powierzchniami terenu. Płytkie umieszczanie sieci kanalizacyjnej jest również uzasadnione ze względu na możliwość zmniejszenia nakładów inwestycyjnych w wyniku ograniczenia ilości robót ziemnych. Rozwiązanie takie kryje jednak pewne niebezpieczeństwo w okresie roztopów wiosennych, kiedy to przy dużych przepływach obserwuje się znaczne wahania temperatury otoczenia w małych odstępach czasu, co może prowadzić do zniszczenia kanalizacji umieszczonej powyżej strefy przemarzania.

Dla tak płytko ułożonych sieci deszczowych należy się zastanowić nad możliwością stosowania kanałów otwartych. Rozwiązania takie niekiedy mogą być uzasadnione ze względu na okresowy charakter pracy kanalizacji deszczowej, dla której pełne wykorzystanie przekrojów następuje raz na kilka lat.

Dążenie do minimalizacji długości przewodów tłocznych jest celowe ze względu na obniżenie ogólnego bilansu strat sieciowych.

Istotną rolę, poza ukształtowaniem terenu, odgrywa tu lokalizacja pompowni oraz wybór miejsca zrzutu ścieków. W przypadku pompowni umieszczonej w najniższym punkcie obszaru, korzyści wynikają z możliwości doprowadzenia do niej wód systemem kanałów grawitacyjnych o minimalnych, przy zadanej topografii, zagłębieniach oraz niezbyt głębokiego posadawiania samego zbiornika.

Wadą takiej lokalizacji może być wydłużenie przewodu tłocznego ze względu na znaczne oddalenie pompowni od punktu zrzutu wód opadowych.

Umieszczenie pompowni możliwie blisko punktu zrzutu ścieków obniża straty sieciowe na przewodzie tłocznym, może jednak prowadzić do znacznego podniesienia nakładów inwestycyjnych w wyniku zwiększenia zagłębień systemu doprowadzających przewodów grawitacyjnych oraz ich przekroju.

Miejsce zrzutu wód opadowych może być kolektor górnej strefy /o ile posiada rezerwę eksploatacyjną, nowy kolektor /pomocniczy/ lub bezpośrednio oczyszczalnia ścieków. W pierwszym przypadku pompownia osiedlowa nie poprawia warunków pracy pompowni centralnej /nie zmniejsza wysokości podnoszenia/, dociążając ją dodatkową ilością wod. Drugie rozwiązanie zmniejsza wysokość podnoszenia na pompowni centralnej pod warunkiem, że suma iloczynów spadków kolektora pomocniczego na kolejnych odcinkach przez ich długości będzie mniejsza od wysokości podnoszenia na pompowni osiedlowej oraz gdy wody będą odprowadzone do nowego /położonego na większej wysokości/ zbiornika.

Wadami obydwu rozwiązań jest dwukrotne pompowanie tych samych ścieków.

Tłoczenie ścieków bezpośrednio na oczyszczalnię z pompowni osiedlowej wymaga zwiększenia długości przewodów tłocznych co powoduje wzrost bilansu strat sieciowych oraz stosowanie pomp o większych mocach. Rozwiązanie takie nie wymaga modernizacji istniejącego systemu gdyż funkcjonuje niezależnie od niego.

Przy konieczności budowy kolektora pomocniczego przez tereny zainwestowane, zastąpienie go przewodem ciśnieniowym może przynieść ogromne korzyści inwestycyjne wynikające z uniezależnienia wyboru jego trasy od kształtu profilu podłużnego.

Najefektywniejszym sposobem minimalizacji ilości tłoczonego medium jest stosowanie **rozdzielczego** systemu kanalizacji z częściowym wykorzystaniem zbiorników retencyjnych dla wód deszczowych. Rozwiązanie takie jest realizowane w nowo powstającej dzielnicy mieszkaniowej Grünau w Lipsku, gdzie zadaniem podziemnych żelbetowych zbiorników retencyjnych będzie zatrzymanie

pierwszej fali wód deszczowych w celu odciążenia istniejącego systemu kanalizacji miejskiej.

Projekt tego rozwiązania nie przewiduje wykorzystania zretencjonowanych wód deszczowych, jak również w znacznym stopniu niweluje naturalną ich retencję gruntową.

Zagadnienie wykorzystania wód deszczowych nabiera odmiennego znaczenia w Polsce, gdzie obserwujemy narastający deficyt słodkiej wody konsumpcyjnej. W świetle niektórych opracowań [69] potrzeby wodne w naszym kraju dla zaopatrzenia ludności i gospodarki narodowej mogą nie zostać spełnione już w najbliższym czasie.

Retencjonowanie wód deszczowych w celu ich wykorzystania do zmywania ulic, nawadniania terenów zielonych, mycia samochodów lub dla niektórych gałęzi przemysłu wiąże się przede wszystkim ze stopniem zanieczyszczenia. Problem ten był dyskutowany na licznych konferencjach [26,27,57] i w zasadzie w kraju nie został jeszcze rozwiązany, mimo wieloletnich analiz składu ścieków opadowych.

Zabudowanie nowego terenu, to między innymi wprowadzenie znacznej ilości powierzchni szczelnych. Uszczelnienia takie zwiększają ilość ewakuowanych wód opadowych, co w konsekwencji może prowadzić do postępującego obniżenia zwierciadła wody gruntowej, a co za tym idzie przesuszenie wierzchnich warstw glebowych utrudniającego wegetację roślin. W takim ujęciu retencja gruntowa jest czynnikiem niwelującym ingerencję człowieka w jego naturalne środowisko.

Poza wymienionymi zaletami retencjonowanie wód zezwala na korzystniejszy dobór urządzeń na pompowniach i oczyszczalni oraz średnic przewodów, jak również zmniejsza koszty pracy systemu.

K a n a l i z a c j a s a n i t a r n a

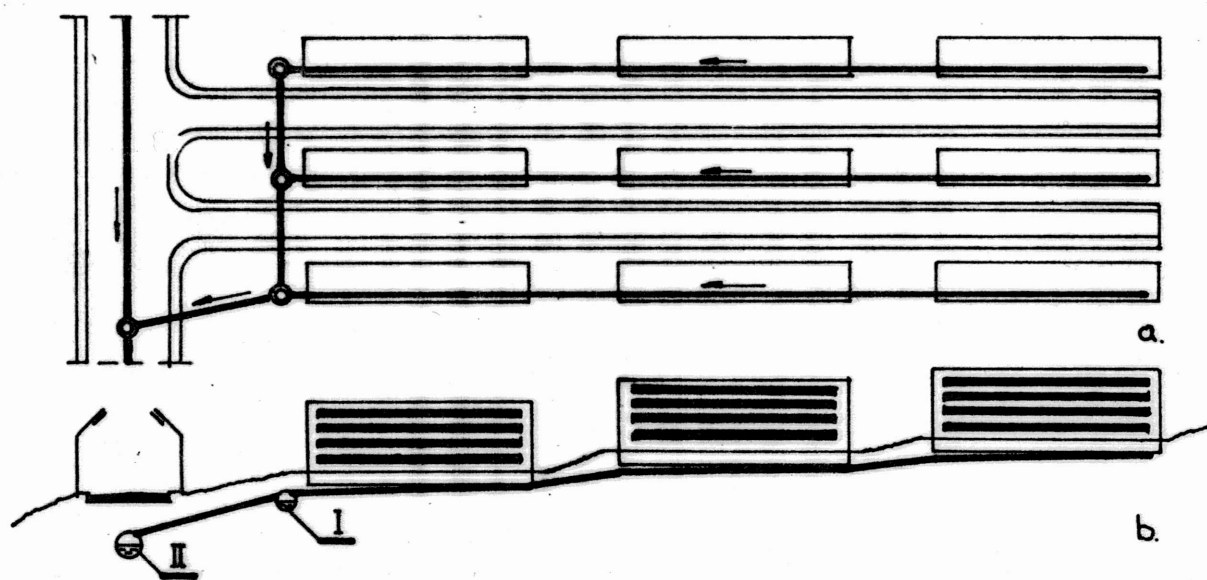
C h a r a k t e r y s t y k a z a s a d i o g r a n i -
c z e ń u m i e s z c z a n i a k a n a l i z a c j i
w p i w n i c a c h b u d o w l i k u b a t u r o w y c h

Przewody kanalizacji sanitarnej mogą być umieszczone pod posadzką piwnic budynków pod warunkiem, że zostaną im nadane odpowiednie spadki. Efektywność tego rozwiązania zależy głównie

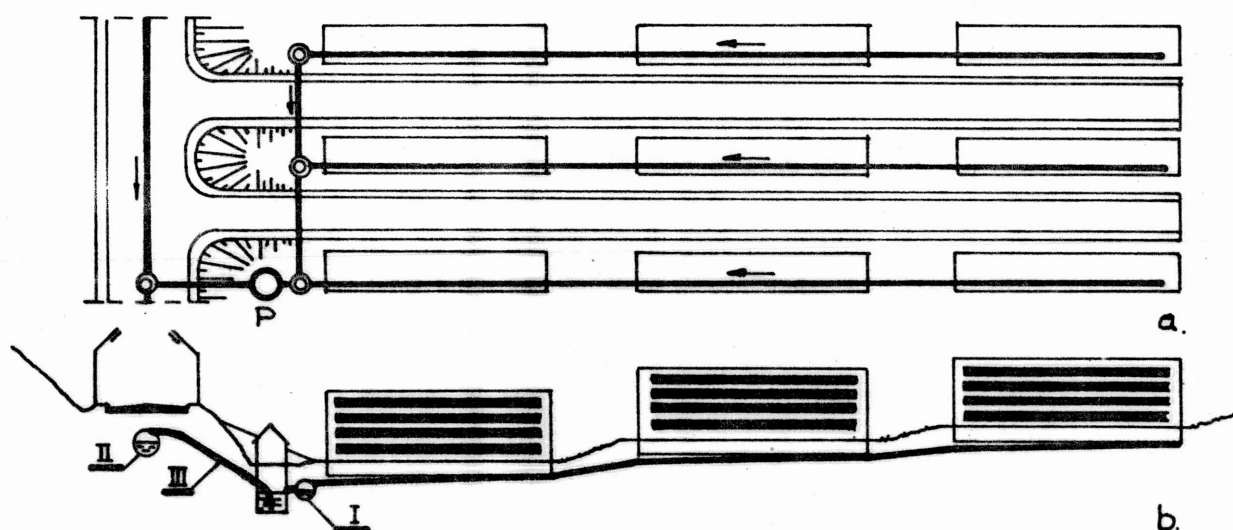
od ustawienia budynków względem spadku terenu. Dla budynków posadowionych dłuższymi bokami zgodnie z pochyleniem terenu tworzących niejako ciągi zabudowy, długość przewodów układanych w ziemi może być znikoma.

Nadrzędnie spełnienie tego warunku zależy od zapewnienia koniecznego nasłonecznienia obiektów. Jeżeli spadek terenu przebiega w kierunku punktu odbioru ścieków położonego poniżej rozpatrywanego obszaru, istnieje możliwość zachowania grawitacyjnego systemu transportu ścieków. Schemat ideowy opisanego rozwiązania zilustrowano na rys. 6.1.

Przedstawiona sytuacja jest przypadkiem wyjątkowo korzystnym i w praktyce może być spotykana niezbyt często. Dla terenów położonych poniżej punktu odbioru ścieków zachodzi konieczność budowy przepompowni. Rozwiązanie takie dla pochylenia terenu w kierunku kolektora górnej strefy pokazano na rys. 6.2.

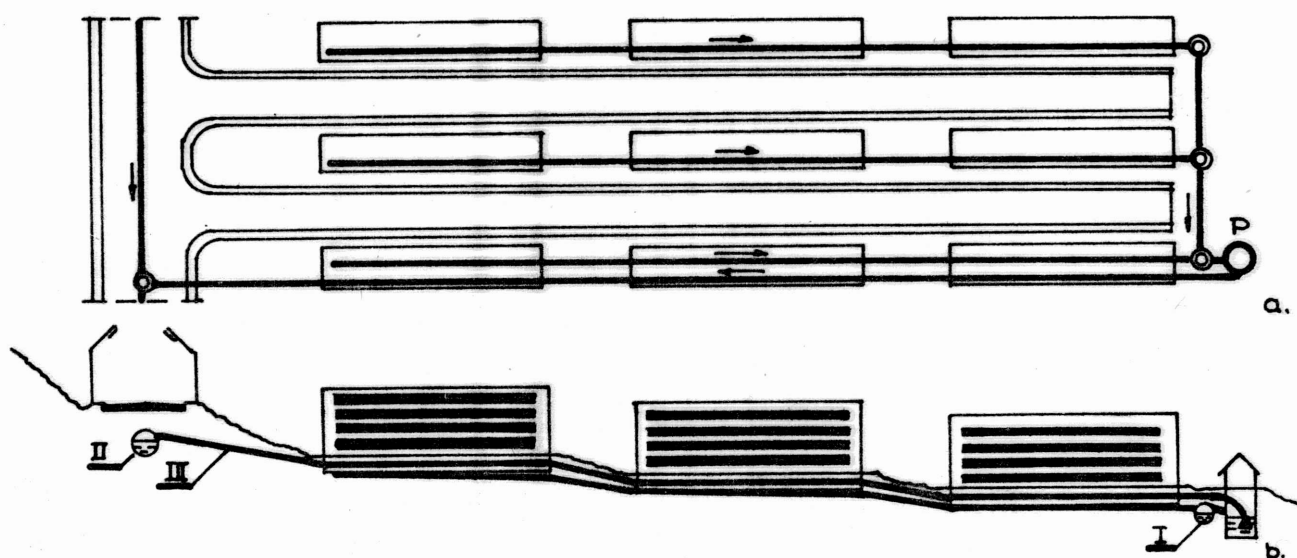


Rys. 6.1. Układ zabudowy dogodny dla grawitacyjnego odprowadzania ścieków z wykorzystaniem piwnic budynków na trasie przewodów: a/ plan, b/ przekrój, I - zbieracz osiedlowy, II - kolektor miejski.



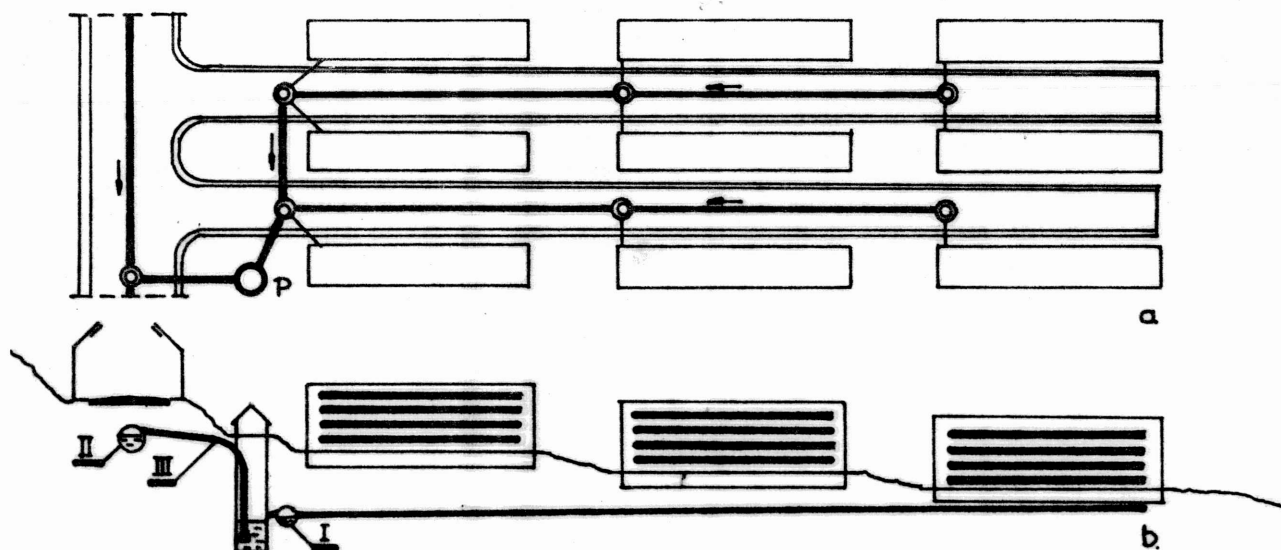
Rys. 6.2. Przykład usytuowania pompowni międzystrefowej:
a/ rzut, b/ przekrój, P - pompownia,
I - zbieracz osiedlowy, II - kolektor górnej
strefy, III - rurociąg tłoczny.

Dla terenów o spadku od kolektora górnej strefy umieszczanie przewodów w piwnicach budynków wiąże się z lokalizacją pompowni w znacznej odległości od miejsca zrzutu ścieków, co zwiększa długość przewodu tłoczego, rysunek 6.3.



Rys. 6.3. Schemat usytuowania pompowni międzystrefowej przy niekorzystnym pochyleniu terenu:
a/ rzut, b/ przekrój.

W sytuacjach tego typu należy rozważyć możliwość realizacji alternatywnego systemu uzbrojenia z kanału umieszczonymi poza piwnicami budynków lecz wzdłuż ich ciągów, co ilustruje rys. 6.4.



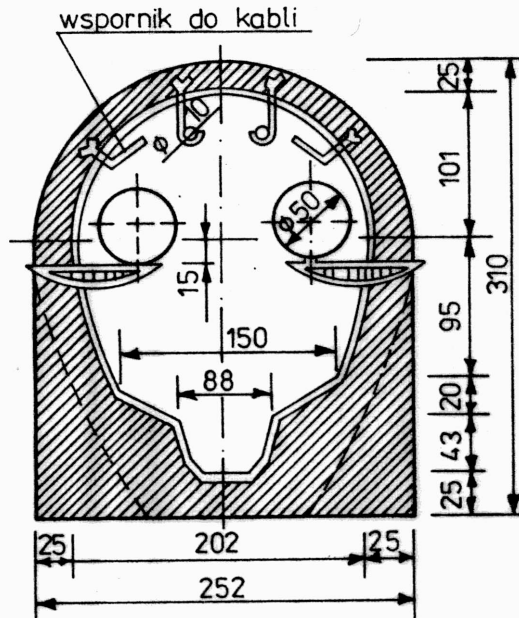
Rys. 6.4. Schemat usytuowania pompowni międzystrefowej przy niekorzystnym pochyleniu terenu - doprowadzenie ścieków do zbiornika grawitacyjnego
a/ rzut, b/ przekrój.

Eksploatacyjne wady i zalety przedstawionych rozwiązań omówiono w poprzednim punkcie pracy. Dodatkowo, rozwiązanie przedstawione na rysunku 6.4 będzie charakteryzowało się zwiększonymi kosztami zawodności w stosunku do łatwo dostępnych przewodów umieszczonych pod posadzkami piwnicy i nie narażonych na niekorzystne wpływy obciążeń i środowiska.

P r z e w o d y k a n a l i z a c y j n e w t u n e -
l a c h w i e l o p r z e w o d o w y c h

Umieszczanie przewodów we wspólnych obudowach od początku związane jest z kanalizacją deszczową i sanitarną. Idea wspólnego układania sieci zrodziła się bowiem w momencie pojawiania się, w miarę rozwoju techniki, coraz to nowszych elementów uzbrojenia podziemnego, które należało prowadzić w zainwestowanych obszarach miejskich. Powstałe wtedy rozwiązania polegały na

umieszczaniu w wielkowymiarowych przewodach istniejącej sieci kanalizacyjnej innych elementów uzbrojenia podziemnego czego przykład przedstawiono na rysunku 6.5.

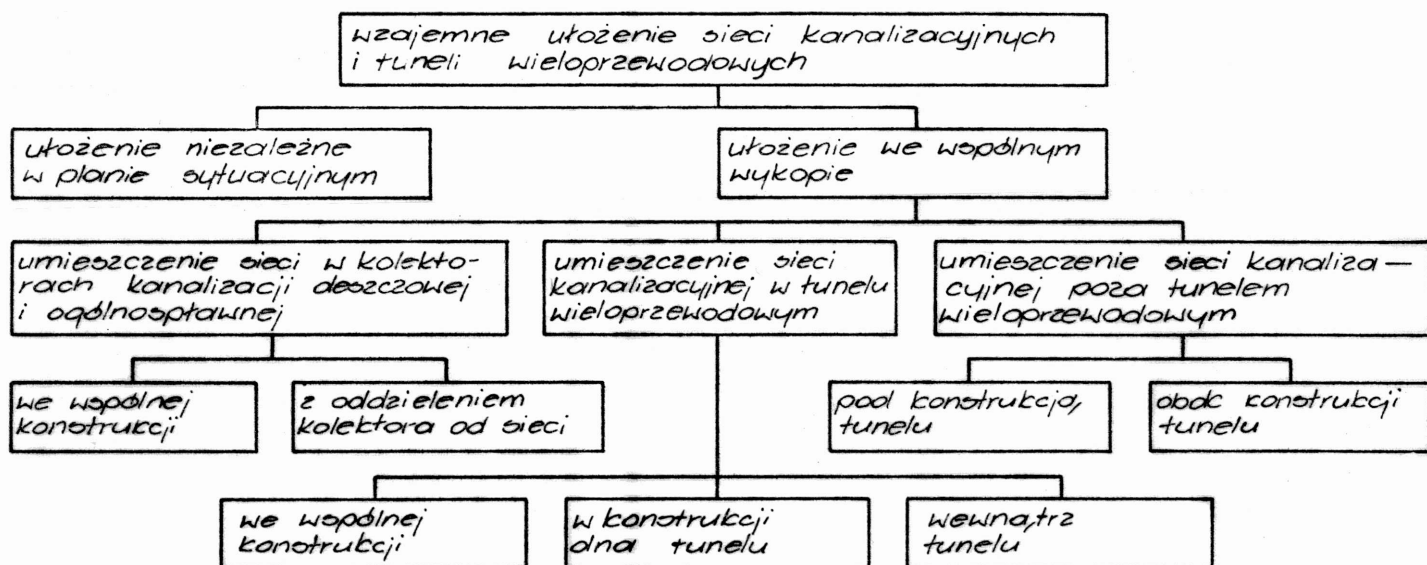


Rys. 6.5. Adaptacja jednego z kolektorów kanalizacyjnych Paryża na tunel wieloprzewodowy [15].

Zaletą takich rozwiązań była możliwość "dozbrajania" ulic bez prowadzenia robót ziemnych oraz zrywania nawierzchni. Sposób ten został jednak z czasem zarzucony ze względów eksploatacyjnych, gdyż zatapiane sieci przy całkowitym wypełnieniu kanału ulegały szybkiemu niszczeniu.

Obecnie metody układania sieci kanalizacyjnych razem z innymi przewodami polegają na umieszczaniu ich we wnętrzu tunelu wieloprzewodowego, obok niego we wspólnym wykopie lub w części dennej jego konstrukcji. Schemat możliwych wariantów wspólnego układania kanalizacji i tuneli wieloprzewodowych według [34] pokazano na rysunku 6.6.

Trudności z umieszczeniem przewodów kanalizacyjnych w tunelach wieloprzewodowych występują głównie w przypadku grawitacyjnych systemów transportu ścieków oraz głębokiego posadowienia budowli. Konieczność zachowania kierunku spadków i ich wielkości dla



Rys. 6.6. Możliwe warianty wzajemnego ułożenia sieci kanalizacyjnych i tuneli wieloprzewodowych.

systemów grawitacyjnych umożliwia umieszczenie takich sieci w tunelu wieloprzewodowym wyłącznie przy zgodności pochyłości i wartości spadków podłużnych dla obu budowli. W celu ewakuacji infiltrującej do wnętrza tunelu wody pochylenie jego dna musi wynosić nie mniej niż 2 ‰, co w zasadzie odpowiada minimalnym spadkom kanalizacji. Zatem w przypadku pochylenia terenu zgodnie z kierunkiem ewakuacji ścieków umieszczanie przewodów kanalizacji grawitacyjnej w tunelu wieloprzewodowym jest jak najbardziej uzasadnione, gdyż nie wymaga zbyt głębokiego posadowienia budowli. Wprowadzenie do tunelu wieloprzewodowego przewodu kanalizacji ciśnieniowej wiąże się wyłącznie z jego lokalizacją w przekroju poprzecznym. Ze względu na możliwość zalania fekaliami pozostałych sieci w razie awarii, powinien on być umieszczony w najniższej części kolektora, a na warunki montażu oraz ciężar przewodu jego średnica według [9] nie może być większa niż 500 - 600 mm.

Następstwem głębokiego posadowienia skanalizowanych piwnic są znaczne zagłębienia sieci kanalizacji sanitarnej. W takich przypadkach układanie jej w tunelu wieloprzewodowym z reguły okazuje się ekonomicznie nieuzasadnione, gdyż jest sprzeczne z tendencją do jak najpłytszego umieszczania tuneli w celu minimalizacji zakresu robót ziemnych. Z dużym przybliżeniem można założyć, że średnie głębokości ich posadowiania będą się wahały w granicach od 2,6 - 2,8 m. Wynika to z konieczności zachowania minimalnej wysokości przykrycia /0,5 m/, korytarza wewnętrznego /1,8 m/ oraz konstrukcji stropu i płyty dennej.

Głębokość ta odpowiada zagłębieniom sieci kanalizacyjnej w nowych osiedlach mieszkaniowych charakteryzujących się w większości przypadków płytkimi posadowieniami budynków. Zatem z uwagi na to kryterium, umieszczanie sieci kanalizacyjnych w tunelach wieloprzewodowych dla tego typu zabudowy staje się w pełni realne.

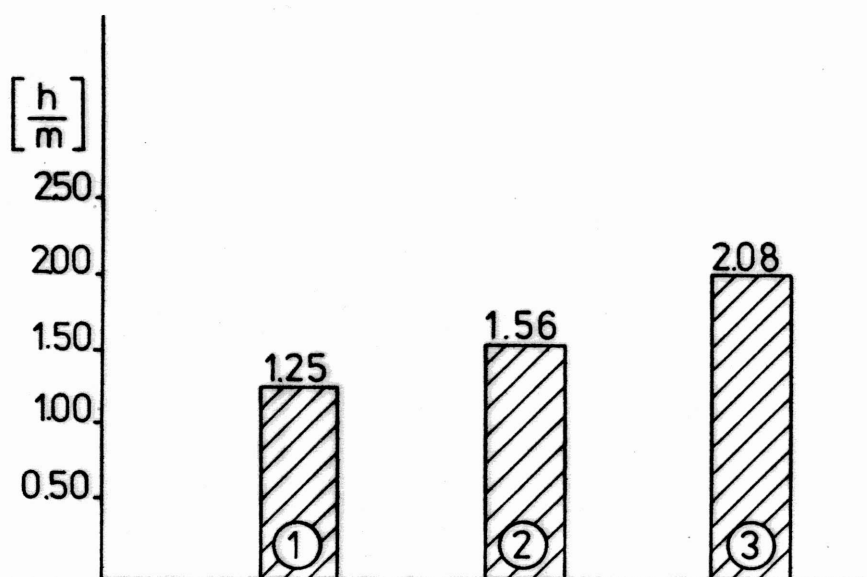
6.4. Wpływ sposobu ułożenia sieci na tempo realizacji osiedla mieszkaniowego

Współczesne budownictwo wielorodzinne w większości przypadków realizowane z elementów prefabrykowanych wymaga stosowania odpowiedniego sprzętu montażowego. Zasadnicze narzędzie montażu prefabrykatów stanowią wszelkiego typu dźwigi, których rodzaje dobierane są w zależności od wysokości wznoszonych budowli i ciężaru transportowanych elementów. Praca tych urządzeń wymaga wytyczenia i budowy torowiska w przypadku najczęściej stosowanych żurawi szynowych lub układania tymczasowych **nawierzchni** dla dźwigów na podwoziach samochodowych. Wykonanie obydwu zadań wiąże się z koniecznością uprzedniego przygotowania terenu na wybranych kierunkach, tzn. zakończenia robót związanych z uzbrojeniem osiedla lub takiej ich organizacji, aby nie występowały wzajemne kolizje. Stąd też o czasie rozpoczęcia montażu budowli w dużym stopniu decyduje tempo budowy infrastruktury uzbrojenia podziemnego lub wybór metod jej realizacji. Techniczne możliwości układania sieci omówiono poprzednio /patrz punkt 2.4/. Każda z tych metod wymaga stosowania odmiennych technik, a co za tym idzie, różnych czasów realizacji uzbrojenia.

Poniżej omówiono zasadnicze różnice w organizacji budowy i czasie jej trwania, jakie wynikają z realizacji uzbrojenia metodą tradycyjną /układanie w gruncie z zachowaniem normatywnych odległości między przewodami/, we wspólnych wykopach i w tunelach wieloprzewodowych.

Ułożenia bezpośrednio w ziemi

Dla ułożeń tradycyjnych czasy realizacji poszczególnych sieci określają odpowiednie przepisy [12]. Podane w nich przedziały /w miesiącach/ zależą od materiału i średnic przewodów dla sieci wodociągowej, materiału, średnic i zagłębienia dla przewodów kanalizacji sanitarnej, ogólnospływowej i deszczowej oraz ciepłowniczej. Podane wielkości cykli realizacji inwestycji określono dla przeciętnych warunków występujących na trasach tego rodzaju budowli /roboty ziemne w gruntach luźnych - wykonane ręcznie lub przy użyciu sprzętu zmechanizowanego, poziom wody gruntowej umożliwiający odwodnienie systemem powierzchniowym, trasa bez kolizji z urządzeniami naziemnymi i podziemnymi/. W przypadku wystąpienia warunków odmiennych od założonych przepisy zalecają stosowanie współczynników korygujących.



Rys. 6.7. Czasochłonność realizacji uzbrojenia układanego w ziemi z zachowaniem strefy według [12]:
1 - sieć wodociągowa ϕ 80-500; $l \leq 500$ m
2 - kanalizacja ϕ 200-500; $l \leq 600$ m, zagłębienie do 5 m
3 - sieć ciepłownicza dwuprzewodowa ϕ 200-300; $l \leq 600$ m, w kanale nieprzechoodnym.

Przykłady średniego normatywnego tempa robót według [12] dla przeciętnie realizowanych długości, średnic i zagłębień osiedlowych sieci wodociągowych, kanalizacyjnych i ciepłowniczych w kraju zilustrowano na rysunku 6.7.

Tempo budowy sieci układanych tradycyjnie przy równoczesnym wykonywaniu wszystkich jej rodzajów będzie zależało od czasu budowy elementu o najdłuższym normatywnym cyklu realizacji.

Minimalne odległości między przewodami określone przez wytyczne [67] nie wystarczają dla jednoczesnego prowadzenia robót w kilku równoległych do siebie wykopach, co zmusza do realizacji sieci z zachowaniem odpowiednich poślizgów. Określone w przepisach odległości nie uwzględniają również rezerwy na ewentualne "dozbrojenie" terenu w przyszłości. Z wymienionych względów poszerzenie "korytarzy" infrastruktury technicznej okazuje się korzystne, stwarza bowiem dogodne warunki dla realizacji uzbrojenia oraz perspektywicznego rozwoju sieci osiedlowej. Jednak z uwagi na ograniczone zasoby terenów, jakie można przeznaczyć pod zabudowę, jak również wydłużenie sieci dróg i przewodów w przypadku szerokości "korytarzy" większych od odległości między budynkami wyznaczanych zgodnie z obowiązującymi kryteriami urbanistycznymi, należy rozważyć inne możliwości rozmieszczenia uzbrojenia. Korzystnym rozwiązaniem w takim przypadku może okazać się prowadzenie sieci we wspólnym wykopie. Metoda ta często stosowana w NRD i ZSRR [7,46] wymaga dużej precyzji wykonawstwa ze względu na trudności występujące przy formowaniu w gruncie skomplikowanych przekrojów wykopów /patrz rys. 2.3/.

Osiągane tempo montażu niektórych sieci układanych we wspólnym wykopie według [7] przedstawiono na rys. 6.8.

Układanie w tunelach wieloprzewodowych

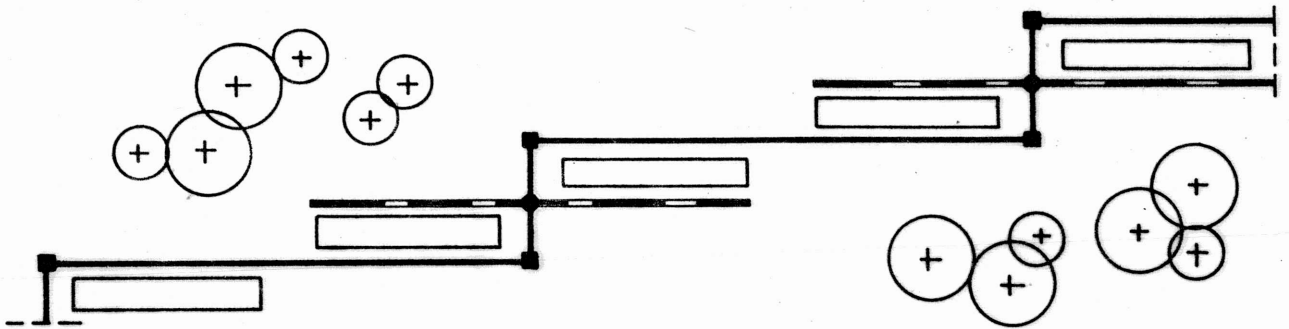
Stosowanie systemu tuneli wieloprzewodowych stwarza odmienną sytuację zarówno ze względu na tempo realizacji uzbrojenia podziemnego, jak i ilość zajmowanego przez nie miejsca.

Dla takiej metody o czasie rozpoczęcia montażu budynków decyduje poza przyjętą technologią budowy tunelu, ich lokalizacja oraz

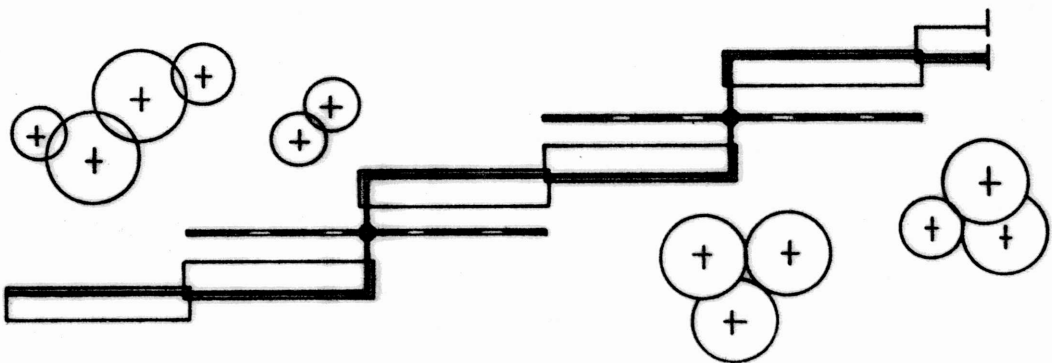


Rys. 6.8. Czasochłonność realizacji uzbrojenia we wspólnym wykopie w jednej z dzielnic miasta Suhl /NRD/ [7].

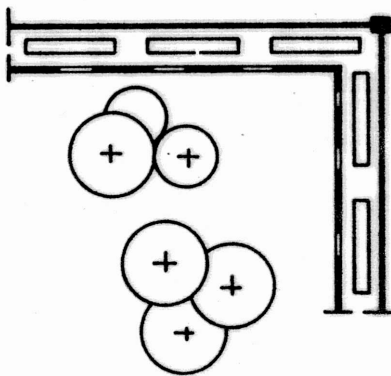
sposób ustawienia budynków. Na rys. 6.9 schematycznie przedstawiono wpływ ustawienia tej samej liczby identycznych budynków na sposób organizacji ich montażu oraz uzbrojenia terenu. Celem przedstawionych przykładów jest graficzna ilustracja idei, jaka powinna być uwzględniona na etapie projektowania osiedla, w momencie współpracy urbanisty z projektantami uzbrojenia podziemnego. Widać bowiem, że różne ustawienie tej samej liczby identycznych budynków może zasadniczo zmienić obraz uzbrojenia podziemnego i możliwości organizacji montażu. Ustawienie budynków zgodnie z rysunkiem 6.9a i b wymaga przed zmontowaniem całego odcinka torowiska zakończenia robót montażowo-budowlanych wraz z zasypaniem obudowy w miejscu kolizji /przecięcia się tras/. Dodatkowo, należy się liczyć z koniecznością czasowego wzmocnienia nawierzchni pod torami w punkcie przecięcia się trasy z tunelem /np. przez ułożenie żelbetowej płyty/ gdyż ze względu na lokalizację /wnętrze międzyblokowe/, obudowa tunelu może być obciążana na obciążenia mniejsze od wywieranych przez pracujący dźwig. Ustawienie budynków jak na rys. 6.9c i d może stanowić fragment zabudowy w czworoboki tak typowej dla współczesnej urbanistyki nowych osiedli mieszkaniowych, nawiązującej w tym przypadku do charakterystycznej dla kultury iberyjskiej architektury z ogroda-



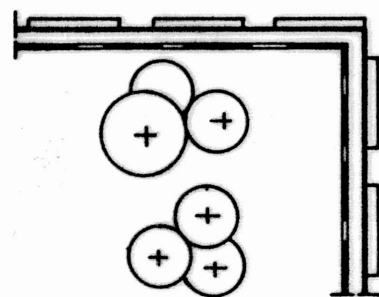
a/tunel zbiorczy poza obrębem budynków



b/ułożenie tunelu zbiorczego w połączeniu z wykorzystaniem piwnic dla prowadzenia sieci/galerie/



c/trasa tunel poza obrębem budynków

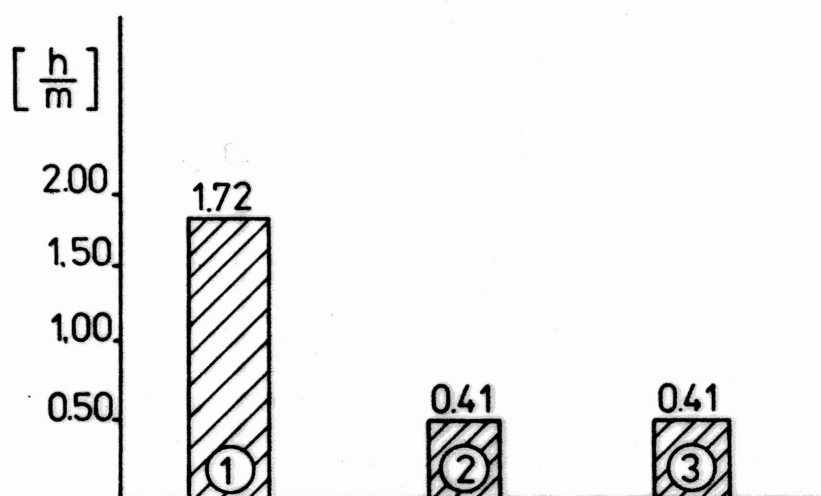


d/ułożenie tunelu zbiorczego w połączeniu z galeriami

- - tunel wieloprzewodowy
- - - torowisko dźwigu
- - galeria
- - punkty kolizji tunelu z torami dźwigu

Rys.6.9.Przykłady tras tunelu dla różnych ustawień budynków.

mi wewnątrzblokowymi. Rozwiązanie to umożliwia równoczesną realizację budynków oraz uzbrojenia z jednego stanowiska montażowego /toru/, w przypadku wykorzystania ciągów piwnicznych /rys.6.9c/. Porównywanie czasu pełnego cyklu realizacji uzbrojenia w tunelach wieloprzewodowych z metodami tradycyjnymi jest niecelowe, ponieważ z punktu widzenia jego wpływu na tempo powstawania osiedla jako całości, za czas realizacji infrastruktury w tym ujęciu można uznać okres budowy korytarzy piwnicznych i obudowy tunelu wraz z jej zasypaniem. Wynika to z technicznych możliwości wyposażenia tak przygotowanych ciągów niezależnie od prac prowadzonych na terenie, pod którymi przebiegają. Okres instalowania urządzeń jest znacznie krótszy od czasu montażu i wykończenia budynków mieszkalnych, co w dużej mierze spowodowane jest uniezależnieniem tempa robót od warunków atmosferycznych. Przykładowe czasy montażu niektórych przewodów w tunelu wieloprzewodowym pokazano na rys. 6.10 [7].



Rys.6.10. Czasochłonność montażu przewodów w obudowie tunelu wieloprzewodowego na przykładzie zrealizowanego kanału "Schwarzwasserwag" w Suhl [7].

1 - sieć ciepłownicza, 2 - sieć wodociągowa,
3 - sieć gazowa.

Dodatkową korzyścią takiego wyprzedzenia jest stworzenie możliwości wprowadzenia ciepła do wykańczanych budynków, co niewątpliwie podnosi tempo i jakość pracy w okresie zimowym.

W kraju dotychczas nie opracowano normatywów ustalających tempo realizacji obudów tuneli wieloprzewodowych. Dla ukazania rzędu **ich wielkości** w pracy przedstawiono wyniki porównań czasów budowy trzech wybranych typów tuneli. Obliczeń dokonano na podstawie norm branżowych stosowanych w NRD [64] dotyczących realizacji obudów prefabrykowanych w systemie "Trog-Haube", wyników obserwacji budowy doświadczalnego odcinka prefabrykowanego tunelu wieloprzewodowego we Wrocławiu [8] oraz projektu monolitycznej obudowy tunelu /z wykorzystaniem formy przesuwnej/ opracowanego przez Bydgoskie Biuro Projektów Budownictwa Przemysłowego [42]. Wybór takiego zestawu typów konstrukcji miał na celu konfrontację założeń normatywnych i projektowych z efektami uzyskiwanymi w praktyce. Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 6.3.

Tabela 6.3.

Tempo robót montażowo-budowlanych i izolacyjnych dla wybranych przykładów obudów tuneli wieloprzewodowych

	Kanał prefabrykowany systemu TROG-HAUBE	Kanał prefabrykowany Wrocław-Huby	Kanał monolityczny Bydgoszcz
Czas wykonania 1 mb obudowy h/mb	1,02	1,42	1,6 ^{1/}
Udział w pełnym cyklu realizacji %	35,86	43,50	-

1/ Bez czasu izolowania obudowy.

7. WNIOSKI

Na podstawie analiz i rozważań przeprowadzonych w niniejszym opracowaniu wyciągnięto następujące wnioski:

7.1. Dotychczas stosowany sposób projektowania sieci zaopatrzeniowych oparty z reguły na intuicji i doświadczeniu projektanta nie może prowadzić do ich optymalnego wyboru.

7.2. Ze szczegółowej analizy wielkości wpływających na poszczególne rodzaje kosztów sieci zaopatrzeniowych wynika, że jako kryterium wyboru rozwiązania optymalnego należy przyjąć minimum kosztów w okresie amortyzacji.

7.3. Uwzględnienie przyjętego kryterium w czasie projektowania systemu sieci zaopatrzeniowych wymagało budowy zapisu matematycznego ujmującego te czynniki, których zmiany wpływają na poziom kosztów inwestycyjno-eksploatacyjnych. Wykonanie tego zadania potwierdziło słuszność postawionej w pracy tezy.

7.4. Z uwagi na brak możliwości oceny niezawodnościowych parametrów sieci na podstawie obecnie zgromadzonych informacji pełna ocena rozwiązań jest niemożliwa. Do czasu opracowania tego problemu klasyfikacja wariantów na podstawie uproszczonej funkcji celu będzie prowadziła do wyboru rozwiązań suboptymalnych.

7.5. Przy optymalizacji sieci zaopatrzeniowych można zastąpić je "przewodem zastępczym", którego koszty inwestycyjne lub eksploatacyjne stanowią odpowiednie sumy kosztów.

7.6. Opracowany algorytm wymaga stosowania ETO. Przygotowanie danych niezbędnych do każdorazowego wprowadzenia do maszyny cyfrowej jest niezbyt trudne przy wykorzystaniu opracowanej procedury ich grupowania, co zezwala na wykonanie żmudnych obliczeń w stosunkowo krótkim czasie.

7.7. Ze względu na rolę kryteriów urbanistycznych oraz doboru nośników energii w procesie kształtowania OSZ zachodzi konieczność zwiększenia współpracy urbanistów i energetyków z projektantami uzbrojenia podziemnego.

7.8. Eliminacja niektórych sieci energetycznych może prowadzić do rozwiązań korzystniejszych ze względów inwestycyjno-eksploatacyjnych.

7.9. Zdaniem autora niniejszego opracowania przedstawiony algorytm analizy i oceny OSZ oparty o dogodne dla stosowania metody matematyczne może znaleźć szerokie zastosowanie w projektowaniu. Spełnienie tego warunku jest jednoznaczne z osiągnięciem przyjętego celu pracy.

WYKAZ OZNACZEŃ LITEROWYCH

Oznaczenia literowe wielkości występujących w niniejszej pracy w miarę możliwości przyjmowano zgodne z powszechnie stosowanymi oznaczeniami w literaturze naukowo-technicznej dotyczącej tej tematyki.

W przypadkach, gdy konieczne było wprowadzenie nowych oznaczeń z uwagi na ich jednolite znakowanie w całym opracowaniu przyjęto oznaczenie własne kierujące się względami mnemotechnicznymi, a w szczególności stosując analogię i dążąc do prostoty ujęcia. W wyniku konieczności przypisania poszczególnym literom kilku znaczeń wprowadzono wskaźniki /indeksy/ literowe i cyfrowe ujednoliconoznaczające zapis. Wykładniki potęgowe, dla odróżnienia ich od indeksów merytorycznych umieszczonych w prawym górnym rogu symboli, zostały ujęte w nawiasy. Dla oznaczeń niezgodnych z przyjętą konwencją wprowadzono dodatkowy opis bezpośrednio w tekście, ponadto w celu zwiększenia przejrzystości pracy niejednokrotnie w tekście wpisano w nawiasach symbole w sąsiedztwie odpowiadających im znaczeń. Wykaz obejmuje podstawowe oznaczenia wielkości z pominięciem użytych jednorazowo i określonych w tekście oraz ich interpretację fizyczną /jednostki/:

Znak	Nazwa wielkości	Jednostki
1	2	3
ΔA	Strata energii w liniach elektroenergetycznych	J
a	dodatek na straty miejscowe w przewodach ciśnieniowych	
a^c	dodatek na miejscowe straty ciepła w przewodzie ciepłowniczym	
B^a	oczekiwana wartość liczby uszkodzeń w ciągu roku	$\frac{\text{szt}}{\text{rok}}$
c	jednostkowa cena ciepła	zł/kWh
D_w	średnica wewnętrzna w-tej warstwy izolacji	m
D_w^1	średnica zewnętrzna w-tej warstwy izolacji	m
d	średnica przewodu	m
d^w	wewnętrzna średnica przewodu	m

1	2	3
d^z	zewnętrzna średnica przewodu	m
E	roczny koszt energii zespołu pompowego	zł/rok
$E^{\Delta P}$	roczny koszt energii elektrycznej traconej w sieci elektroenergetycznej	zł/rok
$E^{\Delta R}$	roczny koszt strat energii elektrycznej traconej na pokonanie oporów przepływu	zł/rok
$E^{\Delta Q}$	roczny koszt strat ciepła w przewodach ciepłowniczych	zł/rok
e	cena energii elektrycznej	zł/kWh
f	powierzchnia zewnętrzna 1 mb przewodu	m^2/m
g'	przyspieszenie ziemskie	m/s^2
I^P	natężenie prądu	A
I	łączne koszty inwestycyjne	zł
I^{1-6}	składowe koszty inwestycyjne	zł
K^{rz}	koszty eksploatacyjne zmienne	zł/rok
K^{1-2}	składowe koszty eksploatacyjne	zł/rok
k_{1-6}^g	jednostkowe cząstkowe koszty inwestycyjne dla g-tego sposobu ułożenia sieci	zł/m
k^R	współczynnik przenikania ciepła	$W/m^{20}K$
l	długość sieci	m
M^P	planowana ilość medium	a/rok
M^u	niedostarczona ilość medium z tytułu przerw awaryjnych	a/rok
m_z	zapotrzebowania z-tych obiektów	a/rok
N	średnia /spodziewana/ intensywność uszkodzeń	szt/rok
N^P	moc zespołu pompowego	W
ΔP	strata mocy w liniach elektroenergetycznych	W
p	współczynnik niezawodności	
R	oporność przewodnika	
ΔR	straty mocy zespołu pompowego na pokonanie oporów przepływu w przewodach ciśnieniowych	W
Q	przepływ w sieci	m^3/s
ΔQ	straty ciepła w sieciach ciepłowniczych	W
q	współczynnik zawodności /awaryjności/	
s	przekrój przewodnika	m^2
T	czas pracy zespołu pompowego w ciągu roku	h/rok

1	2	3
t^c	temperatura czynnika grzejącego	$^{\circ}\text{K}$
Δt	średnia różnica czynnika grzejącego i otoczenia	$^{\circ}\text{K}$
$\bar{t}^{au}$	średni /spodziewany/ czas trwania uszkodzenia liczony od momentu zaistnienia awarii elementu do zakończenia jego naprawy	h/szt
$\bar{t}^{pu}$	przeciętny czas wytrącenia elementu z ruchu	h/szt
t^u	czas wykorzystania sieci w ciągu roku	h/rok
v	średnia prędkość przepływu	m/s
Z^a	koszt naprawy lub wymiany uszkodzonego elementu	zł/rok
Z^o	koszty odszkodowań dla odbiorców za straty spowodowane przerwami w dostawach	zł/rok
Z^u	straty gospodarcze ponoszone przez odbiorcę z tytułu przerw w dostawach	zł/rok
α^a	średni koszt napraw poawaryjnych	zł/szt
α^o	średni koszt odszkodowań przypadający na awarię	zł/szt
α^u	ekonomiczny równoważnik strat u odbiorcy spowodowanych niedostarczeniem medium	zł/a
α^w	wewnętrzny współczynnik przejmowania ciepła	$\text{W/m}^{20}\text{K}$
α^z	zewewnętrzny współczynnik przejmowania ciepła	$\text{W/m}^{20}\text{K}$
	ciężar właściwy transportowanego medium	N/m^2
γ^o	oporność właściwa przewodnika	m/m^2
λ	współczynnik tarcia	
λ_w	współczynnik przenikania ciepła materiału izolacyjnego	$\text{W/m}^{20}\text{K}$
η	sprawność zespołu pompowego	
τ	obciążenie linii elektroenergetycznej	A/m

LITERATURA

1. Ackoff R.L., Sasieni M.W., Fundamentals of Operations Research John Wiley and Sons, Inc., New York 1968.
2. Bąbiński C., Chorobiński A., Metody optymalizacji w projektowaniu planów generalnych zakładów przemysłowych, Arkady, Warszawa 1978.
3. Bąkowski K., Sieci gazowe, projektowanie - budowa, Arkady, Warszawa 1978.
4. Błaszczyk W., Roman M., Stamatello H., Kanalizacja, Arkady, Warszawa 1974.
5. Bojarski W., Próba szacunku strat spowodowanych przerwami w dostawie energii elektrycznej dla gospodarstw domowych, Sympozjum PAN-RTPN, Rzeszów 1970.
6. Bojarski W., Wprowadzenie do niezawodności działania układów technicznych, PWN, Warszawa 1967.
7. Bosold H., Voks L., Sammelkanäle, T.H.Leipzig 1974.
8. Budowa doświadczalnego odcinka zbiorczego kanału uzbrojenia podziemnego we Wrocławiu, monografia realizacji - część druga Rej.508/VI/B, Miastoprojekt - Wrocław 1977.
9. Buraczewski G., Lewandowski T., Sieci wodociągowe i kanalizacja w kolektorach wielofunkcyjnych, GWiTS, 6/1968.
10. Cal, Pastrojenje optimalnoj konfiguraciji inżyniernych sistem i sietiej z ispolzowanjem EWM-BESM-2M, Spornik, Gradostroitelstwo, Primjenjenje matematicheskikh metodov i elektrownowyczislitielnoj tiechniki w gradostroitelstwie, Kijew 1966.
11. Dolecki J., Podciśnieniowy system kanalizacji, konferencja naukowo-techniczna nt. "Postęp techniczny w kanalizacji" PZITS, Wrocław 1977.
12. Dziennik Budownictwa. Dziennik urzędowy nr 3 z dnia 30.IV. 1973 w sprawie normatywnych cykli realizacji inwestycji.
13. Ford L.R., Fulkerson D.R., Przepływy w sieciach, BWI, W-wa 1969.
14. Girnaui G., Begehbare Sammelkanäle für Versorgungsleitungen Albis Verlag, Düsseldorf 1968.
15. Głowski A., Kanały zbiorcze, Poradnik projektanta przemysłowego nr 105, Warszawa 1973.

16. Goliński J., Metody optymalizacyjne w projektowaniu technicznym, WNT, Warszawa 1974.
17. Gorczyca M., Studia nad zależnością między cenami sieci wodociągowej i kanalizacyjnej, a stopniem nawodnienia gruntu, w którym układane są przewody. Przegląd Informacyjny, Wodociągi i Kanalizacja, IGK, Warszawa 4/1970.
18. Gorczyca M., Wpływ głębokości ułożenia przewodów na poziom cen sieci kanalizacyjnej, Przegląd Informacyjny, Wodociągi i Kanalizacja IGK, Warszawa 2/71.
19. Havilard R.B., Niezawodność urządzeń technicznych, Warszawa 1968.
20. Hoffman Z., Opłacalność napraw przewodów kanalizacyjnych i kryteria oceny do ich wymiany, GWiTS, 3/77.
21. Kamler W., Ciepłownictwo, cz. II, PWN, W-wa 1971.
22. Kłoss H., Roman M., Zagadnienia wyboru wskaźników niezawodności systemów wodociągowych i kanalizacyjnych, cz. I, GWiTS 10/75.
23. Kłoss H., Roman M., Zagadnienia wyboru wskaźników niezawodności systemów wodociągowych i kanalizacyjnych, cz. II, GWiTS 11/75.
24. Kłoss H., Roman M., Zasady zbierania danych dotyczących niezawodności urządzeń wodociągowych i kanalizacyjnych, GWiTS 2/76.
25. Komplexrichtlinie Sammelkanäle, Institut für Ingenieur und Tiefbau, Bauakademie der DDR, Berlin 1976.
26. Konferencja Naukowo-Techniczna nt. Odprowadzenie i oczyszczanie spływów deszczowych z aglomeracji miejsko-przemysłowych, Łódź 1977.
27. Konferencja Naukowo-Techniczna nt. Podstawy technologiczne projektowania sieci i urządzeń kanalizacyjnych, PZiTS Wrocław 1969.
28. Kopecki K., Ogólne założenia i metodyka rachunku gospodarczego w pracach planowo-projektowych w elektroenergetyce, PAN, Komitet Elektryfikacji Polski, Materiały i Studia t. V, Zasady ekonomicznego rachunku, część I, Warszawa 1960.

29. Kruskal J.B.Jr., On the Shortest Spanning Subtree of the Graph and the Travelling Salesman Problems, Proc.Amer.Soc. Vol.7.1956.
30. Kuczyński J., Miejskie budowle sanitarne i podziemne, PWN Warszawa - Wrocław 1980.
31. Kuczyński J., Kuliczkowski A., Madryas C., Szewczyk G., Wysocki L., Optymalizacja sieci podziemnych przewodów w infrastrukturze technicznej miasta, cz. I, Raport serii SPR-2/79 Inst.Inż.Ląd.PWr, Wrocław 1979.
32. Kuczyński J., Kuliczkowski A., Madryas C., Wysocki L., Optymalizacja sieci podziemnych przewodów w infrastrukturze technicznej miasta, cz. II, Raport serii SPR-30/80, Inst.Inż.Ląd.PWr, Wrocław 1980.
33. Kuliczkowski A., Możliwości optymalizacji przebudowy magistralnej sieci kanalizacyjnej na przykładzie kanalizacji lewobrzeżnego Wrocławia, praca doktorska PWr, Wrocław 1978.
34. Kuliczkowski A., Sieci kanalizacyjne w tunelach wieloprzewodowych, Raport serii PRE-13/80 Inst.Inż.Ląd.PWr, Wrocław 1980.
35. Little J.D.C., Murty K.G., Sweeney O.W., Karel C., An Algorithm for the Travelling - Salesman Problem, Operations Research, Vol. 11, no 6 1963.
36. Malisz B., Zarys teorii kształtowania układów osadniczych, Warszawa 1966.
37. Mejro Cz., Podstawy gospodarki energetycznej, WNT, Warszawa 1974.
38. Miłaszewicz-Kicińska W.J., Podstawy optymalizacji usuwania i unieszkodliwiania ścieków z terenów osadniczych o systemie koncentracji liniowej, Rozprawa doktorska, Politechnika Warszawska 1972.
39. Mizielińska K., Optymalne układy sieci ciepłych w zależności od struktury przestrzennej jednostek osadniczych w aglomeracja miejskich, praca doktorska, Politechnika Warszawska 1975.
40. Nicholson T.A.J., A Boundary Method for Planar Travelling Salesman Problems, Operational Research, Vol. 19, 1968.

41. OreOystein, Zarys teorii grafów, PWN Warszawa 1966.
42. Plejawski A., Kenczewski Z., Monolityczne kanały zbiorcze sieci uzbrojenia podziemnego, Przegląd Budowlany 7/1978.
43. Petrozolin W., Dobór optymalnych średnic w sieciach wodociągowych z zastosowaniem ETO, Przegląd Informacyjny. Wodociągi i Kanalizacja IGK 3/1971.
44. Petrozolin W., Wyniki studiów nad układem sieci miejskich przewodów podziemnych, Studia i Materiały IGK zeszyt 1, Warszawa 1966.
45. Petrozolin W., Projektowanie podziemnych urządzeń sieciowych we wspólnej obudowie i we wspólnych wykopach, IGK zeszyt 24/1968.
46. Petrozolin W., Projektowanie sieci wodociągowych, Arkady Warszawa 1974.
47. Petrozolin W., Kwalifikowanie przewodów wodociągowych do wymiany, GWiTS 4/1973.
48. Poradnik inżyniera elektryka.
49. Rietschol/Raiss W., Ogrzewanie i klimatyzacja, Arkady, W-wa 1973.
50. Roscher H., Begehbare Sammelkanäle in neuen Wohungebieten - Untersuchungen zum Einfluss der ingenieurtechnischen Ausstattung und städtebaulicher Faktoren auf dem Bau", Dissertation bei der Deutschen Bauakademie zu Berlin 1969.
51. Roscher H., Beiträge zur rationalen stadtechnischen Erschliessung von Neubauwohngebieten - Untersuchungen zur Planung der stadtechnischen Erschliessung, Dissertation B. Hochschule für Architektur und Bauwesen, Weimar 1975.
52. Sierosławski Z., Analiza i planowanie miejskich sieci elektroenergetycznych przy użyciu maszyn cyfrowych, praca doktorska, Politechnika Poznańska 1975.
53. Sozański J., Niezawodność urządzeń i układów elektroenergetycznych, PAN Warszawa 1974.
54. Stark M.R., Nicholls R.L., Matematyczne podstawy projektowania inżynierskiego, BNI W-wa 1979.
55. Suligowski Z., Kosterka B., Struktura jednostkowego kosztu budowy sieci wodociągowej i kanalizacyjnej na terenie województwa gdańskiego, cz. I GWiTS 6/74.

56. Suligowski Z., Kosterka B., Struktura jednostkowego kosztu budowy sieci wodociągowej i kanalizacyjnej na terenie województwa gdańskiego, cz. II GWiTS 7/74.
57. II Sympozjum Naukowo-Techniczne nt. Problemy inżynierii środowiska na tle aktualnych potrzeb Łódzkiego Województwa Miejskiego PZiTS Łódź 1979.
58. Szewczyk G., Wykorzystanie terenowej retencji wód opadowych dla zmniejszenia obciążenia hydraulicznego przewodów kanalizacyjnych, praca doktorska, Politechnika Wrocławska 1980.
59. II Tagung über Komplexe Versorgungsleitungen. Wissenschaftlicher Verein für Bauwesen Ministerium für Bauwesen und Stadtentwicklung. Budapest 1973.
60. Werner D., Neue Möglichkeiten für Aufwandsenkung der inneren **Erschliessung** von Neubauwohngeländen über die städtebaulich - architektonische Konzeption, Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule für Architektur und Bauwesen, Weimar 2/1977.
61. Werner D., Mülzer D., Das Isoimpensenverfahren - ein Beitrag zur Aufwandsenkung bei der inneren städtebaulichen Erschliessung, maszynopis niepublikowany, Hochschule für Architektur und Bauwesen, Weimar.
62. Winkler M., Wissing K., Greschuchna R., Komplexrichtlinie Sammelkanäle - Korosionsschutz, Bauinformation DDR Berlin 1978.
63. Winkler M., Wissing K., Sammelkanäle der DDR, Reihe Ingenieur - und Tiefbau, Heft 24. Bauinformation Berlin 1969.
64. Versorgungsnetze - Kanalverlegte Leitungen - Bau, T-7301 PWK Verkehrs - und Tiefbaukombinat, Dresden 1974.
65. Zakolska-Gilarska M., Awarie komunalnych układów ciepłowniczych, Biuletyn Instytutu Kształtowania Środowiska 4/1977.
66. Zangwill W.J., Programowanie nieliniowe, WNT, Warszawa 1974.
67. Zarządzenie nr 54 Ministra Gospodarki Komunalnej /Dz.B.nr 20 z 30.11.1963 poz.3/, Tymczasowe wytyczne projektowania sieci przewodów podziemnych i nadziemnych w ulicach i placach miejskich.
68. Zarządzenie nr 11 Ministra Adm.i Gosp.Terenowej i Ochrony Środowiska z dnia 13.04.1976 w sprawie tymczasowych wytycz-

nych projektowania sieci uzbrojenia podziemnego w kanałach zbiorczych.

69. Zieliński J., Założenie rządowego programu badawczo-rozwojowego nt. Kształtowanie i wykorzystanie zasobów wodnych, Gospodarka Wodna 3/1976.
70. Żabiński R. i inni, Wskaźniki urbanistyczne do programowania mieszkalnictwa w planach ogólnych, perspektywicznych zagospodarowania przestrzennego miast, raport serii SPR-2/II Zakładu Studyjno-Projektowego Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1979.

Mgr inż. Cezary Madryas
Instytut Inżynierii Lądowej
Politechniki Wrocławskiej
bud. A-1 tel. 22-09-94
Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 W r o c ł a w

OPTIMALIZACJA PROJEKTOWANIA SIECI INFRASTRUKTURY TECHNICZNEJ UZBROJENIA PODZIEMNEGO Z UWZGLĘDNIENIEM WARUNKÓW EKSPLOATACJI

Streszczenie

W pracy przedstawiono algorytm techniczno-ekonomicznej oceny rozwiązań sieci uzbrojenia podziemnego dla nowo budowanych obszarów mieszkaniowych. Opracowany algorytm może funkcjonować dla wszystkich rodzajów sieci, ich układów oraz sposobów ułożenia. Za kryterium wyboru optymalnego rozwiązania uznano minimum kosztów w okresie amortyzacji, przy czym analizą, poza kosztami inwestycyjnymi i eksploatacyjnymi objęto również koszty zawrotności układu. Dodatkowo, w oparciu o algorytmy z zakresu teorii grafów opracowano procedurę wyznaczania optymalnego położenia osiedlowych punktów zasilania dla pierścieniowych i promienistych układów sieci. W celu umożliwienia praktycznego wyznaczania kosztów porównywanych wariantów podano metodykę grupowania danych oraz opracowano program zezwalający na wykorzystanie ETO.

Ponadto, przedstawiono wyniki analizy nad wpływem substytucji nośników energii na pole przekroju tunelu wieloprzewodowego, możliwości stosowania ciśnieniowych systemów kanalizacji sanitarnej i deszczowej dla różnych warunków lokalnych oraz zależności tempa realizacji uzbrojenia od wyboru sposobu ułożenia przewodów.

THE DESIGN OPTIMISATION OF THE UNDERGROUND ARMOR TECHNICAL INFRASTRUCTURE GRID WITH THE CONSIDERA- TION OF THE EXPLOITATION CONDITIONS

Summary

An algorithm of technical and economic evaluation of the underground armor grid design for new built residential building areas is presented. The algorithm can function for all kinds of grids for different systems and layouts. As the optimisation criterion the minimum of costs during the amortisation period is applied while in the analysis besides the investment and exploitation costs the costs of the system breakdowns are considered. Overmore, a procedure was developed using graph-theoretic algorithms to determine an optimal location of the settlement feed-points for mesh and radial grids. To enable practical determination of the compared variants costs, the methodology of data gathering is developed as well as the computer program.

The results of an analysis of the energy bearer substitution impact on the multichannel tunnel cross section area, of the possibility of applying the pressurised sanitary canalisation and rain piping for different local conditions, of armor realization rate dependence on the way of conduits layout are discussed.

O d b i o r c y:

Egz.

1. Biblioteka Główna Politechniki Wrocławskiej	1
2. Biblioteka i Ośrodek Informacji Naukowo-Technicznej Instytutu Inżynierii Lądowej	1
3. Redakcja Wydawnictw Naukowych i Dydaktycznych Instytutu Inżynierii Lądowej	1
4. Dyrekcja Instytutu Inżynierii Lądowej	1
5. Promotor	1
6. Recenzenci	2
7. Ośrodki obce	
- BSiPKiIM, Wrocław	1
- Instytut Inżynierii Miejskiej Politechniki Śląskiej	1
8. Autor	1

10

