

Henryk Karbowski

Podstawy infrastruktury transportu

SPIS TREŚCI

1. WPROWADZENIE	5
1.1. Rodzaje transportu	5
1.2. Podstawowe właściwości infrastruktury transportu	7
1.3. Kierunki rozwoju transportu	10
2. INFRASTRUKTURA TRANSPORTU DROGOWEGO	11
2.1. Podstawowe wiadomości	11
2.2. Charakterystyka techniczno-użytkowa dróg	14
2.3. Układ geometryczny drogi w planie oraz w przekrojach podłużnym i poprzecznym	17
2.4. Skrzyżowania dróg	24
2.5. Konstrukcja jezdni drogowej	29
2.6. Widoczność drogi	31
2.7. Skrzyżowania drogi z linią kolejową	37
2.8. Niektóre elementy projektu drogi	40
2.9. Autostrady i drogi ekspresowe	42
2.10. Węzły drogowe	46
2.11. Program budowy autostrad (A) i dróg ekspresowych (S) w Polsce	51
2.12. Ochrona środowiska oraz utrzymanie i naprawy dróg	54
3. INFRASTRUKTURA KOLEI KONWENCJONALNYCH	57
3.1. Charakterystyka transportu kolejowego	57
3.2. Drogi kolejowe	59
3.3. Stacje kolejowe	72
3.4. Sieci i zasilanie trakcji elektrycznej	79
3.5. Sterowanie ruchem kolejowym	81
3.6. Modernizacja infrastruktury kolei konwencjonalnej	88
4. INFRASTRUKTURA KOLEI DUŻYCH PRĘDKOŚCI	91
4.1. Linie kolei konwencjonalnych	91
4.2. Kolej magnetyczna	98
5. INFRASTRUKTURA TRANSPORTU MIEJSKIEGO	103
5.1. Drogi miejskie – ulice	103
5.2. Skrzyżowania ulic	108
5.3. Dworce, przystanki, pętle autobusowe i miejsca postoju	111
5.4. Linie tramwajowe, tramwaj szybki	113
5.5. Sterowanie ruchem drogowym	116
5.6. Metro	119
5.7. Systemy sterowania i automatycznego prowadzenia pociągu metra	127
5.8. Strefy ograniczonego ruchu i dobór systemów transportowych	128
5.9. Miejskie kolejki naziemne	131
5.10. Kolejki o ustroju specjalnym	132

6. INFRASTRUKTURA TRANSPORTU LOTNICZEGO	135
6.1. Ruch lotniczy i jego organizacja	135
6.2. Port lotniczy	137
6.3. Droga startowa DS	139
6.4. Terminale lotniskowe (dworce lotnicze)	142
6.5. Bezpieczeństwo ruchu lotniczego	146
7. INFRASTRUKTURA TRANSPORTU WODNEGO I RURUCIĄGOWEGO	149
7.1. Transport śródlądowy	149
7.2. Porty morskie	151
7.3. Transport rurociągami	153
8. INFRASTRUKTURA TRANSPORTU INTERMODALNEGO	157
8.1. Transport intermodalny	157
8.2. Terminale i centra logistyczne	158
BIBLIOGRAFIA	167
WYKAZ RYSUNKÓW	169
WYKAZ TABEL	173

1. WPROWADZENIE

1.1. Rodzaje transportu

System transportowy jest to zbiór elementów powiązanych między sobą i otoczeniem w sposób umożliwiający przemieszczanie się osób i ładunków.

Transport [28] jest to zespół czynności związanych z przemieszczaniem osób i dóbr materialnych przy użyciu odpowiednich środków. Transport obejmuje samo przemieszczanie z miejsca na miejsce, jak i wszelkie czynności konieczne do osiągnięcia tego celu, tj. czynności ładunkowe oraz manipulacyjne.

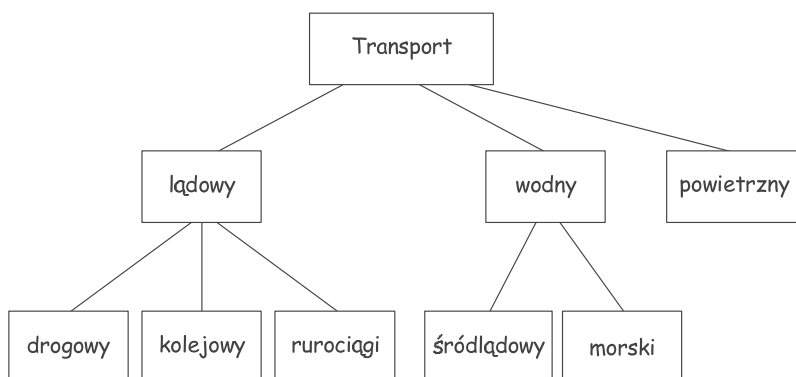
Infrastruktura [28] obejmuje podstawowe urządzenia i instytucje usługowe niezbędne do funkcjonowania gospodarki i społeczeństwa oraz dzieli się na infrastrukturę ekonomiczną i społeczną.

Infrastruktura transportu stanowi istotną część infrastruktury ekonomicznej. Infrastruktura transportu to zespół budowli inżynierskich, przede wszystkim dróg i urządzeń technicznych stacjonarnych, np. w przypadku kolei sieci trakcyjnych, urządzeń zasilających, sygnalizatorów i innych, oraz instytucji, które zapewniają bezpieczny, sprawny i racjonalny transport.

Transport charakteryzuje się trzema podstawowymi i nierozłącznymi elementami, którymi są:

- **droga**, po której odbywa się przewóz osób i ładunków; droga może być lądowa, wodna lub powietrzna; pierwsze drogi lądowe to szlaki, którym poruszał się człowiek pierwotny; wraz z rozwojem społeczeństw powstały drogi kołowe, a w latach 1830–1840 – drogi żelazne;
- **pojazd**, stanowiący pomieszczenie dla osób i ładunków; pierwszymi pojazdami były wozy na kołach;
- **proces transportowy**, wraz z udziałem człowieka.

Rodzaje transportu. Ze względu na rodzaj drogi, po której porusza się pojazd, różni się transport: lądowy, wodny i powietrzny (rys. 1.1).



Rys. 1.1. Rodzaje transportu

Transport lądowy dzielimy na: drogowy (samochodowy), kolejowy i rurociągi. Transport **drogowy** obejmuje przewóz osób na odległości małe, średnie i duże, a przewóz ładunków – na odległości małe. Ładunki ważne przewozi się również na odległości średnie i duże. Zadaniem transportu **kolejowego** jest przewóz osób na odległości małe (transport miejski i podmiejski), średnie i duże oraz przewóz ładunków – na odległości średnie i duże. **Rurociągi** są przeznaczone do przesyłania cieczy i gazów. Znalazły one duże zastosowanie szczególnie przy przesyłaniu ropy naftowej i jej pochodnych.

Transport wodny dzieli się na: śródlądowy (rzeczny) i morski. Zadaniem transportu **śródlądowego** (rzecznego) jest przewóz ładunków jako uzupełnienie transportu lądowego oraz osób (rekreacja). Transport **morski** obejmuje przewóz osób, ale głównie ładunków na odległości średnie i duże (międzykontynentalne).

Transport powietrzny obejmuje głównie przewóz osób na odległości średnie i duże oraz ważnych ładunków.

Wymienione wyżej rodzaje transportu można scharakteryzować oporami jednostkowymi ruchu, liczonymi w ‰, jakie należy pokonać przy przemieszczaniu jednej tony ładunku. Opory jednostkowe ruchu w ‰ dla niektórych rodzajów transportu podano w tabeli 1.1.

Tabela 1.1. Jednostkowe opory ruchu niektórych środków transportu

Środki transportu	Opory jednostkowe (‰)
statki morskie	0,4
statki żeglugi śródlądowej	1,0
tabor kolejowy normalnotorowy	2,5 (0,5)
samochody po nawierzchni asfaltowej i asfaltowo-betonowej	10,0–20,0
samochody na suchej, równej drodze gruntowej	50,0
wozy konne na zwykłej drodze gruntowej	100,0

Z powyższego zestawienia wynika, że najmniejsze opory jednostkowe występują w transporcie morskim i wynoszą 0,4‰. Spośród transportów lądowych najmniejszymi oporami ruchu charakteryzuje się transport kolejowy 0,5‰.

Z wartościami oporów jednostkowych wiążą się między innymi koszty jednostkowe transportu. Jeżeli przyjąć koszt przewozu jednego tonokilometra (1 tkm) ładunku w transporcie morskim za 100%, to koszt transportu rurociągiem wynosi 200%, a koleją 400%.

Wybór optymalnego rodzaju transportu odbywa się na podstawie szczegółowych studiów. Najwłaściwsze rozwiązanie zagadnień transportowych uzyskuje się z reguły poprzez współdziałanie wszystkich rodzajów transportu. Wartości wykonywanych przez poszczególne rodzaje transportu przewozów osób i ładunków są określane osobno dla osób i osobno dla ładunków. Przewozy osób są mierzone liczbami pasażerów lub pasażerokilometrów w odniesieniu do jednostki czasu.

Przewozy ładunków są określane w tonach lub tonokilometrach w odniesieniu również do jednostki czasu, którą z reguły jest rok. W tabeli 1.2 podano przewozy osób i ładunków w Polsce, wykonane przez różne rodzaje transportu w latach 1968, 1990, 2006 i 2014. Z tabeli wynika, że największy udział w zaspokajaniu potrzeb transportowych Polski mają samochód i kolej.

Tabela 1.2. Przewozy publicznymi środkami transportu w Polsce w latach 1968, 1990, 2006, 2014 [29]

Rodzaje transportu	Rok	Przewozy osób				Przewozy ładunków			
		mln osób	%	mld pas-km	%	mln ton	%	mld tkm	%
transport kolejowy	1968	1030,1	47,0	35,9	58,3	377,8	32,8	92,6	45,8
	1990	789,9	27,4	50,4	49,6	281,6	17,1	83,5	24,1
	2006	265,0	25,9	18,6	31,7	291,4	19,7	53,6	21,5
	2014	268,2	38,0	16,0	31,2	227,8	12,4	50,1	14,3
transport samochodowy	1968	1166,1	52,5	25,1	40,7	757,9	65,5	12,0	6,0
	1990	2084,7	72,4	46,6	45,8	1292,3	78,6	40,3	11,6
	2006	751,5	73,4	28,3	48,1	1113,9	75,2	136,5	54,8
	2014	431,5	61,0	21,4	42,0	1547,9	84,1	262,8	75,2
transport lotniczy	1968	0,77	0,0	0,48	0,8	0,10	0,0	0,0	0,0
	1990	1,72	0,1	4,43	4,4	0,01	0,0	0,06	0,0
	2006	5,33	0,5	11,64	19,9	0,03	0,0	0,11	0,1
	2014	7,79	0,01	13,8	26,8	0,03	0,0	0,15	0,0
żegluga śródlądowa	1968	9,0	0,5	0,14	0,1	6,6	0,5	2,0	1,2
	1990	3,8	0,1	0,03	0,0	9,7	0,6	1,0	0,3
	2006	1,5	0,1	0,03	0,0	9,3	0,6	1,2	0,5
	2014	1,6	0,0	0,002	0,0	7,6	0	0,8	0,0
żegluga morska	1968	0,08	0,0	0,12	0,1	15,1	1,2	95,7	47,0
	1990	0,57	0,0	0,19	0,2	28,4	1,7	207,4	59,9
	2006	0,74	0,1	0,19	0,3	10,0	0,7	31,9	12,8
	2014	0,61	0,0	0,15	0,0	6,8	0,0	13,6	0,4
transport rurociągowy	1968	–	–	–	–	–	–	–	–
	1990	–	–	–	–	33,0	2,0	13,9	4,1
	2006	–	–	–	–	55,6	3,8	25,6	10,3
	2014	–	–	–	–	49,8	0,3	22,1	6,3

1.2. Podstawowe właściwości infrastruktury transportu

Droga jako podstawowy element transportu jest używana od początku istnienia ludzkości i należy obok układów osadniczych do najtrwalszych elementów zagospodarowania przestrzennego.

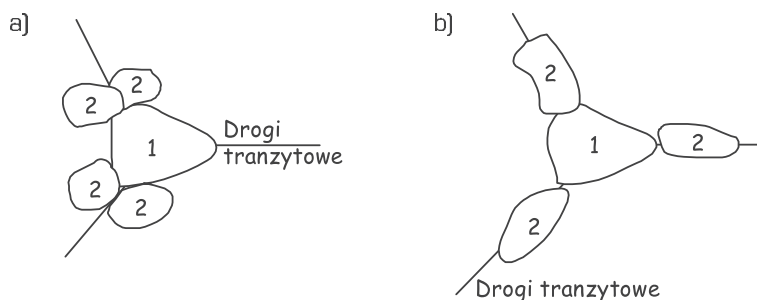
Za początek rozwoju transportu można przyjąć pierwszą rewolucję techniczną w transporcie, tj. wynalezienie koła (Mezopotamia) i żagla (Egipt, Mezopotamia) około 3500 roku p.n.e. Dalszy znaczący rozwój transportu nastąpił w XIX i XX wieku, kiedy wynaleziono kolej i później samochód oraz sprowadzono transport pod ziemię – metro.

Rozwój społeczno-gospodarczy prowadzi do powstania i rozwoju ośrodków pełniących funkcje mieszkaniowe, produkcyjne i rekreacyjne. Ośrodki te tworzą zespoły (np. miasta) zagospodarowania przestrzennego i wynikającą z tego szeroko rozumianą działalność transportową, która ma zaspokajać potrzeby ludzi i przemysłu.

Ogólna znajomość spełnianych funkcji, rosnące potrzeby przewozowe zagospodarowania przestrzennego i rozwój techniki doprowadziły do powstania nowych systemów transportowych, takich jak metro, autostrady, szybka kolej. Szczegółowe rozeznanie

potrzeb określonego zespołu zagospodarowania przestrzennego i możliwości głównie finansowe pozwalają na racjonalny wybór systemów obsługi przewozowej i wynikającej z tego infrastruktury transportu.

Wzajemne oddziaływanie pomiędzy rozbudową zagospodarowania przestrzennego a rozwojem infrastruktury transportu pokazano na rys. 1.2.



Rys. 1.2. Dobudowa nowych (2) osiedli i zakładów przemysłowych do istniejącej infrastruktury (1):
a) bezpośrednio – koncentracja, b) wzdłuż nowych tras transportowych – dekoncentracja

Wykorzystywanie istniejącej infrastruktury transportu prowadzi do nadmiernej koncentracji zabudowy przestrzennej (rys. 1.2a), wywołującej na ogół pogorszenie warunków życia i degradację środowiska. Rozbudowa bądź budowa nowej infrastruktury transportu wzdłuż nowych tras transportowych (rys. 1.2b) stwarza dostępność do nowej przestrzeni, a łatwość dojazdu pozwala na budowę osiedli, przemysłu wzdłuż nowej drogi transportowej i powoduje dekoncentrację zabudowy. Na rys. 1.2a istniejące drogi transportowe są nieprzystosowane do przewozu pasażerów i ładunków, zaś na rys. 1.2b do takiego przewozu drogi są specjalnie rozbudowywane lub budowane.

W rzeczywistości wybór rodzaju rozbudowy infrastruktury transportu powinien uwzględniać uwarunkowania miejscowe i być rozwiązaniem racjonalnym. Oprócz transportu zewnętrznego łączącego centrum – 1 – z innymi centrami i osiedlami podmiejskimi występuje jeszcze problem przemieszczania wewnątrz centrum, który wymaga rozwoju transportu miejskiego.

Z rozwojem infrastruktury transportu związane jest również jego szkodliwe oddziaływanie na środowisko, głównie w formie hałasu, wibracji, zanieczyszczenia powietrza, wód itd. Niezbędne są zatem działania chroniące środowisko przed degradacją.

Można stwierdzić, że rozwój społeczno-gospodarczy determinuje rozwój systemów i infrastruktury transportu i odwrotnie – powstawanie nowych ciągów transportowych, jak linie kolejowe, drogi samochodowe, zachęca do osiedlania się ludzi i lokowania przemysłu wzdłuż tych ciągów.

Infrastrukturę transportu [12, 19] przyjęło się analizować i charakteryzować w trzech aspektach: technicznym, ekonomicznym i organizacyjnym. Do typowych własności technicznych infrastruktury transportowej zaliczamy: niepodzielność techniczną, długi okres żywotności, długi okres powstawania i ograniczone możliwości importu.

Niepodzielność techniczna oznacza, że wszystkie elementy oraz podzespoły budowlane i urządzenia niezbędne do wykonywania zadanych funkcji muszą być wybudowane i zainstalowane, np. dla kolei: tory, perony, dworce, magazyny, sygnalizacja kolejowa itd. Inny przykład, dla zapewnienia równoczesnej jazdy w obu kierunkach droga dla pojazdu musi mieć dwa pasy ruchu.

Istnieje zatem pewien minimalny zakres inwestycyjny infrastruktury transportu zapewniający jej użyteczność. Niektóre z tych budowli czy podzespołów mogą być realizowane etapami, np. rozbudowa magazynu czy dworca, jest to ważne w państwach o ograniczonych możliwościach ekonomicznych. Można więc mówić o niepodzielności technicznej, jak i ekonomicznej infrastruktury transportu.

Długi okres żywotności to druga cecha charakterystyczna infrastruktury transportu. Dla dróg kolejowych wynosi on np. 20–40 lat, dla dróg samochodowych odpowiednio 15–20 lat, zaś dla mostów i przepustów betonowych nawet do 80–100 lat. Dlatego inwestowanie w infrastrukturę transportu musi być poprzedzone szczególnie wnikliwymi analizami z uwzględnieniem wielu czynników, jak: potrzeby, możliwości techniczno-finansowe, perspektywy rozwoju transportu i plany perspektywiczne zagospodarowania przestrzennego. Jest to bardzo istotny element procesu inwestycyjnego w transporcie. To wszystko jest bardzo ważnym elementem procesu inwestycyjnego w transporcie.

Długi okres powstawania obiektów infrastruktury transportu jest ściśle związany z niepodzielnością techniczną. Mimo znacznego postępu technicznego w zakresie możliwości technicznych budownictwa czas powstawania inwestycji w transporcie jest dłuższy od podobnych w innych gałęziach gospodarki. Wynika to z konieczności uwzględnienia powiązań z innymi gałęziami transportu, jak i przeprowadzania wielu wyłączeń na ciągu projektowanej inwestycji. Przykładem mogą być trudności napotymane obecnie przy wywłaszczaniu terenów pod projektowane autostrady, a w przyszłości pod koleje wielkich prędkości. Trudności są tym większe, że dotyczą w znacznej mierze terenów podmiejskich lub często miejskich o stosunkowo gęstej zabudowie.

Ograniczenie możliwości importu w zakresie infrastruktury transportu wynika z faktu, że najistotniejsza część – droga samochodowa, kolejowa lub wodna śródlądowa – jest ściśle związana z terenem, z reguły stanowi dziedzictwo przeszłości i musi powstawać lub być modernizowana w miejscu potrzeb transportowych. Dlatego zaległości w tym zakresie nie można w krótkim czasie uzupełnić. Import może obejmować zakup maszyn, urządzeń i ewentualnie zlecenie inwestycji w zakresie wykonawstwa firmom zagranicznym.

Cechy infrastruktury transportu, takie jak niepodzielność techniczna i ekonomiczna oraz długi okres powstawania inwestycji, przyczyniają się do wysokiej majątkowości i kapitałochłonności infrastruktury transportu. Nakłady na inwestycje w transporcie są większe o 10% od nakładów państwa na inwestycje i mają charakter skokowy.

Z niepodzielnością techniczną transportu ściśle związane jest etapowanie prac przy przebudowach i remontach dróg transportowych, przez co uzyskuje się ciągłość ruchu. Natomiast przy budowie nowych dróg transportowych należy rozważać, już na etapie projektowania, możliwość i celowość częściowego oddawania (etapu) do eksploatacji, szczególnie przy dużych inwestycjach. Przykładowo przy budowie obwodnicy miasta wcześniejsze oddanie jednej jezdni (z ruchem dwukierunkowym i ewentualnym ograniczeniem prędkości) pozwala na odciążenie ruchu w mieście.

Cechy te powodują, że do podejmowania racjonalnych decyzji niezbędne jest w tym zakresie centralne planowanie, a zasięg ogólnokrajowy inwestycji w zakresie transportu wymaga koordynacji międzynarodowej, szczególnie z sąsiednimi krajami.

1.3. Kierunki rozwoju transportu

Współczesny transport z początków XXI wieku powinien być: ogólnie dostępny w czasie i przestrzeni, bezpieczny i niezawodny, racjonalny w zakresie czasu, komfortu i kosztów podróży.

Prace nad rozwojem transportu są prowadzone przez transportowe jednostki organizacyjne i badawczo rozwojowe, a koordynowane przez międzynarodowe zespoły transportowe.

Wyróżnia się następujące kierunki rozwoju infrastruktury transportu:

- **rewitalizację**, polegającą na przywróceniu pierwotnych parametrów technicznych drogi, linii kolejowej itp.,
- **modernizację**, polegającą na podwyższeniu parametrów, np. prędkości maksymalnej istniejących dróg, linii kolejowych itp.,
- **budowę nowych tras transportowych**, np. autostrad, linii kolejowych dużych prędkości itp.

W celu wyrównania opóźnień Europy Środkowo-Wschodniej w stosunku do Europy Zachodniej wprowadzono priorytety w rozwoju dróg kolejowych, samochodowych i częściowo wodnych śródlądowych zwane korytarzami transportowymi.

Podstawowe korytarze transportu międzynarodowego przebiegające przez Polskę:

- korytarz 1: Tallin–Ryga–**Warszawa**,
- korytarz 2: Berlin–**Warszawa**–Mińsk–Moskwa,
- korytarz 3: Berlin/Drezno–**Wrocław**–Lwów–Kijów,
- korytarz 4: Berlin/Norymberga–Praga–Budapeszt–Konstanca–Saloniki–Istambuł,
- korytarz 5: Triest–Lublana–Budapeszt–Bratysława–Użgorod–Lwów,
- korytarz 6: Gdańsk–**Warszawa**–Żylin,
- korytarz 7: Dunaj (korytarz drogą wodną),
- korytarz 8: Durres–Tirana–Skopje–Warna,
- korytarz 9: Helsinki–Kijów–Moskwa–Odessa–Kiszyniów/Bukareszt–Plovdiv.

Oprócz powyższych podstawowych korytarzy transportowych występują również ich uzupełnienia.

Rozwój infrastruktury współczesnego transportu odbywa się w następujących kierunkach:

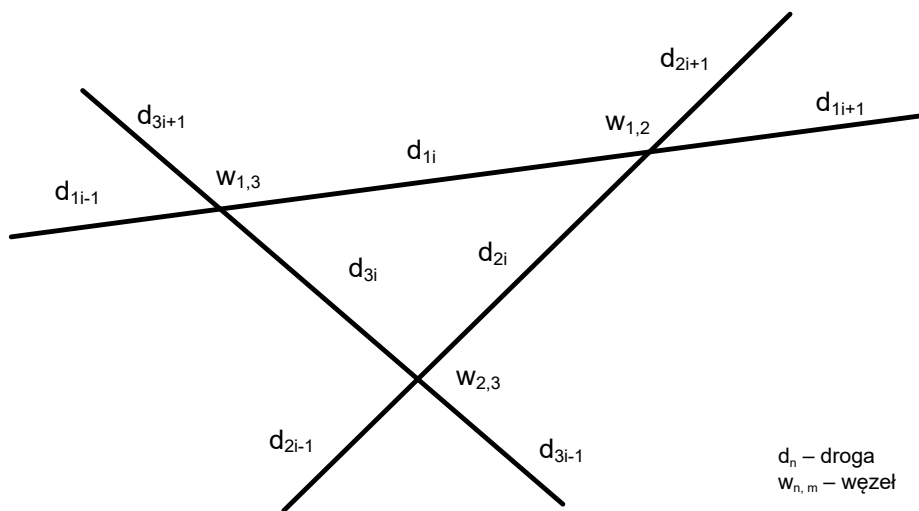
- rozdzielenie (separacja) dróg od siebie dla różnych rodzajów transportu,
- stosowanie w szerokim zakresie różnopoziomowych skrzyżowań dróg,
- rozdzielenie jezdni dwukierunkowej na dwie jezdnie jednokierunkowe,
- w procesie prowadzenia ruchu zastępowanie człowieka przez urządzenia działające automatycznie.

2. INFRASTRUKTURA TRANSPORTU DROGOWEGO

2.1. Podstawowe wiadomości

W ostatnich 30–40 latach nastąpił intensywny rozwój transportu samochodowego, który jest najbardziej dostępny dla człowieka dzięki rozbudowanej sieci dróg samochodowych (w Polsce jest ponad 12-krotnie więcej tysięcy kilometrów dróg samochodowych niż linii kolejowych). Również pojazd samochodowy jest łatwiej dostępny z racji mniejszych rozmiarów (liczba pasażerów, ładowność) niż pociąg. Jednak możliwości transportu samochodowego szczególnie w miastach i dużych aglomeracjach stają się coraz bardziej ograniczone (zdolność przepustowa ulic, ograniczone możliwości rozbudowy parkingów). Podstawowym elementem transportu samochodowego, podobnie jak kolei, jest droga.

Drogi (samochodowe) [3, 12, 18, 32, 35, 42] tworzą sieć (rys. 2.1), która składa się z punktów węzłowych – skrzyżowań (punkty łączenia się z innymi drogami lub osadami) $w_1, w_2, w_3, \dots$ stanowiących zbiór $\{W\}$ oraz odcinków międzywęzłowych – dróg $d_1, d_2, d_3, \dots$ tworzących zbiór dróg $\{D\}$.



Rys. 2.1. Fragment sieci drogowej

Zadaniem sieci dróg jest uzyskiwanie najkrótszych połączeń między ważnymi punktami (ośrodkami gospodarczymi i społecznymi) przy możliwie najniższych kosztach transportu. Geometrycznie sieć drogowa tworzy układy prostokątne, trójkątne i ich pochodne. W układzie sieci dróg obowiązuje zasada hierarchizacji połączeń i różnicowania pod względem technicznym.

Droga jest to pas terenu dostosowany, przez ułożenie nawierzchni i zastosowanie odpowiednich urządzeń technicznych, do ruchu pojazdów bezszynowych [28]. Inna