

SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA V NITRE

Fakulta záhradníctva
a krajinného inžinierstva

Katedra krajinného inžinierstva

Ing. Tatiana Kaletová, PhD. – Aybek M. Arifjanov

HYDROMECHANIKA

Praktické cvičenia

Nitra 2019

Vydala Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre
vo Vydavateľstve SPU

Autori: Ing. Tatiana Kaletová, PhD. (7,22 AH)
Katedra krajinného inžinierstva
FZKI, SPU v Nitre

Aybek M. Arifjanov (2,57 AH)
Doctor of Technical Sciences, Professor
Head of the Department of Hydraulics and Hydroinformatics

Recenzenti: prof. Ing. Andrej Šoltész, PhD.
Ing. Jana Marková, PhD.

Publikácia bola vydaná s finančnou podporou Projektu KEGA č. 028SPU-4/2017.

Schválila rektorka Slovenskej poľnohospodárskej univerzity v Nitre dňa 10. 6. 2019
ako skriptá pre študentov SPU.

© T. Kaletová, A. M. Arifjanov, Nitra 2019

ISBN 978-80-552-2007-9

Predslov

Predložené skriptá majú slúžiť ako učebná pomôcka k štúdiu predmetu Hydromechanika pre študentov dennej aj externej formy štúdia I. stupňa študijného programu Krajinárstvo na Fakulte záhradníctva a krajinného inžinierstva SPU v Nitre.

Skriptá sú spracované tak, aby pokrývali teoretickú aj praktickú stránku riešených problémov, s ktorými sa študenti stretnú či už počas štúdia, ale najmä v praxi. Teoretické informácie sú doplnené obrázkami, tabuľkami a riešenými praktickými príkladmi. To umožní používanie skrípt nielen pri štúdiu teórie v rámci prednášok, ale aj pri riešení príkladov na cvičeniach. Študenti tak majú možnosť prepojiť si teóriu s praxou. Skriptá sú doplnkom k vytvorenému elektronickému kurzu v prostredí LMS Moodle umiestneného na serveri uniag.sk. Časť informácií je v oboch rovnaká, časť informácií na internete je rozšírená najmä o videá.

Osvojenie si vedomostí z predmetu Hydromechanika uľahčí študentom štúdium v ďalších odborných predmetoch vo všetkých stupňoch štúdia. Nadobudnuté vedomosti budú môcť následne uplatniť v praxi v oblasti závlah, odvodnenia, úpravy tokov, vodných stavieb a pod.

Touto cestou chceme poďakovať Ing. Jakubovi Fuskovi, PhD., Bc. Tatijane Kotuš, Ing. Jurajovi Višňovskému a Bc. Igorovi Kondému za prekreslenie obrázkov použitých v skriptách. Taktiež chceme poďakovať recenzentom za vypracovanie posudkov, cenné rady a pripomienky.

Zároveň žiadame všetkých čitateľov, aby nám poslali pripomienky a návrhy na doplnenie alebo upravenie, ako opravy vzorcov alebo informácií pokiaľ sme ich vlastnou nepozornosťou nepostrehli.

Autori

V Nitre, marec 2019

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV

a	výška otvoru [m], zrýchlenie [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]
a_v	výsledné zrýchlenie [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]
B	šírka koryta v hladine [m]
b	šírka otvoru [m], šírka konštrukcie [m], šírka koryta v dne [m]
$B[\eta]$	Bachmetevov integrál
b_0	účinná prepadová šírka pri haťovom priepade [m]
C	Chézyho rýchlostný súčiniteľ [$\text{m}^{0.5} \cdot \text{s}^{-1}$], pôsobisko
d	hlĺbka vývaru [m], priemer [m]
D	priemer [m]
E_1, E_2	energetická výška prierezu v rôznych profiloch [m]
E_d	merná energia prierezu [m]
e_k	kapilárna výška [m]
E_k	kinetická energia [m]
E_p	potenciálna energia [m]
F	sila [N]
F_h	hydrostatická tlaková sila [N]
F_H, F_x	horizontálna zložka hydrostatickej tlakovej sily [N]
Fr	Froudovo číslo
F_{vz}	vztlaková sila [N]
F_z, F_y	vertikálna zložka hydrostatickej tlakovej sily [N]
G	tiaž [N], tiažová sila [N]
g	tiažové (gravitačné) zrýchlenie [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]
h	hlĺbka vody, výška [m], prepadová výška [m]
H	spád, rozdiel hladín [m], vzdialenosť hladiny podzemnej vody od nepriepustného podlažia [m], geodetická výška [m]
h_σ	prevýšenie dolnej hladiny nad korunou priepadu [m]
h_0	normálna hlĺbka, hlĺbka pri ustálenom rovnomernom prúde [m]
H_0	ustálená výška [m]
H_1	pôvodná výška vody v nádobe [m]
h_1, h_2	vzájomné hlĺbky vodného skoku [m]
H_2	nová výška vody v nádobe [m]

h_d	dolná hladina [m]
h_{d0}	rýchlostná výška [m]
h_E	energetická výška [m]
h_k	kritická hĺbka [m]
h_M	metacentrický polomer [m]
h_m	miestne straty [m]
H_{man}	manometrická výška [m]
h_n	návrhová výška [m]
h_p	tlaková výška [m]
H_s	sacia výška [m]
h_t	straty trením [m]
H_v	výtlačná výška [m]
H_{vak}	vakuometrická výška [m]
h_{vz}	vztlaková výška [m]
h_z	celkové straty, stratová výška [m]
i	sklon hladiny [‰, -]
i_0	sklon dna [‰, -]
i_E, i_e	sklon čiary energie [‰, -]
j, j_p	zmena kinetičnosti priemerného prietokového prierezu
J_0	moment zotrvačnosti plavebnej plochy k pozdĺžnej plavebnej osi [m ⁴]
K	modul objemovej pružnosti [Pa], modul prietoku [m ³ · s ⁻¹]
k, k_1	hydraulická drsnosť [mm]
k_f	koeficient filtrácie [m · s ⁻¹]
L	dĺžka [m]
L_s	dĺžka vodného skoku [m], dĺžka vývaru [m]
m	hmotnosť [kg], prepadový súčiniteľ podľa Bazina, sklon svahov
M	metacentrum
m_b	súčiniteľ prepadu pri bočnom zúžení
n	súčiniteľ drsnosti, počet polí pri haťovom priepade, frekvencia otáčania
O	omočený obvod [m]
P	príkon motora
p	tlak [Pa]
p_0	atmosférický tlak [Pa]

p_c	celkový tlak [Pa]
p_e	vonkajší tlak [Pa]
p_h	hydrostatický tlak [Pa]
Q	prietok [$m^3 \cdot s^{-1}$]
Q_o	odtokové množstvo [$m^3 \cdot s^{-1}$]
Q_p	prítokové množstvo [$m^3 \cdot s^{-1}$]
R	hydraulický polomer, polomer [m], dosah studne [m]
r	polomer [m], vzdialenosť bodu od steny potrubia [m]
R_0	polomer [m]
Re	Reynoldsovo číslo
S	plocha prietokového prierezu [m^2]
s	výška prepadovej konštrukcie [m]
S_0	prierezová plocha nádrže [m^2], plocha výtokového otvoru [m^2], plocha zúženého výtokového lúča [m^2]
S_f	filtračná prierezová plocha [m^2]
S_p	prietoková plocha pórov [m^2]
S_v	plocha prietokového prierezu otvoru [m^2]
t	čas [s], doba prázdnenia nádoby [s], šírka prepadového telesa [m], teplota [$^{\circ}C$]
T	dobu vyprázdnenia nádoby, súčiniteľ prietokosti, ťažisko, sila vnútorného trenia [N], vzdialenosť hladiny v studni od nepriepustného podlažia [m]
t_n	ponor [m]
u	bodová rýchlosť [$m \cdot s^{-1}$]
u_{max}	maximálna bodová rýchlosť [$m \cdot s^{-1}$]
V	objem [m^3]
v	stredná prierezová rýchlosť [$m \cdot s^{-1}$]
v_+	trecia rýchlosť [$m \cdot s^{-1}$]
V_0	objem pri $0^{\circ}C$ [m^3]
v_0	prítoková rýchlosť [$m \cdot s^{-1}$]
v_f	filtračná rýchlosť [$m \cdot s^{-1}$]
V_t	objem telesa [m^3]
W	výtlač [m^3]
y	Pavlovského exponent
y_T	vzdialenosť ťažiska od osi x
z	súradnica, hĺbka bodu [m], zníženie hladiny podzemnej vody [m], prierezový exponent

z_c	hlĺbka pôsobiska hydrostatickej sily pod hladinou vody [m]
z_T	hlĺbka ťažiska namáhanej plochy pod hladinou vody [m]
α	Coriolisovo číslo; uhol [°]
β	Boussinesqovo číslo, súčiniteľ tepelnej rozťažnosti [Pa]
γ	merná tiaž [$N \cdot m^{-3}$]
δ	hrúbka väzkej podvrstvy [mm]
ε	súčiniteľ kontrakcie (zúženia)
η	účinnosť
Θ	funkcia vodného skoku [m^3]
κ	objemová stlačiteľnosť [$m^3 \cdot Pa^{-1}$]
λ	súčiniteľ strát trením
μ	dynamická viskozita [$Pa \cdot s^{-1}$], súčiniteľ prepadu
μ_v	výtokový súčiniteľ
ν	kinematická viskozita [$m^2 \cdot s^{-1}$]
ξ	súčiniteľ miestnych strát
π	Ludolfovo číslo
ρ	hustota, merná hmotnosť [$kg \cdot m^{-3}$]
ρ_T	hustota telesa [$kg \cdot m^{-3}$]
σ	povrchové napätie [$N \cdot m^{-1}$], miera vzdutia
σ_z	súčiniteľ zatopenia
τ	tangenciálne napätie [Pa]
τ_0	tangenciálne napätie pri stene potrubia [Pa]
φ	súčiniteľ výtokovej rýchlosti, uhol
ω	uhlová rýchlosť [s^{-1}]
ΔH	vzdutie, rozdiel hladín [m]
Δp	zmena tlaku [Pa]
Δt	zmena teploty [°C]
ΔV	zmena objemu [m^3]
$(i_e)_p$	priemerný sklon čiary energie [‰, -]

Obsah

PREDSLOV	5
ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV	6
1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY.....	13
1.1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY	13
1.2 STRUČNÝ VÝVOJ HYDROMECHANIKY	13
1.3 FYZIKÁLNE VLASTNOSTI KVAPALÍN	14
1.3.1 Merná hmotnosť (hustota)	14
1.3.2 Merná tiaž	15
1.3.3 Stlačiteľnosť.....	15
1.3.4 Tepelná rozťažnosť.....	15
1.3.5 Viskozita	16
1.3.6 Povrchové napätie a kapilarita.....	16
1.3.7 Kontrolné otázky	17
1.3.8 Riešené príklady	17
1.3.9 Neriešené príklady	20
2 HYDROSTATIKA	22
2.1 TLAK V KVAPALINE	22
2.1.1 Eulerova diferenciálna rovnica rovnováhy v kvapaline	22
2.1.2 Základná rovnica hydrostatiky	23
2.1.3 Ekvipotenciálne plochy a spojené nádoby	24
2.1.4 Pascalov zákon, hydraulický lis.....	25
2.1.5 Kontrolné otázky	25
2.1.6 Riešené príklady	26
2.1.7 Neriešené príklady	27
2.2 SILY PÔSOBIACE NA KVAPALINU	29
2.2.1 Tlaková sila kvapaliny na rovinné plochy	29
2.2.2 Tlaková sila kvapaliny na zakrivené plochy	32
2.2.3 Rozdelenie rovnako namáhaných dosiek stavidiel.....	34
2.2.4 Kontrolné otázky	35
2.2.5 Riešené príklady	35
2.2.6 Neriešené príklady	42
2.3 PLÁVANIE TELIES A RELATÍVNY POKOJ KVAPALÍN.....	43
2.3.1 Plávanie telies	43
2.3.2 Relatívny pokoj kvapalín	45
2.3.3 Kontrolné otázky	46
2.3.4 Riešené príklady	46
3 HYDRODYNAMIKA.....	52
3.1 ZÁKLADNÉ DRUHY POHYBU KVAPALÍN	52
3.2 ZÁKLADNÉ POJMY	53
3.3 ROVNICA KONTINUITY.....	54
3.3.1 Kontrolné otázky	54
3.3.2 Riešené príklady	54
3.3.3 Neriešené príklady	55
3.4 BERNOULLIHO ROVNICA PRE USTÁLENÉ PRÚDENIE.....	55
3.4.1 Kontrolné otázky	58
3.4.2 Riešené príklady	59
3.4.3 Neriešené príklady	61
3.5 MERNÁ ENERGIA TOKU A PRIEREZU	62

3.5.1	Všeobecná podmienka kritického prúdenia, kritická hĺbka	63
3.6	VODNÝ SKOK.....	64
3.6.1	Príklady.....	67
3.7	STRATY MECHANICKEJ ENERGIE PRI USTÁLENOM POHYBE.....	68
3.7.1	Druhy strát mechanickej energie	68
3.7.2	Laminárne a turbulentné prúdenie	70
3.7.3	Drsnosť stien	72
3.7.4	Kontrolné otázky	73
3.7.5	Riešené príklady	73
3.7.6	Neriešené príklady	76
3.8	USTÁLENÉ PRÚDENIE V TLAKOVOM POTRUBÍ.....	76
3.8.1	Hydraulicky krátke tlakové potrubia	77
3.8.2	Nasávacie a výtlačné potrubie pri čerpadlách.....	79
3.8.3	Hydraulicky dlhé potrubia a potrubné siete.....	80
3.8.4	Kontrolné otázky	82
3.8.5	Riešené príklady	82
3.8.6	Neriešené príklady	91
3.9	VÝTOK OTVOROM	91
3.9.1	Ustálený výtok malým otvorom	92
3.9.2	Ustálený výtok veľkým otvorom	93
3.9.3	Plnenie a prázdnenie nádob.....	94
3.9.4	Kontrolné otázky	95
3.9.5	Riešené príklady	95
3.9.6	Neriešené príklady	99
3.10	USTÁLENÉ PRÚDENIE VODY V OTVORENÝCH KORYTÁCH.....	100
3.10.1	Ustálené rovnomerné prúdenie vody v otvorených korytách	100
3.10.2	Hydraulicky najvýhodnejší prierez	102
3.10.3	Uzavreté prierezy s voľnou hladinou	103
3.10.4	Kontrolné otázky.....	106
3.10.5	Riešené príklady.....	106
3.10.6	Neriešené príklady.....	112
3.10.7	Ustálené nerovnomerné plynule sa meniace prúdenie.....	113
3.10.8	Kontrolné otázky.....	118
3.10.9	Riešené príklady.....	118
3.11	PREPADY	120
3.11.1	Prepad cez ostrú hranu.....	121
3.11.2	Prepad cez haťové telesá.....	122
3.11.3	Prepad cez širokú korunu	123
3.11.4	Kontrolné otázky.....	124
3.11.5	Príklady	124
3.12	NEUSTÁLENÉ PRÚDENIE V KANÁLOCH A KORYTÁCH	128
3.13	SPOJENIE HLADÍN V KORYTÁCH PRI VODNÝCH DIELACH.....	128
3.13.1	Kontrolné otázky.....	129
3.13.2	Príklady	129
3.14	PRÚDENIE PODZEMNEJ VODY.....	131
3.14.1	Darcyho filtračný zákon	131
3.14.2	Ustálené prúdenie s voľnou hladinou	132
3.14.3	Výpočet záchytných zariadení	133
3.14.4	Kontrolné otázky.....	136
3.14.5	Riešené príklady.....	136
3.14.6	Neriešené príklady.....	139

4	LABORATÓRNE CVIČENIA	140
4.1	HYDROSTATICKÝ TLAK	140
4.1.1	Teoretický základ.....	140
4.1.2	Zostava a priebeh experimentu	140
4.2	SPOJENÉ NÁDOBY	141
4.2.1	Teoretický základ.....	141
4.2.2	Zostava a priebeh experimentu	141
4.3	ARCHIMEDOV ZÁKON.....	142
4.3.1	Teoretický základ.....	142
4.3.2	Zostava a priebeh experimentu	142
4.4	VNÚTORNÉ TRENIE, TLAKOVÁ A RÝCHLOSTNÁ VÝŠKA.....	143
4.4.1	Teoretický základ.....	143
4.4.2	Zostava a priebeh experimentu	144
4.5	VÝTOK OTVOROM	145
4.5.1	Teoretický základ.....	145
4.5.2	Zostava a priebeh experimentu	145
4.6	TRAJEKTÓRIA VÝTOKOVÉHO LÚČA.....	146
4.6.1	Teoretický základ.....	146
4.6.2	Zostava a priebeh experimentu	147
4.7	PREPAD VODY CEZ PRIEPAD	147
4.7.1	Teoretický základ - pravouhlý tvar	147
4.7.2	Teoretický základ - trojuholníkový tvar	148
4.7.3	Zostava a priebeh experimentu	149
5	POUŽITÁ LITERATÚRA	150
6	PRÍLOHY.....	151

Autori	Ing. Tatiana Kaletová, PhD. Aybek M. Arifjanov
Názov	HYDROMECHANIKA – Praktické cvičenia
Určené	Pre študentov SPU
Vydavateľ	Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre
Vydanie	Prvé
Vytlačené	Jún 2019
Náklad	120 kusov
Počet strán	159
AH-VH	9,79-10,07
Tlač	Vydavateľstvo SPU v Nitre
ISBN 978-80-552-2007-9	Cena 2,20 €

Rukopis neprešiel redakčnou úpravou vo vydavateľstve.
Za odbornú náplň vydania zodpovedajú autori.

