

JAROSLAV ANTAL A KOLEKTÍV

HYDROLÓGIA

POĽNOHOSPODÁRSKEJ KRAJINY



NITRA 2022

Názov: Hydrológia poľnohospodárskej krajiny

Autori: prof. Ing. Jaroslav Antal, DrSc. (9,13 AH)
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre
prof. Ing. Viliam Bárek, CSc. (1,85 AH)
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre
doc. Ing. Ján Čimo, PhD. (1,88 AH)
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre
prof. Ing. Peter Halaj, CSc. (1,31 AH)
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre
doc. Ing. Klaudia Halászová, PhD. (0,31 AH)
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre
doc. Ing. Ján Horák, PhD. (0,63 AH)
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre
prof. Ing. Dušan Igaz, PhD. (1,70 AH)
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre
prof. Ing. Ľuboš Jurík, PhD. (0,30 AH)
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre
prof. Ing. Zlatica Muchová, PhD. (1,91 AH)
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre
Ing. Beáta Novotná, PhD. (1,08 AH)
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre
Ing. Karol Šinka, PhD. (1,91 AH)
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre

Recenzenti: prof. Ing. Miroslav Dumbrovský, CSc.
doc. Ing. Karol Kováč, CSc.

Schválila rektorka Slovenskej poľnohospodárskej univerzity dňa 16. 3. 2022
ako vysokoškolskú učebnicu pre študentov denného a dištančného štúdia.

ISBN 978-80-552-2483-1

OBSAH

Úvod.....	7
Prvá kapitola: Základné pojmy a definície	9
1.1 Predmet a rozdelenie hydrológie	9
1.2 Obeh vody v prírode.....	11
1.3 Medzinárodné a národné dokumenty o vode.....	14
1.3.1 Európska vodná charta	14
1.3.2 Agenda 21 – kapitola 18	15
1.3.3 Rámcová smernica o vode	18
1.3.4 Vodný zákon.....	19
Druhá kapitola: Vlastnosti, výskyt, význam a funkcie vody v krajine.....	23
2.1 Základné vlastnosti vody	23
2.1.1 Základné fyzikálne vlastnosti vody	24
2.1.2 Kapilárne javy	24
2.2 Výskyt a obeh vody na Zemi	28
2.2.1 Voda v atmosfére	30
2.2.2 Povrchová voda	30
2.2.3 Podpovrchová voda	32
2.2.4 Voda v biosfére.....	35
Tretia kapitola: Povodie.....	41
3.1 Geometrické charakteristiky povodia	41
3.2 Fyzicko-geografické charakteristiky povodia	44
3.3 Sklonové pomery povodia	45
3.4 Hydrografická sieť v povodí.....	48
Štvrtá kapitola: Zrážky	53
4.1 Vznik atmosférických zrážok	53
4.2 Druhy zrážok	56
4.2.1 Členenie zrážok podľa rôznych kritérií	56
4.2.2 Denný a ročný chod zrážok	58
4.3 Základné charakteristiky režimu zrážok	59
4.4 Meranie atmosférických zrážok	60
4.4.1 Meranie tekutých zrážok	60
4.4.2 Meranie výšky snehovej pokrývky	62
4.5 Spracovanie zrážkových pomerov	63
4.5.1 Prehľad základných štatistických pojmov pri vyhodnocovaní zrážok	64
4.5.2 Momentové charakteristiky	64
4.5.3 Výpočet vzrastu atmosférických zrážok s výškou	65
4.5.4 Plošné zobrazenie zrážok	66
4.5.5 Zrážkové a bezzrážkové obdobie.....	66
4.6 Kontrola kvality dát	66
4.6.1 Kontrola homogenity dát	66
4.6.2 Stanovenie chýbajúcich dát.....	70
4.7 Určovanie priemernej výšky zrážok v povodí.....	72
4.7.1 Závislosť zrážkového úhrnu od nadmorskej výšky	78
4.8 Prívalové dažde	79

4.8.1	Charakteristiky a kritériá krátkodobých intenzívnych (prívalových) dažďov ...	80
4.8.2	Náhradné prívalové dažde a ich charakteristiky	81
Piata kapitola:	Infiltrácia	95
5.1	Pojem a klasifikácia infiltrácie.....	97
5.2	Infiltračná schopnosť pôdy	99
5.2.1	Priemerná intenzita infiltrácie.....	99
5.2.2	Kumulatívna infiltračná krivka pôdy.....	100
5.2.3	Intenzitná infiltračná krivka pôdy.....	101
5.3	Distribúcia a redistribúcia pôdnej vody.....	105
5.3.1	Distribúcia infiltrujúcej vody v pôdnom profile	107
5.3.2	Redistribúcia infiltrovanej vody	110
Šiesta kapitola:	Výpar	119
6.1	Meranie intenzity výparu.....	121
6.2	Výpočet intenzity výparu z vodnej hladiny – E_o	123
6.3	Výpočet intenzity evapotranspirácie – E	132
Siedma kapitola:	Pôdna voda	137
7.1	Základné fyzikálne charakteristiky pôdy.....	137
7.2	Vlhkosť pôdy	144
7.2.1	Metódy merania pôdnej vlhkosti	145
7.2.2	Inštalácia zariadení na meranie pôdnej vlhkosti v teréne.....	146
7.2.3	Kalibrácia zariadenia na meranie vlhkosti pôdy.....	147
7.3	Statika pôdnej vody	148
7.3.1	Potenciál pôdnej vody.....	148
7.3.2	Hydrolimity.....	149
7.3.3	Vlhkostná retenčná krivka	155
7.4	Pohyb pôdnej vody	157
Ôsma kapitola:	Podpovrchové vody	165
8.1	Vlastnosti hornín a sily pôsobiace na stav vody v nich.....	166
8.2	Podzemné vody	170
8.3	Puklinové a krasové vody.....	172
8.4	Zdroje podzemných vôd.....	172
8.5	Druhy pohybu podzemných vôd.....	173
8.6	Ustálené prúdenie s voľnou hladinou.....	175
8.7	Výpočet záchytných zariadení.....	176
8.8	Metóda bilancie podzemných vôd	182
8.9	Pozorovanie a meranie podzemných vôd	182
8.10	Meranie hladiny podzemných vôd	182
8.11	Spracovanie výsledkov meraní	188
8.12	Meranie rýchlosti pohybu podzemnej vody.....	189
Deviata kapitola:	Hydrologická bilancia.....	195
9.1	Hydrologická bilancia regiónu	195
9.2	Hydrologická bilancia povrchu pôdy	197
9.3	Hydrologická bilancia koreňovej zóny pôdneho profilu.....	200
9.4	Tvorba kaluží	203

Desiata kapitola: Zrážkovo-odtokový proces	209
10.1 Pojem a klasifikácia odtoku	209
10.2 Prietok – pojem, charakteristiky	213
10.3 Časové a priestorové zmeny odtoku	217
10.3.1 Časové zmeny prietokov.....	217
10.3.2 Určovanie okamžitého prietoku	221
10.4 Extrémne prietoky	222
10.4.1 Prietoková vlna	223
10.4.2 Určovanie maximálnych a návrhových prietokov	225
10.4.3 Minimálne prietoky	234
10.5 Vznik a tvar prietokových vln	235
Jedenásta kapitola: Metódy spracovania a vyhodnocovania	
hydrologických pozorovaní a meraní.....	241
11.1 Náhodná veličina a teória pravdepodobnosti	241
11.2 Časové a hydrologické rady	242
11.3 Elementárne štatistické postupy.....	242
11.4 Číselné charakteristiky súboru hodnôt hydrologickej veličiny.....	249
11.5 Rozdelenie pravdepodobnosti náhodnej veličiny.....	252
11.5.1 Pravdepodobnostné funkcie	252
11.5.2 Empirická čiara prekročenia	254
11.5.3 Teoretická čiara prekročenia	254
11.6 Regresná a korelačná analýza	258
Dvanásta kapitola: Hydrologické základy protieróznej ochrany pôdy	
pred účinkami vodnej erózie	263
12.1 Teória vodnej erózie.....	263
12.1.1 Erozivita dažďa	264
12.1.2 Potreba protieróznej ochrany pôdy.....	265
12.2 Hydrologické podklady pre návrh protieróznej ochrany pôdy	267
Trinásta kapitola: Modelovanie hydrologických procesov	269
13.1 Model – použitie	269
13.2 Model – syntéza (zovšeobecnené zhrnutie)	270
13.3 Základné rozdelenie modelov	271
13.4 Klasifikácia modelov podľa stupňa kauzality (príčinnosti).....	272
13.5 Rozdelenie modelov na základe zobrazovanej dimenzie.....	273
13.6 Rozdelenie modelov podľa diskretizácie	273
13.6.1 Priestorová diskretizácia	273
13.6.2 Časová diskretizácia	274
13.7 Rozdelenie modelov podľa veľkosti mierky.....	274
13.8 Podľa priebehu systému v čase	277
13.9 Rozdelenie hydrologických modelov podľa ich zamerania	277
13.10 Hydrologické modely	278
13.11 Výber vhodného modelu	279
13.12 Rozdelenie modelov podľa výpočtových metód modelovaného procesu.....	280
13.13 Prezentácia a aplikovanie modelov	280
13.14 Validácia (overenie, verifikácia).....	281
13.15 Analýza citlivosti.....	281

Štrnásta kapitola: Manažment vody v poľnohospodárskej krajine	287
14.1 Manažment povrchovej vody	288
14.1.1 Regulácia objemu povrchového odtoku zrážkovej vody	288
14.1.2 Regulácia infiltrácie zrážkovej vody	288
14.2 Manažment podpovrchovej vody	293
Pätnásta kapitola: Ochrana hydrosféry	297
15.1 Teória ochrany vodných zdrojov	297
15.2 Prax ochrany hydrosféry (na Slovensku a vo svete)	301
15.3 Doplnujúce poznámky k problematike ochrany hydrosféry	303
Šestnásta kapitola: Geografické informačné systémy v hydrológii	307
16.1 Charakteristika GIS	307
16.1.1 Definície GIS	308
16.1.2 Úrovne chápania GIS	309
16.1.3 Modely priestorových dát	310
16.2 Tvorba a analýza reliéfu v prostredí GIS na účely hydrologických výpočtov	314
16.2.1 Priestorové interpolácie pri tvorbe DMR	314
16.2.2 Mikropovodie (odvodňovaná oblasť, prispievajúca plocha)	319
16.3 Výpočet charakteristík povrchového odtoku v prostredí GIS	333
16.3.1 Podklady na stanovenie čísiel odtokových kriviek (CN-hodnôt)	335
16.3.2 Stanovenie CN-hodnôt	342
16.3.3 Zjednodušený spôsob riešenia CN-metódy v prostredí GIS	343
16.3.4 Detailný spôsob riešenia CN-metódy v prostredí GIS	345
16.3.5 Výpočet doby koncentrácie	348
16.3.6 Výpočet kulminačného prietoku s využitím kriviek odtokových čísiel	355
Literatúra	359

ÚVOD

Základnou podmienkou existencie ľudstva, napriek všetkým prevratným úspechom vedy a techniky, je poľnohospodárske využívanie pôdy.

Malo by byť samozrejmosťou, že absolvent poľnohospodárskej, ale aj lesníckej či inej prírodovedecky zameranej školy akéhokoľvek stupňa, nevynímajúc absolventa poľnohospodárskej univerzity, má aspoň základné poznatky o možných vzťahoch a procesoch vyskytujúcich sa, či prebiehajúcich v systéme pôda – (voda) – rastlina – atmosféra.

Ničím nenahraditeľným médiom prenosu, výmeny a premeny energie a látok v tomto systéme (vo všeobecnosti v prírode), bez ktorého by nebol ani život na Zemi, je voda.

Existuje veľa definícií vody, jej funkcií či významu, a to od fyzikálnych, chemických, filozofických, umeleckých a iných prístupov, ale bez akýchkoľvek pochybností je voda najdôležitejšou zlúčeninou na zemskom povrchu. Určite nie náhodou Leonardo da Vinci napísal, že *„Vode bola daná čarovná moc byť miazgou života na Zemi.“*, určite nie náhodou autor Malého princa Antoine de Saint-Exupéry vyznáva chválu vode slovami: *„Voda! Nemáš ani chuť, ani farbu, ani vôňu! Nemožno ňu opísať! Tebou sa nadchýname a nevieme, čo si zač. Nemožno povedať, že si potrebná pre život – ty si sama život!“*

Určite tiež nie náhodou sa prijímajú národné, medzinárodné, dokonca celosvetovo platné dokumenty o vode (pozri podkapitolu 1.3), nie náhodou sa realizovala a realizuje medzinárodná vedecká spolupráca v hydrológii, napr. v medzinárodných hydrologických programoch UNESCO s rôznym zameraním, v Operatívnom hydrologickom programe (OHP) Svetovej meteorologickej organizácie a pod.

Napriek týmto aktivitám súvisiacim s hydrológiou, resp. priamo s vodou, každý šiesty človek na svete trpí nedostatkom pitnej vody, každý tretí človek na svete trpí nedostatkom sanitárnej vody, denne zomiera na svete 3 900 detí na choroby spojené s vodou. Nedostatok alebo prebytok vody v určitých teritóriách pravidelne spôsobuje nielen veľké materiálne škody, ale aj veľké straty na ľudských životoch (napr. v roku 1936 mala Čína až 5,0 mil. obetí sucha, 1 836 ľudí zahynulo pri povodniach v roku 1953 v Holandsku, v júli 1998 v obci Jarovnice zahynulo 50 ľudí).

Aj týchto niekoľko faktov podčiarkuje význam štúdia hydrológie, štúdia vedy o vode vo všeobecnosti, a ak si uvedomíme, že produkcia potravín je priamo závislá na dostatku pôdnej vody, tak štúdium aj na SPU v Nitre, na univerzite, ktorá jediná v SR pripravuje vysokoškolsky vzdelaných poľnohospodárskych odborníkov, nie je, alebo by nemalo byť predstaviteľné aj bez štúdia hydrológie.

K tomu by mala dopomôcť aj táto vysokoškolská učebnica, primárne určená najmä pre študentov FZKI SPU v Nitre. Autori však dúfajú, že poznatky uvedené v tejto učebnici budú vedieť využiť aj študenti ostatných fakúlt SPU v Nitre, študenti ďalších vysokých škôl prírodovedeckého či ekologického zamerania, ako aj pracovníci pôdohospodárskej a vodohospodárskej praxe, a pre úspešný rozvoj Slovenska by nebolo zle, keby poznatky uvedené v tejto učebnici primerane využívali aj pracovníci riadiacej či decíznej sféry.

Že toto štúdium nebolo, nie je a ani nebude ľahké, svedčí aj skutočnosť, že voda napriek svojej jednoduchej štruktúre má už zistených 66 anomálií – fázových, termodynamických, fyzikálnych,... Niektoré sú stručne opísané aj v 2. kapitole tejto vysokoškolskej učebnice. Štúdium hydrológie a praktická aplikácia hydrologických poznatkov a zákonitostí nie je ľahké aj preto, že pri štúdiu hydrológie prakticky vždy ide, vyjadrené

slovami významného slovenského vodohospodára, prof. Ing. Š. Bella, o „Boj s vodou a o vodu“. Optimum pomeru množstva vody vo vzťahu k ďalším abiotickým zložkám krajinného prostredia je skôr výnimkou ako pravidlom, skôr trvá kratšie, ako by bolo trvalé.

Prehľbovanie a rozširovanie poznatkov o výskyte a obehu vody v určitej časti zemského povrchu neustále pokračuje, najmä v závislosti od intenzity ľudskej aktivity človeka v danom území. O hydrológii poľnohospodárskej krajiny je v súčasnosti pomerne veľké množstvo poznatkov a do tejto oblasti hydrológie zasahuje agrohydrológia, hydrológia pôdy, tečúcich a stojatých vôd. Má však aj svoje zvláštnosti, ktoré sa vyznačujú najmä časove podmienenými a stabilnými vzťahmi medzi hydrologickými procesmi a nárokmi pestovaných plodín na fyzikálne vlastnosti pestovateľského prostredia. Snahou autorov tejto vysokoškolskej učebnice je systematické a rozsahom limitované ucelené podanie poznatkov o výskyte a kolobehu vody v poľnohospodárskej krajine na úrovni vysokoškolskej učebnej pomôcky. Pritom v prípade záujmu o hlbšie štúdium niektorých hydrologických javov v poľnohospodárskej krajine čitateľ môže využiť odkazy na ďalšiu literatúru.

V snahe čo najviac priblížiť študentom rozsiahlu a svojim spôsobom aj zložitú problematiku hydrológie poľnohospodárskej krajiny urobil autorský kolektív „nesmelý“ pokus o spracovanie tejto učebnice aj s využitím princípov dištančného vzdelávania, t. j. možnosti vzdelávania sa aj bez priamej účasti vysokoškolských učiteľov. V niektorých kapitolách sa to podarilo viac, v iných menej. V každom prípade základ bol položený, a budúce vydania učebnice budú určite aj na základe pripomienok študentov a kolegov neustále vylepšované.

Táto vysokoškolská učebnica, aspoň nie v takomto rozsahu, by nebola vznikla bez významného finančného príspevku projektu KEGA č. 003SPU-4/2012. Nebola by tiež vznikla, aspoň nie v takej technickej kvalite, ani bez priamej pomoci a rád pracovníčok Vydavateľstva SPU v Nitre, najprv pod vedením pani doc. Ing. Olgy Roháčikovej, PhD., a v záverečnej etape spracovávaní pod vedením Ing. Ľubice Ďudákovovej.

Nedá sa nespomenúť a nepoďakovať aj tajomníčke FZKI SPU v Nitre, Ing. Kataríne Pobudovej za jej pomoc a rady pri riešení vzniknutých ekonomických problémov, ako aj všetkým technickým spolupracovníkom, ktorí sa podieľali na príprave tejto učebnice.

Autori tiež vyslovujú svoju vďaku aj oponentom učebnice, prof. Ing. Miroslavovi Dumbrovskému, CSc. a doc. Ing. Karolovi Kováčovi, CSc. za ich cenné pripomienky a odporúčania, ktoré prispeli ku skvalitneniu učebnice. Budeme tiež vďační za každú dobre mienenú radu aj od čitateľov tejto publikácie.

Väčšina z nás pozná vetu, že: „Vo víne je pravda – *In vino veritas*“, ale možno nie každý vie, že to je len prvá časť vety, ktorá končí konštatovaním, že: „Vo vode je zdravie – *In aqua sanitas*“.

prof. Ing. Jaroslav Antal, DrSc.
vedúci autorského kolektívu

Jaroslav Antal a kolektív
Hydrológia poľnohospodárskej krajiny

Vydala Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre

Vydanie: tretie nezmenené

Náklad: 120 ks

Obálka: Peter Vince

Redaktorka: Ing. Ľubica Ďuďáková

Grafická úprava: Tatiana Šmehilová

Tlač: Vydavateľstvo SPU v Nitre

Autori fotografií použitých v učebnici sú pracovníci
Fakulty záhradníctva a krajinného inžinierstva SPU v Nitre.

AH-VH: 22,01-22,47

ISBN 978-80-552-2483-1

Táto publikácia bola vytlačená na ekologickom papieri.

