

POLITECHNIKA KRAKOWSKA
im. Tadeusza Kościuszki

KRZYSZTOF W. KSIĄŻYŃSKI, PIOTR JEŻ,
ZOFIA GRĘPLOWSKA

TABLICE
DO OBLICZEŃ HYDRAULICZNYCH

POMOC DYDAKTYCZNA

Wydanie trzecie poprawione

Kraków 2002

skład komputerowy
K. W. Książyński

SPIS TREŚCI

1. Wstęp.....	5
2. Oznaczenia i jednostki.....	7
2.1. Międzynarodowy system oznaczeń w mechanice płynów	7
2.1.1. Oznaczenia zmiennych	7
2.1.2. Oznaczenia matematyczne.....	9
2.1.3. Oznaczenia punktów charakterystycznych	9
2.1.4. Oznaczenia pomocnicze.....	9
2.2. Nazwy przedrostków do tworzenia nazw jednostek pochodnych w układzie SI.....	10
2.3. Jednostki podstawowe i uzupełniające układu SI.....	10
2.4. Jednostki główne i pochodne wybranych wielkości fizycznych używanych w mechanice płynów	11
3. Niektóre fizyczne własności wody	12
3.1. Zależność gęstości wody destylowanej od temperatury	12
3.2. Dynamiczny i kinematyczny współczynnik lepkości wody	15
4. Parcie hydrostatyczne	16
5. Hydraulika rurociągów	18
5.1. Orientacyjne zalecane prędkości przepływu w rurociągach.....	18
5.2. Wykres Moody'ego (wklejka).....	po str. 18
5.3. Chropowatość bezwzględna rur.....	19
5.4. Współczynniki strat lokalnych	22
5.4.1. Współczynniki strat przy wlocie do przewodu	22
5.4.2. Współczynnik strat przy zmianie kierunku.....	23
5.4.3. Współczynnik strat przy nagłej zmianie przekroju.....	24
5.4.4. Współczynnik strat przy przejściu przez zawory	25
5.5. Wysokość ciśnienia wrzenia wody przy różnych temperaturach	26
6. Hydraulika budowli wodnych	27
6.1. Otwory	27
6.1.1. Wydatek otworu.....	27
6.1.2. Współczynniki wydatku dla otworów okrągłych.....	27
6.1.3. Współczynniki wydatku dla otworów kwadratowych	28
6.1.4. Wypływ spod zamknięcia bez progu	28
6.2. Przelewy o ostrej krawędzi	29
6.2.1. Wydatek prostokątnego przelewu o ostrej krawędzi	29
6.2.2. Współczynnik m dla przelewu prostokątnego bez dławienia ...	30
6.2.3. Współczynnik m dla przelewu prostokątnego z dławieniem....	30
6.2.4. Współczynnik dławienia przelewu prostokątnego.....	31
6.2.5. Współczynnik kształtu przelewu prostokątnego	31
6.2.6. Współczynnik zatopienia przelewu o ostrej krawędzi	32
6.2.7. Wydatek przelewu kołowego.....	32

6.3. Przelewy o kształcie praktycznym.....	33
6.3.1. Wydatek przelewu o kształcie praktycznym.....	33
6.3.2. Współczynnik wydatku i prędkości do uproszczonych obliczeń przelewów o kształtach praktycznych.....	34
6.3.3. Progi o profilu prostokątnym.....	34
6.3.4. Współczynnik m dla progu o kształcie trapezowym.....	35
6.3.5. Profil przelewu Creagera.....	36
6.3.6. Współczynniki progu o profilu Creagera.....	37
6.3.7. Współczynnik m dla progu Jambora.....	39
6.3.8. Współczynnik zatopienia.....	39
6.3.9. Współczynnik kontrakcji.....	40
6.4. Przelew o szerokiej koronie.....	42
6.4.1. Wydatek przelewu o szerokiej koronie.....	42
6.4.2. Współczynniki do obliczania przelewów o szerokiej koronie.....	43
7. Hydraulika koryt otwartych.....	44
7.1. Parametry kanałów otwartych.....	44
7.1.1. Zalecane nachylenia skarp kanałów ziemnych.....	44
7.1.2. Dopuszczalne prędkości średnie w kanałach ziemnych.....	45
7.2. Ruch jednostajny w korytach otwartych.....	46
7.2.1. Wzór Matakiewicza.....	46
7.2.2. Współczynnik szorstkości do wzoru Manninga.....	51
7.2.3. Ekwiwalentna elementarna chropowatość piaskowa do wzoru Darcy'ego-Weissbacha.....	56
7.3. Ruch jednostajny w kolektorach.....	57
7.3.1. Moduły przepływu dla kolektorów.....	57
7.3.2. Sprawność kolektorów.....	59
7.4. Ruch zmienny ustalony w korytach otwartych.....	61
7.4.1. Funkcja Rühlmanna do obliczeń krzywej spiętrzenia w korycie prostokątnym.....	61
7.4.2. Funkcja Tolkmitta do obliczeń krzywej spiętrzenia w korycie parabolicznym.....	63
7.5. Ruch rumowiska w korytach otwartych.....	64
7.5.1. Prędkość swobodnego opadania w wodzie kulistego ziarna o średnicy $d_s < 10^3 \mu\text{m}$	64
7.5.2. Prędkość swobodnego opadania w wodzie kulistego ziarna o średnicy $d_s > 10^3 \mu\text{m}$	65
7.5.3. Zależność współczynnika Richardsona-Zaki od liczby Reynoldsa.....	65
8. Filtracja. Parametry filtracyjne gruntów klastycznych.....	66
9. Bibliografia.....	67

1. WSTĘP

Niniejsze *Tablice* zawierają wartości współczynników i funkcji niezbędnych przy obliczeniach hydraulicznych. Szczegółowy spis treści ułatwia orientację w całości materiału. Zrezygnowano z rzadko obecnie stosowanych nomogramów i z zestawień tych wartości, które można łatwo wyliczyć za pomocą kalkulatora do obliczeń naukowo-technicznych. Moduły przepływu i współczynniki sprawności kolektorów wyliczono stosując wzór Manninga. W *Tablicach* uwzględniono obowiązujące normatywy i podano literaturę źródłową.

Tablice stanowią pomoc dydaktyczną do przedmiotów: *Mechanika płynów i hydraulika*, *Mechanika płynów* oraz *Hydraulika* z programu studiów na Wydziale Inżynierii Środowiska, a także do przedmiotów: *Hydraulika i hydrologia*, *Hydraulika i hydrologia z budownictwem wodnym* oraz *Hydraulika, hydrologia i podstawy budownictwa wodnego* z programu studiów na Wydziale Inżynierii Lądowej. Niniejsze opracowanie może stanowić także cenną pomoc w praktyce inżynierskiej przy prowadzeniu obliczeń hydraulicznych.

W obecnym wydaniu poprawiono dostrzeżone błędy oraz niektóre mniej czytelne rysunki i wykresy zastąpiono nowymi o lepszej jakości. Ujednolicono również sposób zapisu funkcji Rühlmanna i Tolkmitta i dodano wzory ilustrujące sposób użycia funkcji.

2. OZNACZENIA I JEDNOSTKI

2.1. MIĘDZYNARODOWY SYSTEM OZNACZEŃ W MECHANICE PŁYNÓW

2.1.1. Oznaczenia zmiennych

<i>a</i>	– przyspieszenie [m/s^2],
<i>A</i>	– powierzchnia przekroju [m^2],
<i>b</i>	– szerokość, szerokość (światło) otworu [m],
<i>B</i>	– szerokość strumienia na poziomie zwierciadła cieczy [m],
<i>c</i>	– wysokość ścianki przelewu [m],
<i>C</i>	– stała,
<i>d</i>	– średnica, średnica rurociągu [m],
<i>D</i>	– moment dewiacji (odśrodkowy) powierzchni [m^4],
<i>e</i>	– wysokość podniesienia zasuwy (wysokość otworu) [m],
<i>E</i>	– energia [J],
<i>f</i>	– współczynnik tarcia [–],
<i>F</i>	– siła [N],
<i>g</i>	– przyspieszenie ziemskie ($g = 9.81 \text{ [m/s}^2\text{]}$),
<i>G</i>	– ciężar [N],
<i>h</i>	– głębokość, napełnienie, wysokość ciśnienia [m],
<i>H</i>	– rzędna zwierciadła wody [m npm], wysokość, wysokość hydrauliczna [m],
<i>i</i>	– liczba naturalna porządkująca (stosowana jako indeks),
<i>j</i>	– liczba naturalna porządkująca (stosowana jako indeks),
<i>J</i>	– moment bezwładności powierzchni [m^4],
<i>k</i>	– współczynnik filtracji [m/s],
<i>K</i>	– moduł przepływu [m^3/s],
<i>l</i>	– długość [m],
<i>L</i>	– praca [J],
<i>m</i>	– masa [kg],
<i>M</i>	– moment statyczny powierzchni [m^3], moment siły [$\text{N} \cdot \text{m}$],
<i>n</i>	– współczynnik szorstkości według Manninga [$\text{s/m}^{1/3}$], współczynnik porowatości [–],
<i>N</i>	– moc [W],
<i>p</i>	– ciśnienie [Pa],
<i>P</i>	– siła parcia cieczy [N],
<i>q</i>	– natężenie przepływu liczone na jednostkę szerokości strumienia [m^2/s],

Q	– natężenie przepływu [m^3/s],
r	– intensywność opadu [mm/a],
R	– promień łuku [m],
s	– długość drogi krzywoliniowej [m],
S	– spadek [–],
t	– czas [s],
T	– temperatura [K],
u	– pęd [kg m/s],
U	– obwód zwilżony [m],
v	– prędkość [m/s],
V	– objętość [m^3],
w	– moduł prędkości, intensywność infiltracji [m/s],
W	– siła wyporu [N],
x	– współrzędna wzdłuż kierunku ruchu (główna) [m],
y	– współrzędna poprzeczna do kierunku ruchu [m],
z	– współrzędna pionowa (rzędna) [m , m npm],
Z	– spiętrzenie wody [m],
α	– (alfa) współczynnik Saint-Venanta [–],
β	– (beta) współczynnik pędu [–],
γ	– (gamma) ciężar właściwy [N/m^3],
δ	– (delta) błąd względny [–],
Δ	– (delta) różnica, błąd bezwzględny,
ε	– (epsilon) współczynnik kontrakcji [–],
ζ	– (dzeta) współczynnik straty (lokalnej) [–],
η	– (eta) dynamiczny współczynnik lepkości [$\text{Pa}\cdot\text{s}$], współrzędna środka parcia [m],
ϑ	– (theta) wilgotność względna (stopień nasycenia) [–],
θ	– (theta) wilgotność bezwzględna [m^3/m^3],
κ	– (kappa) przepuszczalność gruntu [m^2], stała Karmana,
λ	– (lambda) współczynnik tarcia w rurociągu [–],
Λ	– (lambda) opór hydrauliczny [s/m^2 , $\text{s}/\text{m}^{2.5}$],
μ	– (mi) współczynnik wydatku, współczynnik odsączalności [–],
ν	– (ni) kinematyczny współczynnik lepkości [m^2/s],
ξ	– (ksi) współrzędna środka parcia (pozioma) [m],
ρ	– (ro) gęstość [kg/m^3],
σ	– (sigma) współczynnik zatopienia [–], naprężenie [Pa],
τ	– (tau) naprężenie styczne [Pa],
φ	– (fi) współczynnik prędkości [–], kąt [rad],

- Φ – (fi) potencjał,
- χ – (chi) obwód [m],
- ψ – (psi) przyspieszenie kątowe [rad/s²],
- Ψ – (psi) funkcja prądu,
- ω – (omega) prędkość kątowa [rad/s].

2.1.2. Oznaczenia matematyczne

- F, f – funkcja,
- X – płaszczyzna pozioma,
- Y – płaszczyzna pionowa,
- Γ – (gamma) granica obszaru,
- π – (pi) stała geometryczna (ludolfina, $\pi = 3.14159$),
- Π – (pi) iloczyn,
- Σ – (sigma) suma, szereg,
- Ω – (omega) obszar, dziedzina.

2.1.3. Oznaczenia punktów charakterystycznych

- O – środek obrotu lub krzywizny,
- S – środek ciężkości,
- E – (ksi) środek parcia.

2.1.4. Oznaczenia pomocnicze (przykładowo dla prędkości)

- \vec{v} – wektor prędkości,
- \underline{v} – prędkość średnia,
- v_o – prędkość podstawowa (normalna, początkowa),
- $|v|$ – wartość prędkości,
- v_h – składowa wektora prędkości w kierunku poziomym,
- v_v – składowa wektora prędkości w kierunku pionowym,
- v_x – składowa wektora prędkości w kierunku x,
- v_y – składowa wektora prędkości w kierunku y,
- v_z – składowa wektora prędkości w kierunku z.

2.2. NAZWY PRZEDROSTKÓW DO TWORZENIA NAZW JEDNOSTEK POCHODNYCH W UKŁADZIE SI

Podwielokrotności			Nadwielokrotności		
przedrostek	oznaczenie	mnożnik	przedrostek	oznaczenie	mnożnik
decy	d	10^{-1}	deka	da	10^1
centy	c	10^{-2}	hekto	h	10^2
mili	m	10^{-3}	kilo	k	10^3
mikro	μ	10^{-6}	mega	M	10^6
nano	n	10^{-9}	giga	G	10^9
piko	p	10^{-12}	tera	T	10^{12}

2.3. JEDNOSTKI PODSTAWOWE I UZUPEŁNIAJĄCE UKŁADU SI

Wielkość fizyczna	Nazwa jednostki miary	Oznaczenie jednostki
Długość	metr	m
Masa	kilogram	kg
Czas	sekunda	s
Temperatura bezwzględna	stopień Kelvina	K
Natężenie prądu elektrycznego	amper	A
Liczność materii	mol, gramocząsteczka	mol
Światłość	kandela	cd
Kąt płaski	radian	rad
Kąt bryłowy	steradian	sr

2.4. JEDNOSTKI GŁÓWNE I POCHODNE WYBRANYCH WIELKOŚCI FIZYCZNYCH UŻYWANYCH W MECHANICE PŁYNÓW (Sobota, 1994)

Rodzaj wielkości	Nazwa jednostki	Oznaczenie jednostki	Wymiar jednostki
Siła	niuton	N	$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m} / \text{s}^2$
	dyna	dyn	$1 \text{ dyna} = 10^{-5} \text{ N}$
Ciśnienie	pascal	Pa	$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N} / \text{m}^2$
	bar	bar	$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$
	atmosfera fizyczna	atm	$1 \text{ atm} = 101\,325 \text{ Pa}$
	milimetr słupa wody	mm H ₂ O	$1 \text{ mm H}_2\text{O} = 9,81 \text{ Pa}$
	milimetr słupa rtęci (tor)	mm Hg = Tr	$1 \text{ mm Hg} = 1 \text{ Tr} = 133,322 \text{ Pa}$
Praca, energia, ciepło	dżul (niutono-metr, watosekunda)	J	$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m} = 1 \text{ W} \cdot \text{s}$
	erg	erg	$1 \text{ erg} = 10^{-7} \text{ J}$
	watogodzina	W h	$1 \text{ W h} = 3,6 \cdot 10^3 \text{ J}$
	kaloria	cal	$1 \text{ cal} = 4,1868 \text{ J}$
Ciężar właściwy	niuton na metr sześcienny	N / m^3	–
Gęstość	kilogram na metr sześcienny	kg / m^3	$1 \text{ kg} / \text{m}^3 = 10^{-3} \text{ kg} / \text{l}$
	kilogram na liter	kg / l	$1 \text{ kg} / \text{l} = 1 \text{ kg} / \text{dm}^3$
	gram na centymetr sześcienny	g / cm^3	$1 \text{ g} / \text{cm}^3 = 10^3 \text{ kg} / \text{m}^3$

3. NIEKTÓRE FIZYCZNE WŁASNOŚCI WODY

3.1. ZALEŻNOŚĆ GĘSTOŚCI WODY DESTYLOWANEJ [g/ml] OD TEMPERATURY [°C] (PN 55/N-02086)

T [°]	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	0,999 867	874	881	887	893	899	905	911	916	924
1	926	931	936	941	945	949	953	957	961	964
2	968	971	974	977	980	982	984	987	989	991
3	992	994	995	996	997	998	999	999	000*	000*
4	1,000 000	000	000	999*	999*	998*	997*	996*	995*	993*
5	0,999 992	990	988	986	984	982	979	977	974	971
6	968	965	961	958	954	951	947	942	938	934
7	929	925	920	915	910	904	899	893	888	882
8	876	870	863	857	850	844	837	830	823	816
9	808	801	793	785	777	769	761	753	744	736
10	0,999 727	718	709	700	691	681	672	662	652	642
11	632	622	611	601	590	580	569	558	547	536
12	524	513	501	489	477	465	453	441	429	416
13	404	391	378	365	352	339	325	312	298	284
14	271	257	243	228	214	200	185	170	156	141
15	126	110	950	080	064	049	033	017	001	985*
16	0,998 969	952	936	919	903	886	869	852	835	818
17	800	783	765	748	730	712	694	676	658	369
18	621	602	584	565	546	527	508	489	469	450
19	430	411	391	371	351	331	311	290	270	250
20	229	208	187	167	146	124	103	082	060	039
21	017	995*	974*	952*	930*	907*	885*	863*	840*	818*
22	0,997 795	772	749	727	703	680	657	634	610	587
23	563	539	515	491	467	443	419	395	370	346
24	321	296	271	246	221	196	171	146	120	950
25	069	044	018	992*	966*	940*	914*	887*	861*	835*
26	0,996 808	781	735	728	701	674	647	620	592	565
27	538	510	482	455	427	399	371	343	315	286
28	258	230	201	172	144	115	086	057	028	999*
29	0,995 969	940	911	881	851	822	792	762	732	702
30	672	642	611	581	551	520	489	459	428	397
31	366	335	304	272	241	210	178	147	115	083
32	051	019	987*	955*	923*	891*	859*	826*	794*	761*

c.d. tabl.

$T [^{\circ}]$	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
33	0,994 728	696	663	630	597	564	531	497	464	431
34	397	364	330	297	263	229	195	161	126	092
35	058	240	989*	955*	920*	885*	851*	816*	781*	746*
36	0,993 711	675	640	605	570	534	498	463	427	391
37	356	320	284	247	211	175	139	102	066	029
38	0,992 993	956	919	882	845	808	771	734	697	659
39	622	585	547	509	472	434	396	358	320	282
40	0,992 244	206	167	129	910	520	140	975*	936*	897*
41	0,991 858	819	780	741	702	663	624	584	545	505
42	466	426	386	346	306	266	226	186	146	106
43	066	025	985*	944*	903*	863*	822*	781*	740*	699*
44	0,990 658	617	576	535	493	452	411	369	327	286
45	244	202	160	118	760	340	992*	950*	908*	865*
46	0,989 823	780	738	695	652	610	567	524	481	438
47	395	352	308	265	222	178	135	091	047	004
48	0,988 960	916	872	828	784	740	696	651	607	563
49	518	474	429	384	340	295	250	205	160	115
50	070	025	979*	934*	899*	843*	798*	752*	707*	661*
51	0,987 615	569	526	477	431	385	339	293	246	200
52	154	107	061	014	967*	921*	874*	827*	780*	733*
53	0,986 686	639	592	544	497	450	402	355	307	259
54	212	164	116	068	020	972*	924*	876*	828*	780*
55	0,985 731	683	634	586	537	489	440	391	342	294
56	045	196	147	097	048	999*	950*	900*	851*	801*
57	0,984 752	702	652	603	553	503	453	403	353	303
58	253	203	152	102	052	001	951*	900*	849*	799*
59	0,983 748	697	646	595	544	493	442	391	340	288
60	237	185	134	082	031	979*	927*	876*	824*	772*
61	0,982 720	669	616	564	511	459	407	354	302	250
62	197	144	092	039	986*	933*	880*	828*	775*	721*
63	0,981 688	615	562	509	455	402	348	295	241	188
64	134	080	026	972*	918*	864*	810*	756*	702*	648*
65	0,980 594	594	485	430	376	321	267	212	157	103
66	048	993*	938*	883*	828*	773*	717*	662*	607*	552*
67	0,979 496	441	385	330	274	218	162	107	051	995*
68	0,978 939	883	827	771	715	658	602	546	489	433

c.d. tabl.

$T [^{\circ}]$	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
69	376	320	263	206	150	093	036	979*	922*	865*
70	0,977 808	751	694	636	579	522	464	407	349	292
71	234	177	119	061	003	945*	887*	829*	771*	713*
72	0,976 655	597	539	480	422	364	605	247	188	129
73	071	012	953*	894*	835*	776*	717*	658*	599*	540*
74	0,975 481	421	362	303	243	184	124	065	005	945*
75	0,974 885	826	766	706	646	586	526	466	406	345
76	285	255	164	104	043	983*	922*	868*	801*	740*
77	0,973 679	618	558	497	436	374	313	252	191	130
78	068	007	946*	884*	823*	761*	699*	638*	576*	514*
79	0,972 452	390	328	266	204	142	080	018	956*	893*
80	0,971 831	769	706	644	581	518	456	393	330	268
81	205	142	079	016	953*	890*	826*	763*	700*	637*
82	0,970 573	510	446	383	319	256	192	128	064	001
83	0,969 937	873	809	745	681	617	553	488	424	360
84	295	231	166	102	037	973*	908*	843*	779*	714*
85	0,968 649	584	519	454	389	324	259	193	128	063
86	0,967 998	932	867	801	736	670	604	539	473	407
87	341	275	209	143	077	011	945*	879*	813*	746*
88	0,966 680	614	547	481	414	348	281	214	148	081
89	014	947*	880*	813*	746*	679*	612*	545*	478*	410*
90	0,965 343	276	208	141	074	006	938*	871*	803*	735*
91	0,964 668	600	532	464	396	328	260	192	124	055
92	0,963 987	919	850	782	714	654	577	508	439	371
93	302	233	164	095	027	958*	889*	819*	750*	681*
94	0,962 612	543	473	404	335	265	196	126	057	987*
95	0,961 917	848	778	708	638	568	498	428	358	288
96	218	148	078	008	937*	867*	796*	726*	655*	585*
97	0,960 514	444	373	302	231	161	090	019	948*	877*
98	0,959 806	735	664	592	521	450	378	307	236	164
99	093	021	950*	878*	806*	734*	663*	591*	519*	447*
100	0,958 375									

Uwaga: * oznacza, że pierwsze trzy cyfry liczby odczytuje się z następnego wiersza kolumny 2, np. dla temperatury $T = 89,3 [^{\circ}\text{C}] = 89 + 0,3$ gęstość wynosi: $\rho = 0,965\ 813$ [g/ml].

3.2. DYNAMICZNY (η) I KINEMATYCZNY (ν)
WSPÓŁCZYNNIK LEPKOŚCI WODY
(Sobota, 1994)

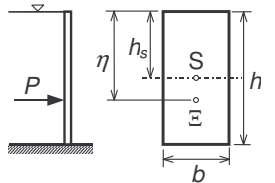
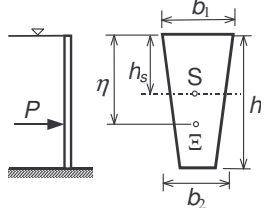
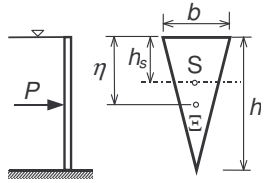
T [°C]	Dynamiczny współczynnik lepkości η	Kinematyczny współczynnik lepkości ν	T [°C]	Dynamiczny współczynnik lepkości η	Kinematyczny współczynnik lepkości ν
	[mPa·s]	[mm ² /s]		[mPa·s]	[mm ² /s]
0	1,7921	1,7923	20	1,0050	1,0068
1	1,7313	1,7314	21	0,9810	0,9829
2	1,6727	1,6728	22	0,9579	0,9600
3	1,6191	1,6191	23	0,9358	0,9381
4	1,5674	1,5674	24	0,9143	0,9167
5	1,5188	1,5188	25	0,8937	0,8963
6	1,4728	1,4728	26	0,8737	0,8765
7	1,4284	1,4285	27	0,8545	0,8575
8	1,3860	1,3862	28	0,8360	0,8391
9	1,3462	1,3465	29	0,8180	0,8213
10	1,3077	1,3081	30	0,8007	0,8042
11	1,2713	1,2718	35	0,7225	0,7268
12	1,2363	1,2369	40	0,6560	0,6612
13	1,2028	1,2035	45	0,5987	0,6046
14	1,1708	1,1717	50	0,5494	0,5560
15	1,1404	1,1414	55	0,5065	0,5138
16	1,1111	1,1122	60	0,4688	0,4768
17	1,0828	1,0841	70	0,4061	0,4151
18	1,0559	1,0574	80	0,3565	0,6668
19	1,0299	1,0315	90	0,3165	0,3279
20	1,0050	1,0068	100	0,2838	0,2961

$$1[\text{mPa}\cdot\text{s}] = 10^{-3}[\text{Pa}\cdot\text{s}] = 1[\text{cP}] = 10^{-2}[\text{g}/(\text{s}\cdot\text{cm})]$$

$$1[\text{mm}^2/\text{s}] = 10^{-6}[\text{m}^2/\text{s}] = 1[\text{cSt}] = 10^{-2}[\text{cm}^2/\text{s}]$$

4. PARCIE HYDROSTATYCZNE

Wzory do wyznaczania parcia hydrostatycznego (Sobota, 1994)

Ściana	Powierzchnia A	Moment bezwładności J względem oznaczonej osi	Zagłębienie środka ciężkości h_s	Parcie hydrostatyczne P	Zagłębienie środka parcia η
1	2	3	4	5	6
	hb	$\frac{bh^3}{12}$	$\frac{h}{2}$	$\gamma \frac{h^2}{2} b$	$\frac{2}{3} h$
	$\frac{b_1 + b_2}{2} h$	$\frac{h^3}{36} \left[\frac{(b_1 + b_2)^2 + 2b_1 b_2}{b_1 + b_2} \right]$	$\frac{h}{3} \left(\frac{2b_2 + b_1}{b_2 + b_1} \right)$	$\gamma \frac{h^2}{6} (2b_2 + b_1)$	$\frac{h}{3} \left(\frac{3b_2 + b_1}{2b_2 + b_1} \right)$
	$\frac{bh}{2}$	$\frac{bh^3}{36}$	$\frac{h}{3}$	$\gamma \frac{h^2}{6} b$	$\frac{h}{2}$

c.d. tabl.

1	2	3	4	5	6
	$\frac{b h}{2}$	$\frac{b h^3}{36}$	$\frac{2}{3} h$	$\gamma \frac{h^2}{3} b$	$\frac{3}{4} h$
	$\frac{\pi d^2}{4}$	$\frac{\pi d^4}{64}$	$\frac{d}{2}$	$\gamma \frac{\pi d^3}{8}$	$\frac{5}{8} d$
	$\frac{\pi d^2}{8}$	$\left(\frac{\pi}{128} - \frac{1}{18 \pi} \right) d^4$	$\frac{2 d}{3 \pi}$	$\gamma \frac{d^3}{12}$	$\frac{3 \pi}{32} d$

5. HYDRAULIKA RUROCIĄGÓW

5.1. ORIENTACYJNE ZALECANE PRĘDKOŚCI PRZEPIYU W RUROCIĄGACH (PN-76/M-34034)

Czynnik	Rodzaj rurociągu		Prędkość[m/s]
1	2		3
Woda	rurociąg ssawny pomp	ogólnie, w zależności od wysokości ssania, długości rurociągu, temperatury	0,5 ÷ 1,0
		dla pomp wirowych przy niskiej temperaturze	do 2,0
		dla pomp specjalnych dla wody gorącej (pracujących z napływem)	do 3,0
	rurociąg tłoczny pomp	wodny, zapowietrzony, korodujący	do 4,0
		zasilający kotły	1,3 ÷ 3,0
		zasilający awaryjny, obejściowy	do 5,0
		magistrali ciepłowniczej	2,0 ÷ 3,0
		sieci ciepłowniczej odgałęzionej	1,0 ÷ 2,0
		sieci ciepłowniczej przyłączeniowej	do 1,0
		magistrali wodnej	1,0 ÷ 3,0
sieci wodnej miejskiej		0,5 ÷ 1,0	
zasilanie turbin	1,0 ÷ 7,0		
Para wodna	pary nasyconej	15 ÷ 25	
	pary zasilającej maszyny tłokowe	10 ÷ 25	
	pary przegrzanej przy $V/m = 0,025 \text{ m}^3/\text{kg}$	35 ÷ 45	
	pary przegrzanej przy $V/m = 0,05 \text{ m}^3/\text{kg}$	40 ÷ 50	
	pary przegrzanej przy $V/m = 0,1 \text{ m}^3/\text{kg}$	45 ÷ 55	
	pary przegrzanej przy $V/m = 0,2 \text{ m}^3/\text{kg}$	50 ÷ 60	
	pary przegrzanej ponad 500 °C i ponad 12,5 MPa	40 ÷ 50	
Powietrze	ciśnieniowy	2 ÷ 10	
Gaz	wysokociśnieniowy (magistrale dalekosiężne)	10 ÷ 25	
	niskociśnieniowy	5 ÷ 10	
	instalacji domowej	do 1,0	
Olej	–	1,0 ÷ 2,0	

V/m – objętość właściwa czynnika

5.3. CHROPOWATOŚĆ BEZWZGLĘDNA k RUR (PN-76/M-34034)

Lp.	Materiał i rodzaj rury	Stan powierzchni i warunki eksploatacji	Bezwzględna chropowatość rury k [mm]
1	2	3	4
1	Rury walcowane z miedzi, mosiądzu, brązu	gładkie	0,0015 ÷ 0,010
	Aluminium	gładkie	0,015 ÷ 0,060
2	Rury stalowe walcowane	nowe, nie używane	0,02 ÷ 0,10
		oczyszczone, eksploatowane kilka lat	do 0,04
		bituminizowane	do 0,04
		ciepłownicze przewody pary przegrzanej bądź wody chemicznie zmiękczonej i odgazowanej	0,10
		gazociągi po roku eksploatacji	0,12
		gazociągi w przepompowni szybu wiertniczego w różnych warunkach po dłuższej eksploatacji	0,04 ÷ 0,20
		gazociągi w szybie wiertniczym w różnych warunkach po dłuższej eksploatacji	0,06 ÷ 0,022
		przewody pary nasyconej i wody gorącej przy nieznacznych ubytkach wody do 0,5% i przy odgazowaniu wody uzupełniającej	0,20
		przewody ciepłownicze bez uwzględnienia źródła uzupełniania	0,02
		przewody naftowe dla średnich warunków eksploatacji	0,02
		przewody nieznacznie skorodowane	0,4
		przewody z niedużymi osadami kamienia	0,4
		przewody pary okresowo eksploatowane i przewody kondensatu z otwartym systemem przetłaczania	0,5
		przewody powietrza do sprężarek	0,8
		przewody po kilku latach eksploatacji w różnych warunkach (skorodowane lub z niedużymi osadami)	0,15 ÷ 1,0
		przewody kondensatu okresowo eksploatowane, przewody wody grzewczej przy braku odgazowania i chemicznego zmiękczenia wody uzupełniającej i przy znacznych ubytkach wody z sieci (1,5–3,0%)	1,0
przewody wody w eksploatacji	1,2 ÷ 1,5		
przewody wody z większymi osadami kamienia	około 3,0		
przewody wody z powierzchnią w złym stanie z nie-równomiernie ułożonymi połączeniami	powyżej 5,0		

c.d. tabl.

1	2	3	4
3	Rury stalowe spawane	nowe lub stare w dobrym stanie, połączenia spawane lub zgrzewane	0,04 ÷ 0,10
		nowe bituminizowane	około 0,05
		będące w eksploatacji, powłoka częściowo usunięta, skorodowane	około 0,10
		będące w eksploatacji, równomiernie skorodowane	około 0,15
		bez wgłębień w miejscach połączeń, pokryte powłoką o grubości około 10 mm, dobry stan powierzchni	0,3 ÷ 0,4
		magistralne przewody gazu po znacznej eksploatacji	około 0,5
		z pojedynczym lub podwójnym szwem, z zewnątrz pokryte warstwą o grubości 10 mm lub bez warstwy, lecz nie skorodowane	0,6 ÷ 0,7
		z zewnątrz pokryte powłoką, lecz nie wolne od korozji, zanieczyszczone w procesie eksploatacji z wodą, lecz nie skorodowane	0,95 ÷ 1,0
		gazociąg magistralny po 20 latach eksploatacji, osady warstwowe	1,1
		z podwójnym poprzecznym szwem, nie skorodowane, zanieczyszczone przez eksploatację z wodą	1,2 ÷ 1,5
		małe osady	1,5
		z podwójnym poprzecznym szwem, silnie skorodowane	2,0
		znaczne osady	2,0 ÷ 4,0
		gazociąg miejski, około 25 lat eksploatacji, nierównomierne osady smoły i naftalenu	2,4
	powierzchnia rur w złym stanie, nierównomiernie ułożone połączenia	powyżej 5,0	

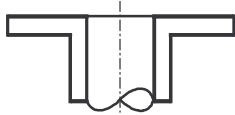
c.d. tabl.

1	2	3	4
4	Rury stalowe nitowane	nitowane wzdłuż i w poprzek, z jednym rzędem nitów, z zewnątrz pokryte powłoką o grubości 10 mm lub bez, lecz nie skorodowane	0,3 ÷ 0,4
		z podwójnym wzdłużnym i pojedynczym poprzecznym nitowaniem, z zewnątrz pokryte powłoką o grubości 10 mm lub bez, lecz nie skorodowane	0,6 ÷ 0,7
		z pojedynczym poprzecznym i podwójnym wzdłużnym nitowaniem, z zewnątrz smołowane lub pokryte warstwą o grubości 10–20 mm	1,2 ÷ 1,3
		z czterema lub sześcioma podłużnymi rzędami nitów, dłuższy czas w eksploatacji	2,0
		z czterema poprzecznymi i sześcioma podłużnymi rzędami nitów, połączenia z zewnątrz pokryte powłoką	4,0
		powierzchnia rur w złym stanie, nierównomiernie rozłożone połączenia	powyżej 5,0
5	Rury cienkościennie z blachy	nie pokostowane	0,02 ÷ 0,04
		pokostowane	0,10 ÷ 0,15
6	Rury stalowe ocynkowane	czysto ocynkowane, nowe	0,07 ÷ 0,10
		zwyczajnie ocynkowane	0,1 ÷ 0,15
7	Rury z blachy stalowej ocynkowane	nowe	0,15
		będące w eksploatacji na wodę	0,18
8	Rury żeliwne	nowe	0,25 ÷ 1,0
		nowe, bituminizowane	0,10 ÷ 0,15
		asfaltowane	0,12 ÷ 0,30
		wodne będące w eksploatacji	1,4
		będące w eksploatacji, skorodowane	1,0 ÷ 1,5
		z osadami	1,0 ÷ 1,5
		ze znacznymi osadami	2,0 ÷ 4,0
		oczyszczone po kilku latach eksploatacji	0,3 ÷ 1,5
silnie skorodowane	do 3,0		
9	Rury betonowe	dobrze wygładzona powierzchnia	0,3 ÷ 0,8
		średnie warunki gładkości	2,5
		szorstka powierzchnia	3 ÷ 9
	Rury żelbetowe	–	2,5
	Rury azbestowo-cementowe	nowe	0,05 ÷ 0,10
używane		około 0,60	

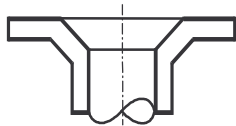
5.4. WSPÓŁCZYNNIKI STRAT LOKALNYCH ζ

5.4.1. Współczynniki strat przy wlocie do przewodu

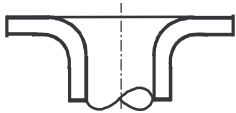
(Czetwertyński, 1958)



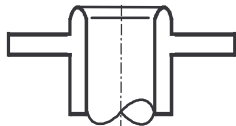
Wlot o ostrych krawędziach
 $\zeta = 0,5$



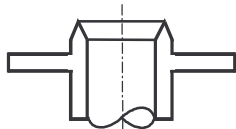
Wlot o ściętych krawędziach
 $\zeta = 0,25$



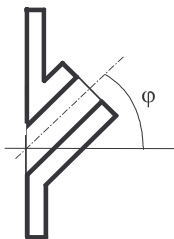
Wlot o dobrze zaokrąglonych krawędziach
 $\zeta = 0,10 \div 0,06$



Wlot do rury wystającej do zbiornika przy zaokrąglonych krawędziach wystającej części
 $\zeta = 0,56$



Wlot do rury wystającej do zbiornika przy ostrych krawędziach wystającej części
 $\zeta = 1,30$

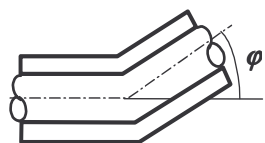


Wlot do rury pod kątem
 $\zeta = 0,5 + 0,3 \sin \varphi + 0,2 \sin^2 \varphi$

co daje wartości:

$\varphi [^\circ]$	10	30	45	60
ζ	0,558	0,700	0,812	0,910

5.4.2. Współczynnik strat przy zmianie kierunku

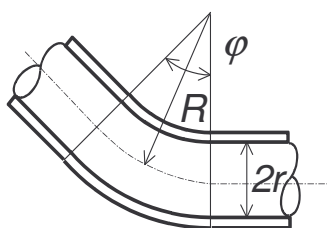


Załamanie przewodu

$$\zeta = 0,946 \sin^2 \frac{\varphi}{2} + 2,05 \sin^4 \frac{\varphi}{2}$$

co daje wartości:

$\varphi [^\circ]$	20	40	60	80	90	100	120	140	160
ζ	0,04	0,14	0,36	0,74	0,98	1,26	1,86	2,43	2,85



Łuk kołowy (kolano)

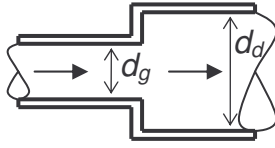
$$\zeta = \left[0,131 + 1,847 \left(\frac{r}{R} \right)^{3,5} \right] \left(\frac{\varphi^\circ}{90^\circ} \right)$$

co daje wartości:

$\varphi [^\circ]$ r/R	20	40	60	80	90	100	120	140	160	180
0,1	0,029	0,058	0,088	0,117	0,132	0,146	0,175	0,205	0,234	0,263
0,2	0,031	0,061	0,092	0,122	0,138	0,153	0,183	0,214	0,245	0,275
0,3	0,035	0,070	0,106	0,141	0,158	0,176	0,211	0,246	0,281	0,317
0,4	0,046	0,091	0,137	0,183	0,206	0,229	0,274	0,320	0,366	0,412
0,5	0,065	0,131	0,196	0,262	0,294	0,327	0,392	0,458	0,523	0,589
0,6	0,098	0,196	0,293	0,391	0,440	0,489	0,587	0,684	0,782	0,880
0,7	0,147	0,294	0,441	0,588	0,661	0,734	0,881	1,028	1,175	1,322
0,8	0,217	0,434	0,651	0,868	0,977	1,085	1,302	1,520	1,737	1,954
0,9	0,313	0,626	0,939	1,252	1,408	1,565	1,878	2,191	2,504	2,817
1,0	0,440	0,879	1,319	1,758	1,978	2,198	2,637	3,077	3,516	3,956

5.4.3. Współczynnik strat przy nagłej zmianie przekroju

Nagłe zwiększenie przekroju



$$\zeta = \left(\frac{A_d}{A_g} - 1 \right)^2$$

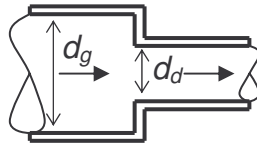
lub w odniesieniu do prędkości w górnym (węższym) przekroju:

$$\zeta = \left(1 - \frac{A_g}{A_d} \right)^2$$

Liczbowe wartości ζ w odniesieniu do prędkości w dolnym (szerszym) przekroju dla szeregu stosunków $A_d/A_g = (d_d/d_g)^2$ podane są w tabelcy:

A_d/A_g	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0	6,0
ζ	0,04	0,16	0,36	0,64	1,00	2,25	4,00	6,25	9,00	16,00	25,00

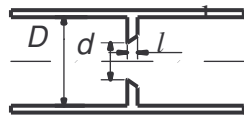
Nagłe zmniejszenie przekroju



$$\zeta = \frac{0,0765}{\mu^2} + \left(\frac{1}{\mu} - 1 \right)^2$$

gdzie współczynnik wydatku μ jest funkcją stosunku $A_d/A_g = (d_d/d_g)^2$. Wartości μ oraz obliczone na podstawie wzoru wartości ζ zestawiono w tabelcy:

A_d/A_g	0,01	0,10	0,20	0,30	0,40	0,60	0,80
μ	0,64	0,65	0,66	0,68	0,70	0,75	0,84
ζ	0,50	0,47	0,44	0,38	0,34	0,25	0,15



Kryza ostrokrawędziowa cienkościenna
(Grabarczyk, 1997)

d^2/D^2	0,10	0,15	0,20	0,250	0,30	0,40	0,50	0,60
ζ	226	102	48	31	18	7.8	3.8	1.8

dla $l/d \leq 0,015$ i $Re \geq 10^5$; dla $Re < 10^5$ $\zeta = f(Re, d/D)$
(PN-76/M-34034)

Kraty (Czetyrtyński, 1958)

$$\zeta = C \left(\frac{d}{b} \right)^3 \sin \varphi$$

gdzie: d – grubość pręta kraty,

b – światło między prętami,

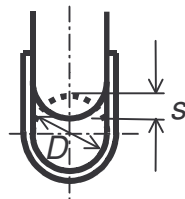
φ – kąt pochylenia kraty względem poziomu

C – współczynnik zależny od kształtu przekroju pręta:

kształt pręta							
C	2,52	1,83	1,67	1,03	0,92	0,76	1,79

5.4.4. Współczynnik strat przy przejściu przez zawory

Zasuwa



s/D	1/8	1/4	3/8	1/2	5/8	3/4	7/8
ζ	0,07	0,26	0,81	2,06	5,25	17,0	97,8

Kurek



$\varphi [^\circ]$	5	10	20	30	40	45	50	60	70	83
ζ	0,05	0,29	1,56	5,17	17,3	31,2	52,6	206	486	∞

Zawór motylkowy



$\varphi [^\circ]$	5	10	15	20	25	30	35	40	45	60	70	90
ζ	0,24	0,52	0,9	1,54	2,51	3,91	6,22	10,8	18,7	118	751	∞

Zawór grzybkowy normalny
(PN-76/M-34034)

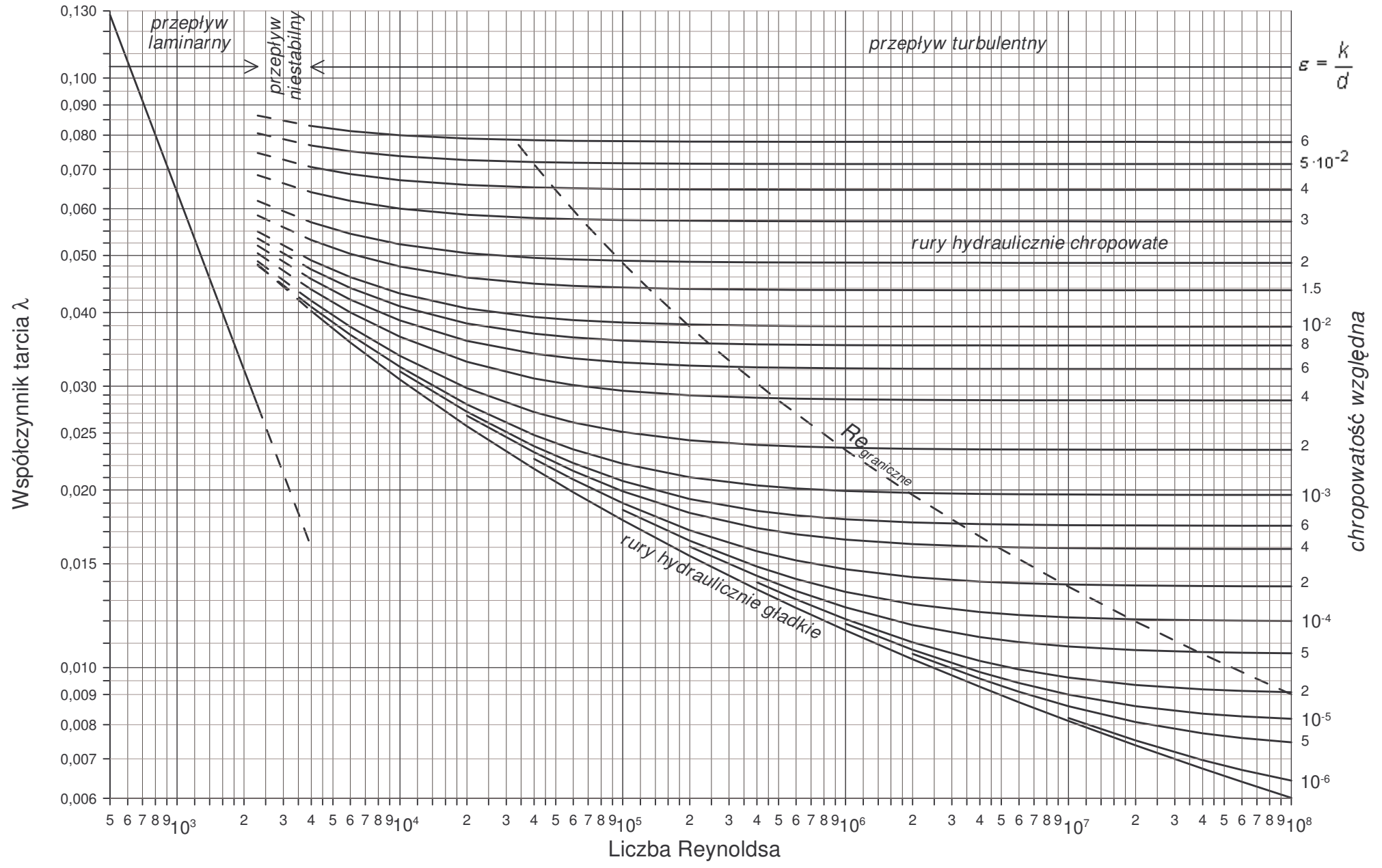
d [mm]	13	20	40	80	100	150	200	250	300	350
ζ	10,8	8,0	4,9	4,0	4,1	4,4	4,7	5,1	5,4	5,5

dla zaworu całkowicie otwartego.

5.5. WYSOKOŚĆ CIŚNIENIA WRZENIA WODY p_o/γ
PRZY RÓŻNYCH TEMPERATURACH T (Czetwertyński, 1958)

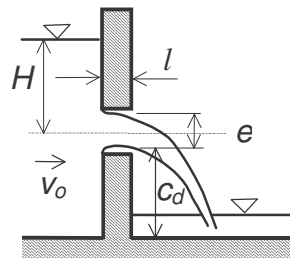
T [$^\circ\text{C}$]	0	4	10	20	30	40	50
p_o/γ [m]	0,06	0,08	0,12	0,24	0,42	0,75	1,25
T [$^\circ\text{C}$]	60	70	80	85	90	95	100
p_o/γ [m]	2,00	3,20	4,80	5,90	7,15	8,60	10,33

5.2. WYKRES MOODY'EGO (PN-76/M-34034)



6. HYDRAULIKA BUDOWLI WODNYCH

6.1. OTWORY



6.1.1. Wydatek otworu

Wyływ nie zatopiony:

$$Q = \mu \cdot b \cdot e \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_o}$$

gdzie: $H_o = H + \frac{\alpha v_o^2}{2g}$ – wzniesienie linii energii nad środkiem otworu,

b – szerokość (światło) otworu [m].

6.1.2. Współczynniki wydatku μ dla otworów okrągłych

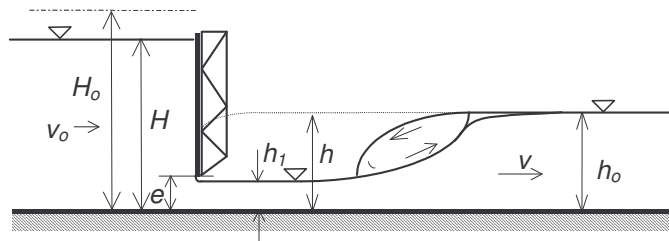
(Cztertyński, 1958)

e [mm] \ H [m]	10	20	30	60	180
0,5	0,622	0,609	0,605	0,600	0,597
1,0	0,615	0,605	0,603	0,599	0,597
1,5	0,613	0,604	0,601	0,598	0,597
2,0	0,610	0,603	0,600	0,598	0,597
3,0	0,605	0,600	0,598	0,597	0,596
6,0	0,600	0,597	0,596	0,596	0,596
15,0	0,596	0,595	0,594	0,594	0,594
30,0	0,593	0,592	0,592	0,592	0,592

6.1.3. Współczynniki wydátku μ dla otworów kwadratowych ($b = e$) (Czetwertyński, 1958)

e [mm] \ H [m]	10	20	30	60	180
0,5	0,626	0,613	0,609	0,605	0,603
1,0	0,620	0,609	0,607	0,605	0,603
1,5	0,617	0,607	0,606	0,604	0,603
2,0	0,614	0,607	0,605	0,604	0,603
3,0	0,610	0,605	0,604	0,603	0,602
6,0	0,605	0,602	0,602	0,601	0,601
15,0	0,601	0,601	0,600	0,600	0,599
30,0	0,598	0,598	0,598	0,598	0,598

6.1.4. Wpływ spod zamknięcia bez progu



Wpływ podtopiony

$$h < e, \quad h_1 = \varepsilon e$$

$$Q = \mu \cdot b \cdot e \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot \sqrt{H_o - \varepsilon \cdot e}$$

Wpływ zatopiony

$$h > e$$

$$Q = \mu \cdot b \cdot e \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot \sqrt{H_o - h}$$

gdzie głębokość h poniżej zamknięcia oblicza się ze wzoru:

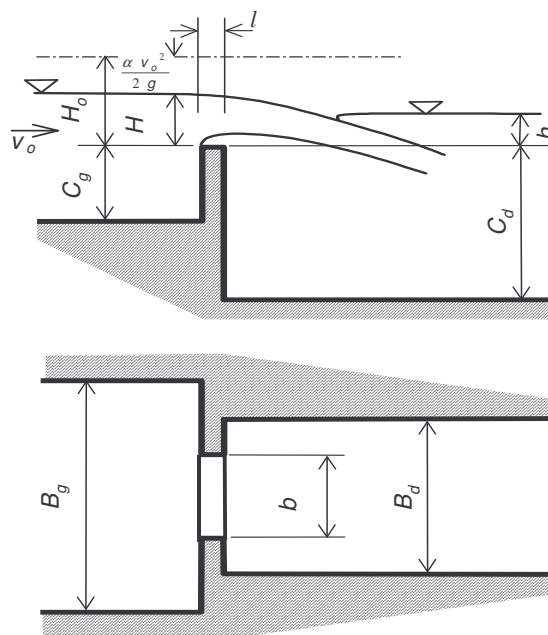
$$h = \frac{M}{2} + \sqrt{h_o^2 - M \cdot \left(H_o - \frac{M}{4}\right)}, \quad M = \frac{4 \cdot \mu \cdot e \cdot (h_o - \mu \cdot e)}{h_o}$$

Współczynnik wydatku μ dla wypływu spod zamknięcia bez progu (Fanti, 1972)

$\frac{e}{H_o}$	μ	$\frac{e}{H_o}$	μ	$\frac{e}{H_o}$	μ
0,00	0,617	0,30	0,629	0,55	0,639
0,10	0,621	0,35	0,631	0,60	0,641
0,15	0,623	0,40	0,633	0,65	0,643
0,20	0,625	0,45	0,635	0,70	0,645
0,25	0,627	0,50	0,637	-	-

6.2. PRZELEWY O OSTREJ KRAWĘDZI

$$(l < 0,5 H)$$



6.2.1. Wydatek prostokątnego przelewu o ostrej krawędzi

$$Q = \sigma m \sigma_k \varepsilon b \sqrt{2 \cdot g} \cdot H_o^{3/2}$$

6.2.2. Współczynnik m dla przelewu prostokątnego bez dławienia ($\varepsilon=1$)
(Fanti, 1972)

H [m]	c_g [m]					
	0,3	0,5	1,0	1,5	2,0	∞
0,05	0,464	0,461	0,460	0,459	0,459	0,459
0,10	0,447	0,439	0,434	0,433	0,433	0,432
0,15	0,449	0,435	0,427	0,425	0,424	0,423
0,20	0,455	0,437	0,425	0,422	0,420	0,419
0,25	0,463	0,441	0,425	0,420	0,419	0,416
0,30	0,471	0,446	0,426	0,420	0,418	0,414
0,35	0,478	0,451	0,428	0,421	0,418	0,413
0,40	0,486	0,457	0,430	0,422	0,418	0,412
0,45	0,492	0,462	0,433	0,423	0,419	0,411
0,50	0,499	0,467	0,436	0,425	0,419	0,410
0,55	–	0,472	0,438	0,426	0,420	0,410
0,60	–	0,472	0,441	0,428	0,421	0,410
0,65	–	0,481	0,444	0,430	0,423	0,409
0,70	–	0,485	0,447	0,432	0,424	0,409
0,75	–	0,490	0,450	0,434	0,425	0,409
0,80	–	0,493	0,453	0,436	0,427	0,408

$0,5 \text{ [m]} < b < 2,0 \text{ [m]}; \quad 0,1 \text{ [m]} \leq H \leq 0,6 \text{ [m]}; \quad 0,2 \text{ [m]} \leq c_g \leq 2,0 \text{ [m]}$

6.2.3. Współczynnik m dla przelewu prostokątnego z dławieniem ($\varepsilon \neq 1$)
(Fanti, 1972)

H [m]	$1 - \frac{b}{B_g}$									
	0	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
0,10	0,432	0,429	0,426	0,423	0,420	0,417	0,414	0,411	0,408	0,405
0,12	0,428	0,425	0,422	0,419	0,416	0,413	0,410	0,407	0,404	0,401
0,15	0,423	0,420	0,417	0,414	0,411	0,408	0,405	0,402	0,399	0,396
0,20	0,419	0,416	0,413	0,410	0,407	0,404	0,401	0,398	0,395	0,392
0,25	0,416	0,413	0,410	0,407	0,404	0,401	0,398	0,395	0,392	0,389
0,30	0,414	0,411	0,408	0,405	0,402	0,399	0,396	0,393	0,390	0,387
0,40	0,412	0,409	0,406	0,403	0,400	0,397	0,394	0,391	0,388	0,385
0,50	0,410	0,407	0,404	0,401	0,398	0,395	0,392	0,389	0,386	0,383
1,00	0,408	0,405	0,402	0,399	0,396	0,393	0,390	0,387	0,384	0,381
∞	0,405	0,402	0,399	0,396	0,393	0,390	0,387	0,384	0,381	0,378

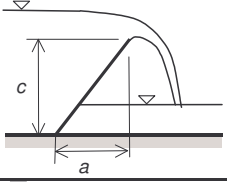
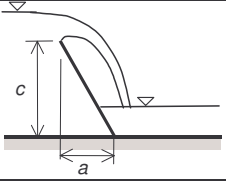
$0,4 \text{ [m]} \leq b \leq 1,8 \text{ [m]}; \quad 0,1 \text{ [m]} \leq H \leq 0,6 \text{ [m]}; \quad 0,4 \text{ [m]} \leq c_g \leq 0,8 \text{ [m]};$
 $0 < (B_g - b) / B_g < 0,9$

6.2.4. Współczynnik dławienia ε przelewu prostokątnego (Fanti, 1972)

$\frac{H}{H+c_g}$	$\frac{b}{B_g}$									
	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
0,05	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,10	1,005	1,004	1,004	1,003	1,002	1,001	1,001	1,000	1,000	1,000
0,15	1,012	1,010	1,008	1,006	1,005	1,003	1,002	1,001	1,001	1,000
0,20	1,022	1,018	1,014	1,011	1,008	1,006	1,004	1,002	1,001	1,000
0,25	1,034	1,028	1,022	1,017	1,012	1,009	1,006	1,003	1,001	1,000
0,30	1,049	1,040	1,032	1,024	1,018	1,012	1,008	1,004	1,002	1,001
0,35	1,067	1,055	1,043	1,033	1,024	1,017	1,011	1,006	1,003	1,001
0,40	1,088	1,071	1,056	1,043	1,032	1,022	1,014	1,008	1,004	1,001
0,45	1,111	1,090	1,071	1,055	1,040	1,028	1,018	1,010	1,004	1,001
0,50	1,137	1,111	1,088	1,067	1,050	1,034	1,022	1,012	1,006	1,001
0,55	1,166	1,135	1,106	1,082	1,060	1,042	1,027	1,015	1,007	1,002
0,60	1,198	1,160	1,127	1,097	1,071	1,050	1,032	1,018	1,008	1,002

6.2.5. Współczynnik kształtu σ_k przelewu prostokątnego

(Zarządzenie, 1967)

Kierunek pochylenia ściany	$a : c$						
	1 : 0	5 : 1	4 : 1	2 : 1	1 : 1	2 : 3	1 : 3
	1,00	1,09	1,10	1,13	1,11	1,09	1,05
	1,00	–	–	–	0,91	0,93	0,96

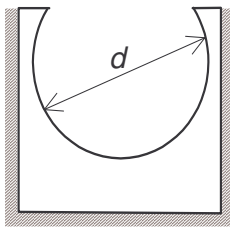
6.2.6. Współczynnik zatopienia σ przelewu o ostrej krawędzi

(Zarządzenie, 1967)

$\frac{H-h}{c_d}$	h/c_d							
	0,00	0,05	0,10	0,20	0,40	0,70	1,00	1,50
0,05	1,05	0,84	0,74	0,64	0,54	0,48	0,45	0,43
0,10	1,05	0,93	0,85	0,76	0,68	0,60	0,57	0,54
0,20	1,05	0,98	0,94	0,87	0,79	0,72	0,69	0,67
0,30	1,05	1,01	0,97	0,92	0,85	0,80	0,77	0,75
0,40	1,05	1,02	0,99	0,95	0,90	0,85	0,83	0,81
0,50	1,05	1,03	1,01	0,98	0,93	0,89	0,87	–
0,60	1,05	1,03	1,02	0,99	0,96	0,92	0,90	–
0,70	1,05	1,04	1,02	1,00	0,98	0,95	0,94	–

dla $0,15 \leq H/c_g \leq 0,25$ i $0 < h/c_g < 0,03$ wartość σ należy mnożyć przez 0,96, dla $h \leq 0$ $\sigma = 1$

6.2.7. Wydatek przelewu kołowego



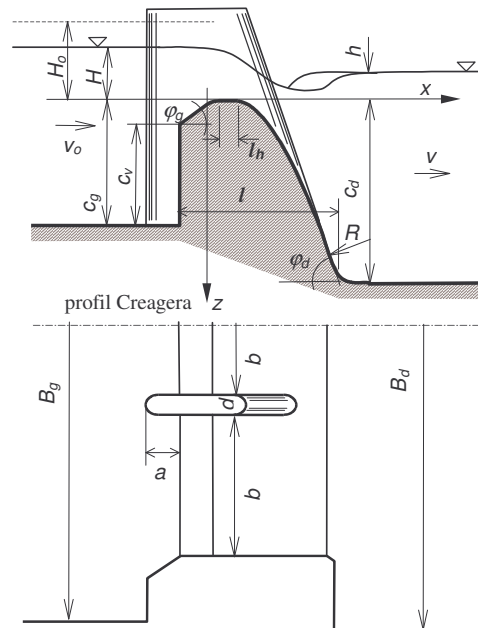
$$Q = m \varepsilon d^{5/2} \kappa$$

gdzie: d – średnica światła przelewu, $\varepsilon = \left(\frac{2d}{B_g} \right)^{0,0625}$

Współczynnik m i współczynnik napełnienia κ dla przelewu kołowego (Rogała, 1991)

H_0/d	m	κ	H_0/d	m	κ	H_0/d	m	κ
0,04	0,784	0,006	0,20	0,609	0,132	0,36	0,595	0,408
0,06	0,709	0,012	0,22	0,605	0,159	0,38	0,595	0,451
0,08	0,672	0,022	0,24	0,603	0,188	0,40	0,594	0,497
0,10	0,650	0,034	0,26	0,601	0,219	0,42	0,594	0,544
0,12	0,636	0,049	0,28	0,599	0,253	0,44	0,594	0,593
0,14	0,626	0,066	0,30	0,598	0,288	0,46	0,594	0,644
0,16	0,618	0,085	0,32	0,597	0,326	0,48	0,594	0,696
0,18	0,613	0,107	0,34	0,596	0,366	0,50	0,594	0,751

6.3. PRZELEWY O KSZTAŁCIE PRAKTYCZNYM



- grubość ścianki: $0,5 H \leq l \leq 2,5$,
- światło przelewu w formie prostokąta o szerokości b .

6.3.1. Wydatek przelewu o kształcie praktycznym

$$Q = \sigma m \sigma_k \varepsilon b \sqrt{2g} H_o^{3/2}$$

gdzie: $H_o = H + \frac{\alpha v_o^2}{2g}$ – wzniesienie linii energii nad koroną przelewu,

$$m \varepsilon = {}^2/3 \mu = {}^2/3 \varphi \varepsilon.$$

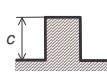
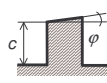
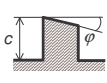
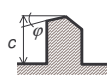
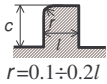
Dla przelewu nie zatopionego i bez kontrakcji bocznej $\sigma = 1$, $\varepsilon = 1$.

6.3.2. Współczynnik wydatku μ i prędkości φ do uproszczonych obliczeń przelewów o kształtach praktycznych (przy $\sigma_k = 1$)
(Podnieśński, 1958; Czugajew, 1975; Balcerski, 1969)

Lp.	Określenie rodzaju przelewu	μ	φ
1	Niskie jazy Creagera o opływowym wlocie	0,83	1,0
2	Wysokie jazy Creagera o opływowym wlocie	0,80	0,98
3	Jazy Creagera o łagodnym wlocie	0,74÷0,75	0,90÷0,95
4	Jazy o dobrze zaokrąglonej koronie	0,71	0,92
5	Jazy o koronie ze ściętymi krawędziami	0,66	0,88
6	Jazy o koronie z ostrymi krawędziami	0,63	0,85
7	Jazy stanowiące podstawę zastawek, gdy słupy (odrzwia) nie dają się usunąć	0,60÷0,65	0,85
8	Jaz o koronie położonej równo z dnem rzeki i zaokrąglonym wlocie	0,75÷0,85	0,98

6.3.3. Progi o profilu prostokątnym

Współczynnik kształtu σ_k dla progów o kształcie prostokątnym dla $H \leq c \leq 4H$ i $0,5H \leq l \leq 2H$ (Czugajew, 1975)

Kształt progu							
ctg φ	∞	5÷10	>10	>20	5÷10	>10	—
σ_k	0,42	0,44	0,42	0,42	0,44	0,42	0,44

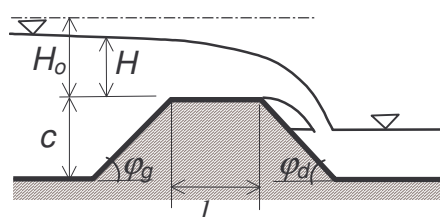
Dla progów o niewielkim kącie natarcia (ctg $\varphi > 10$) i $c > 4H$ (oznaczenie jak w 6.3.4) σ_k należy zmniejszyć o 3 %.

Współczynnik m dla progów o kształcie prostokątnym przy swobodnym dostępie powietrza pod spadający strumień (Czugajew, 1975)

H/l	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
m	0.793	0.811	0.830	0.848	0.867	0.885	0.904	0.922
H/l	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
m	0.941	0.959	0.978	0.996	1.015	1.033	1.052	1.070

Dla progów o niewielkim kącie natarcia ($\text{ctg } \varphi > 10$) i $0,5 H \leq l \leq 0,6 H$ (oznaczenia jak w 6.3.4.) $m = 1,0$.

6.3.4. Współczynnik m dla progów o kształcie trapezowym (Czugajew, 1975)



przy swobodnym dostępie powietrza pod spadający strumień i $\sigma_k = 1$.

c/H	$\text{ctg } \varphi_g$	$\text{ctg } \varphi_d$	H/l			
			0,5	1,0	1,5	2,0
0,5 ÷ 2,0	3,0	0,0	0,37	0,40	0,41	0,42
	5,0	0,0	0,37	0,39	0,40	0,41
	10,0	0,0	0,37	0,39	0,39	0,40
	0,0	3,0	0,34	0,36	0,38	0,40
	0,0	5,0	0,34	0,35	0,37	0,38
	0,0	10,0	0,34	0,35	0,36	0,36
2,0 ÷ 3,0	1,0	0,0	0,36	0,39	0,41	0,44
	2,0	0,0	0,37	0,40	0,41	0,44
	0,0	1,0	0,33	0,37	0,41	0,42
	0,0	2,0	0,33	0,36	0,40	0,42
> 3,0	<0,5	<0,5	0,32	0,36	0,39	0,41
	<0,5	<0,5	0,34	0,38	0,41	0,44

6.3.5. Profil przelewu Creagera

Współrzędne profilu przelewu Creagera (Fanti, 1972) oznaczenia jak na rysunku ze str. 33.

x/H_0	z/H_0	x/H_0	z/H_0	x/H_0	z/H_0
0	0,126	1,4	0,564	2,8	2,462
0,1	0,036	1,5	0,661	2,9	2,640
0,2	0,007	1,6	0,764	3,0	2,824
0,3	0,000	1,7	0,873	3,1	3,013
0,4	0,006	1,8	0,987	3,2	3,207
0,5	0,027	1,9	1,108	3,3	3,405
0,6	0,060	2,0	1,235	3,4	3,609
0,7	0,100	2,1	1,369	3,5	3,818
0,8	0,146	2,2	1,508	3,6	4,031
0,9	0,198	2,3	1,653	3,7	4,249
1,0	0,256	2,4	1,894	3,8	4,471
1,1	0,321	2,5	1,960	3,9	4,698
1,2	0,394	2,6	2,122	4,0	4,930
1,3	0,475	2,7	2,279	4,5	6,220

H_0 – wysokość energii przepływu kształtującego profil.

Wstawkę prostą wstawia się w najwyższym punkcie profilu ($x/H_0 = 0,3$)

Wartość promienia R dla przelewu Creagera (Fanti, 1972)

c [m]	H [m]								
	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0
10	3,0	4,2	5,4	6,5	7,5	8,5	9,6	10,6	11,6
20	4,0	6,0	7,8	8,9	10,0	11,0	12,2	13,3	14,3
30	4,5	7,5	9,7	11,0	12,4	13,5	14,7	15,8	16,8
40	4,7	8,4	11,0	13,0	14,5	15,8	17,0	18,0	19,0
50	4,8	8,8	12,2	14,5	16,5	18,0	19,2	20,3	21,3
60	4,9	8,9	13,0	15,5	18,0	20,0	21,2	22,2	23,2

6.3.6. Współczynniki progów o profilu Creagera

Współczynnik kształtu σ_k dla progów Creagera (Fanti, 1972) oznaczenia jak na rysunku ze str. 33.

φ_g [°]	φ_d [°]	C_v / C_g				
		0,0	0,3	0,6	0,9	1,0
15	15	0,880	0,878	0,855	0,850	0,933
	30	0,910	0,908	0,885	0,880	0,974
	45	0,924	0,922	0,899	0,892	0,933
	≥60	0,927	0,925	0,902	0,895	1,000
35	15	0,905	0,904	0,898	0,907	0,933
	30	0,940	0,939	0,932	0,940	0,974
	45	0,957	0,956	0,949	0,956	0,993
	≥60	0,961	0,960	0,954	0,962	1,000
55	15	0,925	0,933	0,922	0,927	0,933
	30	0,962	0,962	0,960	0,964	0,974
	45	0,981	0,981	0,980	0,983	0,993
	≥60	0,985	0,985	0,984	0,989	1,000
75	15	0,930	0,930	0,930	0,930	0,933
	30	0,972	0,972	0,972	0,972	0,974
	45	0,992	0,992	0,992	0,992	0,993
	≥60	0,998	0,998	0,998	0,999	1,000
>75	15	0,933				
	30	0,974				
	45	0,993				
	≥60	1,000				

Współczynnik m dla progu Creagera ze wstawką prostą
(Fanti, 1972)

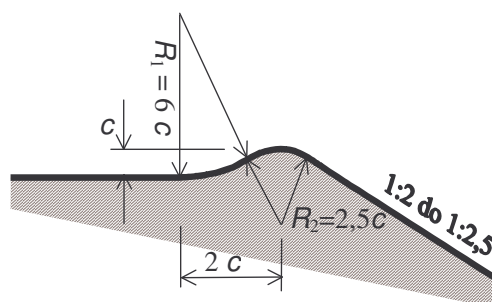
Długość wstawki							
$l_h = 0,6 H$		$l_h = 1,2 H$		$l_h = 1,5 H$		$l_h = 1,8 H$	
l_h / H_1	m	l_h / H_1	m	l_h / H_1	m	l_h / H_1	m
3,000	0,332	6,000	0,341	7,500	0,347	9,000	0,351
1,500	0,361	3,000	0,363	3,750	0,364	4,500	0,365
1,000	0,378	2,000	0,376	2,500	0,374	3,000	0,372
0,750	0,391	1,500	0,386	1,875	0,381	2,250	0,378
0,600	0,401	1,200	0,394	1,500	0,387	1,800	0,383
0,500	0,410	1,000	0,401	1,250	0,391	1,500	0,387
0,428	0,417	0,856	0,406	1,071	0,395	1,285	0,391
0,375	0,424	0,750	0,411	0,933	0,399	1,125	0,393
0,333	0,430	0,666	0,416	0,833	0,402	1,000	0,396
0,900	0,436	0,900	0,419	0,750	0,405	0,900	0,399

Współczynnik m dla progu Creagera bez wstawki prostej
 $l_h < 0,6 H$ (Fanti, 1972)

H_o / c_g	0	0,2	0,4	0,6	0,8
0	0,494	0,491	0,489	0,487	0,485
1	0,483	0,481	0,479	0,477	0,475
2	0,473	0,471	0,468	0,466	0,464
3	0,462	0,460	0,458	0,456	0,454
4	0,452	0,449	0,447	0,445	0,443
5	0,441	0,439	0,437	0,435	0,433
6	0,430	0,428	0,426	0,424	0,422
7	0,420	–	–	–	–

Wartość argumentu H_o / c_g jest sumą wartości podanej w pierwszym wierszu i w pierwszej kolumnie, np. dla $H_o / c_g = 3,4 = 3,0 + 0,4$ $m = 0,458$.

6.3.7. Współczynnik m dla progu Jambora



H_0 / c_g	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
m	0,3885	0,4096	0,4262	0,4382	0,4455	0,4483

6.3.8. Współczynnik zatopienia σ

Warunki zatopienia przelewu:

$$h > 0, \quad \frac{h}{H} > 0.4 \quad \text{i} \quad \frac{H-h}{c_d} \leq \left(\frac{H-h}{c_d} \right)_k$$

Wymagany stopień zatopienia przelewu $\left(\frac{H-h}{c_d} \right)_k$ by odskok był zatopiony (Fanti, 1972)

m	H / c_d									
	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00	3,00
0,42	0,89	0,84	0,80	0,78	0,76	0,73	0,73	0,76	0,82	1,00
0,46	0,88	0,82	0,78	0,76	0,74	0,71	0,70	0,73	0,79	1,01
0,48	0,86	0,80	0,76	0,74	0,71	0,68	0,67	0,70	0,78	1,02
0,49	0,86	0,80	0,76	0,73	0,70	0,67	0,66	0,70	0,78	0,99

Wartość współczynnika zatopienia σ (Fanti, 1972)

h/H_o	σ	h/H_o	σ
0,00	1,00	0,55	0,965
0,05	0,999	0,60	0,957
0,10	0,998	0,65	0,947
0,15	0,997	0,70	0,933
0,20	0,996	0,75	0,910 ÷ 0,800
0,25	0,994	0,80	0,760
0,30	0,991	0,85	0,700
0,35	0,988	0,90	0,590
0,40	0,983	0,95	0,410
0,45	0,978	1,00	0,000
0,50	0,972	–	–

6.3.9. Współczynnik kontrakcji ε

Jeśli $H_o > b$, wtedy $\varepsilon = 1$. W innych przypadkach wartość współczynnika dławienia bocznego ε oblicza się ze wzoru:

$$\varepsilon = 1 - 0,2 \cdot \frac{\zeta_p + (N-1) \cdot \zeta_f}{N} \cdot \frac{H_o}{b}$$

dla $B_g > \sum(b+d)$ oraz $\frac{h}{H_o} \leq 0,85 \div 0,90$


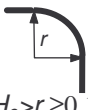
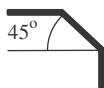
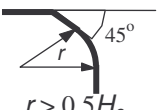


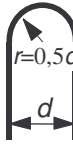
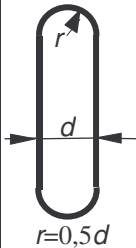
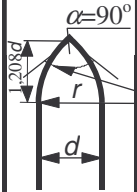
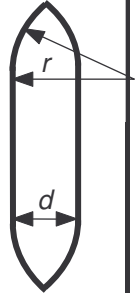
lub:

$$\varepsilon = 1 - 0,2 \cdot \zeta_f \cdot \frac{H_o}{b}$$

dla $B_g < \sum(b+d)$ lub $\frac{h}{H_o} > 0,90$ i $\frac{h}{H_o} < 0,85$,

gdzie: N – ilość przęseł jazu,

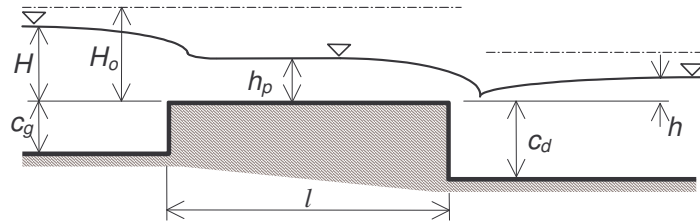
Współczynniki kształtu przyczółków ζ_p i filarów ζ_f (Fanti, 1972)

Przyczółki											
Kształt przedniej ściany ζ_p											
		$0,5H_o > r \geq 0,15H_o$		$r > 0,5H_o$							
ζ_p	1,0	0,5	0,7	0,0							
Filary											
przy $h / H_o \leq 0,75$					przy $h / H_o > 0,75$						
kształt czoła filara	wartość ζ_f przy a / H_o równym:				kształt całego filara	wartość ζ_f przy h / H równym:					
	+1,0	+0,5	0,0	-0,3		0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00
	0,20	0,40	0,80	-		0,80	0,86	0,92	0,98	1,00	1,00
	0,15	0,30	0,45	0,0		0,45	0,51	0,57	0,63	0,69	0,70
	0,10	0,15	0,25	0,0		0,25	0,32	0,39	0,46	0,53	0,60
$r=1,708d$					$r=1,708d$						

$a > 0$ oznacza filar przesunięty w kierunku przepływu poza ścianę czołową C_v .

6.4. PRZELEW O SZEROKIEJ KORONIE

6.4.1. Wydatek przelewu o szerokiej koronie



$$l > 8 \div 15 H$$

Przelew nie zatopiony

$$Q = m \varepsilon b \sqrt{2g} H_o^{3/2}$$

Przelew zatopiony

$$Q = \varphi \varepsilon b h \sqrt{2g (H_o - h)}$$

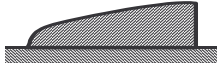
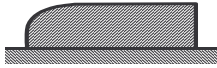
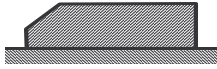
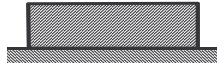

Głębokość na przelewie nie zatopionym

$$h_p = k H_o$$

gdzie: k – współczynnik głębokości z tabeli 6.4.2.

Współczynnik kontrakcji ε obliczany jak w 6.3.9.

6.4.2. Współczynniki do obliczania przelewów o szerokiej koronie
(Czetwertyński, 1958)

Lp.	Charakterystyka kształtu przelewu	Kształt	φ	k	m
1	2	6	3	4	5
1	Bez strat wlotowych	teoretyczny	1	2/3	0,387
2	Przy dobrze zaokrąglonej części wlotowej i bardzo łagodnym podejściu		0,95	0,645	0,365
3	Próg o zaokrąglonej krawędzi wlotowej		0,92	0,63	0,35
4	Próg o ściętej krawędzi wlotowej		0,88	0,61	0,335
5	Próg o ostrej krawędzi wlotowej		0,85	0,59	0,32
6	Jak wyżej, lecz przy nie sprzyjających warunkach (szorstki wlot i korona przelewu)		0,8	0,56	0,295

7. HYDRAULIKA KORYT OTWARTYCH

7.1. PARAMETRY KANAŁÓW OTWARTYCH

7.1.1. Zalecane nachylenia skarp kanałów ziemnych (Rogała, 1991)

Lp.	Rodzaj gruntu	Nachylenie skarp
1	Piaski pylaste	1:3 ÷ 1:3,5
2	Piaski drobne i grube, luźne lub średnio zagęszczone	1:2 ÷ 1:2,5
3	Jak wyżej, lecz zagęszczone	1:1,5 ÷ 1:2
4	Piaski gliniaste	1:1,5 ÷ 1:2
5	Gliny, lessy, gliny piaszczyste	1:1,25 ÷ 1:1,5
6	Torfy średnio i silnie rozłożone	1:1 ÷ 1:1,5
7	Torfy słabo rozłożone	1:0,5 ÷ 1:1,0
8	Żwiry i otoczaki	1:1,25 ÷ 1:1,15
9	Skała zwietrzała	1:1,25 ÷ 1:0,5
10	Skała nie zwietrzała	1:0,1 ÷ 1:0,25

7.1.2. Dopuszczalne prędkości średnie (v) w kanałach ziemnych dla jednorodnych gruntów sypkich (Rogala, 1991)

Rodzaj gruntu	Średnica ziaren d [mm]	Średnia prędkość przepływu v_0 [m/s]										
Pyły	0,005 ÷ 0,05	0,15 ÷ 0,20										
Piasek drobny	0,05 ÷ 0,25	0,21 ÷ 0,32										
Piasek średni	0,25 ÷ 1,0	0,32 ÷ 0,57										
Piasek gruby	1,0 ÷ 2,50	0,57 ÷ 0,65										
Żwir drobny	2,50 ÷ 5,0	0,65 ÷ 0,80										
Żwir średni	5,0 ÷ 10,0	0,80 ÷ 1,0										
Żwir gruby	10,0 ÷ 15,0	1,0 ÷ 1,20										
Otoczaki drobne	15,0 ÷ 25,0	1,20 ÷ 1,40										
Otoczaki średnie	25,0 ÷ 40,0	1,40 ÷ 1,80										
Otoczaki grube	40,0 ÷ 75,0	1,80 ÷ 2,40										
Brukowiec drobny	75,0 ÷ 100,0	2,40 ÷ 2,80										
Brukowiec średni	100,0 ÷ 150,0	2,80 ÷ 3,40										
Brukowiec gruby	150,0 ÷ 200,0	3,40 ÷ 3,90										
Głazy	200,0 ÷ 250,0	3,90 ÷ 4,10										
	250,0 ÷ 300,0	4,10 ÷ 4,35										
	300,0 ÷ 350,0	4,35 ÷ 4,56										
	>400,0	4,75										
Współczynnik redukcyjny α dla głębokości $h \neq 1,0$ [m], $v = v_0 \alpha$												
h	0,3	0,6	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	7,0
α	0,80	0,90	1,0	1,08	1,15	1,20	1,25	1,29	1,32	1,35	1,38	1,47

7.2. RUCH JEDNOSTAJNY W KORYTACH OTWARTYCH

7.2.1. Wzór Matakiewicza

$$v = F(S) \cdot f(h)$$

Funkcja spadku do wzoru Matakiewicza (Czetwertyński, 1958)

S [‰]	F(S)	S [‰]	F(S)	S [‰]	F(S)	S [‰]	F(S)	S [‰]	F(S)
0,010	0,12	0,040	0,23	0,070	0,30	0,100	0,36	0,40	0,69
0,011	0,12	0,041	0,23	0,071	0,30	0,110	0,37	0,41	0,70
0,012	0,13	0,042	0,24	0,072	0,30	0,120	0,39	0,42	0,71
0,013	0,13	0,043	0,24	0,073	0,31	0,130	0,41	0,43	0,72
0,014	0,14	0,044	0,24	0,074	0,31	0,140	0,42	0,44	0,73
0,015	0,14	0,045	0,24	0,075	0,31	0,150	0,44	0,45	0,73
0,016	0,14	0,046	0,25	0,076	0,31	0,160	0,45	0,46	0,74
0,017	0,15	0,047	0,25	0,077	0,31	0,170	0,47	0,47	0,75
0,018	0,15	0,048	0,25	0,078	0,31	0,180	0,48	0,48	0,76
0,019	0,16	0,049	0,25	0,079	0,32	0,190	0,49	0,49	0,76
0,020	0,16	0,050	0,25	0,080	0,32	0,200	0,50	0,50	0,77
0,021	0,17	0,051	0,26	0,081	0,32	0,210	0,51	0,51	0,78
0,022	0,17	0,052	0,26	0,082	0,32	0,220	0,52	0,52	0,78
0,023	0,18	0,053	0,26	0,083	0,33	0,230	0,54	0,53	0,79
0,024	0,18	0,054	0,26	0,084	0,33	0,240	0,55	0,54	0,80
0,025	0,18	0,055	0,27	0,085	0,33	0,25	0,56	0,55	0,80
0,026	0,19	0,056	0,27	0,086	0,33	0,26	0,57	0,56	0,81
0,027	0,19	0,057	0,27	0,087	0,33	0,27	0,58	0,57	0,81
0,028	0,19	0,058	0,27	0,088	0,34	0,28	0,59	0,58	0,82
0,029	0,20	0,059	0,28	0,089	0,34	0,29	0,60	0,59	0,83
0,030	0,20	0,060	0,28	0,090	0,34	0,30	0,61	0,60	0,84
0,031	0,20	0,061	0,28	0,091	0,34	0,31	0,62	0,61	0,84
0,032	0,21	0,062	0,28	0,092	0,34	0,32	0,63	0,62	0,85
0,033	0,21	0,063	0,28	0,093	0,34	0,33	0,64	0,63	0,85
0,034	0,21	0,064	0,29	0,094	0,35	0,34	0,64	0,64	0,86
0,035	0,22	0,065	0,29	0,095	0,35	0,35	0,65	0,65	0,86
0,036	0,22	0,066	0,29	0,096	0,35	0,36	0,66	0,66	0,87
0,037	0,22	0,067	0,29	0,097	0,35	0,37	0,67	0,67	0,88
0,038	0,23	0,068	0,30	0,098	0,36	0,38	0,68	0,68	0,88
0,039	0,23	0,069	0,30	0,099	0,36	0,39	0,68	0,69	0,89

cd. tabl.

S [‰]	F(S)	S [‰]	F(S)	S [‰]	F(S)	S [‰]	F(S)	S [‰]	F(S)
0,70	0,90	1,00	1,05	4,00	1,79	7,00	2,08	10,00	2,21
0,71	0,90	1,10	1,09	4,10	1,80	7,10	2,08	10,25	2,22
0,72	0,91	1,20	1,13	4,20	1,82	7,20	2,09	10,50	2,23
0,73	0,92	1,30	1,16	4,30	1,83	7,30	2,09	10,75	2,23
0,74	0,92	1,40	1,21	4,40	1,84	7,40	2,10	11,00	2,24
0,75	0,93	1,50	1,25	4,50	1,85	7,50	2,11	11,25	2,24
0,76	0,93	1,60	1,28	4,60	1,87	7,60	2,11	11,50	2,25
0,77	0,94	1,70	1,31	4,70	1,88	7,70	2,11	11,75	2,25
0,78	0,94	1,80	1,34	4,80	1,89	7,80	2,12	12,00	2,26
0,79	0,95	1,90	1,37	4,90	1,90	7,90	2,12	12,25	2,27
0,80	0,95	2,00	1,40	5,00	1,91	8,00	2,13	12,50	2,27
0,81	0,96	2,10	1,43	5,10	1,92	8,10	2,13	12,75	2,27
0,82	0,96	2,20	1,45	5,20	1,93	8,20	2,14	13,00	2,27
0,83	0,97	2,30	1,48	5,30	1,94	8,30	2,14	13,25	2,27
0,84	0,97	2,40	1,50	5,40	1,95	8,40	2,15	13,50	2,27
0,85	0,98	2,50	1,52	5,50	1,96	8,50	2,16	13,75	2,27
0,86	0,98	2,60	1,55	5,60	1,97	8,60	2,16	14,00	2,28
0,87	0,99	2,70	1,57	5,70	1,98	8,70	2,16	14,25	2,28
0,88	0,99	2,80	1,59	5,80	1,99	8,80	2,17	14,50	2,28
0,89	1,00	2,90	1,61	5,90	2,00	8,90	2,17	14,75	2,28
0,90	1,00	3,00	1,63	6,00	2,01	9,00	2,18	15,00	2,28
0,91	1,01	3,10	1,65	6,10	2,02	9,10	2,18		
0,92	1,01	3,20	1,66	6,20	2,02	9,20	2,19		
0,93	1,02	3,30	1,68	6,30	2,03	9,30	2,19		
0,94	1,02	3,40	1,70	6,40	2,04	9,40	2,19		
0,95	1,03	3,50	1,71	6,50	2,04	9,50	2,20		
0,96	1,03	3,60	1,73	6,60	2,05	9,60	2,20		
0,97	1,04	3,70	1,75	6,70	2,06	9,70	2,20		
0,98	1,04	3,80	1,76	6,80	2,07	9,80	2,21		
0,99	1,05	3,90	1,78	6,90	2,07	9,90	2,21		

Funkcja głębokości do wzoru Matakiewicza (Czetwertyński, 1958)

h	$f(h)$	h	$f(h)$	h	$f(h)$	h	$f(h)$	h	$f(h)$
0,01	0,04	0,31	0,45	0,61	0,73	0,91	0,97	1,21	1,19
0,02	0,06	0,32	0,46	0,62	0,74	0,92	0,98	1,22	1,19
0,03	0,08	0,33	0,47	0,63	0,75	0,93	0,98	1,23	1,20
0,04	0,10	0,34	0,48	0,64	0,76	0,94	0,99	1,24	1,21
0,05	0,12	0,35	0,49	0,65	0,77	0,95	1,00	1,25	1,21
0,06	0,14	0,36	0,50	0,66	0,77	0,96	1,01	1,26	1,22
0,07	0,16	0,37	0,52	0,67	0,78	0,97	1,02	1,27	1,23
0,08	0,17	0,38	0,52	0,68	0,79	0,98	1,02	1,28	1,23
0,09	0,19	0,39	0,53	0,69	0,80	0,99	1,03	1,29	1,24
0,1	0,20	0,4	0,54	0,70	0,81	1,00	1,04	1,30	1,25
0,11	0,22	0,41	0,55	0,71	0,81	1,01	1,05	1,31	1,25
0,12	0,23	0,42	0,56	0,72	0,82	1,02	1,05	1,32	1,26
0,13	0,24	0,43	0,57	0,73	0,83	1,03	1,06	1,33	1,27
0,14	0,26	0,44	0,58	0,74	0,84	1,04	1,07	1,34	1,27
0,15	0,27	0,45	0,59	0,75	0,85	1,05	1,07	1,35	1,28
0,16	0,28	0,46	0,60	0,76	0,85	1,06	1,08	1,36	1,29
0,17	0,30	0,47	0,61	0,77	0,86	1,07	1,09	1,37	1,30
0,18	0,31	0,48	0,62	0,78	0,87	1,08	1,10	1,38	1,30
0,19	0,32	0,49	0,63	0,79	0,88	1,09	1,10	1,39	1,31
0,2	0,33	0,5	0,64	0,80	0,89	1,10	1,11	1,40	1,31
0,21	0,34	0,51	0,64	0,81	0,89	1,11	1,12	1,41	1,32
0,22	0,36	0,52	0,65	0,82	0,90	1,12	1,12	1,42	1,33
0,23	0,37	0,53	0,66	0,83	0,91	1,13	1,13	1,43	1,33
0,24	0,38	0,54	0,67	0,84	0,92	1,14	1,14	1,44	1,34
0,25	0,39	0,55	0,68	0,85	0,92	1,15	1,14	1,45	1,35
0,26	0,40	0,56	0,69	0,86	0,93	1,16	1,15	1,46	1,35
0,27	0,41	0,57	0,70	0,87	0,94	1,17	1,16	1,47	1,36
0,28	0,42	0,58	0,71	0,88	0,95	1,18	1,17	1,48	1,37
0,29	0,43	0,59	0,72	0,89	0,95	1,19	1,17	1,49	1,37
0,3	0,44	0,60	0,72	0,90	0,96	1,20	1,18	1,50	1,38

cd. tabl.

h	$f(h)$	h	$f(h)$	h	$f(h)$	h	$f(h)$	h	$f(h)$
1,51	1,39	1,81	1,57	2,22	1,82	2,82	2,15	3,42	2,46
1,52	1,39	1,82	1,58	2,24	1,83	2,84	2,16	3,44	2,47
1,53	1,40	1,83	1,59	2,26	1,84	2,86	2,17	3,46	2,48
1,54	1,41	1,84	1,59	2,28	1,85	2,88	2,18	3,48	2,49
1,55	1,41	1,85	1,60	2,30	1,86	2,90	2,19	3,50	2,50
1,56	1,42	1,86	1,60	2,32	1,87	2,92	2,20	3,52	2,51
1,57	1,42	1,87	1,61	2,34	1,88	2,94	2,21	3,54	2,52
1,58	1,43	1,88	1,62	2,36	1,90	2,96	2,22	3,56	2,53
1,59	1,44	1,89	1,62	2,38	1,91	2,98	2,23	3,58	2,54
1,60	1,44	1,90	1,63	2,40	1,92	3,00	2,24	3,60	2,55
1,61	1,45	1,91	1,63	2,42	1,93	3,02	2,25	3,62	2,56
1,62	1,46	1,92	1,64	2,44	1,94	3,04	2,26	3,64	2,57
1,63	1,46	1,93	1,64	2,46	1,95	3,06	2,27	3,66	2,58
1,64	1,47	1,94	1,65	2,48	1,96	3,08	2,28	3,68	2,59
1,65	1,48	1,95	1,66	2,50	1,97	3,10	2,29	3,70	2,60
1,66	1,48	1,96	1,66	2,52	1,98	3,12	2,30	3,72	2,61
1,67	1,49	1,97	1,67	2,54	2,00	3,14	2,32	3,74	2,62
1,68	1,49	1,98	1,68	2,56	2,01	3,16	2,33	3,76	2,63
1,69	1,50	1,99	1,68	2,58	2,02	3,18	2,34	3,78	2,64
1,70	1,51	2,00	1,69	2,60	2,03	3,20	2,35	3,80	2,65
1,71	1,51	2,02	1,70	2,62	2,04	3,22	2,36	3,82	2,66
1,72	1,52	2,04	1,71	2,64	2,05	3,24	2,37	3,84	2,67
1,73	1,53	2,06	1,72	2,66	2,06	3,26	2,38	3,86	2,68
1,74	1,53	2,08	1,73	2,68	2,07	3,28	2,39	3,88	2,68
1,75	1,54	2,10	1,75	2,70	2,08	3,30	2,40	3,90	2,69
1,76	1,54	2,12	1,76	2,72	2,09	3,32	2,41	3,92	2,70
1,77	1,55	2,14	1,77	2,74	2,10	3,34	2,42	3,94	2,71
1,78	1,56	2,16	1,78	2,76	2,12	3,36	2,43	3,96	2,72
1,79	1,56	2,18	1,79	2,78	2,13	3,38	2,44	3,98	2,73
1,80	1,57	2,20	1,80	2,80	2,14	3,40	2,45	4,00	2,75

c.d. tabl.

h	$f(h)$	h	$f(h)$	h	$f(h)$	h	$f(h)$	h	$f(h)$
4,05	2,77	5,55	3,13	7,05	3,32	8,55	3,50	10,05	3,69
4,10	2,78	5,60	3,13	7,10	3,32	8,60	3,51	10,10	3,70
4,15	2,80	5,65	3,14	7,15	3,33	8,65	3,52	10,15	3,70
4,20	2,82	5,70	3,15	7,20	3,33	8,70	3,52	10,20	3,71
4,25	2,84	5,75	3,15	7,25	3,34	8,75	3,53	10,25	3,72
4,30	2,86	5,80	3,16	7,30	3,35	8,80	3,53	10,30	3,72
4,35	2,87	5,85	3,17	7,35	3,35	8,85	3,54	10,35	3,73
4,40	2,89	5,90	3,17	7,40	3,36	8,90	3,55	10,40	3,73
4,45	2,90	5,95	3,18	7,45	3,37	8,95	3,55	10,45	3,74
4,50	2,92	6,00	3,18	7,50	3,37	9,00	3,56	10,50	3,75
4,55	2,94	6,05	3,19	7,55	3,38	9,05	3,57	10,55	3,75
4,60	2,95	6,10	3,20	7,60	3,38	9,10	3,57	10,60	3,76
4,65	2,97	6,15	3,20	7,65	3,39	9,15	3,58	10,65	3,77
4,70	2,98	6,20	3,21	7,70	3,40	9,20	3,58	10,70	3,77
4,75	3,00	6,25	3,22	7,75	3,40	9,25	3,59	10,75	3,78
4,80	3,01	6,30	3,22	7,80	3,41	9,30	3,60	10,80	3,78
4,85	3,03	6,35	3,23	7,85	3,42	9,35	3,60	10,85	3,79
4,90	3,04	6,40	3,23	7,90	3,42	9,40	3,61	10,90	3,80
4,95	3,05	6,45	3,24	7,95	3,43	9,45	3,62	10,95	3,80
5,00	3,06	6,50	3,25	8,00	3,43	9,50	3,62	11,00	3,81
5,05	3,07	6,55	3,25	8,05	3,44	9,55	3,63	11,05	3,82
5,10	3,07	6,60	3,26	8,10	3,45	9,60	3,63	11,10	3,82
5,15	3,08	6,65	3,27	8,15	3,45	9,65	3,64	11,15	3,83
5,20	3,08	6,70	3,27	8,20	3,46	9,70	3,65	11,20	3,83
5,25	3,09	6,75	3,28	8,25	3,47	9,75	3,65	11,25	3,84
5,30	3,10	6,80	3,28	8,30	3,47	9,80	3,66	11,30	3,85
5,35	3,10	6,85	3,29	8,35	3,48	9,85	3,67	11,35	3,85
5,40	3,11	6,90	3,30	8,40	3,48	9,90	3,67	11,40	3,86
5,45	3,12	6,95	3,30	8,45	3,49	9,95	3,68	11,45	3,87
5,50	3,12	7,00	3,31	8,50	3,50	10,00	3,69	11,50	3,87

7.2.2. Współczynnik szorstkości n do wzoru Manninga
(Ven te Chow, 1959)

Lp.	Typ ciekłu i jego opis	Współczynnik n		
		min.	średni	max.
1	2	3	4	5
	A. Kanały otwarte ubezpieczone			
	asfalt			
1	gładki	0,013	0,013	–
2	szorstki	0,016	0,016	–
	metal			
3	powierzchnia stalowa gładka nie malowana	0,011	0,012	0,014
4	powierzchnia stalowa gładka malowana	0,012	0,013	0,017
5	powierzchnia ryflowana	0,021	0,025	0,030
	drewno			
6	powierzchnia strugana nie impregnowana	0,010	0,012	0,014
7	powierzchnia strugana, drewno przepojone kreozotem	0,011	0,012	0,015
8	powierzchnia nie strugana	0,011	0,013	0,015
9	deski z listwami	0,012	0,015	0,018
10	powierzchnie pokryte papą	0,010	0,014	0,017
	cement			
11	czysta powierzchnia cementowa	0,010	0,010	0,013
12	zaprawa cementowa	0,011	0,013	0,015
	beton			
13	powierzchnia wygładzona	0,011	0,013	0,015
14	powierzchnia wygładzona kielnią	0,013	0,015	0,016
15	powierzchnia wygładzona, na dnie żwir	0,015	0,017	0,020
16	powierzchnia nie wygładzona	0,014	0,017	0,020
17	torkret dobrze ułożony	0,016	0,019	0,023
18	torkret o powierzchni pofalowanej	0,018	0,022	0,025
19	wyprawa na równo obrobionej powierzchni skalnej	0,017	0,020	–
20	wyprawa na nierówno obrobionej powierzchni skalnej	0,022	0,027	–

1	2	3	4	5
	cegła			
21	klinkierowa	0,011	0,013	0,015
22	na zaprawie cementowej	0,012	0,015	0,015
	mur kamienny			
23	ciosany kamień	0,013	0,015	0,017
24	kamień łamany na zaprawie cementowej	0,017	0,025	0,030
25	mur z kamienia łamanego bez zaprawy	0,023	0,032	0,035
	betonowane dno wygładzone kielnią i ściany wykonane z:			
26	ciosanego kamienia na zaprawie	0,015	0,017	0,020
27	nie ciosanego kamienia na zaprawie	0,017	0,020	0,024
28	wyprawionego muru z kamienia łamanego na zaprawie cementowej	0,016	0,020	0,024
29	kamienia łamanego bez zaprawy lub narzutu kamiennego	0,020	0,030	0,035
	żwirowane dno i ściany wykonane z:			
30	betonu	0,017	0,020	0,025
31	nie ciosanego kamienia na zaprawie	0,020	0,023	0,026
	B. Kanały ziemne nie umocnione			
	kanał ziemny prosty o stałym przekroju			
32	czysty, bezpośrednio po wykonaniu	0,016	0,018	0,020
33	czysty zwietrzały	0,018	0,022	0,025
34	czysty, łożysko kanału żwirowe	0,022	0,025	0,030
35	w kanale niewielka roślinność	0,022	0,027	0,033
	kanał ziemny o zmiennym przekroju			
36	bez roślinności	0,023	0,025	0,030
37	zarosły trawą	0,025	0,030	0,030
38	z gęstą trawą i wodorostami	0,030	0,035	0,040
39	o dnie zmiennym i ścianami z kamienia łamanego	0,028	0,030	0,035
40	o dnie kamiennym, skarpy porośnięte wodorostami	0,025	0,035	0,040
41	o brukowanym dnie i czystych skarpach	0,030	0,040	0,050

c.d. tabl.

1	2	3	4	5
	kanał wykopany za pomocą koparki zbierkowej lub pogłębiarki			
42	bez roślinności	0,025	0,028	0,033
43	z niewielką roślinnością przy brzegach	0,035	0,050	0,060
	kanał wykuty w skale			
44	o gładkich ścianach i stałym przekroju	0,025	0,035	0,040
45	o nierównych ścianach	0,035	0,040	0,050
	kanały zaniedbane nie oczyszczone z trawy i krzaków			
46	gęsta roślinność o wysokości równej głębokości cieku	0,050	0,080	0,120
47	czyste dno, zarośla przy brzegach	0,040	0,050	0,080
48	czyste dno, zarośla przy brzegach w przypadku wysokiego poziomu wody	0,045	0,070	0,110
49	gęsta wiklina przy brzegach, wysoki poziom wody	0,080	0,100	0,140
	C. Naturalne ciek wodne			
	małe ciek wodne w czasie wielkiej wody szerokość mniejsza od 30m			
	<u>cieki nizinne</u>			
50	czyste, proste, bez mielizn i dołów	0,025	0,030	0,033
51	jak wyżej, lecz z dużymi kamieniami i roślinnością	0,030	0,035	0,040
52	czyste, kręte z łachami i dołami	0,033	0,040	0,045
53	jak wyżej, lecz z dużymi kamieniami i roślinnością	0,035	0,045	0,050
54	jak wyżej, przy niskich stanach wody, nieznacznych spadkach i małych przekrojach poprzecznych	0,040	0,048	0,055
55	czyste, kręte z łachami i dołami, z dużą ilością kamieni	0,045	0,050	0,060
56	z odcinkami o małej prędkości przepływu z zaroślami i głębokimi dołami	0,050	0,070	0,080
57	na pewnych odcinkach całkowicie zarośnięte z głębokimi dołami lub występowaniem wikliny i pni zwalonych drzew	0,075	0,100	0,150

c.d. tabl.

1	2	3	4	5
	<u>potoki górskie</u> bez roślinności w korycie, brzegi kręte, drzewa i krzaki na brzegach zatapiane podczas wielkiej wody			
58	dno potoku żwirowe, występują otoczaki i nieliczne głązy	0,030	0,040	0,050
59	dno potoku kamienne, występują duże głązy	0,040	0,050	0,070
	koryta w terenie zalewowym <u>pastwiska bez krzaków</u>			
60	niska trawa	0,025	0,030	0,035
61	wysoka trawa	0,030	0,035	0,050
	<u>poła uprawne</u>			
62	nie obsiane	0,020	0,030	0,040
63	zasiewy rzędowe	0,025	0,035	0,045
64	zasiewy ciągłe	0,030	0,040	0,050
	<u>powierzchnie pokryte wikliną</u>			
65	pojedyncze krzaki, obfita trawa i zielsko	0,035	0,050	0,070
66	niewielka wiklina i drzewa w warunkach zimowych	0,035	0,050	0,060
67	jak wyżej, lecz latem	0,040	0,060	0,080
68	wiklina o gęstości od średniej do dużej w warunkach zimowych	0,045	0,070	0,110
69	jak wyżej, lecz latem	0,070	0,100	0,160

c.d. tabl.

1	2	3	4	5
	<u>powierzchnia pokryta drzewami</u>			
70	gęsty gaj wierzbowy w warunkach letnich	0,110	0,150	0,200
71	oczyszczona powierzchnia ziemi z pieńkami i drzewami bez pędów	0,040	0,050	0,050
72	jak wyżej, lecz drzewa z gęstymi pędami	0,050	0,060	0,080
73	duża ilość pni, nieliczne zwalone drzewa, niewielkie poszycie lasów,	0,080	0,100	0,120
74	poziom wielkiej wody poniżej gałęzi drzew jak wyżej, lecz poziom wielkiej wody zatapia gałęzie drzew	0,100	0,120	0,160
	duże cieki przy wielkiej wodzie szerokość koryta większa od 30m (w takich samych warunkach wielkość n dla dużych cieków jest mniejsza niż dla małych, bowiem szorstkość brzegowa w przypadku dużych cieków stanowi dla ruchu wody mniejszą przeszkodę)			
75	regularne przekroje poprzeczne koryta bez wikliny i głązów	0,025	-	0,060
76	nieregularne przekroje poprzeczne i nierówna powierzchnia koryta	0,035	-	0,100

**7.2.3. Ekwiwalentna elementarna chropowatość piaskowa k_s
do wzoru Darcy'ego-Weissbacha (DVWK Blatt, 1991)**

Rodzaj powierzchni	Materiał	k_s [mm]
Łożysko kanału	piasek	d_{90}
	gruba pospółka, żwir	60 ÷ 200
	kamienie	200 ÷ 300
	obrukowanie	30 ÷ 50
Skarpy i terasy	gleba	20 ÷ 250
	trawnik	60
	narzut kamienny porośnięty trawą	300
	siatka kamienna przerośnięta trawą	15 ÷ 30
Ściany kanału	beton szorstki	6 ÷ 20
	kamień łamany	15 ÷ 20
	ściana stalowa w zależności od profilu	20 ÷ 100

7.3. RUCH JEDNOSTAJNY W KOLEKTORACH

7.3.1. Moduły przepływu dla kolektorów

Moduł przepływu K i prędkości w dla kolektorów o przekroju kołowym (wg wzoru Manninga)

n	0,011		0,012		0,013		0,014	
d	K	w	K	w	K	w	K	w
[mm]	[m ³ /s]	[m/s]	[m ³ /s]	[m/s]	[m ³ /s]	[m/s]	[m ³ /s]	[m/s]
25	0,00151	3,08460	0,00139	2,82750	0,00128	2,61000	0,00119	2,42360
50	0,00961	4,89640	0,00881	4,48840	0,00814	4,14310	0,00755	3,84720
75	0,02835	6,41620	0,02598	5,88150	0,02398	5,42910	0,02227	5,04130
100	0,06105	7,77260	0,05596	7,12490	0,05165	6,57680	0,04796	6,10710
125	0,11068	9,01930	0,10146	8,26770	0,09366	7,63170	0,08697	7,08660
150	0,17998	10,1850	0,16499	9,33630	0,15229	8,61810	0,14142	8,00250
175	0,27149	11,2874	0,24887	10,3468	0,22972	9,55080	0,21332	8,86860
200	0,38762	12,3383	0,35532	11,3101	0,32798	10,4401	0,30456	9,69430
250	0,70280	14,3173	0,64423	13,1242	0,59468	12,1146	0,55220	11,2493
300	1,14283	16,1677	1,04759	14,8204	0,96701	13,6804	0,89794	12,7032
350	1,72387	17,9176	1,58022	16,4244	1,45866	15,1610	1,35447	14,0781
400	2,46122	19,5858	2,25612	17,9536	2,08257	16,5726	1,93382	15,3888
450	3,36944	21,1857	3,08865	19,4202	2,85106	17,9263	2,64741	16,6459
500	4,46249	22,7273	4,09062	20,8333	3,77595	19,2308	3,50624	17,8571
550	5,75384	24,2182	5,27435	22,2000	4,86863	20,4924	4,52087	19,0286
600	7,25650	25,6646	6,65179	23,5259	6,14012	21,7162	5,70154	20,1651
700	10,9459	28,4424	10,0337	26,0722	9,26193	24,0666	8,60036	22,3476
800	15,6277	31,0905	14,3254	28,4996	13,2235	26,3073	12,2790	24,4282
900	21,3945	33,6302	19,6117	30,8277	18,1031	28,4563	16,8100	26,4237
1000	28,3350	36,0773	25,9737	33,0709	23,9758	30,5269	22,2633	28,3464
1100	36,5346	38,4440	33,4900	35,2404	30,9139	32,5296	28,7058	30,2060
1200	46,0759	40,7400	42,2362	37,3450	38,9873	34,4723	36,2025	32,0100
1300	57,0391	42,9731	52,2858	39,3920	48,2639	36,3618	44,8165	33,7645
1400	69,5022	45,1495	63,7103	41,3870	58,8096	38,2034	54,6089	35,4746
1500	83,5411	47,2746	76,5794	43,3351	70,6887	40,0016	65,6395	37,1444

Moduł przepływu K i prędkości w dla kolektorów o normalnym (2:3) przekroju jajowym (wg wzoru Manninga)

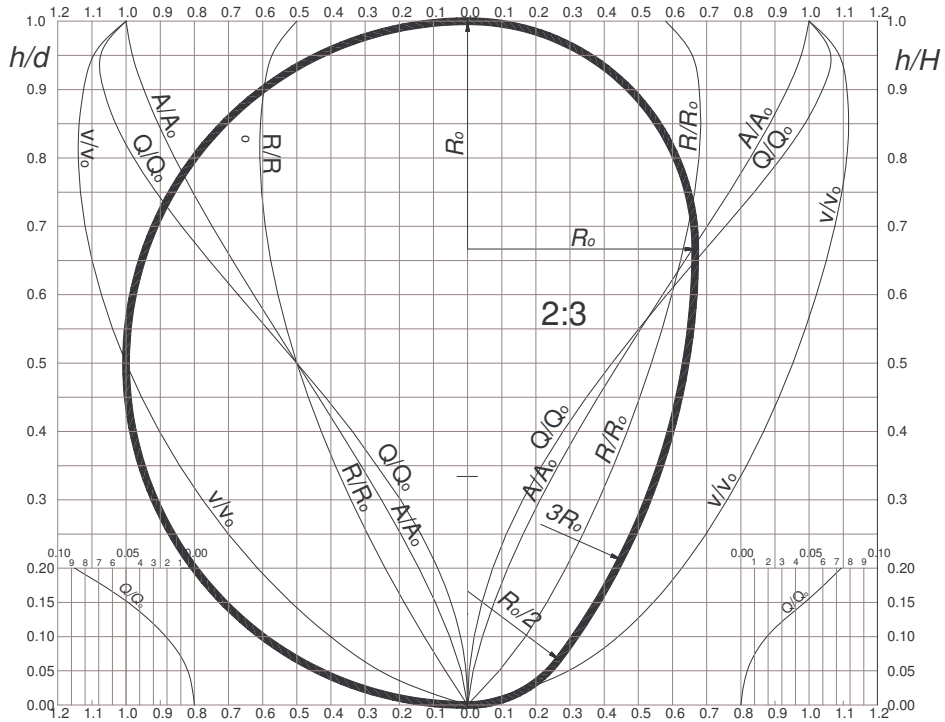
n	0,011		0,012		0,013		0,014	
H	K	w	K	w	K	w	K	w
[mm]	[m ³ /s]	[m/s]	[m ³ /s]	[m/s]	[m ³ /s]	[m/s]	[m ³ /s]	[m/s]
200	0,212	10,387	0,194	9,522	0,179	8,789	0,167	8,162
250	0,385	12,053	0,353	11,049	0,325	10,199	0,302	9,471
300	0,625	13,611	0,573	12,477	0,529	11,517	0,491	10,695
350	0,943	15,084	0,865	13,827	0,798	12,764	0,741	11,852
400	1,347	16,489	1,234	15,115	1,140	13,952	1,058	12,956
450	1,844	17,836	1,690	16,350	1,560	15,092	1,449	14,014
500	2,442	19,134	2,238	17,539	2,066	16,190	1,919	15,034
600	3,971	21,607	3,640	19,806	3,360	18,282	3,120	16,977
700	5,989	23,945	5,490	21,950	5,068	20,261	4,706	18,814
800	8,551	26,174	7,838	23,993	7,235	22,148	6,719	20,566
900	11,706	28,313	10,731	25,953	9,905	23,957	9,198	22,246
1000	15,504	30,373	14,212	27,842	13,119	25,700	12,182	23,864
1100	19,991	32,365	18,325	29,668	16,915	27,386	15,707	25,430
1200	25,211	34,298	23,110	31,440	21,333	29,022	19,809	26,949
1300	31,210	36,178	28,609	33,163	26,408	30,612	24,522	28,426
1400	38,029	38,010	34,860	34,843	32,179	32,163	29,880	29,865
1500	45,711	39,800	41,902	36,483	38,679	33,677	35,916	31,271

7.3.2. Sprawność kolektorów

Współczynniki sprawności kolektorów (wg wzoru Manninga)

h/H	Kolektor kołowy		Kolektor jajowy	
	Q/Q_0	v/v_0	Q/Q_0	v/v_0
0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,05	0,0048	0,2569	0,0047	0,2951
0,10	0,0209	0,4012	0,0191	0,4410
0,15	0,0486	0,5168	0,0421	0,5437
0,20	0,0876	0,6151	0,0735	0,6268
0,25	0,1370	0,7007	0,1134	0,6979
0,30	0,1958	0,7761	0,1613	0,7605
0,35	0,2629	0,8430	0,2168	0,8164
0,40	0,3370	0,9022	0,2793	0,8666
0,45	0,4165	0,9544	0,3481	0,9117
0,50	0,5000	1,0000	0,4223	0,9524
0,55	0,5857	1,0393	0,5011	0,9888
0,60	0,6718	1,0724	0,5834	1,0214
0,65	0,7564	1,0993	0,6683	1,0502
0,70	0,8372	1,1198	0,7544	1,0754
0,75	0,9119	1,1335	0,8392	1,0958
0,80	0,9775	1,1397	0,9184	1,1099
0,85	1,0304	1,1374	0,9873	1,1158
0,90	1,0658	1,1243	1,0392	1,1107
0,95	1,0745	1,0950	1,0631	1,0885
1,00	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000

Wykres sprawności kolektorów



7.4. RUCH ZMIENNY USTALONY W KORYTACH OTWARTYCH

W poniższych metodach uproszczonych stosowany jest wzór:

$$\frac{S_o l}{h_o} = f\left(\frac{h_2}{h_o}\right) - f\left(\frac{h_1}{h_o}\right),$$

gdzie: S_o – spadek dna między przekrojem „1” i „2”,

l – odległość między przekrojem „1” i „2”,

h_o – głębokość dla ruchu jednostajnego,

h_i – głębokość dla ruchu niejednostajnego w przekroju i .

**7.4.1. Funkcja Rühlmanna do obliczeń krzywej spiętrzenia
w korycie prostokątnym (Czetwertyński, 1958)**

h_i/h_o	$f(h_i/h_o)$	h_i/h_o	$f(h_i/h_o)$	h_i/h_o	$f(h_i/h_o)$	h_i/h_o	$f(h_i/h_o)$
1,0098	0,0000	1,105	0,855	1,205	1,1479	1,305	1,3519
1,010	0,0067	1,110	0,8739	1,210	1,1595	1,310	1,3610
1,015	0,1452	1,115	0,8922	1,215	1,1709	1,315	1,3700
1,020	0,2444	1,120	0,9098	1,220	1,1821	1,320	1,3789
1,025	0,3228	1,125	0,9269	1,225	1,1931	1,325	1,3877
1,030	0,3863	1,130	0,9434	1,230	1,2040	1,330	1,3962
1,035	0,4411	1,135	0,9595	1,235	1,2148	1,335	1,4050
1,040	0,4889	1,140	0,9751	1,240	1,2254	1,340	1,4186
1,045	0,5316	1,145	0,9903	1,245	1,2358	1,345	1,4221
1,050	0,5701	1,150	1,0051	1,250	1,2461	1,350	1,4306
1,055	0,6053	1,155	1,0195	1,255	1,2563	1,355	1,4390
1,060	0,6376	1,160	1,0335	1,260	1,2664	1,360	1,4473
1,065	0,6677	1,165	1,0473	1,265	1,2763	1,365	1,4556
1,070	0,6958	1,170	1,0608	1,270	1,2861	1,370	1,4638
1,075	0,7222	1,175	1,0740	1,275	1,2958	1,375	1,4720
1,080	0,7482	1,180	1,0869	1,280	1,3054	1,380	1,4801
1,085	0,7708	1,185	1,0995	1,285	1,3149	1,385	1,4882
1,090	0,7933	1,190	1,1119	1,290	1,3243	1,390	1,4962
1,095	0,8114	1,195	1,1241	1,295	1,3336	1,395	1,5041
1,100	0,8353	1,200	1,1361	1,300	1,3428	1,400	1,5119

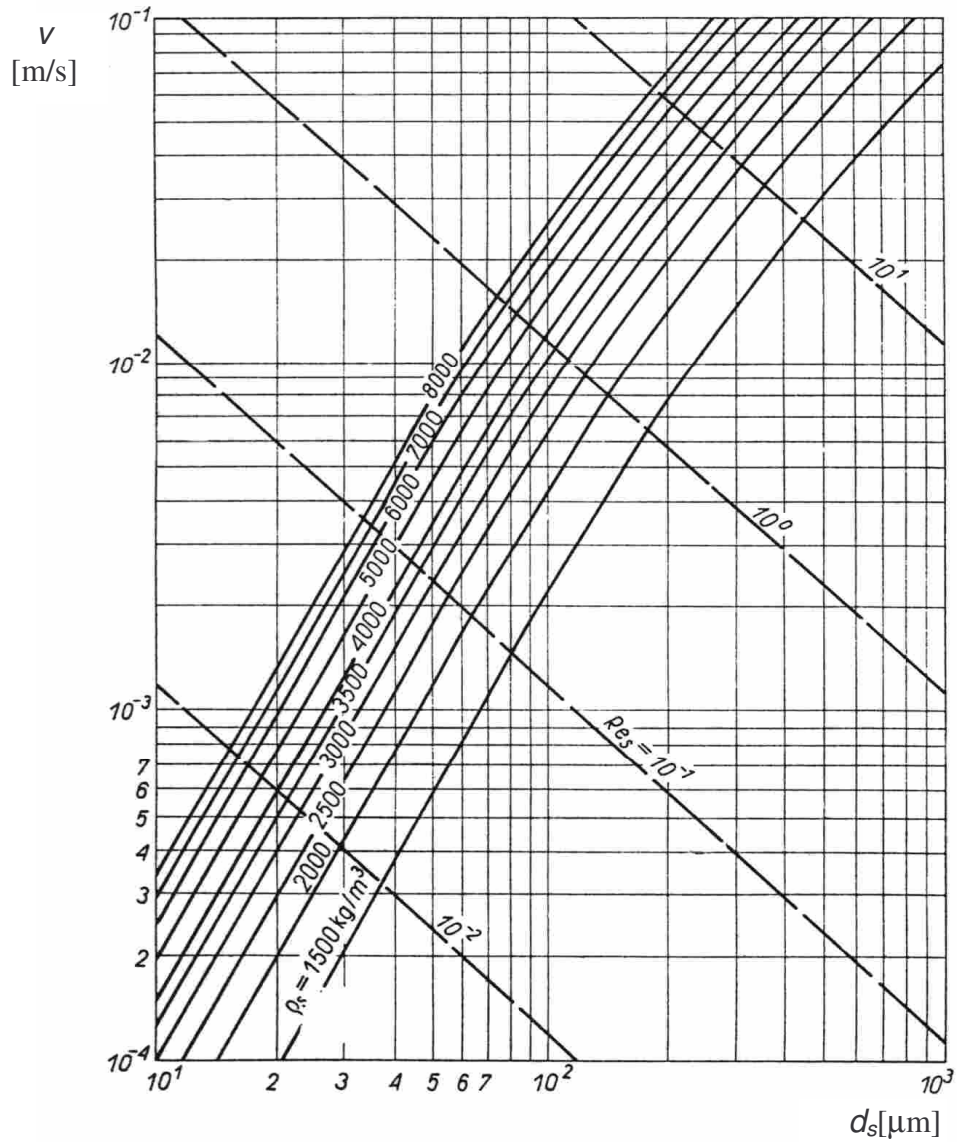
c.d. tabl.

h_i/h_o	$f(h_i/h_o)$	h_i/h_o	$f(h_i/h_o)$	h_i/h_o	$f(h_i/h_o)$	h_i/h_o	$f(h_i/h_o)$
1,405	1,5197	1,555	1,7376	1,81	2,0615	3,10	3,4631
1,410	1,5275	1,560	1,7444	1,82	2,0735	3,20	3,5664
1,415	1,5353	1,565	1,7512	1,83	2,0855	3,30	3,6694
1,420	1,5430	1,570	1,7589	1,84	2,0975	3,40	3,7720
1,425	1,5507	1,575	1,7647	1,85	2,1095	3,50	3,8745
1,430	1,5583	1,580	1,7714	1,86	2,1213	3,60	3,9768
1,435	1,5659	1,585	1,7781	1,87	2,1331	3,70	4,0789
1,440	1,5734	1,590	1,7848	1,88	2,1449	3,80	4,1808
1,445	1,5809	1,595	1,7914	1,89	2,1567	3,90	4,2826
1,450	1,5884	1,600	1,7980	1,90	2,1683	4,00	4,3845
1,455	1,5958	1,610	1,8112	1,91	2,1800	4,50	4,8891
1,460	1,6032	1,620	1,8243	1,92	2,1916	5,00	5,3958
1,465	1,6106	1,630	1,8373	1,93	2,2032	5,50	5,8993
1,470	1,6179	1,640	1,8503	1,94	2,2148	6,00	6,4018
1,475	1,6252	1,650	1,8631	1,95	2,2264	7,00	7,4056
1,480	1,6324	1,660	1,8759	1,96	2,2380	8,00	8,4079
1,485	1,6396	1,670	1,8887	1,97	2,2496	9,00	9,4097
1,490	1,6468	1,680	1,9014	1,98	2,2611	10,0	10,411
1,495	1,6540	1,690	1,9140	1,99	2,2725	20,0	20,415
1,500	1,6611	1,700	1,9266	2,00	2,2838	30,0	30,416
1,505	1,6682	1,710	1,9392	2,10	2,3971	50,0	50,417
1,510	1,6753	1,720	1,9517	2,20	2,5083	100	100,42
1,515	1,6823	1,730	1,9641	2,30	2,6179		
1,520	1,6893	1,740	1,9765	2,40	2,7264		
1,525	1,6963	1,750	1,9888	2,50	2,8337		
1,530	1,7032	1,760	2,0010	2,60	2,9401		
1,535	1,7101	1,770	2,0132	2,70	3,0458		
1,540	1,7170	1,780	2,0254	2,80	3,1508		
1,545	1,7239	1,790	2,0375	2,90	3,2553		
1,550	1,7308	1,800	2,0495	3,00	3,3594		

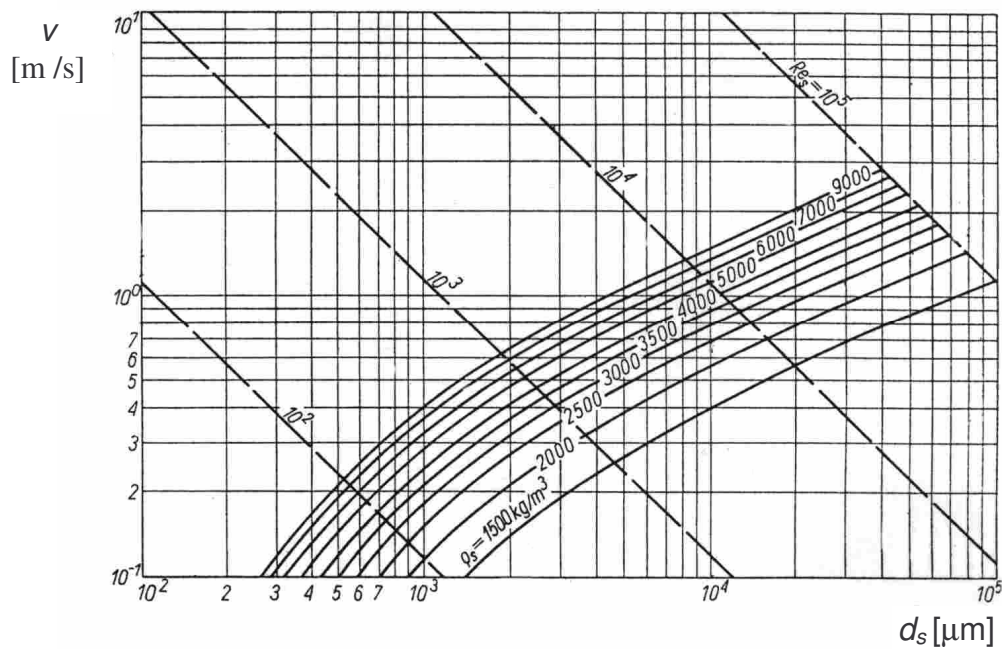
7.4.2. Funkcja Tolkmitta do obliczeń krzywej spiętrzenia w korycie parabolicznym (Czetwertyński, 1958)

h_i/h_o	$f(h_i/h_o)$	h_i/h_o	$f(h_i/h_o)$	h_i/h_o	$f(h_i/h_o)$	h_i/h_o	$f(h_i/h_o)$
1,010	0,074	1,130	0,793	1,360	1,207	1,600	1,513
1,015	0,179	1,135	0,806	1,370	1,221	1,650	1,571
1,020	0,254	1,140	0,818	1,380	1,235	1,700	1,628
1,025	0,313	1,150	0,842	1,390	1,249	1,750	1,685
1,030	0,362	1,160	0,865	1,400	1,262	1,800	1,740
1,035	0,403	1,170	0,887	1,410	1,276	1,900	1,850
1,040	0,440	1,180	0,908	1,420	1,289	2,000	1,957
1,045	0,473	1,190	0,928	1,430	1,302	2,100	2,063
1,050	0,502	1,200	0,948	1,440	1,315	2,200	2,168
1,055	0,529	1,210	0,967	1,450	1,328	2,300	2,272
1,060	0,554	1,220	0,985	1,460	1,341	2,400	2,376
1,065	0,578	1,230	1,003	1,470	1,354	2,500	2,478
1,070	0,594	1,240	1,021	1,480	1,367	2,600	2,581
1,075	0,620	1,250	1,038	1,490	1,379	2,700	2,683
1,080	0,639	1,260	1,055	1,500	1,392	2,800	2,785
1,085	0,657	1,270	1,071	1,510	1,404	2,900	2,886
1,090	0,675	1,280	1,087	1,520	1,417	3,000	2,988
1,095	0,692	1,290	1,103	1,530	1,429	3,500	3,492
1,100	0,708	1,300	1,119	1,540	1,441	4,000	3,995
1,105	0,723	1,310	1,134	1,550	1,453	4,500	4,496
1,110	0,738	1,320	1,149	1,560	1,466	5,000	4,997
1,115	0,753	1,330	1,164	1,570	1,477	6,000	5,998
1,120	0,767	1,340	1,178	1,580	1,489	8,000	7,999
1,125	0,780	1,350	1,193	1,590	1,501	10,000	10,000

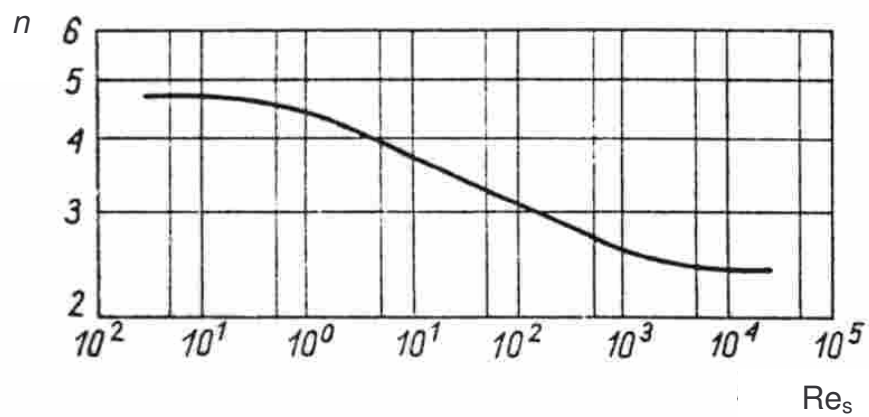
7.5. RUCH RUMOWISKA W KORYTACH OTWARTYCH

7.5.1. Prędkość v swobodnego opadania w wodzie kulistego ziarna o średnicy $d_s < 10^3 \mu\text{m}$ (Palarski, 1982)

7.5.2. Prędkość v swobodnego opadania w wodzie kulistego ziarna o średnicy $d_s > 10^3 \mu\text{m}$ (Palarski, 1982)



7.5.3. Zależność współczynnika n Richardsona-Zaki od liczby Reynoldsa (Palarski, 1982)



8. FILTRACJA. Parametry filtracyjne gruntów klastycznych

(Fetter, 1994; Mielcarzewicz, 1971)

Rodzaj gruntu	Symbol	Współczynnik wodoprzepuszczalności	Współczynnik porowatości	Wznios kapilarny	Współczynnik odsączalności
		k [m/d]	n [%]	h_k [m]	μ [%]
Otoczaki	K_o	>200	–	–	–
Żwir	\dot{Z}	100 ÷ 200	20 ÷ 55	0 ÷ 0,03	24 ÷ 28
Pospółka	P_o	75 ÷ 150	15 ÷ 30		22 ÷ 24
Piasek gruboziarnisty	P_r	25 ÷ 75	25 ÷ 50	0,03 ÷ 0,12	19 ÷ 23
Piasek średni	P_s	10 ÷ 25	25 ÷ 50	0,12 ÷ 0,35	17 ÷ 21
Piasek drobnoziarnisty	P_d	2 ÷ 10	25 ÷ 50	0,35 ÷ 1,2	14 ÷ 18
Piasek pylasty, mułek	P_π	1 ÷ 2	–	1,2 ÷ 3,5	10 ÷ 15
Piasek gliniasty	P_g	0,2 ÷ 0,7	–	1,0 ÷ 1,5	9 ÷ 11
Pył, less	π	–	40 ÷ 65	1,2 ÷ 3,5	18 ÷ 19
Pył gliniasty	π_g	–	25 ÷ 35	–	–
Gлина piaszczysta lekka	G_p	0,08 ÷ 0,4	24 ÷ 42	1,5 ÷ 2,0	7 ÷ 12
Gлина piaszczysta średnia	G_p			2,0 ÷ 3,0	
Gлина piaszczysta ciężka	G_p			3,0 ÷ 4,0	
Gлина	G	<0,005	24 ÷ 42	4,0 ÷ 5,0	0 ÷ 5
Иł	l	–	35 ÷ 70	–	–
Torf mało zmineralizowany	T	1,0 ÷ 4,5	76 ÷ 89	1,2 ÷ 1,5	12 ÷ 15
Torf średnio zmineralizowany	T	0,15 ÷ 1,0	76 ÷ 89	1,2 ÷ 1,5	9 ÷ 12
Torf silnie zmineralizowany	T	0,01 ÷ 0,15	76 ÷ 89	1,2 ÷ 1,5	6 ÷ 9

9. BIBLIOGRAFIA

- W. Balcerski (red.): *Budowle wodne śródlądowe*. Budownictwo Betonowe. Tom XVII. Arkady, Warszawa 1969.
- E. Czetwertyński: *Hydraulika i hydromechanika*. PWN, Warszawa 1958.
- R. Czugajew: *Gidrawlika*. Energija, Leningrad 1975.
- DVWK Blatt 220/91. *Hydraulische Berechnung von Fliessgewaessern*. Verlag P. Parey, Hamburg 1991.
- K. Fanti, K. Fiedler, J. Kowalewski, S. Wójcicki: *Budowle piętrzące*. Arkady, Warszawa 1972
- C.W. Fetter: *Applied hydrogeology*. Macmillan College Publ. Co., New York 1994.
- C. Grabarczyk: *Przepływy cieczy w przewodach. Metody obliczeniowe*. Envirotech, Poznań 1997.
- E. Mielcarzewicz: *Melioracje terenów miejskich i przemysłowych*. Arkady, Warszawa 1971.
- J. Palarski: *Hydrotransport*. WNT, Warszawa 1982.
- PN-55/N-02086. *Masa właściwa (gęstość) wody w zależności od temperatury*. RZG, s. 1. 1956.
- PN-76/M-34034. *Rurociągi. Zasady obliczeń strat ciśnienia*. Wydawn. Normalizacyjne, Warszawa 1977.
- A. Podniesiński (red.): *Zbiór zadań z hydrauliki*. PWN, Łódź 1958.
- R. Rogala, J. Machajski, W. Rędownicz: *Hydraulika stosowana. Przykłady obliczeń*. Wydawn. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1991.
- J. Sobota: *Hydraulika*. Wydawn. AR, Wrocław 1994.
- Ven te Chow: *Open channels hydraulics*. McGraw Hill, New York 1959.
- Zarządzenie Prezesa Centralnego Urzędu Gospodarki Wodnej Nr 14 z 14 lutego 1967 r. w sprawie warunków technicznych jakim powinna odpowiadać budowla wodna. Dz. Budownictwa Nr 3, poz. 23, 1967.