

**POLITECHNIKA
ŚWIĘTOKRZYSKA**

**WYDZIAŁ INŻYNIERII ŚRODOWISKA,
GEOMATYKI I ENERGETYKI**



PL ISSN 0239-6386

PL ISBN 978-83-65719-12-6

Urszula Lubczyńska

HYDRAULIKA STOSOWANA W INŻYNIERII ŚRODOWISKA



Politechnika Świętokrzyska

Kielce 2017

Urszula Lubczyńska

**HYDRAULIKA STOSOWANA
W INŻYNIERII ŚRODOWISKA**

Kielce 2017

SKRYPTY NR 470

Redaktor Naukowy serii

NAUKI TECHNICZNE: INŻYNIERIA ŚRODOWISKA

prof. dr hab. inż. Andrzej KULICZKOWSKI

Recenzent

doc. dr inż. Roman WOLAŃSKI

Redakcja

Aneta STARZYK

Danuta SIKORA

Projekt okładki

Tadeusz UBERMAN

Ilustracja na okładce

Urszula LUBCZYŃSKA (Wodospad – pastel)

© Copyright by Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2017

Wszelkie prawa zastrzeżone. Żadna część tej pracy nie może być powielana czy rozpowszechniana w jakiegokolwiek formie, w jakikolwiek sposób: elektroniczny bądź mechaniczny, włącznie z fotokopiowaniem, nagrywaniem na taśmy lub przy użyciu innych systemów, bez pisemnej zgody wydawcy.

Wyd. VII uzupełnione

PL ISSN 0239-6386

PL ISBN 978-83-65719-12-6

Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej
25-314 Kielce, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7
tel./fax 41 34 24 581
e-mail: wydawca@tu.kielce.pl
www.tu.kielce.pl/organizacja/wydawnictwo

Spis treści

Od Autora	7
Spis ważniejszych oznaczeń	9
Rozdział I. WIADOMOŚCI WSTĘPNE	
1. Rozwój hydrauliki	11
2. Podstawowe założenia i pojęcia w hydraulicce	11
3. Podstawowe jednostki	12
4. Właściwości fizyczne cieczy	12
4.1. Gęstość	13
4.2. Ciężar objętościowy (właściwy)	13
4.3. Lepkość	14
4.4. Ścisłość cieczy	16
4.5. Rozszerzalność cieplna	17
4.6. Napięcie powierzchniowe	17
Rozdział II. HYDROSTATYKA	
1. Siły działające na ciecz	19
1.1. Warunek równowagi elementu cieczy będącego pod działaniem sił	20
2. Ciśnienie hydrostatyczne	20
3. Podstawowe prawa hydrostatyki	21
3.1. Prawo Pascala	21
3.2. Prawo niezależności ciśnienia od orientacji elementu powierzchniowego (prawo Eulera)	23
3.3. Zależność ciśnienia od sił masowych. Podstawowe równanie równowagi płynu	25
3.4. Równowaga cieczy w jednorodnym polu grawitacyjnym	27
3.4.1. Powierzchnie jednakowych ciśnień	29
3.5. Równowaga cieczy w naczyniach połączonych	29
3.5.1. Naczynia połączone wypełnione cieczą jednorodną	29
3.5.2. Naczynia połączone wypełnione dwiema cieczami nie mieszającymi się ze sobą	30
4. Przyrządy do pomiaru ciśnienia	31
5. Parcie hydrostatyczne	34
5.1. Parcie hydrostatyczne na powierzchni płaskiej	34
5.2. Parcie hydrostatyczne na ścianie zakrzywionej	36

5.3. Wyznaczenie parcia działającego na ścianę zakrzywioną metodą analityczno-graficzną	37
5.4. Analityczne określenie punktu przyłożenia wektora parcia do ściany płaskiej	41
6. Równowaga ciał zanurzonych w cieczy i ciał pływających	45
6.1. Wypór hydrostatyczny. Prawo Archimedesesa	45
6.2. Warunki równowagi ciał zanurzonych	46
6.3. Wyznaczanie równowagi ciał pływających	46
6.4. Wyznaczanie wysokości metacentrycznej	47

Rozdział III. **HYDRODYNAMIKA**

1. Podstawowe definicje i pojęcia dotyczące ruchu cieczy	51
1.1. Pojęcia dotyczące ruchu cieczy	51
1.2. Podstawowe elementy ruchu cieczy. Ruch ustalony, nieustalony, wolnozmienny	52
2. Podstawowe prawa i równania hydrodynamiki	54
2.1. Równanie ciągłości strumienia cieczy	54
2.2. Równanie Bernoulliego dla strugi cieczy doskonałej	55
2.2.1. Obliczenie pracy wykonanej przez siły parcia	56
2.2.2. Obliczenie zmiany energii potencjalnej	56
2.2.3. Obliczenie energii kinetycznej	56
2.2.4. Bilans energetyczny	57
2.3. Równanie Bernoulliego dla cieczy rzeczywistej	59
2.4. Praktyczne zastosowania równania Bernoulliego	60
3. Przepływ cieczy rzeczywistej w przewodach pod ciśnieniem	64
3.1. Ruch laminarny i ruch burzliwy. Liczba Reynoldsa	64
3.2. Straty liniowe	69
3.3. Straty miejscowe	75
3.4. Obliczanie krótkich przewodów pojedynczych	83
3.5. Lewar	88
3.5.1. Obliczenie dopuszczalnego wzniesienia lewara nad zbiornikiem górnym	89
3.5.2. Ustalenie dopuszczalnego wzniesienia lewara nad zbiornikiem dolnym	90
3.6. Syfon	91
3.6.1. Obliczenia hydrauliczne syfonów	93
3.7. Przewód z pompą	95
3.7.1. Szeregowe i równoległe łączenie pomp	99
3.8. Obliczanie długich przewodów pojedynczych	101
3.9. Obliczanie układów przewodów wodociągowych	105

3.9.1. Układ trzech przewodów	105
3.9.2. Przewody połączone równolegle	106
3.9.3. Przewody łączone szeregowo i równolegle	108
3.9.4. Układ przewodów z trzema zbiornikami	110
3.10. Obliczanie przewodów równomiernie wydatkującego wzdłuż pewnego odcinka	111
3.11. Uderzenia hydrauliczne w przewodach	115
3.12. Kawitacja	122
3.12.1. Sposoby zapobiegania kawitacji	123
4. Ruch wody w korytach otwartych	124
4.1. Klasyfikacja ruchu wody	124
4.2. Ruch wolnozmienny w korytach otwartych	125
4.3. Ruch jednostajny w korytach otwartych	128
4.3.1. Obliczanie średniej prędkości przepływu i współczynnika Chézy'ego ...	129
4.4. Obliczanie prędkości w korytach wielodzielnnych	136
4.4.1. Obliczanie prędkości średniej w ciekach naturalnych na podstawie wzoru Matakiewicza	138
4.5. Wymiarowanie koryt otwartych	142
4.5.1. Dobór kształtu przekroju hydraulicznie najkorzystniejszego	142
4.5.2. Przekrój trójkątny symetryczny	145
4.5.3. Przekrój prostokątny	145
4.5.4. Przykład wykorzystania nomogramu Błaszczyka	149
4.6. Przewody kanalizacyjne	149
4.7. Ruch krytyczny, podkrytyczny i nadkrytyczny	153
4.7.1. Interpretacja graficzna zależności głębokości krytycznej od wysokości energii	155
4.7.2. Sposoby ustalania rodzaju ruchu	156
4.8. Odskok hydrauliczny. Głębokości sprzężone	158
4.9. Ruch niejednostajny w korytach	163
4.10. Obliczanie krzywej spiętrzenia w korytach nieregularnych	166
5. Wpływ cieczy przez otwory	168
5.1. Wpływ ustalony	168
5.1.1. Wpływ swobodny przez mały otwór niezatopiony	169
5.1.2. Wpływ z dużego otworu niezatopionego	174
5.1.3. Wpływ z małego i dużego otworu zatopionego	176
5.2. Wpływ nieustalony	178
5.2.1. Określenie czasu opróżniania zbiornika	178
6. Przepływ przez przelewy	179
6.1. Klasyfikacja przelewów	180
6.2. Przelewy o ostrej krawędzi	182

6.3. Przelewy o kształtach praktycznych	184
6.4. Przelewy o szerokiej koronie	186
7. Przepływ wody w gruntach	188
7.1. Podstawowe prawa ruchu wód podziemnych	188
7.1.1. Współczynnik filtracji	190
7.1.2. Podstawowe prawo filtracji, opór filtracji i przewodność filtracji	193
7.2. Obliczanie ilości wody wypompowywanej ze studni	194
7.2.1. Studnia zwykła o poziomej warstwie nieprzepuszczalnej	194
7.2.2. Studnia pochłaniająca (absorbcyjna)	196
7.2.3. Studnia artezyjska (naporowa)	197
7.3. Obliczanie ilości wody dopływającej do wykopu (drenu)	199
7.4. Odwodnienie wykopu za pomocą zespołu studni	200
8. Mosty i przepusty	201
8.1. Obliczenia hydrauliczne mostów	202
8.1.1. Obliczenie światła mostu	203
8.1.2. Obliczenie głębokości rozmycia dna	208
8.1.3. Obliczenie maksymalnego spiętrzenia wody	211
8.2. Obliczenia hydrauliczne przepustów	213
8.2.1. Warunki techniczne dla obliczeń hydraulicznych przepustów	213
8.2.2. Kolejność postępowania przy obliczeniach hydraulicznych przepustów	214
8.2.3. Przepusty prostokątne	217
8.2.4. Przepusty o przekroju kołowym	218
8.2.5. Dopuszczalny poziom spiętrzenia	226
8.2.6. Przepusty o wlocie zatopionym i przepływie pełnym przekrojem	226
8.2.7. Pochylenie dna przepustu	227
9. Zadania	228
LITERATURA	259
ZAŁĄCZNIKI	263

LITERATURA

- [1] Альтшуль А.Д.: *Гидравлическое сопротивление*, Недра, Москва 1970.
- [2] Błaszczyk W., Stomatello P., Błaszczyk P.: *Kanalizacja, sieci i pompownie*, t. 1, Arkady, Warszawa 1983.
- [3] Bukowski J., Kijowski P.: *Kurs mechaniki płynów*, PWN, Warszawa 1980.
- [4] Bukowski J.: *Mechanika płynów*, PWN, Warszawa 1976.
- [5] Bylka H., Grabarczyk C.: *Analiza ilościowa wpływu zmian chropowatości i średnicy przewodów na dokładność obliczeń hydraulicznych*, „Gaz, Woda i Technika Sanitarna” 1976, R. 50, nr 5.
- [6] Chen J.J.J.: *A simple explicit formula for the estimation of pipe friction factor*, “Proceedings of the Institution of Civil Engineers” 1984, Mar., Vol. 77, Part 2.
- [7] Chen J.J.J.: *Systematic explicit solutions of the Prandtl and Colebrook – White equations for pipe flow*, “Proceedings of the Institution of Civil Engineers” 1985, June, Vol. 79, Part 2.
- [8] Chen N.H.: *An explicit equation for friction factor in pipes*, “Industrial and Engineering Chemistry Fundamentals” 1979, Vol. 18, No. 3.
- [9] Czetwertyński E., Szuster A.: *Hydrologia i hydraulika*, WSiP, Warszawa 1971.
- [10] Czetwertyński E., Utrysko B.: *Hydrologia i hydraulika*, PWN, Warszawa 1969.
- [11] Datka S.: *Odwodnienie dróg i ulic*, WKiŁ, Warszawa 1970.
- [12] Dąbkowski L., Skibiński J., Żbikowski A.: *Hydrauliczne podstawy projektów wodno-melioracyjnych*, PWRL, Warszawa 1982.
- [13] Dołęga J., Rogala R.: *Hydraulika stosowana*, cz. 1, WPW, Wrocław 1988.
- [14] Elsner J.W.: *Turbulencja przepływów*, PWN, Warszawa 1987.
- [15] Gabryszewski T.: *Wodociągi*, Arkady, Warszawa 1983.
- [16] Grabarczyk C.: *Analiza porównawcza jawnych wzorów dla współczynnika liniowych strat hydraulicznych*, „Przegląd Naukowy Wydziału Melioracji i Inżynierii Środowiska SGGW” 1995, R. 3, z. 8.
- [17] Grabarczyk C.: *Przepływy cieczy w przewodach. Metody obliczeniowe*, Envirotech, Poznań 1997.
- [18] Haaland S.E.: *Simple and explicit formulas for the friction factor in turbulent pipe flow*, “Journal of Fluids Engineering” 1983, March, Vol. 105.
- [19] Hager W.H.: *Abwasser – Hydraulik. Theorie und Praxis*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 1994.
- [20] Heinz G. Erb.: *Durchflussmesstechnik für die Wasser- und Abwasserwirtschaft*, Vulkan Verl., Essen 1998.
- [21] Jankowski F.: *Pompy i wentylatory w inżynierii sanitarnej*, Arkady, Warszawa 1975.
- [22] Kuliczkowski A., Lubczyńska U.: *Określenie współczynnika chropowatości wewnętrznej powierzchni rur PEHD SPIRO produkcji KWH PIPE (Poland) na podstawie pomiarów hydraulicznych rurociągu*, Eko-Inżynieria sp. z o.o., nr KB/01/09/99.
- [23] Kubrak J.: *Hydraulika techniczna*, Wyd. SGGW, Warszawa 1998.

- [24] Książczyński K.W., Jeż P., Gręplowska Z.: *Tablice do obliczeń hydraulicznych*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2002.
- [25] Курганов А.М., Федоров Н.Ф.: *Справочник по гидравлическим расчетам систем водоснабжения и канализаций*, Стоиздат, Ленинград 1978.
- [26] Mielcarzewicz E.: *Obliczanie systemów zaopatrzenia w wodę*, Arkady, Warszawa 1977.
- [27] Ministerstwo Transportu Gospodarki Morskiej: *Wytyczne obliczania światła mostów i przepustów*, Dz.U. Nr 63, zał. 1 z 30 maja 2000 roku.
- [28] Ministerstwo Komunikacji: *Wytyczne projektowania obiektów i urządzeń budownictwa specjalnego w zakresie komunikacji. Światła mostów i przepustów*, Ministerstwo Komunikacji, WP-D-12, Warszawa 1973.
- [29] Mitosek M.: *Mechanika płynów w inżynierii środowiska*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1999.
- [30] Orzechowski Z., Prywer J., Zarzycki R.: *Mechanika płynów w inżynierii środowiska*, WNT, Warszawa 1997.
- [31] Pecher R., Schmidt H.: *Hydraulik der Abwasserkanäle in der Praxis*, Paul Parey, Hamburg–Berlin 1991.
- [32] Pełka H., Mielcarzewicz E.: *Oporność hydrauliczna eksploatowanych przewodów wodociągowych. Zaopatrzenie w wodę miast i wsi*, XII Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna, Poznań 1992.
- [33] Petrozolin W.: *Projektowanie sieci wodociągowych*, Arkady, Warszawa 1974.
- [34] Pham Q.T.: *Explicit equations for the solution of turbulent pipe – flow problems*, “Transaction of the Institution of Chemical Engineers” 1979, Vol. 57.
- [35] Piotrowski I., Roman M.: *Urządzenia do oczyszczania wody i ścieków*, PWN, Warszawa 1974.
- [36] Polska Norma PN-76/M-34034. Rurociągi. Zasady obliczeń strat ciśnienia.
- [37] Polska Norma PN-81/M-44001. Pompy wirowe i ich układy. Wielkości charakterystyczne. Nazwy, określenia, symbole i jednostki miar.
- [38] Prandtl L.: *Dynamika przepływów*, PWN, Warszawa 1956.
- [39] Press H., Bretschneider H.: *Hilfstafeln zur Losung wasser wirtschaftlicher und wasserbaulicher Aufgaben*, Verlag Paul Parey, Berlin 1974.
- [40] Przewłocki O., Tkaczenko A., Czarnocki K.: *Studnie*, Arkady, Warszawa 1961.
- [41] Skibiński J., Banasik K.: *Hydraulika inżynierii środowiska*, Warszawa-Radom 2002.
- [42] Skibiński J.: *Hydraulika*, PWN, Warszawa 1975.
- [43] Skibiński J.: *Hydraulika*, PWRiL, Warszawa 1978.
- [44] Stefański W., Wyszowski K.: *Tablice i wykresy do obliczeń z mechaniki płynów*, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1993.
- [45] Sysak J.: *Odwodnienie podtorza*, WKiŁ, Warszawa 1980.
- [46] Szewczyk H.: *Mechanika płynów. Ćwiczenia laboratoryjne*, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1979.
- [47] Szuster A., Utrysko B.: *Hydraulika i podstawy hydromechaniki*, WPW, Warszawa 1992.

-
- [48] Szuster A., Utrysko B.: *Hydraulika*, Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1979.
- [49] Szuster A.: *Zbiór zadań z hydrauliki*, WSP, Warszawa 1978.
- [50] Troškolański A.T.: *Hydromechanika*, WPW, Warszawa 1969.
- [51] Troškolański A.T., Łazarkiewicz S.: *Pompy wirowe*, WNT, Warszawa 1973.
- [52] Walden H.: *Mechanika płynów*, WPW, Warszawa 1986.
- [53] Zigrang D.J., Sylvester N.D.: *Explicit approximations to the solution of Colebrook's friction factor equation*, "The American Institute of Chemical Engineers Journal" 1982, Vol. 28, No. 3.
- [54] Żbikowski A.: *Małe budowle wodne*, PWN, Warszawa 1974.