

Zalecenia metodyczne do ćwiczeń projektowych i prac dyplomowych z kanalizacji rozdzielczej

dla kierunku:
Inżynieria Środowiska (IS)

dla specjalności:
Zaopatrzenie w Wodę, Usuwanie Ścieków i Zagospodarowanie Odpadów (ZWUŚ i ZO)

- od roku akad. 2018/2019

Andrzej Kotowski, Bartosz Kaźmierczak

Katedra Wodociągów i Kanalizacji (W7/K2)

Spis treści

1. Kanalizacja deszczowa jednostki osadniczej	str. 2
1.1. Założenia wyjściowe do projektu	str. 2
1.1.1. Współczesne standardy odwodnienia terenów zurbanizowanych.....	str. 2
1.1.2. Bezpieczna metoda wymiarowania kanalizacji deszczowej	str. 4
1.1.3. Współczesne modele opadów do wymiarowania kanalizacji deszczowej ...	str. 7
1.2. Zalecenia do doboru kanałów deszczowych	str. 9
2. Kanalizacja ściekowa jednostki osadniczej	str. 11
2.1. Założenia wyjściowe do projektu	str. 11
2.1.1. Metoda wymiarowania kanalizacji ściekowej	str. 11
2.1.2. Bilans ścieków bytowo-gospodarczych i przemysłowych	str. 11
2.1.3. Bilans wód przypadkowych	str. 14
2.2. Zalecenia do doboru kanałów ściekowych	str. 16
3. Zakresy projektów z kanalizacji grawitacyjnej i grawitacyjno-pompowej	str. 17
3.1. Założenia metodyczne i zakres obliczeń do ćwiczeń projektowych (na I stop.) ...	str. 17
3.2. Założenia metodyczne i zakres obliczeń do prac dyplomowych inżynierskich ...	str. 17
3.3. Założenia metodyczne i zakres obliczeń do prac dyplomowych magisterskich ...	str. 18
4. Literatura podstawowa	str. 20
Ważniejsze rozporządzenia ministerialne	str. 20
Ważniejsze normy z zakresu kanalizacji	str. 21

Wrocław, 14 stycznia 2019 r.

1. Kanalizacja deszczowa jednostki osadniczej

1.1. Założenia wyjściowe do projektu

1.1.1. Współczesne standardy odwodnienia terenów zurbanizowanych

Aktualny stan prawny nakłada na projektantów systemów kanalizacyjnych obowiązek bezpiecznego ich projektowania - wymiarowania, tzn. zgodnie z najlepszą dostępną wiedzą techniczną (BAT - *Best Available Techniques*). Bezpieczne wymiarowanie odwodnień terenów definiuje się jako przystosowanie systemu do przyjęcia maksymalnych (prognozowanych) strumieni wód opadowych z częstością równą dopuszczalnej (akceptowalnej społecznie) częstości wystąpienia wylania na powierzchnię terenu [1].

Według polskiej normy (zharmonizowanej z normą europejską) **PN-EN 752** z 2008 roku [2], jak i jej nowelizacji PN-EN 752 z 2017 roku [3], zalecane częstości deszczu obliczeniowego (C) do wymiarowania systemów kanalizacji deszczowej (tj. sieci i obiektów specjalnych) zależą od standardu odwodnienia danego terenu zurbanizowanego (tab. 1).

Tab. 1. Zalecane częstości deszczu obliczeniowego do wymiarowania kanalizacji deszczowej wg PN-EN 752:2008:2017 [2, 3]

Częstość deszczu obliczeniowego [1 raz na C lat]	Standard odwodnienia (Rodzaj zagospodarowania terenu)
1 na 1	Tereny pozamiejskie (wiejskie)
1 na 2	Tereny mieszkaniowe
1 na 5	Centra miast, tereny usług i przemysłu
1 na 10	Podziemne obiekty komunikacyjne, przejścia i przejazdy pod ulicami itp.

Cytowane normy [2, 3] zalecają więc różne częstości projektowe (C) deszczu obliczeniowego (wg tab. 1) – miarodajnego do wymiarowania kanalizacji deszczowej:

- $C = 1$ rok - dla terenów pozamiejskich (wiejskich), oraz
- $C = 2, 5$ lub 10 lat - dla terenów miejskich w zależności od rodzaju zagospodarowania.

Nowa wersja normy PN-EN 752 z 2017 roku [3] przewiduje już możliwość przyjmowania większych, niż podane w tabeli 1, częstości projektowych deszczu obliczeniowego (C) - dla 4 lokalizacji terenów zurbanizowanych. Podkreślane jest zastrzeżenie, że dla danej częstości projektowej deszczu obliczeniowego (C) nie może wystąpić działanie kanałów pod ciśnieniem, tj. z przeciążeniem prowadzącym potencjalnie do wylewów. Biorąc pod uwagę prognozowany wzrost intensywności opadów w przyszłości, celowe jest już obecnie przyjmowanie do wymiarowania kanałów deszczowych większych częstości projektowych opadów, przy zastosowaniu odpowiednich modeli opadów i metod obliczeniowych, a także dobór wymiarów/średnic kanałów na niecałkowite wypełnienie [1].

Podobnie, 4 klasy częstości projektowych opadów zalecane są w Polsce do projektowania odwodnień dróg - wg Rozporządzenia Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie [4]. Zalecane częstości deszczu obliczeniowego (C) do wymiarowania kanalizacji deszczowej różnych rodzajów dróg podano w tabeli 2.

Tab. 2. Zalecane częstości deszczu obliczeniowego do wymiarowania kanałów deszczowych do odwodnienia dróg wg Rozporządzenia MTiGM z 1999 r. [4]

Częstość deszczu obliczeniowego [1 raz na C lat]	Standard odwodnienia (Rodzaj – klasa drogi)
1 na 1	Lokalna (L), dojazdowa (D)
1 na 2	Główna (G), zbiorcza (Z)
1 na 5	Główna ruchu przyspieszonego (GP)
1 na 10	Autostrada (A), ekspresowa (S)

Ponieważ grawitacyjne systemy odwodnień terenów zurbanizowanych projektuje się na perspektywę 50÷100 lat, właściwe jest uwzględnienie prognozowanych zmian klimatu w horyzoncie czasowym 2100 roku. Przewiduje się bowiem, że deszcze o obecnej intensywności będą w przyszłości występowały około dwukrotnie częściej [1, 5, 6]. Tak więc, przy dzisiejszym wymiarowaniu kanalizacji deszczowej (zwłaszcza głównych kanałów-kolektorów miejskich), celowe jest przyjmowanie większej częstości deszczu obliczeniowego, niż w standardach projektowych PN-EN 752:2008:2017 i MTiGM:1999 (tab. 1 i 2), wg propozycji podanej w tabeli 3 - dla zachowania w przyszłości, obecnie dopuszczalnych częstości występowania zagrożeń wylewami z kanałów, co jest postulowane m.in. w podręczniku [1].

Tab. 3. Proponowane zmiany do PN-EN 752:2008:2017 odnośnie częstości deszczu obliczeniowego dla zachowania w przyszłości obecnie dopuszczalnych częstości wylewów wg [1]

Częstość deszczu obliczeniowego [1 raz na C lat]	Standard odwodnienia (Rodzaj zagospodarowania terenu)
2 zamiast 1	Tereny wiejskie
5 zamiast 2	Tereny mieszkaniowe
10 zamiast 5	Centra miast, tereny usług i przemysłu
50 zamiast 10	Podziemne obiekty komunikacyjne, przejścia i przejazdy pod ulicami, itp.

Mianowicie, norma PN-EN 752 z 2008 r. [2] ogranicza dopuszczalną częstość wylewów z kanalizacji, czy też braku możliwości odbioru wód opadowych, do rzadkich częstości (C) ich występowania w dostosowaniu do 4 rodzajów zagospodarowania przestrzennego terenów zurbanizowanych, tj.: od raz na 10 lat dla terenów wiejskich, do raz na 20, 30 lub 50 lat dla terenów miejskich (tab. 4).

Tab. 4. Dopuszczalne częstości wylewów z kanałów i podtopień terenów wg PN-EN 752:2008 [2]

Standard odwodnienia (Rodzaj zagospodarowania terenu)	Częstość wylewów [1 raz na C lat]
Tereny pozamiejskie (wiejskie)	1 na 10
Tereny mieszkaniowe	1 na 20
Centra miast, tereny usług i przemysłu	1 na 30
Podziemne obiekty komunikacyjne, przejścia i przejazdy pod ulicami itp.	1 na 50

Nowa norma PN-EN 752 z 2017 r. [3] proponuje rozróżnianie dopuszczalnej częstości wylewów z kanalizacji, w siedmiostopniowej skali wpływu zagrożenia na środowisko, tj. dla 7 zdefiniowanych przykładowo lokalizacji – zagospodarowania terenów (tab. 5) [3, 7].

Tab. 5. Przykładowe kryteria oceny zagrożeń oraz dopuszczalne częstości wylewów z kanałów i podtopień terenów wg PN-EN 752:2017 [3]

Lp.	Stopień zagrożenia	Przykładowe lokalizacje	Częstość wylewów [1 raz na C lat]
1.	Bardzo mały	Drogi lub otwarte przestrzenie z dala od budynków	1
2.	Mały	Tereny rolnicze (w zależności od wykorzystania, np. pastwiska, grunty orne)	2
3.	Mały do średniego	Otwarte przestrzenie wykorzystane do celów publicznych	3
4.	Średni	Drogi lub otwarte przestrzenie w pobliżu budynków	5
5.	Średni do wysokiego	Zalania zamieszkałych budynków z wyłączeniem piwnic	10
6.	Wysoki	Głębokie zalania zamieszkałych piwnic lub przejazdów pod ulicami	30
7.	Bardzo wysoki	Infrastruktura krytyczna	50

Kryteria zagrożeń wylewami w nowej normie PN-EN 752:2017 są świadomie sformułowane nieostro - opisowo. Zastrzega się mianowicie, że podane w tabeli 5, przykładowe wartości dopuszczalnych częstości zagrożeń wylewami mogą być zarówno podwyższane „w przypadku szybko przemieszczających się wód powodziowych”, ale także obniżane „w przypadku przebudowy istniejących systemów, gdy osiągnięcie tych samych kryteriów projektowych dla nowych systemów pociąga za sobą zbyt wysokie koszty” [3]. Ta druga możliwość, tj. obniżania dopuszczalnej częstości zagrożeń jest wysoce dyskusyjna, wobec prognozowanego wzrostu intensywności opadów w przyszłości [1, 5, 6, 7].

1.1.2. Bezpieczna metoda wymiarowania kanalizacji deszczowej

Do wymiarowania systemów kanalizacji deszczowej w Polsce zalecana jest obecnie tzw. **metoda maksymalnych natężeń** (MMN) - z polskimi modelami opadów maksymalnych, typu DDF (*Depth-Duration Frequency*) bądź IDF (*Intensity-Duration Frequency*) [1]. Metoda ta wzorowana jest na najnowszej tzw. metodzie współczynnika opóźnienia (MWO), zalecanej do stosowania w Niemczech przez DWA (*Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. - Niemieckie Stowarzyszenie Gospodarki Wodnej, Ściekowej i Odpadowej*) [9].

Obie metody należą do grupy „bezpiecznych metod czasu przepływu”, gdzie uzależnia się opóźnienie (redukcję) spływu powierzchniowego jedynie od rzeczywistego czasu trwania deszczu (t_d) - równego czasowi przepływu ścieków w kanałach (t_p) [1, 9]. Stwierdzono bowiem, iż miarodajne do projektowania systemów odwodnień terenów, maksymalne natężenia zwykle krótkotrwałych deszczów (o czasach trwania od kilkunastu minut do 2 godzin) występują z reguły w okresach długotrwałych zjawisk opadowych (trwających nawet kilka dni). Wówczas, ze względu na bezpieczeństwo działania systemów kanalizacji deszczowej, nie uwzględnia się czasów trwania koncentracji terenowej i retencji kanałowej.

Miarodajny do wymiarowania systemów kanalizacji deszczowej (sieci i obiektów) strumień objętości wód opadowych Q_{md} (w dm^3/s), według metody maksymalnych natężeń (MMN), oblicza się z wzoru [1]:

$$Q_{md} = q_{\max}(t_d, C) \cdot \psi_s \cdot F \quad (1)$$

gdzie:

- $q_{\max}(t_d, C)$ - maksymalne natężenie jednostkowe deszczu dla czasu trwania t_d (równego czasowi przepływu t_p) i częstości występowania C , $\text{dm}^3/(\text{s} \cdot \text{ha})$,
- ψ_s - szczytowy (maksymalny) współczynnik spływu wód deszczowych zależny od stopnia uszczelnienia powierzchni ψ , spadków terenu i_t i częstości deszczu C , -
- F - powierzchnia zlewni deszczowej, ha.

Pierwszym krokiem w projektowaniu odwodnień terenów jest wytrasowanie przebiegu (sieci) kanałów deszczowych w zlewni, a następnie wyznaczenie powierzchni (cząstkowych), z których odbywać się będzie spływ wód deszczowych do danego (odcinka) kanału deszczowego KD - zgodnie ze spadkiem powierzchni terenu i maksymalnie z 50 m w przeciw spadzie.

W MMN, maksymalny spływ powierzchniowy (o strumieniu Q_{md} - z wzoru (1)) pochodzi z **miarodajnej - zredukowanej** zlewni deszczowej o zastępczej powierzchni $F_{m\ zr}$:

$$F_{m\ zr} = \psi_s \cdot F \quad (2)$$

gdzie:

- ψ_s - szczytowy współczynnik spływu wód deszczowych w zlewni danego kanału (KD), -
- F - powierzchnia zlewni deszczowej danego kanału (KD), ha.

W wymiarowaniu kanalizacji deszczowej oblicza się najpierw zastępczy (średni ważony) **współczynnik spływu** (ψ) – utożsamiany ze **stopniem uszczelnienia powierzchni** danej zlewni (F), obliczany z wzoru [1, 8]:

$$\psi = \frac{\psi_1 \cdot F_1 + \psi_2 \cdot F_2 + \dots + \psi_n \cdot F_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_n} = \frac{\sum_{i=1}^n (\psi_i \cdot F_i)}{\sum_{i=1}^n F_i} = \frac{F_{zr}}{F} \quad (3)$$

gdzie:

- ψ - zastępczy współczynnik spływu \equiv **stopień uszczelnienia zlewni** danego kanału, -
- ψ_i - współczynnik spływu (i -tej) powierzchni cząstkowej w zlewni danego kanału, -
- F_i - (i -ta) powierzchnia cząstkowa - składowa zlewni (F) danego kanału, ha,
- F - całkowita powierzchnia zlewni deszczowej danego kanału, ha,
- F_{zr} - zredukowana wstępnie - **szczelna** powierzchnia zlewni danego kanału ($F_{zr} = \psi F$), ha.

Wartość współczynnika spływu (ψ_i) danej powierzchni cząstkowej (F_i) w zlewni deszczowej (F) - przyporządkowanej do danego (odcinka) kanału deszczowego KD, należy przyjmować w zależności od rodzaju pokrycia terenu. Gdy dysponujemy szczegółowymi planami zagospodarowania przestrzennego, wówczas ψ_i przyjmujemy np. wg zaleceń [8]:

- dachy $\psi_i \in [0,90; 1,00]$,

- drogi asfaltowe $\psi_i \in [0,85; 0,90]$,
- bruki kamienne, klinkierowe $\psi_i \in [0,75; 0,85]$,
- drogi żwirowe $\psi_i \in [0,15; 0,30]$,
- parki, ogrody, łąki, zieleńce $\psi_i \in [0,00; 0,10]$.

Gdy brak jest szczegółowych planów zagospodarowania terenów, wówczas ψ_i wg [8]:

- zabudowa zwarta $\psi_i \in [0,5; 0,7]$,
- zabudowa luźna $\psi_i \in [0,3; 0,5]$,
- zabudowa willowa $\psi_i \in [0,2; 0,3]$,
- powierzchnie niezabudowane $\psi_i \in [0,1; 0,2]$,
- parki i duże obszary zieleni $\psi_i \in [0,0; 0,1]$.

Po obliczeniu, z wzoru (3), stopnia uszczelnienia powierzchni (ψ) danej zlewni deszczowej (przyporządkowanej do danego kanału KD), należy ustalić wartość **szczytowego współczynnika spływu (ψ_s)** - przy uwzględnieniu wpływu spadków terenu oraz przyjętej na wstępie częstości deszczu obliczeniowego C (dla danej zlewni).

Wartość liczbową szczytowego (maksymalnego) współczynnika spływu ψ_s należy ustalać na podstawie tabeli 6 - dla obliczonego (lub przyjętego) stopnia uszczelnienia powierzchni ψ , w zależności od średnich wartości spadków terenu i_t i przyjętej częstości projektowej opadów C (dla pośrednich wartości ψ należy zastosować interpolację liniową wartości ψ_s) [1, 9].

Tab. 6. Szczytowe współczynniki spływu (ψ_s) dla stopni uszczelnienia powierzchni (ψ) w zależności od spadków terenu (i_t) i częstości deszczu (C) wg DWA-A118:2006 [9]

Stopień uszczelnienia terenu ψ , %	Szczytowy współczynnik spływu ψ_s															
	Spadek terenu i_t															
	$i_t \leq 1\%$				$1\% < i_t \leq 4\%$				$4\% < i_t \leq 10\%$				$i_t > 10\%$			
	Częstość obliczeniowa deszczu C , lata															
	C=1	2	5	10	C=1	2	5	10	C=1	2	5	10	C=1	2	5	10
0 (*)	0	0	0,10	0,31	0,10	0,15	0,30	(0,46)	0,15	0,20	(0,45)	(0,60)	0,20	0,30	(0,55)	(0,75)
10 (*)	0,09	0,09	0,19	0,38	0,18	0,23	0,37	(0,51)	0,23	0,28	0,50	(0,64)	0,28	0,37	(0,59)	(0,77)
20	0,18	0,18	0,27	0,44	0,27	0,31	0,43	0,56	0,31	0,35	0,55	0,67	0,35	0,43	0,63	0,80
30	0,28	0,28	0,36	0,51	0,35	0,39	0,50	0,61	0,39	0,42	0,60	0,71	0,42	0,50	0,68	0,82
40	0,37	0,37	0,44	0,57	0,44	0,47	0,56	0,66	0,47	0,50	0,65	0,75	0,50	0,56	0,72	0,84
50	0,46	0,46	0,53	0,64	0,52	0,55	0,63	0,72	0,55	0,58	0,71	0,79	0,58	0,63	0,76	0,87
60	0,55	0,55	0,61	0,70	0,60	0,63	0,70	0,77	0,62	0,65	0,76	0,82	0,65	0,70	0,80	0,89
70	0,64	0,64	0,70	0,77	0,68	0,71	0,76	0,82	0,70	0,72	0,81	0,86	0,72	0,76	0,84	0,91
80	0,74	0,74	0,78	0,83	0,77	0,79	0,83	0,87	0,78	0,80	0,86	0,90	0,80	0,83	0,87	0,93
90	0,83	0,83	0,87	0,90	0,86	0,87	0,89	0,92	0,86	0,88	0,91	0,93	0,88	0,89	0,93	0,96
100	0,92	0,92	0,95	0,96	0,94	0,95	0,96	0,97	0,94	0,95	0,96	0,97	0,95	0,96	0,97	0,98

(*) Stopnie uszczelnienia $\psi \leq 10\%$ wymagają uwzględnienia lokalnych uwarunkowań ψ_s

Przykład metodyczny nr 1. Dla obliczonego stopnia uszczelnienia powierzchni zlewni $\psi = 0,25$, przy uwzględnieniu spadków terenu w granicach: $1\% < i_t \leq 4\%$, i deszczu obliczeniowego o częstości występowania $C = 5$ lat, na podstawie tabeli 6, interpolowana liniowo wartość szczytowego współczynnika spływu wynosi: $\psi_s = 0,465$.

Przykład metodyczny nr 2. Dla przyjętego stopnia uszczelnienia powierzchni zlewni $\psi = 0,30$, przy uwzględnieniu rzeczywistych spadków terenu w granicach: $4\% < i_t \leq 10\%$ i deszczu obliczeniowego o częstości występowania $C = 2$ lata, na podstawie tabeli 6, ustalono wartość szczytowego współczynnika spływu: $\psi_s = 0,42$.

W MMN, najkrótsze miarodajne czasy trwania deszczu obliczeniowego należy przyjmować w zależności od spadków terenu i stopnia uszczelnienia powierzchni, jako: $t_{dmin} \in \{5, 10, 15\}$ minut - na podstawie tabeli 7, wg DWA-A118:2006 [1, 9].

Tab. 7. Najkrótsze czasy trwania deszczu (t_{dmin}) w zależności od spadku terenu (i_t) i stopnia uszczelnienia powierzchni (ψ) wg DWA-A118:2006 [9]

Średni spadek terenu i_t	Stopień uszczelnienia powierzchni, ψ	Minimalny czas trwania deszczu, t_{dmin}
< 1 %	≤ 50 %	15 minut
	> 50 %	10 minut
1 % do 4 %	> 0 %	10 minut
> 4 %	≤ 50 %	10 minut
	> 50 %	5 minut

1.1.3. Współczesne modele opadów do wymiarowania kanalizacji deszczowej

Dotychczas stosowana formuła Błaszczyka na natężenie deszczów, oparta na danych opadowych z przełomu XIX i XX wieku, zaniża obecne natężenia opadów we Wrocławiu średnio o 40% (dla danych z lat 1960÷2009 [10]), oraz średnio o 36% w Warszawie i o 33% na terenie całego kraju (dla danych z lat 1986÷2015 [11]). Nie może być więc nadal stosowana, gdyż wymagałaby „sztucznej” korekty częstości opadów [1, 6, 10, 11].

W pracy [1] postuluje się, aby do czasu opracowania i wdrożenia Polskiego Atlasu Natężeń Deszczów (PANDa) - na wzór atlasu KOSTRA (*Koordinierte Starkniederschlags-regionalisierung - Auswertung*) w Niemczech, stosować do MMN współczesne modele opadów maksymalnych wg tabeli 8. Przyjmowane częstości deszczów obliczeniowych powinny być już obecnie podwyższane - względem standardów [2, 3, 4] (w granicach zaproponowanych w tab. 3), ze względu na prognozowane zmiany klimatu [1, 5].

Tab. 8. Zalecane modele i częstości opadów do wymiarowania systemów odwodnieniowych wg [1]

Standard odwodnienia terenu wg PN-EN 752:2008:2017 [2, 3]	Zalecane modele opadów i częstości deszczu wg [1]	
	C - do wymiarowania kanałów deszczowych	C_z - do wymiarowania zbiorników retencyjnych
Tereny pozamiejskie (wiejskie)	Modele lokalne, $C \geq 1$ rok	Modele lokalne, $C_z \geq 2$ lata
Tereny mieszkaniowe	Modele lokalne lub model Bogdanowicz-Stachy, $C \geq 2$ lata	Modele lokalne lub model Bogdanowicz-Stachy, $C_z \geq 5$ lat
Centra miast, tereny usług i przemysłu	Modele lokalne lub model Bogdanowicz-Stachy, $C \geq 5$ lat	Modele lokalne lub model Bogdanowicz-Stachy, $C_z \geq 10$ lat
Podziemne obiekty komunikacyjne, przejścia i przejazdy pod ulicami itp.	Modele lokalne lub model Bogdanowicz-Stachy, $C \geq 10$ lat	Modele lokalne lub model Bogdanowicz-Stachy, $C_z \geq 20$ lat

W szczególności, we Wrocławiu stosować można 2 **lokalne modele probabilistyczne opadów maksymalnych** (I. model - oparty na rozkładzie Fishera-Tippetta typu III_{min} i danych pomiarach z lat 1960-2009 [10]), dla zakresu $t_d \in [5; 4320]$ minut i $C \in [1; 100]$ lat, postaci IDF ($q_{max} = 166,7h_{max}/t_d$), wg [1]:

$$q_{max} = 166,7[-4,58 + 7,41t_d^{0,242} + (97,11t_d^{0,0222} - 98,68)\left(-\ln \frac{1}{C}\right)^{0,809}]t_d^{-1} \quad (4)$$

lub (II. model - oparty na uogólnionym rozkładzie wykładniczym GED) [1]:

$$q_{\max} = 166,7 \left\{ -4,58 + 7,41 t_d^{0,242} - (186,5 t_d^{0,0106} - 188,0) \ln \left(1 - \left(1 - \frac{1}{C} \right)^{0,911} \right) \right\} t_d^{-1} \quad (5)$$

gdzie:

q_{\max} - maksymalne jednostkowe natężenie opadu (dla $t_d = t_p$), $\text{dm}^3/(\text{s}\cdot\text{ha})$,

t_d - czas trwania deszczu, min,

C - częstość (powtarzalność) deszczu obliczeniowego, lata.

W tabeli 9 zestawiono dla przykładu jednostkowe natężenia deszczu (q_{\max}) obliczone z modelu (5), dla praktycznego do projektowania systemów kanalizacyjnych zakresu czasów trwania opadów: $t_d \in [5; 120]$ minut i częstości występowania: $C \in \{1; 2; 5; 10\}$ lat, tj. do sporządzania tzw. krzywych deszczów (- postaci: $q_{\max} = f(t_d)$ - dla przyjętej wartości C).

Tab. 9. Maksymalne jednostkowe natężenia deszczów we Wrocławiu wg modelu (5)

Czas t_d [min]	Natężenie jednostkowe q_{\max} [$\text{dm}^3/(\text{s}\cdot\text{ha})$] dla częstości:			
	$C = 1$ rok	$C = 2$ lata	$C = 5$ lat	$C = 10$ lat
5	212,0	255,2	308,5	348,2
10	139,3	178,6	227,0	263,2
15	107,7	140,8	181,7	212,2
20	89,3	117,9	153,1	179,4
30	68,3	90,9	118,6	139,4
40	56,3	75,1	98,2	115,5
50	48,4	64,6	84,5	99,4
60	42,7	57,0	74,6	87,7
80	35,0	46,7	61,0	71,8
100	30,0	39,9	52,1	61,2
120	26,4	35,1	45,7	53,7

Natomiast, na terenie całego kraju można stosować **regionalny model probabilistyczny opadów maksymalnych Bogdanowicz – Stachý** (oparty na pomiarach z okresu lat 1960-1990 [12]), dla zakresu $t_d \in [5; 4320]$ minut i $C \in [2; 100]$ lat, o postaci IDF, wg [1, 10, 13]:

$$q_{\max} = 166,7 [1,42 t_d^{0,33} + \alpha(R, t_d)] \cdot \left(-\ln \frac{1}{C} \right)^{0,584} t_d^{-1} \quad (6)$$

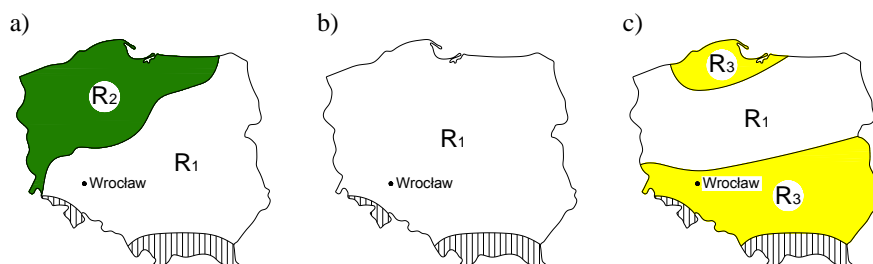
gdzie:

q_{\max} - maksymalne jednostkowe natężenie deszczu (dla $t_d = t_p$), $\text{dm}^3/(\text{s}\cdot\text{ha})$,

t_d - czas trwania deszczu, min,

C - częstość (powtarzalność) występowania deszczu obliczeniowego, lata,

$\alpha(R, t_d)$ - parametr skali zależny od regionu Polski i czasu t_d (wg rys. 1).



Rys. 1. Regiony opadów maksymalnych: a) dla czasów trwania deszczu $t_d \in [5; 60]$ min; b) dla $t_d \in [60; 720]$ min; c) dla $t_d \in [720; 4320]$ min (R_1 - region centralny; R_2 - region północno-zachodni; R_3 - region południowy i nadmorski) [12]

W regionie centralnym Polski (R_1) parametr α obliczany jest z wzorów:

$$\alpha(R, t_d) = 4,693 \ln(t_d + 1) - 1,249 \quad - \text{ dla } t_d \in [5; 120) \text{ min,} \quad (6.1)$$

$$\alpha(R, t_d) = 2,223 \ln(t_d + 1) + 10,639 \quad - \text{ dla } t_d \in [120; 1080) \text{ min,} \quad (6.2)$$

$$\alpha(R, t_d) = 3,01 \ln(t_d + 1) + 5,173 \quad - \text{ dla } t_d \in [1080; 4320] \text{ min.} \quad (6.3)$$

W regionie północno-zachodnim (R_2) parametr α obliczany jest z wzorów (dla czasów trwania opadów ≥ 60 minut region R_2 zanika, przechodząc w R_1 [12]):

$$\alpha(R, t_d) = 3,92 \ln(t_d + 1) - 1,662 \quad - \text{ dla } t_d \in [5; 30] \text{ min,} \quad (6.4)$$

$$\alpha(R, t_d) = 9,160 \ln(t_d + 1) - 19,6 \quad - \text{ dla } t_d \in (30; 60) \text{ min.} \quad (6.5)$$

W regionach południowym i nadmorskim (R_3) parametr α obliczany jest z wzoru:

$$\alpha(R, t_d) = 9,472 \ln(t_d + 1) - 37,032 \quad - \text{ dla } t_d \in [720; 4320] \text{ min.} \quad (6.6)$$

Uwaga: Model opadów maksymalnych Bogdanowicz – Stachý (6) nie obejmuje obszarów podgórszych i górskich (zakreskowane na rys. 1). Nie może być też stosowany dla częstotści deszczy pojawiających się raz na rok ($C = 1$) [1, 6, 10, 13].

1.2. Zalecenia do doboru kanałów deszczowych

Biorąc pod uwagę prognozowany wzrost intensywności opadów w przyszłości, jako minimalną średnicę kanałów deszczowych w miastach, zaleca się obecnie przyjmować $D_{\min} = 0,40$ m, a tylko w uzasadnionych przypadkach stosować można $D = 0,30$ m - na początkowych odcinkach sieci, przy znacznych spadkach terenu (na podstawie symulacji komputerowych dla przyszłych obciążeń opadami, wg podręcznika [1]).

Minimalne spadki dna kanałów deszczowych można określać ze znanej formuły: $i_{\min} = 1/D$ (i_{\min} w [‰] dla D w [m]). Przykładowo, dla $D_{\min} = 0,40$ m, $i_{\min} = 1/0,40 = 2,5\%$, przy czym dla $D \geq 1,0$ m, $i_{\min} = 1,0\%$. Spadek maksymalny kanałów deszczowych (i_{\max}) powinien wynikać z warunku nieprzekraczania prędkości maksymalnej $V_{\max} = 5,0$ m/s – w warunkach całkowitego wypełnienia danego przekroju (średnicy) kanału. Przykładowo dla $D_{\min} = 0,40$ m, $i_{\max} = 90\%$ [1, 8].

Kanały deszczowe należy dobierać na niecałkowite wypełnienie, tj. maksymalnie do 90% przepustowości całkowitej (Q_o) danego przekroju (np. średnicy D) kanału - wg zaleceń DWA-A118 z 2006 r. [9], czyli do względnego wypełnienia [1]:

- $h/D < 0,75$ - dla kanałów o przekroju kołowym (o średnicy D),
- $h/H < 0,79$ - dla kanałów jajowych (o wysokości przekroju $H = 1,5B$), oraz
- $h/H < 0,72$ - dla kanałów dzwonowych (o wysokości przekroju $H = 0,85B$, gdzie B oznacza szerokość przekroju w tzw. pachach).

Uwzględniając zmiany klimatu, celowe staje się także zwiększenie minimalnej średnicy przykanalików z deszczowych wpustów ulicznych - z $D = 0,15$ m na $D = 0,20$ m, a także zwiększenie liczby projektowanych wpustów deszczowych (z typowym rusztem $0,4 \times 0,6$ m), tj. zmniejszenie ich rozstawów, z obecnie zalecanych ≤ 30 m, do rozstawów ≤ 25 m - w zależności od klasy drogi i spadków niwelety jezdni - wg tabeli 10 (na podstawie [14, 15]).

Tab. 10. Zalecane odstępy między wpustami ulicznymi wg [14, 15]

Maksymalny odstęp między wpustami [m]	Spadek podłużny niwelety drogi [%]
≤ 25	> 1,0
≤ 15	0,5 do 1,0
≤ 10	< 0,5

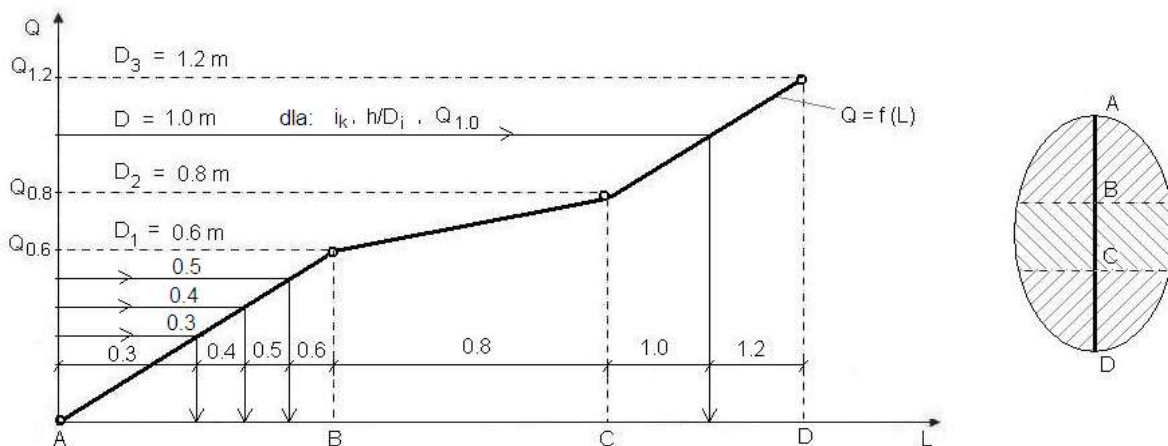
Uwaga: Przykrycie kanału deszczowego należy określać z uwzględnieniem strefy przemarzania gruntu, przy czym np. w I strefie: $H_{\min} \geq 1,0$ m (z zapasem 0,2 m) [1, 8].

Przykład metodyczny nr 3. Dotyczy przyporządkowania „pośrednich” średnic kanałów - na odcinkach zwymiarowanego kolektora deszczowego A-B-C-D, wg schematu na rysunku 2.

Kolektor AD podzielono na 3 odcinki i obliczono miarodajne do doboru średnic strumienie wód deszczowych: Q_B , Q_C i Q_D :

- na odcinku AB – dla Q_B i spadku dna kanału i_{k1} dobrano średnicę: $D_1 = 0,6$ m,
- na odcinku BC – dla Q_C i spadku dna kanału i_{k2} dobrano średnicę: $D_2 = 0,8$ m,
- na odcinku CD – dla Q_D i spadku dna kanału i_{k3} dobrano średnicę: $D_3 = 1,2$ m.

Do wyznaczenia położenia „pośrednich” średnic na długości kolektora sporządzono wykres pomocniczy: $Q = f(L_{AD})$, na podstawie którego (rys. 2), przyjmując liniowy przyrost strumienia na długości odcinków kanału, określono „położenie” innych średnic, tj. np.: $D = 0,3$ m, $D = 0,4$ m i $D = 0,5$ m (- na odcinku AB) oraz $D = 1,0$ m (- na odcinku CD).



Rys. 2. Wykres metodyczny do określania położenia pośrednich średnic kanałów

Uwaga: Spadek dna kanału o średnicy D_i musi być odpowiedni hydraulicznie: $i_{k \min} \geq 1/D_i$.

2. Kanalizacja ściekowa jednostki osadniczej

2.1. Założenia wyjściowe do projektu

2.1.1. Metoda wymiarowania kanalizacji ściekowej

Grawitacyjne kanały ściekowe (tj. bytowo-gospodarcze i przemysłowe) wymiaruje się na: maksymalny godzinowy strumień objętości ścieków bytowo-gospodarczych i przemysłowych (w dobie maksymalnej), z uwzględnieniem strumienia wód przypadkowych, tj. infiltracyjnych i deszczowych (w okresie mokrej pogody).

Miarodajny do wymiarowania kanałów ściekowych strumień objętości $Q_{m\ \acute{s}c}$ (w dm^3/s) obliczać należy z wzoru [1, 9]:

$$Q_{m\ \acute{s}c} = Q_{bg} + Q_p + Q_{inf} + Q_{wd} \quad (7)$$

lub ogólnie:

$$Q_{m\ \acute{s}c} = Q_{bg} + Q_p + Q_{przyp} \quad (8)$$

gdzie:

- Q_{bg} - strumień ścieków bytowo-gospodarczych, dm^3/s ,
- Q_p - strumień ścieków przemysłowych, dm^3/s ,
- Q_{inf} - strumień wód infiltracyjnych (przypadkowy), dm^3/s ,
- Q_{wd} - strumień wód deszczowych (przypadkowy), dm^3/s ,
- Q_{przyp} - łączny strumień wód przypadkowych ($Q_{inf} + Q_{wd}$), dm^3/s .

Kanały ściekowe należy dobierać na miarodajną wartość strumienia ścieków $Q_{m\ \acute{s}c}$ (z wzorów (7) lub (8)), przy założeniu niecałkowitego wypełnienia kanału, czyli z pozostawieniem rezerwy na przyszłościowy rozwój, tj. potencjalny wzrost wartości współczynnika spływu ścieków - w przyszłości.

2.1.2. Bilans ścieków bytowo-gospodarczych i przemysłowych

Bilans odpływu ścieków bytowo-gospodarczych i przemysłowych opracowuje się analogicznie - wg podobnych zasad jak bilans zapotrzebowania na wodę do wymiarowania wodociągów. Obecnie odstępuje się od sporządzania szczegółowych bilansów wodnych, zwłaszcza na perspektywę ≥ 50 lat, na rzecz bilansów opartych na wskaźnikach - jednostkowych bądź scalonych.

W metodach bilansowania odpływu ścieków bytowo-gospodarczych i przemysłowych wykorzystuje się zwykle wskaźniki zużycia wody/odpływu ścieków:

- **jednostkowe, średnio-dobowe** (w dm^3/d) - w przeliczeniu na mieszkańca (Mk), bądź
- **scalone, maksymalne-godzinowe** (w dm^3/s) - w przeliczeniu na mieszkańca (Mk) i/lub na powierzchnię jednostkową danej zlewni (w ha).

Strumień objętości odpływu ścieków bytowo-gospodarczych (Q_{bg}) i przemysłowych (Q_p) można więc zbilansować dwoma metodami:

- **metodą wskaźników średnich dobowych** (MWŚD), bądź alternatywnie
- **metodą wskaźników maksymalnych godzinowych** (MWMG).

Metoda wskaźników średnich dobowych (MWŚD)

Najpierw bilansuje się średnie dobowe (w m³/d) zapotrzebowanie na wodę w poszczególnych elementach zagospodarowania przestrzennego (Lp. od 1 do 4, w tab. 11), posługując się liczbą mieszkańców (*LMk*) miasta/osiedla/strefy i wskaźnikiem jednostkowego, średniego dobowego zapotrzebowania na wodę (*q_j*):

$$Q_{d\ sr} = 0,001 \sum_{i=1}^4 q_j \cdot LMk \quad (9)$$

gdzie:

q_j - wskaźnik jednostkowego dobowego zużycia wody na mieszkańca, w dm³/d (tab. 11),
LMk - liczba mieszkańców miasta/osiedla/strefy, Mk.

Tab. 11. Wskaźniki jednostkowego zapotrzebowania na wodę w miastach wg [16, 17]

Lp.	Elementy zagospodarowania przestrzennego terenu zurbanizowanego	Jednostka	Wskaźnik zużycia wody <i>q_j</i> , dm ³ /d	Współczynnik nierównomierności dobowej, <i>N_d</i>
1.	Mieszkalnictwo, wg [16]:			
	- wielo- i jednorodzinne I	Mk	140 ÷ 160	1,5 ÷ 1,3
	wg klasy wyposażenia II	Mk	80 ÷ 100	1,5 ÷ 1,3
	instalacyjnego mieszkań: III	Mk	70 ÷ 90	2,0 ÷ 1,5
2.	Usługi ogólno-miejskie, wg [17]	Mk	60	1,3
3.	Komunikacja zbiorowa, wg [17]	Mk	4	1,2
4.	Tereny przemysłowo-składowe, wg [17]	Mk	70	1,15

I klasa - pełne wyposażenie instalacyjne mieszkań z dostawą ciepłej wody użytkowej z zewnątrz;
 II klasa - pełne wyposażenie instalacyjne mieszkań z lokalnym źródłem ciepłej wody użytkowej;
 III klasa - niepełne wyposażenie instalacyjne mieszkań z lokalnym źródłem ciepłej wody użytkowej.

Uwaga: Podane w tabeli 11 informacje dotyczące wskaźników zapotrzebowania na wodę w miastach - wg RMI z 2002 roku [16], w odniesieniu do mieszkalnictwa z I klasą wyposażenia instalacyjnego mieszkań (tj. z dostawą ciepłej wody użytkowej z zewnątrz – np. z miejskiej ciepłowni) są zawyżone: 140÷160 dm³/d na Mk, w stosunku do wskaźnika dla II klasy (tj. mieszkań z lokalnym źródłem ciepłej wody użytkowej) wynoszącego: 80÷100 dm³/d na Mk. Według najnowszych badań [1, 18, 19, 20], należałoby na perspektywę dla I klasy przyjmować wskaźnik jednostkowy w granicach: **100÷160 dm³/d na Mk** (niższe wartości dla małych miast).

Następnie oblicza się maksymalny dobowy strumień odpływu ścieków (w m³/d), z wykorzystaniem wzorów [1]:

$$Q_{d\max\ sc} = \Sigma (Q_{d\ sr} \cdot N_d \cdot \eta) \quad (10)$$

lub

$$Q_{d\max\ sc} = 0,001 \Sigma (q_j \cdot LMk \cdot N_d \cdot \eta) \quad (11)$$

gdzie:

N_d – współczynnik nierównomierności dobowej (wg tab. 11), -,

η – współczynnik (zmniejszający) określający strumień odpływu ścieków, -.

Wielkość odpływu ścieków jest zwykle mniejsza od poboru wody wodociągowej o wartość mnożnika [1, 16, 17]:

- $\eta = 0,95$ - dla mieszkalnictwa (wielo- i jednorodzinnego),
- $\eta = 0,95$ - dla usług ogólno-miejskich,
- $\eta = 1,0$ - dla komunikacji zbiorowej,
- $\eta = 0,85$ - dla terenów przemysłowo-składowych.

Przyjmując za podstawę obliczony z wzorów (10) lub (11) maksymalny dobowy strumień ścieków w poszczególnych elementach zagospodarowania przestrzennego (Lp. 1 ÷ 4 – wg tab. 11) jako $Q_{dmax\ \acute{s}c} = 100\%$, sporządza się histogramy odpływów godzinowych ścieków (w m^3/h), wykorzystując do tego (z braku odpowiednich badań) istniejące modele symulacyjne zapotrzebowania na wodę, tj. procentowe rozbiory w poszczególnych godzinach (w dobie maksymalnej), podane w tabeli 12 [1, 8, 17].

Tab. 12. Modele symulacyjne rozkładów godzinowych zapotrzebowania na wodę/odpływu ścieków w dobie maksymalnej [1, 17]

Godziny od - do	Elementy zagospodarowania przestrzennego				
	Mieszkalnictwo		Usługi ogólno- miejskie	Komunika- cja zbiorowa	Tereny przemysłowe*
	wieloro- dzinne	jedno- rodzinne			
%	%	%	%	%	
0 – 1	1,25	1,35	1,00	-	0,50
1 – 2	0,85	0,65	1,00	16,50	0,50
2 – 3	0,85	0,65	1,00	16,50	0,50
3 – 4	0,85	0,65	1,00	16,50	0,50
4 – 5	2,10	0,85	1,00	16,50	0,50
5 – 6	2,50 (3,00)	3,00	1,00	-	0,50
6 – 7	5,45 (6,25)	5,15	1,00	-	8,75
7 – 8	6,25 (5,45)	4,75	2,00	-	8,75
8 – 9	4,95 (4,45)	4,45	3,00	-	8,75
9 – 10	4,40	4,20	7,00	8,50	8,75
10 – 11	4,20	3,40	10,00	8,50	8,75
11 – 12	4,05	3,40	12,00	8,50	8,75
12 – 13	3,90	3,40	12,00	8,50	8,75
13 – 14	4,30	4,00	12,00	-	8,75
14 – 15	4,40	4,20	10,00	-	3,25
15 – 16	4,75	3,80	7,00	-	3,25
16 – 17	5,65	4,35	3,00	-	3,25
17 – 18	5,30	5,00	3,00	-	3,25
18 – 19	5,65	6,85	3,00	-	3,25
19 – 20	6,30	9,15	3,00	-	3,25
20 – 21	6,60	9,00	2,00	-	3,25
21 – 22	6,80	7,45	2,00	-	3,25
22 – 23	5,45	5,50	1,00	-	0,50
23 – 24	3,20	4,80	1,00	-	0,50
Suma	100%	100%	100%	100%	100%

* - przy założonej zmienności: I zmiana - 70%, II zmiana - 26%, III zmiana - 4%;
() - w nawiasach wartości dla miast o przewadze funkcji przemysłowych.

Zsumowanie odpływów ścieków w poszczególnych godzinach z wszystkich elementów zagospodarowania (tab. 12), prowadzi do określenia największej wartości godzinowego odpływu ścieków bytowo-gospodarczych i przemysłowych (w m^3/h):

$$Q_{hmax\ \acute{s}c} = Q_{bg} + Q_p$$

- która jest następnie przeliczana na dm^3/s (1/3,6) - do bilansu ścieków wg wzorów (7) i (8).

Metoda wskaźników maksymalnych godzinowych (MWMG)

Z braku wiarygodnych – aktualnych danych o wskaźnikach jednostkowych oraz nierównomierności dobowej i godzinowej odpływu ścieków bytowo-gospodarczych z terenów zurbanizowanych w Polsce, można posługiwać się wytycznymi niemieckimi wg DWA-A118 z 2006 r. [9], które na perspektywę 50 lat przewidują wskaźnik scalony:

$$q_{bg} = 0,004 \div 0,005 \text{ dm}^3/\text{s na mieszkańca}$$

- jako maksymalny godzinowy odpływ ścieków bytowo-gospodarczych **z mieszkalnictwa wraz z usługami ogólno-miejskimi**. Stąd strumień ścieków Q_{bg} (w dm^3/s) można oszacować z wzoru [1, 9]:

$$Q_{bg} = q_{bg} \cdot Z \cdot F_{bg} \quad (12)$$

lub

$$Q_{bg} = q_{bg} \cdot LMk \quad (13)$$

gdzie:

q_{bg} - wskaźnik maksymalnego odpływu ścieków bytowo-gospodarczych, $\text{dm}^3/(\text{s} \cdot \text{Mk})$,

Z - gęstość zaludnienia miast, Mk/ha ,

F_{bg} - powierzchnia zlewni miejskiej ścieków bytowo-gospodarczych, ha ,

LMk - liczba mieszkańców miasta/osiedla/strefy, Mk .

Zaludnienie terenów (Z) kształtuje się zwykle na poziomie od **20 Mk/ha** do **300 Mk/ha**.

Odnośnie ścieków przemysłowych – na wydzielonych powierzchniach miasta (F_p w ha) należy posługiwać się wskaźnikami scalonymi maksymalnego godzinowego odpływu ścieków przemysłowych wg DWA-A118:2006 [9], skąd strumień Q_p (w dm^3/s) oszacować można z ogólnego wzoru [1, 9]:

$$Q_p = q_p \cdot F_p \quad (14)$$

gdzie:

$q_{p(n)} = 0,2 \div 0,5 \text{ dm}^3/(\text{s} \cdot \text{ha})$ - wskaźnik odpływu ścieków z przemysłu niewodochłonnego,

$q_{p(w)} = 0,5 \div 1,0 \text{ dm}^3/(\text{s} \cdot \text{ha})$ - wskaźnik odpływu ścieków z przemysłu wodochłonnego,

F_p – powierzchnia zlewni ścieków przemysłowych (powierzchnia wydzielonych terenów przemysłowych), ha .

2.1.3. Bilans wód przypadkowych

Ustalanie miarodajnych do wymiarowania (doboru) kanałów ściekowych strumieni objętości musi uwzględniać nieuniknione - dodatkowy dopływ wód przypadkowych, tj. wód infiltracyjnych i wód deszczowych.

Wody przypadkowe, to obok infiltrujących do kanałów wód podziemnych (wskutek nieszczelności), głównie wody deszczowe i roztopowe dopływające do kanałów ściekowych, podczas tzw. mokrej pogody, przez:

- otwory „wentylacyjne” we włączach studzienek kanalizacyjnych,
- błędne podłączenia np. rynien dachowych, wpustów podwórzowych itp.

Wg wytycznych DWA-A118:2006 [9] należy przyjmować następujące wartości wskaźników dla wód przypadkowych (do bilansu ścieków wg wzoru o ogólnej postaci (7)):

- $q_{inf} \in [0,05; 0,15] \text{ dm}^3/(\text{s}\cdot\text{ha})$ - dla wód infiltracyjnych,
- $q_{wd} \in [0,2; 0,7] \text{ dm}^3/(\text{s}\cdot\text{ha})$ - dla wód deszczowych,

czyli łącznie

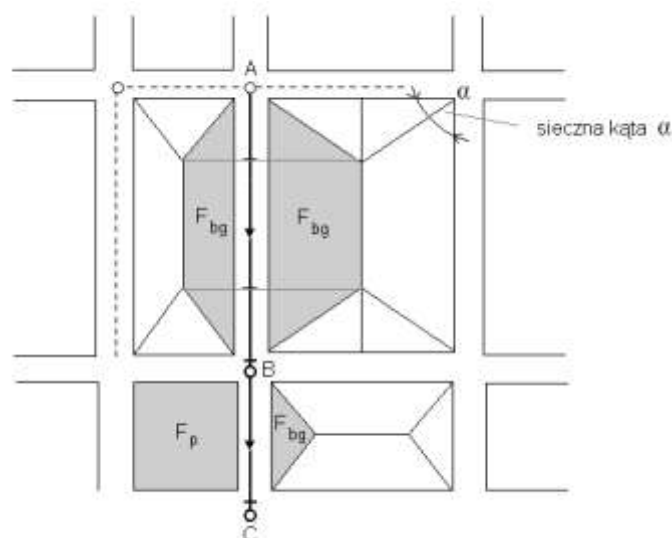
- $q_{przyp} \in [0,25; 0,85] \text{ dm}^3/(\text{s}\cdot\text{ha})$ (do bilansu ścieków wg wzoru o ogólnej postaci (8)).

Strumień wód przypadkowych $Q_{przyp} = Q_{inf} + Q_{wd}$ (w dm^3/s) można określać oddzielnie – dla powierzchni cząstkowych zlewni ścieków bytowo-gospodarczych (F_{bg} w ha) oraz zlewni ścieków przemysłowych (F_p w ha), korzystając z wzorów [1]:

$$Q_{przyp} = (q_{inf} + q_{wd}) \cdot F_{bg} \quad (15)$$

$$Q_{przyp} = (q_{inf} + q_{wd}) \cdot F_p \quad (16)$$

Przykład metodyczny nr 4. Dotyczy podziału zlewni miejskiej ścieków bytowo-gospodarczych i przemysłowych na powierzchnie cząstkowe, przynależne do dwóch odcinków kanału ściekowego A-B-C (wg schematu na rys. 3) i metodyki obliczenia strumieni ścieków miarodajnych do doboru średnic (wg bilansu metodą wskaźników maksymalnych godzinowych (MWMG) z bilansem wód przypadkowych).



Rys. 3. Schemat podziału zlewni ścieków na powierzchnie cząstkowe

Średnicę kanału na odcinku AB należy dobrać na strumień miarodajny Q_B (z wzorów (12) i (15) dla zlewni bytowo-gospodarczej) – w przekroju bezpośrednio przed węzłem B:

$$Q_B = q_{bg} \cdot Z \cdot \sum F_{bg \text{ AB}} + [(q_{inf} + q_{wd}) \cdot \sum F_{bg \text{ AB}}],$$

a średnicę kanału na odcinku BC należy dobrać na łączny strumień Q_C , tj. z odcinka AB + z odcinka BC – w przekroju przed węzłem C (z wzorów: (12) i (15) oraz (14) i (16) - odpowiednio dla zlewni bytowo-gospodarczej i przemysłowej):

$$Q_C = Q_B + q_{bg} \cdot Z \cdot F_{bg \text{ BC}} + [(q_{inf} + q_{wd}) \cdot F_{bg \text{ BC}}] + q_p \cdot F_p \text{ BC} + [(q_{inf} + q_{wd}) \cdot F_p \text{ BC}]$$

2.2. Zalecenia do doboru kanałów ściekowych

Jako minimalną średnicę kanałów bytowo-gospodarczych i przemysłowych (ściekowych) w miastach zaleca się obecnie $D_{\min} = 0,25 \text{ m}$ - wg DWA-A 118:2006 [9]. W uzasadnionych przypadkach dopuszcza się $D = 0,20 \text{ m}$ – na początkowych odcinkach sieci, przy znacznych spadkach terenu i luźnej zabudowie.

Minimalne spadki dna (grawitacyjnych) kanałów ściekowych można obliczać ze znanej formuły: $i_{\min} = 1/D$ (i_{\min} w [‰] dla D w [m]). Jednakże, dla małych względnych wypełnień ściekami: $h/D \leq 0,3$, powinny być one znacznie większe (niż obliczane z formuły $1/D$), ze względu na warunki transportu zawieszin (organicznych i mineralnych) zawartych w ściekach, w tym wleczonych przy dnie. Z punktu widzenia hydromechaniki, transport zanieczyszczeń w kanałach ściekowych można zapewnić, jeżeli opór tarcia wyrażony stycznymi naprężeniami ścinającymi (pomiędzy ścianką rury a ściekami) będzie większy od $\tau_{\min} = 2,0 \text{ Pa}$. Stąd wzór na i_{\min} przyjmuje postać [1]:

$$i_{\min} = 0,816 \cdot 10^{-3} \frac{R_h}{R_{hn}} \frac{1}{D} \quad (17)$$

gdzie:

D - średnica (wewnętrzna) kanału ściekowego, m,

R_{hn} - promień hydrauliczny przy częściowym wypełnieniu kanału, m,

R_h - promień hydrauliczny przy całkowitym wypełnieniu kanału ($R_h = D/4$), m.

Przykład metodyczny nr 5. Dla kanału ściekowego o średnicy $D_{\min} = 0,25 \text{ m}$, z formuły $1/D$ spadek minimalny wynosi $i_{\min} = 1/0,25 = 4,0\%$. Z obliczeń wg wzoru (17) otrzymamy, dla:

- $h/D = 10\%$ ($R_h/R_{hn} = 3,936$) - $i_{\min} = 0,01070 = 12,8\%$
- $h/D = 20\%$ ($R_h/R_{hn} = 2,073$) - $i_{\min} = 0,00564 = 6,8\%$
- $h/D = 30\%$ ($R_h/R_{hn} = 1,462$) - $i_{\min} = 0,00398 = 4,8\%$
- $h/D = 40\%$ ($R_h/R_{hn} = 1,167$) - $i_{\min} = 0,00317 = 3,8\%$
- $h/D = 50\%$ ($R_h/R_{hn} = 1,000$) - $i_{\min} = 0,00272 = 3,3\%$
- $h/D = 100\%$ ($R_h/R_{hn} = 1,000$) - $i_{\min} = 0,00272 = 3,3\%$

Tak obliczone spadki (z wzoru (17)) dla $h/D \leq 0,3$ gwarantują już samooczyszczanie się kanałów ściekowych. Są też większe od obliczonych z warunku zachowania prędkości minimalnej $V_{\min} = 0,8 \text{ m/s}$ (- przy całkowitym wypełnieniu), bowiem wówczas dla $D_{\min} = 0,25 \text{ m}$, $i_{\min} = 4,4\%$ [8]. Szczegółowe zasady obliczeń i_{\min} podane są w podręczniku [1].

Spadek maksymalny kanału ściekowego (i_{\max}) powinien wynikać z warunku nieprzekraczania prędkości maksymalnej $V_{\max} = 3,0 \text{ m/s}$ - przy całkowitym wypełnieniu danej średnicy kanału. Przykładowo, dla $D_{\min} = 0,25 \text{ m}$, $i_{\max} = 60\%$ [1, 8].

Kanały ściekowe dobierać należy na względne wypełnienia: $0,5 < h/D < 0,7$ [1, 9, 20]. Odpowiada to przepustowości przekroju kołowego: od 50% do 83% względem całkowitej Q_o . Pozostaje więc rezerwa na przyszłościowy rozwój - od 50% Q_o do 17% Q_o – w zależności od ważności kanału w systemie (większe wartości rezerwy dla głównych kanałów-kolektorów).

Uwaga: Przykrycie kanałów ściekowych w miastach należy określać z uwzględnieniem wyżej układanych kanałów deszczowych, wówczas najczęściej $H_{\min} \geq 1,8 \text{ m}$. W przypadku przykanalików, np. w I strefie przemarzania gruntu $H_{\min} \geq 1,2 \text{ m}$ (z zapasem 0,4 m) [1, 8].

3. Zakresy projektów z kanalizacji grawitacyjnej i grawitacyjno-pompowej

3.1. Założenia metodyczne i zakres obliczeń do ćwiczeń projektowych (na I stop.)

Temat ćwiczenia projektowego - w ramach kursu „Kanalizacja 2”:

„Projekt koncepcyjny kanalizacji rozdzielczej (deszczowej i ściekowej) miasta”

Dane i założenia wyjściowe do ćwiczenia projektowego:

1. **Schemat** sytuacyjno-wysokościowy miasta nr – z trasami kanałów (skala 1:5000);
2. Bilans wód opadowych wg metody maksymalnych natężeń (MMN);
3. Częstość deszczu obliczeniowego wg PN-EN 752 (- tereny mieszkaniowe): $C = 2$ lata;
4. Probabilistyczny model opadów maksymalnych Bogdanowicz – Stachý (dla regionu R_1);
5. Szczytowy współczynnik spływu powierzchniowego przyjąć równy stopniowi uszczelnienia powierzchni zlewni deszczowej: $\psi_s = \psi = \dots$ (dla zakresu: $0,30 \div 0,50$);
6. Minimalny czas trwania deszczu miarodajnego: $t_{dmin} = 10$ min;
7. Bilans ścieków bytowo-gospodarczych i przemysłowych wg metody wskaźników średnich dobowych - MWŚD (- przy wykorzystaniu bilansu zapotrzebowania na wodę);
8. Liczba mieszkańców miasta w perspektywie ≥ 50 lat (np. 2070 r.): $LMk = \dots$ Mk;
9. Wyposażenie sanitarne mieszkań (klasy i % liczby mieszkańców):
kl. I –% LMk ; kl. II –% LMk , kl. III –% LMk ;
10. Bilans wód przypadkowych dla strumienia jednostkowego: $q_{przyp} = 0,5 \text{ dm}^3/(\text{s}\cdot\text{ha})$;
11. Dobór kanałów z nomogramów dla $n = 0,013 \text{ s/m}^{1/3}$;
12. Spadki dna kanałów (beton, kamionka) - z formuły $1/D$;
13. Zagłębienie/przykrycie kanałów wg I strefy przemarzania gruntu;
14. Łączenie kanałów z wyrównaniem zwierciadeł ścieków - z dokładnością: ± 5 cm;
15. Projekt koncepcyjny jednego obiektu (np. studzienka rewizyjna lub połączeniowa);
16. Opis techniczny.

3.2. Założenia metodyczne i zakres obliczeń do prac dyplomowych inżynierskich

Zalecany temat - projektowy na I stopniu:

Temat pracy inżynierskiej:

„Koncepcja programowo-przestrzenna systemu kanalizacji rozdzielczej miasta nr ...”

Dane i założenia wyjściowe do projektu:

1. **Plan** sytuacyjno-wysokościowy miasta wg schematu nr ... z układem ulic (skala 1:5000);
2. Bilans wód opadowych wg metody maksymalnych natężeń (MMN);
3. Częstości deszczu obliczeniowego (wg PN-EN 752): I strefa $C = 5$ lat, II strefa $C = 2$ lata;
4. Probabilistyczny model opadów maksymalnych Bogdanowicz – Stachý (dla regionu R_1);

5. Szczytowe współczynniki spływu (ψ_s) ustalić odrębnie w 2 strefach, na podstawie przyjętych stopni uszczelnienia: w I strefie (centrum): $\psi_I = \dots$ oraz w II strefie: $\psi_{II} = \dots$ ($\psi_{I,II}$ z zakresu $0,50 \div 0,25$), dla danej częstości (C) i średnich spadków terenu (i_t);
6. Minimalne czasy trwania deszczu miarodajnego (t_{dmin}) ustalić odrębnie w 2 strefach, na podstawie średnich spadków terenu (i_t) i stopni uszczelnienia powierzchni zlewni (ψ);
7. Bilans ścieków bytowo-gospodarczych i przemysłowych wg metody MWŚD lub MWMG;
8. Liczba mieszkańców miasta w perspektywie ≥ 50 lat (np. 2070 roku): $LMk = \dots$ Mk, w tym w I strefie (centrum): $LMk_I = \dots$ Mk oraz w II strefie: $LMk_{II} = \dots$ Mk;
9. Wyposażenie sanitarne mieszkań w strefach (klasy i % liczby mieszkańców miasta): w I strefie (centrum): kl. I – $\dots\%LMk_I$; kl. II – $\dots\%LMk_I$, kl. III – $\dots\%LMk_I$; w II strefie (mieszkalnictwo): kl. I – $\dots\%LMk_{II}$; kl. II – $\dots\%LMk_{II}$, kl. III – $\dots\%LMk_{II}$;
10. Bilans wód przypadkowych dla wskaźnika q_{przyp} z zakresu: $0,25 \div 0,85$ dm³/(s·ha);
11. Dobór kanałów z nomogramów (dla $n = 0,013$ s/m^{1/3}) lub obliczeń (dla $k = 1,5$ mm);
12. Spadki dna kanałów (ściekowych i deszczowych) z formuły $1/D$;
13. Zagłębienie/przykrycie kanałów wg I strefy przemarzania gruntu;
14. Łączenie kanałów w studzienkach z wyrównaniem zwierciadeł (z dokładnością: +/- 5 cm);
15. Projekty koncepcyjne 2 obiektów (np. studzienka połączeniowa, przepust, wylot itp.);
16. Opis techniczny.

3.3. Założenia metodyczne i zakres obliczeń do prac dyplomowych magisterskich

Przykładowe 2 tematy - projektowe (z kanalizacji konwencjonalnej) na II stopniu:

1). Temat pracy magisterskiej:

„Szczegółowa koncepcja programowo-przestrzenna grupowej kanalizacji ściekowej grawitacyjno-pompowej miasta i gminy X”.

Dane i założenia wyjściowe do projektu:

1. **Rzeczywisty plan** sytuacyjno-wysokościowy z zagospodarowaniem przestrzennym jednostek osadniczych (skala 1:500, 1:1000, 1:2000, 1:5000);
2. Bilans ścieków bytowo-gospodarczych i przemysłowych – (głównego) miasta wykonać 2 metodami: MWŚD i MWMG, z wyborem większej wartości strumienia ścieków $Q_{h\acute{s}c}$;
3. Liczba mieszkańców (głównego) miasta w perspektywie 2070 roku: $LMk = \dots$ Mk, w tym w I strefie (centrum): $LMk_I = \dots$ Mk, i w II strefie: $LMk_{II} = \dots$ Mk;
4. Wyposażenie sanitarne mieszkań w strefach (klasy i % liczby mieszkańców miasta): w I strefie: kl. I – $\dots\%LMk_I$; kl. II – $\dots\%LMk_I$, kl. III – $\dots\%LMk_I$; w II strefie: kl. I – $\dots\%LMk_{II}$; kl. II – $\dots\%LMk_{II}$, kl. III – $\dots\%LMk_{II}$;
5. Bilans ścieków na terenach wiejskich wg MWŚD – dla indywidualnych danych;
6. Bilans wód przypadkowych dla wskaźnika q_{przyp} z zakresu: $0,25 \div 0,85$ dm³/(s·ha);
7. Zagłębienie/przykrycie kanałów wg odpowiedniej strefy przemarzania gruntu (I ÷ IV);
8. Łączenie kanałów w studzienkach - z wyrównaniem zwierciadeł, z dokładnością +/- 5 cm;
9. Dobór kanałów z nomogramów (dla $n = 0,013$ s/m^{1/3}) lub obliczeń (dla $k = 1,5$ mm);
10. Minimalne średnie kanałów ściekowych w miastach: $D_{min} = 0,25$ m, poza: $D_{min} = 0,20$ m;

11. Spadki dna kanałów z formuły $1/D$, przy czym dla $h/D \leq 0,3$, i_{\min} obliczać z wzoru (17);
12. Obliczenia hydrauliczne pompowni ścieków z doбором pomp i urządzeń (z katalogów);
13. Projekty koncepcyjne 2 wybranych obiektów (np. pompownia, syfon, przepust, studzienka, płuczka);
14. Opis techniczny.

2). Temat pracy magisterskiej:

„Szczegółowa koncepcja programowo-przestrzenna kanalizacji deszczowej miasta/dzielnicy/wsi Y”.

Dane i założenia wyjściowe do projektu:

1. **Rzeczywisty plan** sytuacyjno-wysokościowy z zagospodarowaniem przestrzennym jednostki osadniczej (skala 1:1000, 1:2000, 1:2500, 1:5000);
2. Bilans wód opadowych wg metody maksymalnych natężeń (MMN);
3. Częstości deszczu obliczeniowego – z uwzględnieniem zmian klimatu, tj.:
 $C = 2$ lata – dla terenów wiejskich oraz $C = 5, 10$ i 50 lat – dla terenów miejskich;
4. Współczesne, probabilistyczne modele opadów maksymalnych, np.: regionalny Bogdanowicz – Stachý (dla R_1 lub R_2), lub lokalne dla Wrocławia, bądź inne - lokalne;
5. Szczytowe współczynniki spływu (ψ_s) ustalać odrębnie w wyodrębnionych strefach (np. centrum, tereny przemysłowe, tereny mieszkaniowe), na podstawie obliczonego stopnia uszczelnienia zlewni (ψ) w strefach, przy uwzględnieniu częstości deszczu (C) i średnich spadków powierzchni terenu (i_t);
6. Minimalne czasy trwania deszczu miarodajnego ($t_{d\min}$) ustalać odrębnie w strefach, na podstawie średnich spadków terenu (i_t) i stopnia uszczelnienia powierzchni zlewni (ψ);
7. Średnice minimalne: kanały deszczowe $D_{\min} = 0,40$ m, przykanaliki $D_{\min} = 0,20$ m;
8. Rozstaw ulicznych wpustów deszczowych ≤ 25 m;
9. Zagłębienie/przykrycie kanałów wg strefy przemarzania gruntu (I ÷ IV);
10. Łączenie kanałów w studzienkach - z wyrównaniem zwierciadeł, z dokładnością ± 5 cm;
11. Dobór kanałów z nomogramów (dla $n = 0,013$ s/m^{1/3}) lub obliczeń (dla $k = 1,5$ mm);
12. Spadki dna kanałów z formuły $1/D$;
13. Obliczenia i dobór urządzeń do podczyszczania ścieków opadowych (z katalogów), lub obliczenia zbiornika retencyjnego;
14. Projekty koncepcyjne 2 wybranych obiektów (np. podczyszczalnia, zbiornik retencyjny, przepust, wylot do odbiornika, wpust deszczowy itp.);
15. Opis techniczny.

Uwaga końcowa:

Tematy i zakresy prac dyplomowych (inżynierskich oraz magisterskich) - o charakterze: **badawczym, analitycznym czy studialno-projektowym**, należy formułować indywidualnie, z uwzględnieniem zainteresowań studentów - dyplomantów specjalności ZWUŚ i ZO (zalecane zwłaszcza na II, a wyjątkowo na I stopniu studiów).

4. Literatura podstawowa

- [1] Kotowski A.: Podstawy bezpiecznego wymiarowania odwodnień terenów. Sieci kanalizacyjne (T. I); Obiekty specjalne (T. II). Wyd. Seidel-Przywecki, Warszawa 2011 (wyd. I), 2015 (wyd. II).
- [2] PN-EN 752:2008: Drain and sewer systems outside buildings (Zewnętrzne systemy odwadniające i kanalizacyjne). PKN, Warszawa 2008.
- [3] PN-EN 752:2017: Drain and sewer systems outside buildings - Sewer system management (Zewnętrzne systemy odwadniające i kanalizacyjne - Zarządzanie systemem kanalizacyjnym). PKN, Warszawa 2017.
- [4] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie. Dz.B.1999, nr 43 (poz. 430).
- [5] Kaźmierczak B., Kotowski A.: The influence of precipitation intensity growth on the urban drainage systems designing. *Theoret. and Applied Climatology* 2014, vol. 118, nr 1, s. 285-296.
- [6] Kotowski A.: Kwantyfikacja problemu zmian klimatu w projektowaniu infrastruktury wodno-kanalizacyjnej miast. (Mat. 60-tej Konf. Nauk. KILiW PAN - Krynica). Monografia Politechniki Lubelskiej 2014, s. 177-189.
- [7] Kotowski A., Kaźmierczak B., Licznar P.: Wybrane problemy projektowania i modelowania odwodnień terenów. *INSTAL* 2018, nr 5, s. 56-61.
- [8] Błaszczyk W., Roman M., Stamatello H.: *Kanalizacja. Tom I. Arkady*, Warszawa 1974.
- [9] DWA-A118:2006: *Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen*. DWA, Hennef 2006.
- [10] Kotowski A., Kaźmierczak B., Dancewicz A.: Modelowanie opadów do wymiarowania kanalizacji. Wyd. Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN. *Inżynieria* nr 68, Warszawa 2010.
- [11] Licznar P., Siekanowicz-Grochowina K., Oktawiec M., Kotowski A., Burszta-Adamiak E.: Empiryczna weryfikacja formuły Błaszczyka do obliczania wartości natężenia deszczu miarodajnego. *Ochrona Środowiska* 2018, vol. 40, nr 2, s. 17-22.
- [12] Bogdanowicz E., Stachý J.: Maksymalne opady deszczu w Polsce. Charakterystyki projektowe. *Materiały badawcze. Hydrologia i Oceanologia*, nr 23. Wyd. IMiGW, Warszawa 1998.
- [13] Licznar P., Burszta-Adamiak E., Kotowski A., Siekanowicz-Grochowina K., Oktawiec M.: Empiryczna weryfikacja modelu Bogdanowicz - Stachý do obliczania wartości natężenia deszczu miarodajnego. *Ochrona Środowiska* 2018, vol. 40, nr 3, s. 21–28.
- [14] Edel R.: *Odwadnianie dróg*. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2007.
- [15] Edel R., Suligowski Z.: Wpływ parametrów wpustów deszczowych na sprawność odwodnienia powierzchniowego dróg i ulic. Wyd. Politechniki Gdańskiej 2004.
- [16] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 14 stycznia 2002 r. w sprawie określania przeciętnych norm zużycia wody. Dz. U. Nr 8 z dnia 31 stycznia 2002 r. (poz. 70).
- [17] Instytut Kształtowania Środowiska: *Wytyczne do programowania zapotrzebowania wody i ilości ścieków w miejskich jednostkach osadniczych*. Ministerstwo Administracji, Gospodarki Terenowej i Ochrony Środowiska. Departament Gospodarki Komunalnej, Warszawa 1978.
- [18] Szopińska K., Pasela R.: Struktura zużycia wody w budownictwie wielorodzinnym. *INSTAL* 2009, nr 5 (296), s. 42-44.
- [19] Nowakowski E.: Wskaźniki zużycia wody w budynkach mieszkalnych i użyteczności publicznej. *Rynek Instalacyjny* 2012, nr 7-8, s. 80-82.
- [20] Kotowski A., Kaźmierczak B.: Zalecenia metodyczne do obliczeń projektowych kanalizacji rozdzielczej. *Technologia Wody* 2019, nr 3 (w druku).

Ważniejsze rozporządzenia ministerialne

1. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 14 stycznia 2002 r. w sprawie określania przeciętnych norm zużycia wody. Dz. U. Nr 8 z dnia 31 stycznia 2002 r. (poz. 70).
2. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego. Dz.U. Nr 137 z dnia 31 lipca 2006 r. (poz. 984).

3. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego. Dz.U. RP z dnia 16 grudnia 2014 r. (poz. 1800).

Ważniejsze normy z zakresu kanalizacji

1. PN-90/B-02711. Kanalizacja. Pomiar ciągły natężenia przepływu objętościowego ścieków. Wytyczne projektowania. PKN, Warszawa 1990.
2. PN-S-02204. Drogi samochodowe. Odwodnienie dróg. PKN, Warszawa 1997.
3. PN-B-12042. Drenowanie. Projektowanie rozstawu i głębokości drenowania na podstawie kryteriów hydrauliczno-hydrologicznych. PKN, Warszawa 1998.
4. PN-B-01700: 1999. Wodociągi i kanalizacja. Urządzenia i sieć zewnętrzna. Oznaczenia graficzne. PKN, Warszawa 1999.
5. PN-B-010702: 1999. Wodociągi i kanalizacja. Zbiorniki. Wymagania i badania. PKN, Warszawa 1999.
6. PN-B-010729: 1999. Kanalizacja. Studzienki kanalizacyjne. PKN, Warszawa 1999.
7. PN-EN 752-1: 2000. Zewnętrzne systemy kanalizacyjne. Pojęcia ogólne i definicje. PKN, Warszawa styczeń 2000.
8. PN-EN 752-2: 2000. Zewnętrzne systemy kanalizacyjne. Wymagania. PKN, Warszawa 2000.
9. PN-EN 752-3: 2000. Zewnętrzne systemy kanalizacyjne. Planowanie. PKN, Warszawa 2000.
10. PN-EN 752-4: 2001. Zewnętrzne systemy kanalizacyjne. Obliczenia hydrauliczne i oddziaływanie na środowisko. PKN, Warszawa 2001.
11. PN-EN 752-5: 2001. Zewnętrzne systemy kanalizacyjne. Modernizacja. PKN, Warszawa 2001.
12. PN-EN 752-6: 2002. Zewnętrzne systemy kanalizacyjne. Układy pompowe. PKN, Warszawa 2002.
13. PN-EN 752-7: 2002. Zewnętrzne systemy kanalizacyjne. Eksploatacja i użytkowanie. PKN, Warszawa 2002.
14. PN-EN 1671: 2001. Zewnętrzne systemy kanalizacji ciśnieniowej. PKN, Warszawa 2001.
15. PN-EN 1091: 2002. Zewnętrzne systemy kanalizacji podciśnieniowej. PKN, Warszawa 2002.
16. PN-EN 12056-1: 2002. Systemy kanalizacji grawitacyjnej wewnątrz budynków. Postanowienia ogólne i wymagania. PKN, Warszawa 2002.
17. PN-EN 12056-2: 2002. Systemy kanalizacji grawitacyjnej wewnątrz budynków. Kanalizacja sanitarna, projektowanie układu i obliczenia. PKN, Warszawa 2002.
18. PN-EN 12056-3: 2002. Systemy kanalizacji grawitacyjnej wewnątrz budynków. Przewody deszczowe. Projektowanie układu i obliczenia. PKN, Warszawa 2002.
19. PN-EN 12056-4: 2002. Systemy kanalizacji grawitacyjnej wewnątrz budynków. Pompownie ścieków. Projektowanie układu i obliczenia. PKN, Warszawa 2002.
20. PN-EN 12056-5: 2002. Systemy kanalizacji grawitacyjnej wewnątrz budynków. Montaż i badania, instrukcje działania, użytkowania i eksploatacji. PKN, Warszawa 2002.
21. PN-EN 13598-1: Systemy przewodów rurowych z tworzyw sztucznych do podziemnej bezciśnieniowej kanalizacji deszczowej i sanitarnej (PVC, PP, PE) - Część 1: Specyfikacje techniczne kształtek. PKN, Warszawa 2011.
22. PN-EN 1610:2015-10 Budowa i badania przewodów kanalizacyjnych. PKN, Warszawa 2015.
23. PN-EN 13598-2: Systemy przewodów rurowych z tworzyw sztucznych do podziemnej bezciśnieniowej kanalizacji deszczowej i sanitarnej (PVC, PP, PE) - Część 2: Specyfikacja studzienek. PKN, Warszawa 2016.
24. PN-EN 16932-1:2018-05. Zewnętrzne systemy kanalizacyjne – Systemy pompowe – Część 1: Wymagania podstawowe. PKN, Warszawa 2018.
25. PN-EN 16932-2:2018-05. Zewnętrzne systemy kanalizacyjne – Systemy pompowe – Część 2: Systemy ciśnieniowe. PKN, Warszawa 2018.
26. PN-EN 16932-3:2018-05. Zewnętrzne systemy kanalizacyjne – Systemy pompowe – Część 3: Systemy podciśnieniowe. PKN, Warszawa 2018.
27. PN-C-89224:2018-03 Systemy przewodów rurowych z termoplastycznych tworzyw sztucznych – Zewnętrzne systemy bezciśnieniowe i ciśnieniowe. PKN, Warszawa 2018.