

Univerzita Karlova v Praze

Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Geologie

Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užití geofyziky



Hypodermický a drenážní odtok

Hypodermic and drainage runoff

Bakalářská práce

Lukáš Hubinger

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Josef V. Datel, Ph.D.

Praha 2011

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 16.8. 2011

podpis

Abstrakt

Práce se zabývá hypodermickým a drenážním odtokem, jejich stanovením, zařazením do hydrologického cyklu a ovlivněním antropogenní činností. Jednotlivě jsou popsány druhy odtoků a jejich stanovení. Dále se práce zabývá zemědělským odvodňováním, jeho vlivem na krajinu jako celek, druhy drenáží, výhody a nevýhody drenážních systémů a současným stavem drenážních systémů. V práci jsou detailně rozebrány klady a zápory drenážních systémů, jsou popsány možnosti jejich modernizace, jejich aktuální stav a celkový vliv na krajinu.

Klíčová slova:

hypodermický odtok, drenážní odtok, hydrologický cyklus, zemědělské odvodnění, drenáž

Abstract

The BSc thesis deals with hypodermic and drainage runoff, possibilities of its determination, with its place in the hydrologic cycle and impacts of anthropogenic activities. There are types of runoff, possibilities of its description one by one in the thesis. The thesis also includes information about agricultural drainage, its influence to the landscape as whole, types of drainage, about advantages and disadvantages of drainage systems and about actual situation of drainage systems in the Czech Republic. There are description in detail pluses and negatives drainage runoff in the thesis, there are description possibilities of its modernization, about actual situation of drainage systems and it is influence to the landscape.

Key words:

hypodermic runoff, drainage runoff, hydrologic cycle, agricultural drainage, drainage

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval svému školiteli RNDr. Josefu V. Datlovi, Ph. D. za všestrannou pomoc, ochotu, trpělivost a vždy přátelský přístup. Také děkuji rodině a všem příbuzným, kteří mě podporovali a drželi palce.

Obsah

Abstrakt	3
1. Úvod.....	7
2. Voda na Zemi.....	8
2.1. Skupenství vody	8
2.2. Hydrologický cyklus	8
2.3. Zastoupení vody na Zemi.....	9
2.4. Fyzikální vlastnosti vody	9
2.5. Druhy vod.....	12
2.5.1. Dělení dle místa výskytu	12
2.5.2. Dělení dle původu.....	13
2.5.3. Rozdělení podle užívání vody člověkem.....	13
2.5.4. Půdní voda	14
3. Hydrologický cyklus a hydrologická bilance.....	15
3.1. Hydrologická bilance	15
3.2. Povodí	15
3.2.1. Orografické povodí.....	15
3.2.2. Geologické povodí.....	16
3.3. Hydrologický rok	16
3.4. Bilanční rovnice	16
3.5. Srážková bilance	17
3.5.1. Evapotranspirace	17
3.5.2. Rozdělení srážek.....	18
4. Stanovení odtoku, metody a výpočty	20
4.1. Ovlivnění odtoku.....	20
4.2. Podzemní odtok.....	20
4.2.1. Měření vydatnosti pramenů	20
4.2.2. Postupné měření průtoků ve vodním toku	22
4.2.3. Stanovení podzemního odtoku jako součásti celkového odtoku	22
4.3. Povrchový odtok	23
4.3.1. Měření plovákem.....	24

4.3.2.	Měření hydrometrickou (vodoměrnou) vrtulí.....	24
4.3.3.	Měření průtoku ředěním roztoku soli	25
4.4.	Hypodermický neboli podpovrchový odtok.....	25
5.	Antropogenní ovlivnění hypodermického odtoku – odvodnění a závlahy	27
5.1.	Historie odvodňování	27
5.2.	Rozsah odvodnění zemědělských pozemků	27
5.3.	Účel odvodnění	28
5.4.	Zadržování vody a její úloha v krajině.....	29
5.5.	Užitečnost a škodlivost drenážních systémů	30
5.6.	Diskuse ohledně urychlení odtoku	32
6.	Technická a stavební hlediska odvodňovacích staveb	33
6.1.	Nutnost průzkumných prací před návrhem odvodnění	33
6.2.	Příčiny zamokření	33
6.2.1.	Zamokření povrchovou vodou.....	34
6.2.2.	Zamokření podzemní vodou	34
6.3.	Biologická diverzita mokřadů	34
6.4.	Způsoby odvodnění.....	35
6.5.	Odvodňovací stavba	35
6.5.1.	Druhy drenáže.....	36
6.5.2.	Materiál.....	37
6.5.3.	Možnosti regulovatelnosti a retardace odtoku	38
7.	Údržba drenážních systémů a jejich současný stav.....	40
7.1.	Aktuální stav	40
7.2.	Životnost drenážních systémů	41
7.3.	Údržba drenážních systémů	41
8.	Diskuse - bilance současného stavu	42
9.	Závěr	43
10.	Použitá literatura	44

1. Úvod

Cílem této bakalářské práce je objasnit místo mělkého podpovrchového odtoku v hydrologické bilanci, způsoby stanovení, jeho význam pro zadržování vody v krajině a jeho ovlivňování antropogenní činností. Detailněji je popsáno jeho ovlivnění odvodňováním zemědělských pozemků, výhody a nevýhody drenážních systémů, jejich současný stav a celkový dopad odvodňování na krajinu. Vytvořená práce má rešeršní charakter. Vznikla na základě studia dostupné publikované a nepublikované literatury.

Život na Zemi se neobejde bez ovzduší, kterému je věnována velká pozornost na národní i mezinárodní scéně. Stejně tak je důležitá i půda. Na půdě se pěstují plodiny, které člověku slouží jako potrava. Ani bez ovzduší ani bez půdy se nemůžeme obejít, ale další složkou, bez které se skutečně nemůžeme obejít, je voda. Voda je základem života na Zemi, je nedílnou součástí životního prostředí a nezbytnou podmínkou existence života na Zemi. Neustále cirkuluje v třech různých skupenstvích po všech místech na Zemi. Tato cirkulace se nazývá hydrologický cyklus.

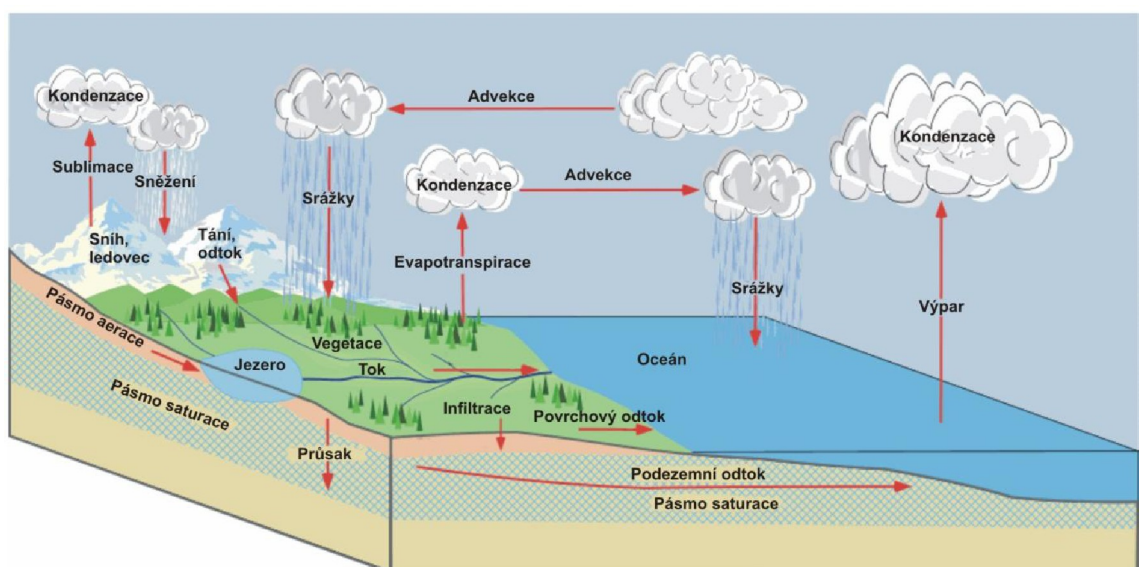
2. Voda na Zemi

2.1. Skupenství vody

Voda se nejčastěji nachází ve skupenství kapalném, v menším množství ve skupenství pevném a nejmenším podílem je skupenství plynné. Mezi jednotlivými skupenstvími dochází k jejich přechodům. Přechod z kapalného skupenství do plynného se nazývá vypařování, ze skupenství plynného na kapalně kondenzace, z kapalného do pevného se jedná o tuhnutí, opačně z pevného do kapalného tání a nakonec přechod z pevného skupenství na plynné je sublimace a z plynného na pevné desublimace.

2.2. Hydrologický cyklus

Díky tomu, že voda neustále cirkuluje, dochází k neustálému ovlivňování jednotlivých složek životního prostředí – interakce mezi půdou, ovzduším a vodou. Rozlišujeme malý a velký hydrologický cyklus [1]. Malý hydrologický cyklus znamená, že výměna vody probíhá nad hladinou oceánů nebo jen v rámci pevniny (např.: v bezodtokých oblastech). Při velkém hydrologickém cyklu dochází k výměně vody mezi oceánem a pevninou. Nejprve dojde k vypaření vody z oceánu, ta se přenese nad pevninu, kde spadne v podobě srážek a odteče vodními toky zpět do oceánů. Mezi hlavní procesy patří vypařování, kondenzace, přenos vodní páry, srážky, odtok, evaporace, transpirace a další procesy viz obr. 1. [2]

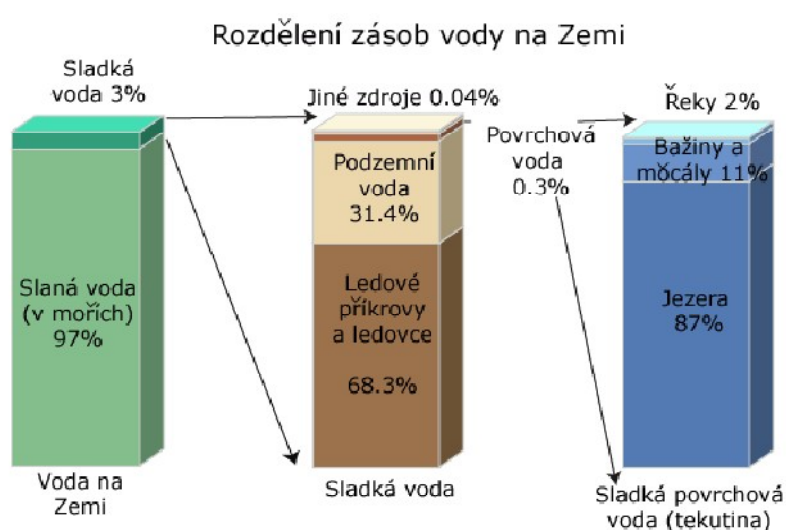


Obr. 1: Hydrologický cyklus [3]

2.3. Zastoupení vody na Zemi

Důležitým faktem pro nás je, že množství vody na Zemi je neměnné. To znamená, že voda nikdy nemůže dojít nebo zcela zmizet, pouze může dojít ke změně poměrů mezi jejími jednotlivými skupenstvími nebo distribucí na Zemi. Celkové množství vody na Zemi se odhaduje na $1\,390\,000\,000\text{ km}^3$ [4]. Podle starších zdrojů byly světové zásoby vody odhadovány až na $1\,454\,000\,000\text{ km}^3$ [5].

Zhruba 97 % je voda slaná a pouze 3 % vody na Zemi připadá na vodu sladkou. Z této sladké vody je zhruba 68,3 % vázáno v ledovcích, 31,4 % je podzemní vody a pouhé 0,3 % je vody povrchové – čili řeky a jezera, viz obr. 2 [6].



Obr. 2: Rozdělení zásob vody na Zemi [6]

2.4. Fyzikální vlastnosti vody

Pokud se na vodu podíváme z chemického hlediska, tak se jedná o sloučeninu kyslíku a vodíku, konkrétně se jedná o dva atomy vodíku a jeden atom kyslíku. Mezi molekulami jsou slabé vodíkové vazby.

Voda je jednou z nejrozšířenějších látek na Zemi. Denně s ní přicházíme do styku. Často nás zajímají některé z jejich parametrů, kterých je celá škála, viz níže.

Mezi nejdůležitější vlastnosti patří hustota, viskozita, povrchové napětí (jejich hodnoty a označení viz tab. 1), pH a oxidačně redukční potenciál. Dále se u vody často určují senzorické vlastnosti.

Tab. 1: Fyzikální vlastnosti vody a srovnání s vybranými látkami

parametr	značka	definice	základní jednotky	hodnota pro vodu	hodnota pro rtuť	hodnota pro ethanol	poznámka
hustota	ρ	$\rho = m/V$	g/cm^3	0,99821	13,551	0,7894	m...hmotnost V...objem
dyn. viskozita	η	$\eta = k \cdot \rho \cdot t$	Pa.s	$1,0019 \cdot 10^{-3}$	$1,554 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	k...konstanta ρ ...hustota t...čas
povrchové napětí	σ	$\sigma = F/l$	N/m	0,07258	0,485	0,02232	F...síla l...délka

Pozn.: Všechny údaje v tabulce jsou při 20°C.

Hustota je hodně důležitou vlastností vody. Na rozdíl od jiných kapalin se hustota v určitém teplotním rozmezí s rostoucí teplotou zvyšuje. Toto rozmezí je od 0 °C do 3,98 °C, kdy dosahuje vlastně největší hustoty – rovných 1000 kg/m^3 , pak už s rostoucí teplotou hustota klesá až do bodu varu na hodnotu $958,36 \text{ kg/m}^3$ [7], jak je typické i pro ostatní kapaliny.

Viskozita určuje míru vnitřního tření pohybující se kapaliny a je způsobena kohezí částic. Viskozita vody klesá s rostoucí teplotou.

Povrchové napětí má voda ze všech běžných kapalin druhé nejvyšší po rtuti. Vzniká vzájemným působením přitažlivých sil mezi částicemi kapaliny. Jedná se o efekt, při kterém se povrch kapaliny chová elasticky a snaží se dosáhnout co nejhladšího stavu s minimální plochou, jinými slovy se povrch kapaliny snaží dosáhnout stavu s co nejmenší energií. [8] Pro lepší představu viz obr. 3 [9] a 4 [10].



Obr. 3: Vodměrky využívají povrchového napětí na vodní hladině [9]



Obr. 4: Kancelářská sponka splývající na vodní hladině [10]

Oxidačně redukční potenciál vyjadřuje stupeň vyváženosti mezi oxidačními a redukčními procesy. Lze ho použít při kontrole jakosti vody, určitých technologických úprav nebo pro výpočet poměrného zastoupení jednotlivých forem daných iontů.

Další vlastností je pH, které je definováno jako záporný dekadický logaritmus aktivity vodíkových iontů. Část molekul vody se vyskytuje v disociovaném stavu, tj. jako ionty H^+ a OH^- . V chemicky čisté (neutrální) vodě jsou tyto ionty zastoupeny rovným dílem a se shodnou koncentrací 10^{-7} mol/l. pH se vyjadřuje pomocí stupnice 0 - 14. Neutrální voda má hodnotu 7. Voda o hodnotách menších než 7 je kyselá a nad 7 zásaditá. Ke změně pH je zapotřebí kyseliny nebo zásady, která do vody dodává H^+ ionty, respektive s nimi reaguje a tak snižuje jejich množství. Krásný příklad je s dešťovou vodou – při dešti se do vody rozpouští oxid uhličitý, který s vodou reaguje za vzniku kyseliny uhličitě a dochází k poklesu pH do kyselých hodnot, přibližně se pH deště pohybuje kolem 5,8. V oblastech, kde je ovzduší znečištěno oxidem siřičitým, dochází ještě k výraznějšímu okyselení v důsledku vzniku kyseliny sírové. Takové vody mají pH kolem 3 a jsou známé jako kyselé deště. Hodnota pH ovlivňuje společně s oxidačně – redukčním potenciálem chemickou formu látek, které jsou ve vodě obsaženy. Například ovlivňuje to, v jaké podobě bude ve vodě železo, což je zásadní pro fotosyntézu rostlin. Také dusíkový cyklus je ovlivňován hodnotou pH – při zvýšení pH nad neutrální hodnotu přejde relativně neškodná forma dusíku NH_4^+ na prudce jedovatý NH_3 . Pro každý rostlinný i živočišný druh je určité rozmezí pH ve kterém je schopný přežít. [11] Důležitý je rovněž význam pH pro mobilitu a migraci látek [12].

Senzorické vlastnosti vody jsou vlastnosti, které působí na smysly člověka. Jedná se o teplotu, zákal, barvu, průhlednost, zápach a chuť. Tyto vlastnosti jsou nejčastěji spojovány s úpravou vody ve vodárnách a její kvalitou. [6]

2.5. Druhy vod

Vodu v kapalné formě lze dělit podle několika kritérií. Podle místa výskytu dělíme vodu na atmosférickou, povrchovou a podzemní. Podle původu rozdělujeme vodu na vadózní a juvenilní a podle používání člověkem dělíme vodu na pitnou, užitkovou a odpadní. Z legislativního hlediska se vydělují zvláštní druhy vod, mezi které patří přírodní léčivé vody, stolní minerální vody a vody důlní. Tyto vody podléhají jiným předpisům než zákonu o vodách.

2.5.1. Dělení dle místa výskytu

Atmosférická neboli srážková voda vzniká v ovzduší z atmosférické vlhkosti, klesne-li teplota příslušné vrstvy vzduchu pod rosný bod za přítomnosti kondenzačních jader [13] podle rovnice



kde g značí plynné skupenství a l značí kapalné skupenství.

Rosný bod je teplota, při které je vzduch maximálně nasycen vodními parami. Při poklesu teploty pod rosný bod nastává kondenzace vodní páry obsažené ve vzduchu a vzniká například rosa nebo mlha. Pro různé absolutní vlhkosti vzduchu je různá teplota rosného bodu. [8]

Atmosférická voda může být v kapalné formě (v podobě deště, rosy a mlhy) nebo v pevné formě (v podobě sněhu, ledu a jinovatky). Rozlišujeme dvoje srážky - horizontální a vertikální. Vertikální srážky se tvoří ve vyšších patrech atmosféry a padají ve formě deště nebo sněhu. Horizontální srážky se tvoří přímo na povrchu země nebo na listech rostlin. V našich podmínkách je v podstatě zcela zanedbáváme. V práci [14] byla řešena otázka významu horizontálních srážek ve vláhové bilanci v klimatu lužního lesa jižní Moravy na dvou lokalitách. Z výsledků vyplývá, že v bezesrážkových obdobích byly horizontální srážky jediným zdrojem vláhy. Podíl horizontálních srážek na celkovém úhrnu atmosférických srážek se pohyboval u obou lokalit mezi 7 – 19 %, což rozhodně není vůbec zanedbatelný podíl.

Povrchová voda je veškerá voda, která se trvale nebo dočasně vyskytuje na zemském povrchu. Dále se může dělit na mořskou a kontinentální nebo podle pohybu na stojatou a tekoucí. Tyto vody bývají nejčastějším zdrojem užitkové a také pitné vody.

Podzemní voda se vyskytuje pod zemským povrchem. Téměř veškerá podzemní voda je zapojena v hydrologickém cyklu, v kterém proběhne za určitou dobu. Výjimku tvoří části podzemní vody, které jsou izolované od hydrologického cyklu v uzavřených polohách propustných hornin mezi vrstvami izolátorů nebo vody, které vznikly z organických hmot a obvykle doprovázejí ložiska uhlovodíků [15]. Tyto vody jsou stejně jako podzemní voda součástí hydrosféry, ale momentálně nejsou zapojeny do hydrologického cyklu. [16] Podzemní voda se pod zemský povrch dostává infiltrací povrchových a atmosférických vod, kondenzací vodních par v půdě a z magmatu. Největší vliv na fyzikálně – chemické složení podpovrchových vod má složení půdy a hornin. Ve svrchní vrstvě obvykle nemají vody moc velkou mineralizaci kvůli krátké době interakce s horninami. Ve větších hloubkách však značně mineralizace přibývá a to především sodíku a chloridů. [6]

2.5.2. Dělení dle původu

Převážná část podzemní vody pochází přímo nebo nepřímo ze srážek, čili je meteorického původu. Takováto voda se často nazývá vodou vadózní. Jedná se tedy o vodu, která se do země dostala buď infiltrací srážkové a povrchové vody nebo kondenzací vodní páry atmosférického původu pod povrchem. U některé zahraniční literatury dochází u termínu vadózní voda k problému, protože se pod tím samým pojmem rozumí voda provzdušněného pásma. [16]

Juvenilní voda tvoří velice malou část podzemní vody, která vzniká v hlubinách zemského nitra kondenzací par unikajících z chladnoucího magma. Tato voda se dostává k zemskému povrchu v oblastech vulkanických a postvulkanických jevů (plyny vulkanických erupcí, termální prameny, minerální zřídla, gejzíry) a tím i do hydrologického cyklu. [13, 16]

2.5.3. Rozdělení podle užívání vody člověkem

Definice pitné vody podle zákona č. 258/2000 sb. o ochraně veřejného zdraví [17] zní:

Pitnou vodou je zdravotně nezávadná voda, která ani při trvalém požívání nevyvolá onemocnění nebo poruchy zdraví přítomností mikroorganismů nebo látek ovlivňujících akutním, chronickým či pozdním působením zdraví fyzických osob a jejich potomstva, jejíž smyslově postižitelné vlastnosti a jakost nebrání jejímu požívání a užívání pro hygienické

potřeby fyzických osob. Zdravotní nezávadnost se stanoví hygienickými limity mikrobiologických, biologických, fyzikálních a chemických ukazatelů, které jsou upraveny prováděcím právním předpisem.

Užitková voda je používána k jiným účelům než k pitným. V porovnání s vodou pitnou mohou být její fyzikálně – chemické vlastnosti horší, avšak musí být zdravotně nezávadná.

Vody odpadní jsou vody z domácností, měst, průmyslových zón atd., u kterých došlo ke zhoršení kvality. Dělí se na splaškové, průmyslové a městské. [6]

2.5.4. Půdní voda

Voda v půdě se označuje jako půdní. Rozlišujeme vodu kapilární, gravitační a krystalickou. Kapilární voda je vázána v půdních kapilárách. Její pohyb je dán kapilárními silami. Gravitační vodou nazýváme vodu, která je ve větších pórech, kde se nemohou tolik uplatnit kapilární síly. Pohybuje se ve směru převládajících gravitačních sil. Krystalická voda je chemicky vázaná ve sloučeninách. Je vázána velice pevně a uvolňuje se až při zvýšené teplotě. Oproti vodě kapilární a gravitační nemůže být využita rostlinami. [18] Ve strukturách minerálů je často přítomna voda. Může být přítomna ve formě hydroxylových aniontů OH^- nebo přímo ve formě molekul. Rozlišujeme vodu vázanou (ta se dále dělí na konstituční a krystalovou) a vodu volnou (dále dělenou na vodu zeolitovou, koloidní a hygroskopickou). Příklady některých minerálů: [19]

- mastek $\text{Mg}_3(\text{OH})_4\text{Si}_2\text{O}_{10}$
- sádrovec $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- analcim $\text{Na}(\text{AlSi}_2\text{O}_6) \cdot \text{H}_2\text{O}$
- opál $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$

Vyskytují se názvoslovné nejasnosti při definování vody podzemní. Z odborného hlediska je podzemní voda veškerá voda v nenasycené i nasycené zóně. Vodní zákon ale definuje podzemní vodu jako vodu v pásmu nasycení (pod hladinou podzemní vody).

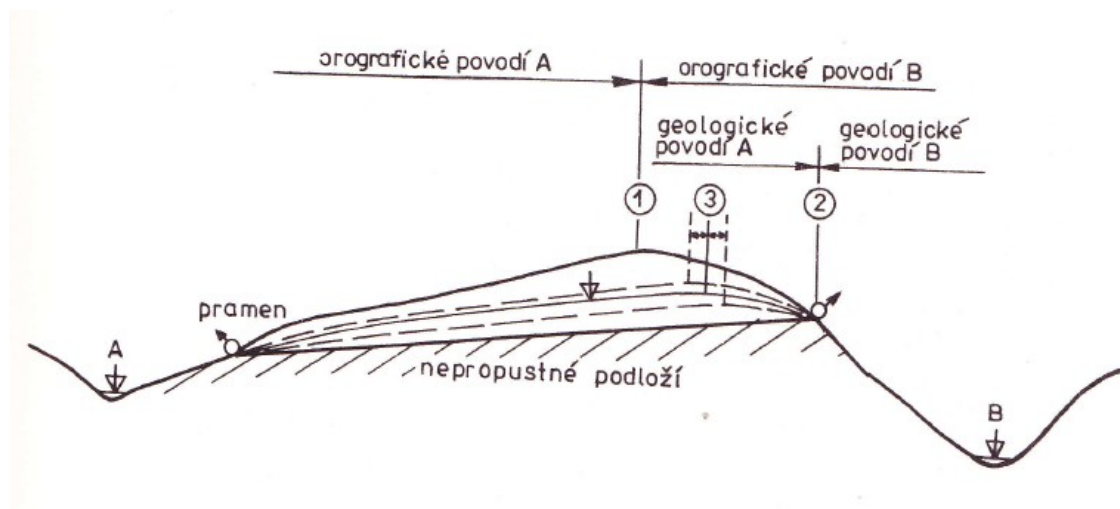
3. Hydrologický cyklus a hydrologická bilance

3.1. Hydrologická bilance

Hydrologická bilance vyjadřuje kvantitativně vztahy mezi jednotlivými složkami hydrologického cyklu. Sestavujeme ji pro určitý prostor a čas. Prostorem může být jakékoli území, ale nejčastěji se hydrologická bilance stanovuje pro povodí. Sestavování hydrologické bilance pro povodí má výhodu, že je hydrologicky uzavřeným orografickým celkem. Často se dělá bilance pro tzv. hydrologický rok. Pokud děláme bilanci pro povodí a v rámci hydrologického roku výrazně se nám zjednodušuje výpočet bilance, protože řada členů rovnice je nulová nebo ji můžeme zanedbat. [20]

3.2. Povodí

Povodí je území, ze kterého jsou všechny vody, které na něj v podobě srážek dopadly, odváděny přes závěrový profil. Rozlišujeme mezi povodím orografickým a geologickým. Rozdíl mezi oběma povodími viz obr. 5 [20].



Obr. 5: Rozdíl mezi orografickým a geologickým povodím (1 – orografická rozvodnice, 2 – geologická rozvodnice, 3 – rozvodnice podzemního odtoku, jejíž poloha se mění podle stavu hladiny podzemní vody) [20]

3.2.1. Orografické povodí

Jedná se o území, které je tvořeno nepropustnými horninami. Od sousedních povodí je odděleno rozvodnicí, která probíhá po hřebtech a vyvýšeninách. Na území, které má propustný povrch zasahuje skutečné povodí až za hranice orografického povodí, protože

voda srážek se může dostávat do vodního toku i z území, které leží za rozvodnicí. Takové území se nazývá povodím geologickým.

3.2.2. Geologické povodí

Pro vymezení geologického povodí je nutné znát geologickou stavbu území. Z hydrogeologického povodí se vychází tam, kde je propustný povrch a v případech, kdy je potřeba přesně zjistit podzemní odtok a odvodnění. [20]

3.3. Hydrologický rok

Jedná se o období 12-ti měsíců, které jsou stanoveny tak, aby i sněhové srážky spadlé v tomto období ještě v tomtéž období otekly. V hydrologickém roce je tedy zachycena většina vody, která spadla na určité území a zase z něj musela odtéct a to včetně vody ze sněhu. Pro Českou republiku a ostatní země střední Evropy je začátek hydrologického roku stanoven na 1. listopadu a končí 31. října následujícího kalendářního roku. Výhodou zavedení hydrologického roku je, že srážky spadlé ve formě sněhu začátkem zimy se společně s jarním odtokem zahrnou do stejného bilančního období. Další výhodou je, že začátek i konec bilančního období je v době, kdy jsou obvykle ustálené srážkové a odtokové poměry, čili je pravděpodobné, že statický objem vody v jednotlivých složkách hydrosféry daného území je přibližně stejný jak na začátku, tak na konci hydrologického roku. Tento fakt má význam pro sestavení hydrologické bilanční rovnice. [16]

3.4. Bilanční rovnice

Hydrologickou bilanční rovnicí se vyjadřuje hydrologická bilance, která je v podstatě rovnicí kontinuity.

$$P - O = +/- \Delta V \quad (2)$$

kde rozdíl mezi přírůstkem (přítokem) P a úbytkem (odtokem) O vody v daném prostoru a čase je roven změně objemu vody ΔV . Do přírůstku P jsou zahrnuty srážky (P_s), povrchový přítok (P_{pv}), podzemní přítok (P_{pz}) a přírůstek vody přiváděné z jiného území (P_{pr}). Do úbytku O je zahrnuta evapotranspirace (O_{ev}), povrchový odtok (O_{pv}), podzemní odtok (O_{pz}) a úbytek odčerpávané vody (O_{od}), která se do území již nevrací zpět. Ve změnách objemu ΔV jsou zahrnuty změny objemu povrchové a podzemní vody, čili jejich úbytky anebo přírůstky. [16]

Bilanční rovnici lze tedy upravit do tvaru:

$$P_s + P_{pv} + P_{pz} + P_{pr} - O_{ev} - O_{pv} - O_{pz} - O_{od} = +/- \Delta V \quad (3)$$

Členy rovnice jsou vyjádřeny objemem vody (v objemových jednotkách nebo v mm vrstvy vody) za časovou jednotku nebo časové období (pro všechny členy ve stejných jednotkách).

Hydrologickou bilanční rovnicí je vyjádřen zákon o zachování hmoty pro hydrologický cyklus v daném území a čase. Lze ji využít pro kontrolu závěrů o vztazích mezi složkami hydrologického cyklu a nebo pro stanovení některé složky, kterou nemůžeme měřit přímo. Podmínkou je ale znalost nebo možnost stanovení nebo zanedbání ostatních členů. Jedním z nejčastěji stanovovaných členů je podzemní odtok.

3.5. Srážková bilance

3.5.1. Evapotranspirace

Z vody, která dopadne na zemský povrch v podobě srážek, se vrací značná část zpět do atmosféry jako pára. Tento proces probíhá v podstatě kombinací tří pochodů, které jsou obdobou jediného pochodu v důsledku působení sluneční energie. Jedná se o proces výparu (z volné hladiny, povrchu půdy a z rostlinného krytu), transpirace a sublimace. Výpar a transpiraci většinou nelze měřit odděleně a proto se oba dva pochody shrnují jako evapotranspirace.

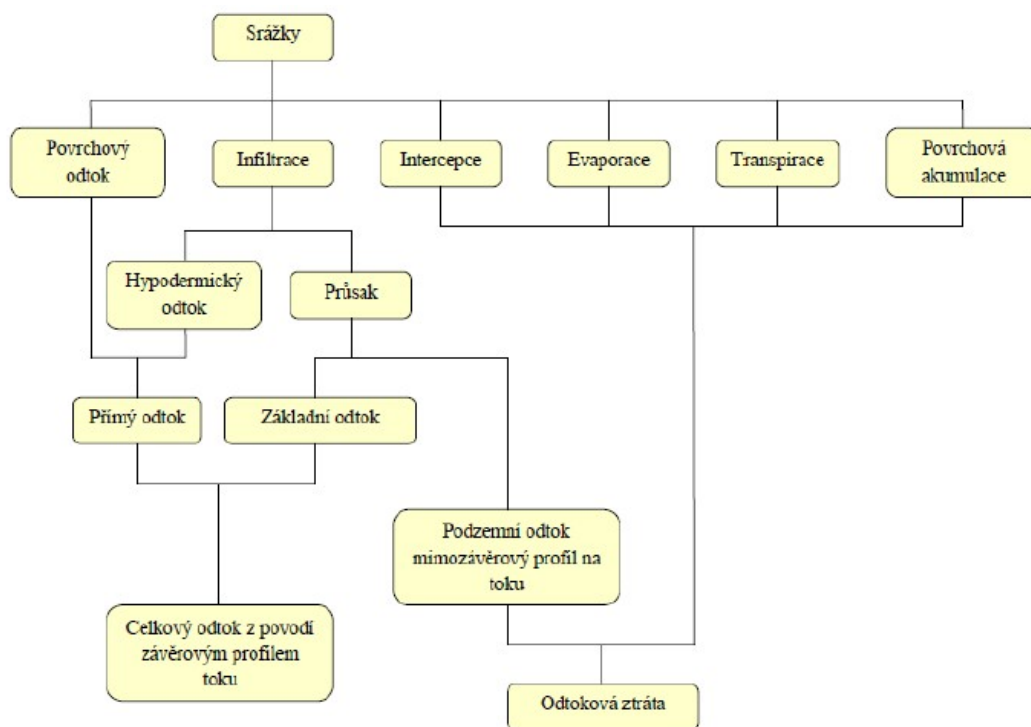
Výpar se v přírodě výrazně podílí na hydrologickém cyklu. Je definován jako objem vody nebo výška vrstvy vody vypařené za určitý časový interval z určité plochy. Při tomto pochodu získávají molekuly vody na povrchu vody nebo vlhké půdy slunečním zářením tolik energie, že přecházejí z kapalného skupenství do plynného skupenství. [16] Pro podmínky střední Evropy se předpokládá, že se výparem vrátí zpět do atmosféry průměrně kolem 60 %. [21] Je zřejmé, že pro každou lokalitu se procentuelní podíl výparu liší a je třeba ho zjistit na základě konkrétních parametrů pro danou lokalitu. I v naší republice se najdou místa jako např. Lužické hory, kde je výpar značně odlišný od průměrné hodnoty – asi jen 25 %. Velikost výparu ovlivňuje celá řada činitelů, zejména teplota, relativní vlhkost atmosféry, rychlost větru, teplota odpařujícího povrchu, méně pak atmosférický tlak a chemické složení vody [16, 22].

Sublimace se od výparu liší pouze tím, že molekuly přecházejí přímo z pevného skupenství (led a sníh) do skupenství plynného, aniž by procházely skupenstvím kapalným [16].

Transpirace neboli fyziologický výpar je pochod, při němž rostliny uvolňují vodu do atmosféry. Rozlišujeme tři druhy transpirace – stomatární, kutikulární a rhizodermální. Při stomatární transpiraci vydává rostlina vodu štěrbinou průduchů, kutikulární transpirace probíhá celým povrchem listů a rhizodermální transpirace je výpar vody z kořenů. [23]

3.5.2. Rozdělení srážek

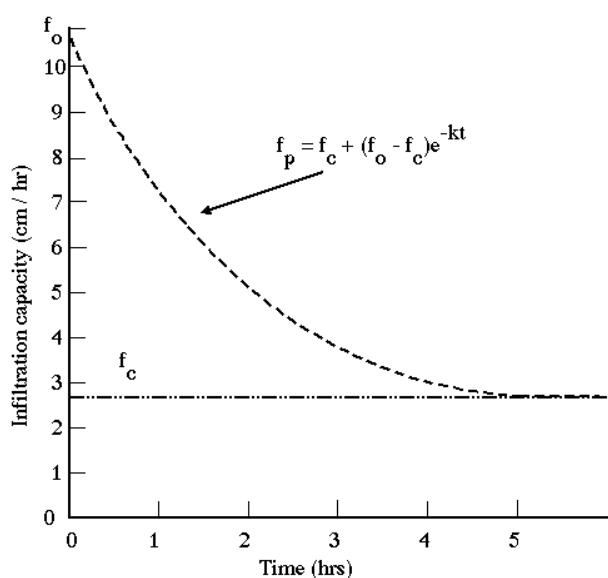
Srážky, které se neodpaří zpět do atmosféry, se na povrchu země rozdělí na ty, které se infiltrují do země, ty které odtečou povrchovým odtokem a ztrátové (transpirace, evaporace a intercepce) viz obr. 6. [24]



Obr. 6: Schéma srážkové bilance [24]

Intercepce jsou srážky vázané povrchovým napětím na povrchu rostlin, případně i předmětů. Jedná se tedy o srážky, které dopadly na vegetaci či předměty, kde se zachytily a částečně vypařily, ale nedopadly na povrch půdy. V závislosti na druhu a hustotě vegetace se může vegetační pokrývkou zachytit 10 – 25 % ročních srážek. Velikost intercepce závisí též na druhu, intenzitě a délce trvání srážek [25]. Možné metody stanovení intercepce: regresní model, Rutterův model, Calderův model [26]. Regresní model počítá se srážkami, které propadly vegetací, celkovým úhrnem srážek a minimální kapacitou nádrže propadu. Rutterův model je asi nejpoužívanější. Využívá dvou nádrží – intercepce a retence kmenového odtoku. Rutterův model též zohledňuje evapotranspiraci z obou nádrží. Calderův pravděpodobnostní model zohledňuje také velikost kapek. Výsledná intercepce tedy závisí jak na úhrnu srážek, tak na velikosti kapky. Všechny uvedené modely jsou podrobněji popsány v [27].

Povrchový odtok tvoří srážky, které stékají po zemském povrchu a akumulují se do potoků, řek a následně až do moří. Vzniká za určitých podmínek - pokud dojde k překročení infiltrační kapacity (tzv. hortonovský odtok), pokud dojde k překročení retenční kapacity (tzv. Dunneho odtok) nebo pokud dojde k opětovné exfiltraci vody v nižších částech svahu [26]. Infiltrační kapacita určuje maximální množství vody, které je půda schopna pojmout/infiltrovat viz obr. 7 [28]. Půdy se dělí do 4 tříd od vysoké infiltrační kapacity u štěrkopísků až po jílovité půdy s velmi nízkou infiltrační kapacitou [29]. Retenční kapacita je množství vody, které se dočasně zdrží na povrchu terénu, v půdě, korytě toku a nebo jiným přirozeným způsobem. Jedná se o proměnlivou veličinu, která je ovlivněna fyzikálními vlastnostmi povodí. Mezi tyto vlastnosti patří např.: množství srážek, geomorfologické poměry (sklonitost), hydrologické poměry půdy (infiltrace), hydrogeologické poměry podloží, tvar povodí, předchozí vlhkost půdy a meliorační opatření. [30]



Obr. 7: Křivka infiltrační kapacity [28], popsána příslušnou rovnicí, kde f_p je infiltrační kapacita, f_c rovnovážná infiltrační kapacita, f_0 počáteční infiltrační kapacita a t čas.

Poslední část vody ze srážek se infiltrací dostává pod zemský povrch. Zde rozlišujeme, zda se srážky infiltrují horninami do větších hloubek, čímž se o nich pak hovoří jako o vodě podzemní a proudí v nasycené i nenasycené zóně horninového profilu a nebo tečou těsně pod povrchem. Pak hovoříme o podpovrchovém neboli hypodermickém odtoku – viz obr. 6. [24]

Někdy se také vyděluje umělý odtok, což je odběr vody člověkem a její odvedení mimo zájmovou oblast nebo hodnocený časový úsek.

4. Stanovení odtoku, metody a výpočty

Část vody ze srážek, které dopadnou za zemský povrch, se infiltrují a odtékají půdou a mělkými povrchovými útvary těsně pod povrchem jako tzv. hypodermický odtok. Druhá část infiltrovaných srážek prosakuje horninami a po dosažení hladiny podzemní vody dále pokračuje ve svém proudění horninovým prostředím k místu odvodnění. Tuto část nazýváme odtok podzemní vody neboli podzemní odtok. Celkový odtok v povrchových tocích se skládá ze dvou hlavních složek a to z povrchového odtoku a podzemního (též označován jako základní odtok), jak je patrné ze skutečnosti, že řeky nevysychají ani za delších suchých období bez srážek. Hypodermický odtok, který se vyskytuje v půdě mělce pod povrchem a obvykle je kratšího trvání se obvykle zahrnuje do odtoku povrchového. [16]

4.1. Ovlivnění odtoku

Celkový odtok může být ovlivněn přírodními faktory nebo antropogenními faktory. Mezi přírodní faktory se řadí geologická stavba, morfologie povodí (velikost, sklon, tvar a výšková poloha) a koryt toků, složení a stav půdy, druh a složení porostů. Antropogenními faktory, které ovlivňují odtok, jsou např.: úprava povrchu, struktura půdy, pěstování kulturních rostlin, zalesňování, odlesňování, stavba sídlišť a dopravních sítí a těžba nerostných surovin. [25]

4.2. Podzemní odtok

Protože podzemní odtok je skryt před přímým pozorováním, provádí se jeho měření obvykle až poté co se podzemní voda dostane na povrch a stane se tak povrchovou vodou. Na povrch vyvěrá podzemní voda v místech, kde se nasycená vrstva protíná se zemským povrchem. Podzemní odtok vyjadřujeme v $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ nebo v $\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$ a můžeme jej stanovit několika způsoby [31]. Lze měřit vydatnost pramenů některou z hydrologických metod (Thomsonův trojúhelníkový přeliv, Ponceletův obdélníkový přeliv), další možností je postupné měření průtoků ve vodním toku nebo můžeme stanovit podzemní odtok jako součást celkového odtoku viz 4.2.3. [20]

4.2.1. Měření vydatnosti pramenů

Měření vydatnosti pramenů se nejčastěji provádí nádobou nebo trojúhelníkovým či obdélníkovým přepadem. Nicméně vydatnost pramenů je jen část podzemního odtoku, čili jej nemůže nahradit, pokud sestavujeme hydrologickou bilanci. Vydatnost významných

pramenů se většinou měří v pravidelných intervalech nebo nepřetržitě pomocí samočinného registračního zařízení (např. přepadem s limnigrafem). [16] Nejčastěji používané měření pomocí Thomsonova trojúhelníkového přelivu a Ponceletova obdélníkového přelivu je znázorněno na obr. 8 a 9 [32].

Výpočet Thomsonova trojúhelníkového přelivu: [32]

$$Q = 1,4 \cdot h^{2,5} \quad (4)$$

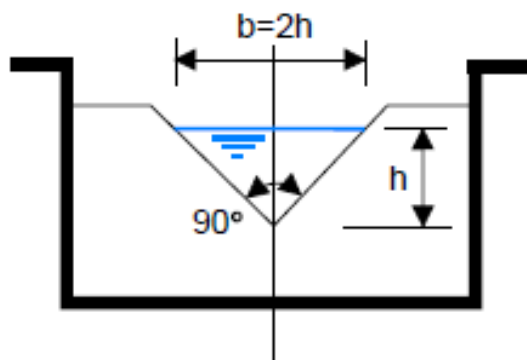
kde h je výška vodního sloupce.

Výpočet Ponceletova obdélníkového přelivu: [32]

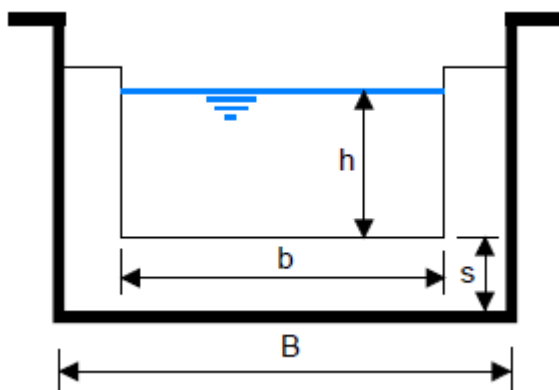
$$Q = m \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot h^{\frac{3}{2}} \quad (5)$$

$$m = \left[0,405 + \frac{0,027}{h} - 0,030 \cdot \left(1 - \frac{b}{B} \right) \right] \cdot \left[1 + 0,55 \cdot \left(\frac{b}{B} \right)^2 \cdot \left(\frac{h}{h+s} \right)^2 \right] \quad (6)$$

Použité symboly viz obr. 9.



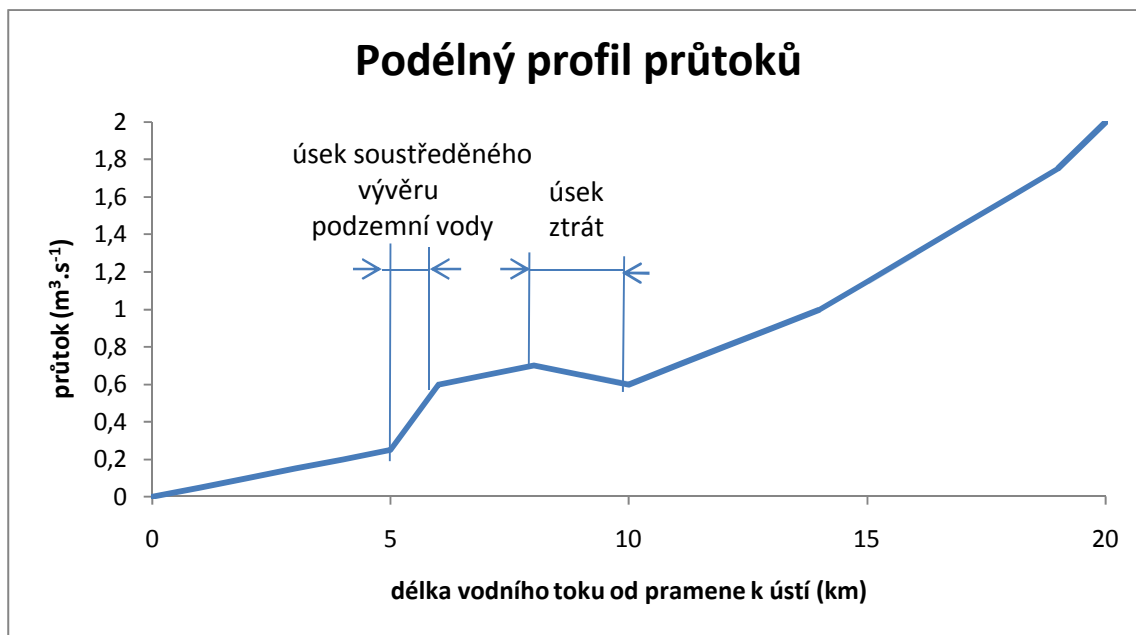
Obr. 8: Thomsonův trojúhelníkový přeliv [32]



Obr. 9: Ponceletův obdélníkový přeliv [32]

4.2.2. Postupné měření průtoků ve vodním toku

Po proudu vodního toku obvykle plynule přibývá průtok. Pokud se změří průtok postupně v několika průtočných profilech, lze je vynést do grafu v závislosti na délce vodního toku. Soustředěnější vývěry podzemní vody se projevují náhlým přírůstkem průtoku a naopak místa, kde dochází ke ztrátám vody z koryta do podloží, se projeví úbytkem průtoku, viz obr. 10. Vydatnost vývěrů se stanoví z rozdílu průtoků nad a pod místem vývěru. [16]

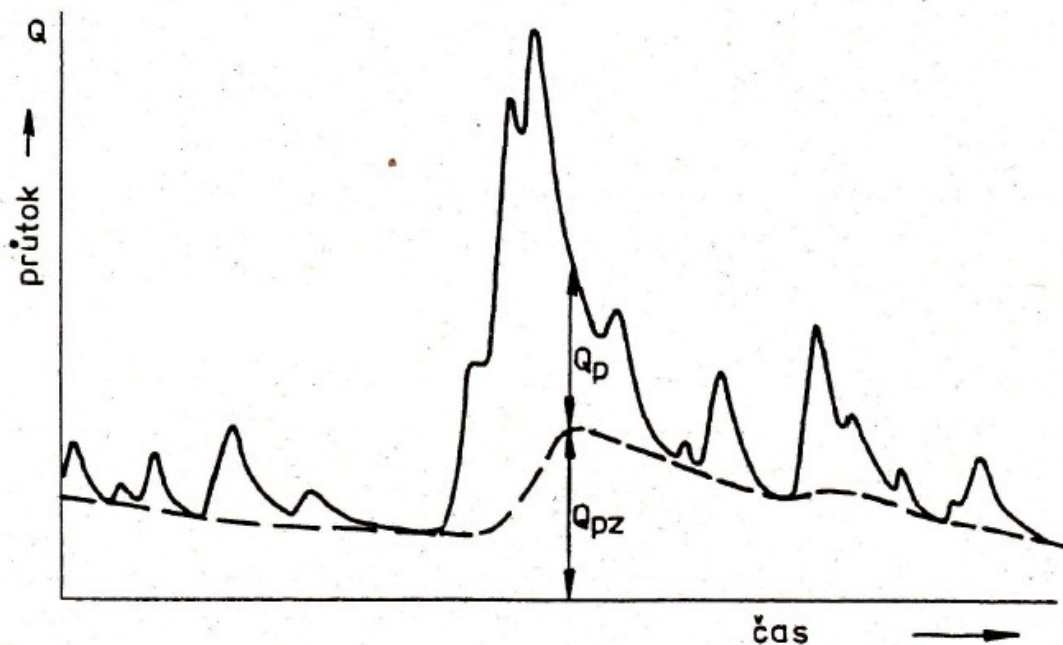


Obr. 10: Podélný profil průtoků

4.2.3. Stanovení podzemního odtoku jako součásti celkového odtoku

Při delším období bez srážek můžeme předpokládat, že veškerá voda ve vodním toku pochází z podzemního odtoku. Těto metody lze ale použít jen pro menší povodí a musí se vyloučit všechny zkreslující vlivy (např. vypouštění povrchových nádrží apod.). Druhou možností je stanovit podzemní odtok rozčleněním celkového odtoku v hydrogramu. Hydrogram je chronologický graf odtoku v průtočném profilu toku. Jeho analýzou můžeme stanovit přibližně jednotlivé složky celkového odtoku z daného povodí. V hydrogramu je patrný rychlý vzestup průtoku po srážce, který je důsledkem vlivu povrchového odtoku a následně pozvolné klesání, což je dáno pomalým vyprazdňováním nádrží podzemní vody. Maximum podzemního odtoku je zpožděno za maximem celkového odtoku. Pokud se vynese hydrogram celkového odtoku společně s grafem srážek, lze vynést čáru, která přibližně vystihuje podzemní odtok. Větší přesnost je v sestupných částech hydrogramu než v obdobích se zvýšeným podílem povrchového odtoku viz obr. 11. Stanovení

podzemního odtoku přibližným rozčleněním celkového odtoku v hydrogramu je jednou z možností. Další možností je vyčlenit složky odtoku v semilogaritmicky vynesném hydrogramu nebo stanovit podzemní odtok z hydrogramu korelací se stavem hladiny podzemní vody. [16]



Obr. 11: Hydrogram celkového odtoku z povodí a jeho přibližná separace na odtok povrchový (Q_p) a podzemní (Q_{pz}) [16]

4.3. Povrchový odtok

Jedná se o vodu ze srážek, která se nezachytila intercepční a nevsákla se do země. Tvoří souvislou vrstvičku a soustřeďuje se do stružek, ronů, erozních rýh až do stálých koryt. Měření průtoku se může provádět přímo a nepřímě. [20] Přímé měření se provádí na malých vodních tocích zjišťováním množství vody vtékající za časovou jednotku do nádoby či nádrže známého objemu viz 4.2.1. K nepřímým měřením průtoku patří: zjišťování rychlosti proudění plovákem či hydrometrickou vrtulí, velikosti zředění koncentrovaného roztoku snadno zjistitelné látky (kterou přidáváme do vodního toku) a dalšími metodami jako např.: rozměry vodního paprsku na přepadu o známém tvaru nebo odvozením z vodního stavu v průtočném profilu, pokud je v něm však znám vztah mezi vodním stavem a velikostí průtoku. [16]

4.3.1. Měření plovákem

Jako plováku se používá různých plovoucích předmětů (dřevěných kotoučů, lahví, ovoce), které se vhodí do vody. Mezi dvěma zvolenými průtočnými profily (o vzdálenosti l) v úseku koryta se stálou velikostí průtočného průřezu se měří doba t , za kterou plovák projde mezi stanovenými profily. Rychlost proudu v pak vypočítáme ze vztahu

$$v = \frac{l}{t} \quad (7)$$

Zjištěná povrchová rychlost je ale odlišná od střední rychlosti. Proto se vypočtená rychlost redukuje součinitelem m , který je různý pro jednotlivé typy říčních koryt viz tab. 2 [14]. Plochu průtočného průřezu F změříme sondováním od vodní hladiny v profilu zhruba uprostřed úseku, ve kterém jsme měřili rychlost v . Pak již můžeme vypočítat průtok Q ze vzorce [16]

$$Q = v \cdot F \quad (8)$$

Tab. 2: Součinitel m pro různé typy říčních koryt [16]

Dno koryta	součinitel m
skalnaté dno	0,40 – 0,52
štěrk a tráva	0,46 – 0,75
hrubý štěrk a kameny	0,58 – 0,70
štěrk	0,62 – 0,75
hlína a písek	0,65 – 0,83
dřevo a betonová dlažba	0,70 – 0,92

4.3.2. Měření hydrometrickou (vodoměrnou) vrtulí

Používá se pro přesnější měření většího průtočného množství v korytech s větším průtočným průřezem. Hydrometrická vrtule bývá upevněna buď posuvně na svislé tyči (obr. 12 [33]) nebo při větších hloubkách na laně. Jedná se o malou vrtuli, která se otáčí působením vodního proudu kolem své osy. Rychlost vrtule stoupá se stoupající rychlostí proudu. Měříme počet otáček N v určitém časovém úseku t . Počet otáček za sekundu n stanovíme jako podíl

$$n = \frac{N}{t} \quad (9)$$

a z něj následně vypočteme rychlost vody v ze vztahu

$$v = a + b \cdot n \quad (10)$$

kde konstanty a, b se stanovují laboratorním cejchováním pro každou hydrometrickou vrtuli.

Rychlost proudění vody v korytě změříme pomocí vrtule v několika různých vzdálenostech od břehu a v různých hloubkách. Celý průtočný průřez rozdělíme na svislé pruhy. Vypočítáme dílčí průtoky Q_i jako součin rychlosti v daném bodě s plochou v uvažovaném pruhu průtočného průřezu F_i . Celkový průtok Q se rovná součtu dílčích průtoků podle vzorce [16]

$$Q = \sum Q_i = \sum_{i=1}^{i=n} F_i \cdot v \quad (11)$$



Obr. 12: Hydrometrická vrtule [33]

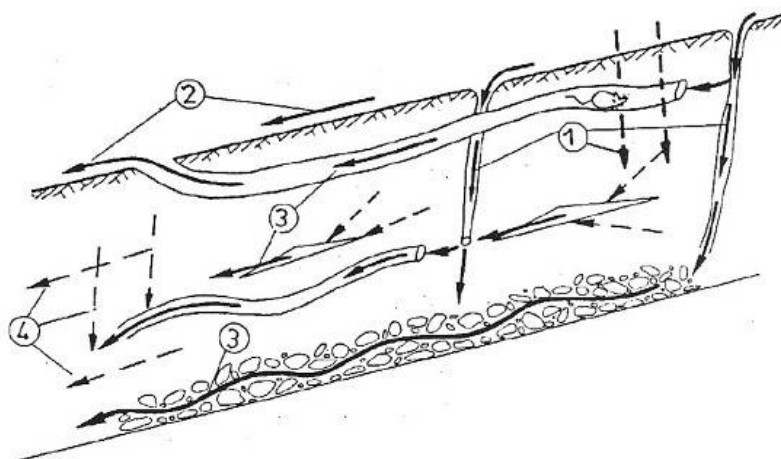
4.3.3. Měření průtoku ředěním roztoku soli

Tímto způsobem můžeme vypočítat průtok ze zředění látky, kterou přidáme ve formě roztoku o známé koncentraci do vodního toku ve známé vydatnosti. Nejčastěji používanou látkou je kuchyňská sůl. Po určitém čase a délce transportu se roztok promísí s vodou a odebírají se vzorky a stanoví se zředění. Stanovit koncentraci můžeme i měřením elektrické vodivosti vody. Tato metoda je nepřesná, má své určité limity a pro měření průtoků se moc nepoužívá. Větší uplatnění má při stopovacích zkouškách.

4.4. Hypodermický neboli podpovrchový odtok

Hypodermický odtok se nachází v malé hloubce těsně pod povrchem a vzniká prouděním v mikro a makro pórech, viz obr. 13 [26]. Jedná se o odtok ze svrchní přípovrchové části nenasycené zóny půdního profilu. Často se hypodermický odtok vyskytuje jen na kratší dobu po srážkové činnosti. Po spadnutí srážek se část vsákne do půdy, část pokračuje vertikálně k podzemní vodě a část směřuje ve směru sklonu terénu v souladu s povrchovým odtokem a nastává podpovrchový odtok. Kolem toku je na úpatí

svahu malá zóna nasycené půdy, která se rozšiřuje během srážek do svahu a na místě, kde protne podpovrchový odtok, dojde k jeho návratu na povrch tzv. zpětný tok, viz obr. 13 [26]. [25] Možné metody stanovení hypodermického odtoku vychází z aplikace Richardsovy a Darcyho rovnic proudění vody v porézním prostředí [26]. Nicméně pro obtížnost (vizuální nepřístupnost) jeho stanovení v běžném terénním měření se hypodermický odtok řadí k povrchovému odtoku mj. i proto, že se na úpatí svahu nebo při zmenšení jeho strmosti dostává na povrch a stává se tak regulérní součástí povrchového odtoku.



Obr. 13: Schéma těsně podpovrchového proudění vody ve svahových zeminách (1 – infiltrace v mikro a makropórech, 2 – povrchový odtok včetně zpětného toku, 3 – rychlý podpovrchový odtok v preferenčních cestách, 4 – odtok v mikropórech) [26]

Šanda se v práci [34] zabýval tvorbou podpovrchového odtoku na svahu. Výzkumná plocha se nacházela na svažitém odlesněném prostředí na experimentálním povodí Uhlířská v západní oblasti Jizerských hor. Z dřívějších pozorování na tomto povodí bylo zjištěno, že podzemní a podpovrchový odtok jsou dominantní složkou plošného odtoku a mají zcela zásadní vliv na jeho hydrologickou bilanci. Z výsledků měření také vyplývá, že podpovrchový odtok má epizodní charakter a je v přímé závislosti na průběhu srážkové činnosti.

V jiné práci [35] byl z hydrogramů závěrových profilů hlavních pokusných povodí VÚMOP (Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy) separován přímý, hypodermický a základní odtok kombinací dvou separačních technik (digitálního filtru a modelu GROUND). Přímý odtok (velmi rychlá složka odtoku povrchového i podpovrchového) v průměru představuje cca 30%, odtok hypodermický (středně rychlá složka, tvořená déletrvajícím odtokovými vlnami) cca 40% a odtok základní (pomalu proměnlivý odtok) cca 30% celkového odtoku.

5. Antropogenní ovlivnění hypodermického odtoku – odvodnění a závlahy

Celkový odtok, jehož součástí je i mělký podpovrchový odtok, je ovlivňován různými antropogenními zásahy, které se stále zvětšují. Nejde jen o odvodňovací stavby, ale i o zavlažování, erozi půdy vyvolanou člověkem, zhutnění zemědělské půdy těžkými stroji, odlesňování, stavbu sídlišť, dopravních sítí a jiné nepropustné zakrývání povrchu terénu a těžbu nerostných surovin. Především v naší minulosti docházelo k velkému rozšiřování odvodňovacích ploch zemědělské krajiny i lesů. Účinky těchto rozsáhlých odvodnění však trvají dodnes. Především byl ovlivněn hypodermický odtok a tím i celkový odtokový proces a jednotlivé bilanční poměry velké části našeho území.

5.1. Historie odvodňování

Česká republika patří historicky k oblastem, ve kterých plnily a zatím pořád ještě plní velice významnou roli odvodňovací stavby. Daleká historie odvodňování sahá až do 19. století, nicméně většího a zásadního významu nabývá až v druhé polovině 20. století. Budování staveb zemědělského odvodnění proběhlo v několika etapách, avšak jasně největšího významu nabylo jejich budování v letech 1960 – 1990. Jako příklad v jednotlivých časových rozmezích jsou uvedeny v tab. 3 [36] plochy odvodňovacích ha pro oblast jižní Moravy. Během tohoto poměrně krátkého období 30-ti let se odvodnilo více než 75% z celkově odvodněného území. [36]

Tab. 3: Plocha odvodněné půdy v ha pro oblast jižní Moravy [36]

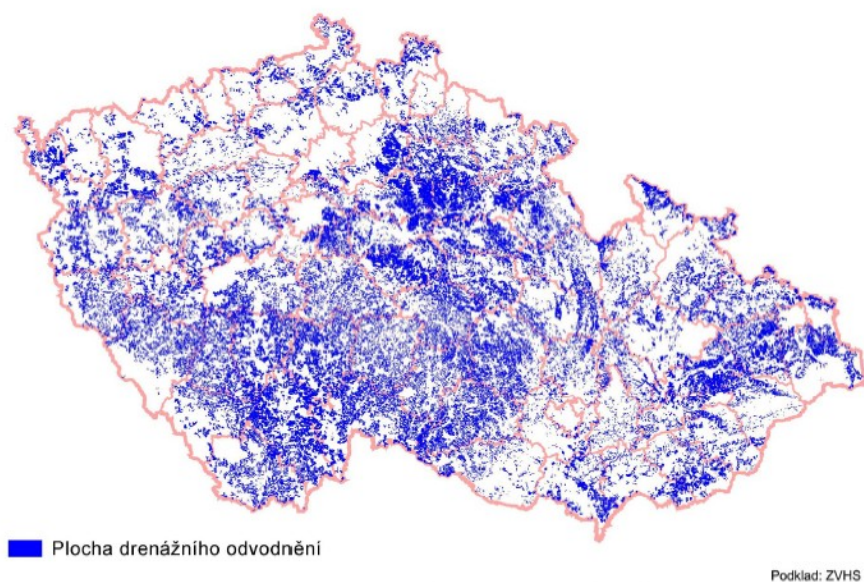
rok	do 1918	1919 - 1938	1939 - 1945	1946 - 1950	1951 - 1960	1961 - 1970	1971 - 1980	1981 - 1990	1991 - 1996
ha odv. půdy	2770	32567	3102	928	4311	46879	59310	22293	643
%	1,6	18,85	1,8	0,54	2,49	27,14	34,32	12,9	0,37

5.2. Rozsah odvodnění zemědělských pozemků

Odvodnění se netýká jen zemědělských pozemků, ale ve značné míře i lesních pozemků a lokálně se může negativně projevit i odvodnění v souvislosti se stavbami

(drenážní účinky základů, podzemních staveb, inženýrských sítí). Nicméně zemědělské odvodnění je největšího rozsahu.

K 1. lednu 1995 bylo v ČR celkem odvodněno 1 065 mil ha [37] a podle evidence k 1. lednu 2002 bylo odvodněno 1 084 400 ha zemědělské půdy. Tyto údaje v podstatě potvrzují známý fakt, že všechny plošně rozsáhlejší stavby byly budovány před rokem 1990. Po tomto roce byly všechny projekty zastaveny a nová výstavba se až na výjimky téměř neprováděla. Tento trend trvá až dodnes, čili je zřejmé, že nynější velikost odvodněné plochy se pohybuje kolem 1,1 mil ha. Z celkové zemědělské plochy 4 280 954 ha se jedná o celou čtvrtinu území, která je odvodněna drenáží, viz obr. 14. [38] Ovšem podle výsledků Komplexního průzkumu půd z let 1960 – 1972 bylo na území České republiky celkem zamokřeno pouze 19 % zemědělských půd a pouze u 5,3 % půd se jednalo o zamokření trvalé. Z těchto údajů je patrné, že došlo k odvodnění zbytečně velkého rozsahu. [39]



Obr. 14: Plošné zastoupení staveb zemědělského odvodnění dle evidence územní databáze ZVHS (zemědělská vodohospodářská správa) [38]

5.3. Účel odvodnění

Hlavním účelem klasického odvodnění, ať už plošného nebo sporadického, je zmenšení množství vody v daném území. Cílem budování odvodňovacích systémů je odvést přebytečnou vodu z půdního profilu, snížit hladinu podzemní vody na určitou úroveň podle konkrétních potřeb, upravit vodní a také vzdušný režim půdy. Pro každý pozemek je způsob využití odlišný podle hlediska potřeb rostlin, únosnosti půdy pro zemědělské mechanismy a zpracovatelnosti půdy. [37]

V době svého vzniku těchto systémů bylo jediným zájmem zvýšení zemědělské produkce na co možná největší úroveň, získání nových ploch pro zemědělskou činnost odvodněním mokřadů, pramenních oblastí a podobně nevyužívaných území, jejich slučování a zornování a to i v oblastech horských a podhorských. V těchto oblastech vznikalo odvodnění, které bylo technicky velice obtížné a nákladné. Složitější morfologické, klimatické, půdní i hydrogeologické podmínky společně s následnou intenzivní zemědělskou činností vedly k destabilizaci těchto oblastí. Tento fakt ve výsledku způsobil změny ve vodních režimech celých povodí. Již v 60. letech 20. století začaly vznikat argumenty, které byly proti odvodňování. Nicméně tlak politického režimu, úsilí o zvýšení výroby potravin a další aspekty vedly k pokračování budování a další výstavbě odvodňovacích systémů. [40]

5.4. Zadržování vody a její úloha v krajině

Z hlediska krajiny jako celku se považuje za ochranu vody její zadržování v krajině a ochrana před jejím kontaminováním. Zpomalení odtoku vody z území se provádí obnovou a výstavbou vodních nádrží, mokřadů, protierozních opatření a změnou kultur. Vhodným způsobem, jak zpomalit odtok vody z území, je převádět povrchový odtok na odtok podzemní.

Je vhodné podpořit stavebně technickými opatřeními převedení povrchového odtoku do podzemního. Za tímto účelem je třeba zpracovat informace o geologických, hydrogeologických a půdních poměrech. Geologické podklady musí být zpracované tak, aby umožnily kvalifikované rozhodování o směrech a způsobech hospodářského využívání území, při němž se neohrozí tvorba a kvalita podzemních a povrchových vod. [41]

Lidská činnost spojená se zemědělským a lesnickým hospodařením v krajině má negativní dopad zejména na tvorbu, kvalitu a zásoby podzemních vod. Tvorba zásob podzemní vody je ohrožována hlavně sníženou možností infiltrace srážek do hornin v důsledku zhutnění podorničí a rozpadem půdní struktury. Vliv zemědělských hydromelioračních staveb (odvodňovacích i závlahových) je třeba posuzovat individuálně a lze ho hodnotit pouze při podrobných znalostech přírodních, především pak hydrogeologických poměrů území, ve kterém probíhají.

Spolu s vegetačním krytem má půda neoddělitelnou funkci ochrany hydrosféry (zachování retence a jakosti vody povrchové a podzemní). Nevhodné využívání zemědělské půdy společně s atmosférickou depozicí představuje jednu z příčin degradace půdy, současně i narušení hydrologického cyklu vody v krajině. Nadměrným a špatným hnojením a chemickým ošetřováním zemědělských plodin je též ohrožena kvalita podzemní vody. [41]

Posuzováním kvalitativních rizik ekosystémů vázaných na mělkou podzemní vodu v prostředí Anglie a Walesu se zabývá [42], kde se zdůrazňuje zásadní význam dostupných podrobných dat o místních hydrologických a hydrochemických změnách lokality a jejich dopadu na vyskytující se ekosystémy. Bez těchto znalostí nelze přijmout optimální ochranná opatření – v podmínkách ČR je zásadním problémem neprovázanost různých oborů – na jedné straně se řeší hydrologické a hydrochemické studie, na straně druhé studie biologické a ekologické, často bez vzájemné provázanosti, nebo dokonce i bez vzájemné informovanosti.

5.5. Užitečnost a škodlivost drenážních systémů

Výstavba odvodňovacích systémů probíhala v naší minulosti pod silným politickým tlakem a byla nesporně produktem společensko – politických podmínek. V období největšího budování těchto systémů (v letech 1965 – 1990) převažoval přístup, že z hlediska produkční schopnosti půdy má odvodnění jednoznačně pozitivní vliv. Jednalo se ovšem o jednostrannou funkci odvodnění. Vedlejší negativní účinky byly většinou potlačovány a to i vědomě. Nicméně i z hlediska dnešních názorů jsou nesporné pozitivní účinky odvodnění [37, 39]:

a) zvýšení a zejména stabilizace výnosů zemědělských plodin; u většiny plodin došlo ke zvýšení výnosů o 10 – 30 %; k tomuto procesu došlo především dvěma způsoby a to snížením kyslíkového stresu rostlin a zpřístupněním zamokřených a obtížně obdělávatelných pozemků

b) došlo k úpravě vodního, vzdušného a tepelného režimu půdy; zintenzivnění výměny plynů vedlo k rychlejší záhřevnosti půdy a prodloužení vegetační doby

c) zpravidla zlepšení půdní struktury a v důsledku toho lepší zpracovatelnosti půdy při kultivaci

d) snížení hladiny podzemní vody, což vedlo k uvolnění retenčního prostoru pórů, které byly před odvodněním zaplněné vodou a tyto póry se následně mohly zaplnit při srážkách a zpomalit tak odtoková maxima

Všemi těmito vzájemně spjatými body docházelo k naplnění cíle budování odvodňovacích systémů a to ke zvýšení zemědělské produkce. V tomto směru se jednalo o vlivy pozitivní. Ovšem proti tomu je celá řada negativních účinků. Některé z nich byly známy již v minulosti při jejich budování, nicméně na ně nebyl brán většinou žádný zřetel. Nejvíce negativně ovlivněnou složkou přírodního prostředí je hydrosféra a krajina jako celek. Negativní účinky odvodnění [37, 39]:

a) je sice pravda, že do půdy, která je odvodněna se může infiltrovat větší objem srážkové vody, ale z trvalého hlediska se jí zadržuje méně, je snížena retenční funkce půdy, drenáží je odvedeno v průměru 25 – 30 % srážek

b) povrchový odtok je při vydatných srážkách drenáží jako takovou zpomalen díky volným pórům, ale podpovrchový odtok, který je nahrazen drenážními trubkami a otevřenými příkopy, se velice urychluje; urychlení odtoku je velice často spojeno s odtokem rozpuštěných i nerozpuštěných látek (např. hnojiv a pesticidů) do povrchových vod, čímž dochází ke znečištění hydrosféry

c) dochází ke zvýšení a zrychlení celkového odtoku; a to má společně se snižováním hladiny podzemní vody za následek snížení výparu a snížení zásob podzemní vody, z čehož plyne větší riziko sucha a následně větší náchylnost k vodní i větrné erozi

d) dochází k urychlení mineralizace půdní organické hmoty v důsledku okysličení půdy, což vede k vyplavování živin, především pak dusičnanů, do vodních toků; v tomto je třeba vidět hlavní příčinu dřívější kontaminace drenážních vod nitráty

e) rozsáhlá odvodnění měla za následek i méně známé dopady na vlastnosti a charakteristiku půd; vlastnosti půdy se mění až do ustanovení nové rovnováhy, např. roste pórovitost, mění se poměr redukované a oxidované formy železa, vzhledem k vápnění roste pH až o 1,6, v důsledku zvýšené mineralizace organické hmoty dochází k uvolňování dusíku v podobě -NO_3 do hydrosféry a uhlíku v podobě CO_2 do atmosféry

f) v neposlední řadě má vymizení mokřadů také neblahý vliv na biodiverzitu rostlinné i živočišné říše, pokud se jedná o druhy endemické, mohou z krajiny vyhynout úplně

g) k dalším chybám docházelo třeba i díky nedokonalému hydrogeologickému průzkumu, podcenění přírodních podmínek a všeobecně nízké úrovni stavebních prací, při kterých často docházelo i ke změnám v projektech přímo při stavbě bez následného zanesení těchto změn do projektové dokumentace

h) problémem je i v podstatě nulová údržba vybudovaných staveb

Pokud bychom se vrátili do historie, tak někdy kolem roku 1985 bylo provedeno rozsáhlé šetření o drenážních systémech a výsledkem bylo, že zhruba jen 40% odvodnění pozemků bylo opodstatněné a přínosné. Asi třetina drenážních systémů byla vybudována v místech, kde to nebylo zapotřebí a vůbec by tam být neměla. Zbytek odvodnění bylo sporné a týkalo se zejména pramenných oblastí, jejichž odvodnění z přírodovědeckého hlediska není příliš vhodné (zániky nebo ohrožení přírodních pramenů, mokřadů a na ně vázaných ekosystémů). [40]

Otázkami moderního managementu hydrologického režimu mokřadů v antropogenně ovlivňované krajině Velké Británie se zabývá např. [43]. Agentura pro životní prostředí Anglie a Walesu zpracovává pro každé chráněné mokřadní území speciální materiál zabývající se hydrologickými a hydrogeologickými poměry, jejich udržitelnosti a antropogenními riziky, které je ohrožují. Tyto zkušenosti by bylo vhodné aplikovat i na některá přírodovědně cenná mokřadní území u nás, z hlediska dopadu existujících odvodňovacích staveb, a optimálního vyřešení jejich vodního režimu, který by umožňoval koexistenci různých zájmů v jednom území.

5.6. Diskuse ohledně urychlení odtoku

Dne 3. listopadu 2005 se v Praze konalo setkání odborníků zabývajících se problematikou zemědělského odvodnění a na téma „Funkce drenážních systémů, jejich užitečnost či škodlivost“ zazněly dva rozdílné názory ohledně skutečnosti, zda dochází k urychlení odtoku nebo tomu tak není. V úvodním slovu bylo řečeno p. Doležalem z VÚMOP Praha, že dochází k urychlení odtoku v důsledku nahrazení podpovrchového odtoku odtokem drenážními trubkami a tím dochází také k mírnému zvýšení kulminačních průtoků u menších povodní. Opačný názor měl p. Klokočník z Ministerstva zemědělství ČR, který údajně vycházel z výsledků výzkumného ústavu a nabádal vrátit se k některým starším pracím výzkumného ústavu. Nicméně p. Doležal poukázal na studii p. Robinsona z Anglie o vlivu odvodnění zemědělských půd na odtok, z které vyplývá, že u jednotlivých drenážních systémů lze diskutovat o urychlení či zpomalení odtoku, ale v měřítku krajiny a povodí je vliv odvodnění jednoznačně takový, že odtok se zrychluje. [40]

Je možné, že došlo k nedorozumění a každý myslel malinko něco jiného. Dle mého názoru dochází obecně v přítomnosti drenážní stavby ke zrychlení odtoku v důsledku snadnější a přímější cesty. Názor p. Klokočníka o zpomalení odtoku je dán tím, že území, které je odvodněno, má nižší hladinu podzemní vody a tak v případě srážek trvá delší časový úsek zasakování vody do půdy oproti neodvodněnému území, kde je hladina vody nížko pod povrchem a tudíž se voda téměř nezasakuje. Toto tvrzení je logické, nicméně si myslím, že nemá zásadní význam a z dlouhodobého hlediska je zanedbatelné, protože jeho význam by mohl být pouze u málo vydatných srážek, než dojde k nasycení svrchní vrstvy půdy a navíc má pravdu jen z půlky. Povrchový odtok je sice při vydatných srážkách drenáží jako takovou zpomalen díky volným pórům, ale podpovrchový odtok, který je nahrazen drenážními trubkami a otevřenými příkopy, se velice urychluje.

6. Technická a stavební hlediska odvodňovacích staveb

Ještě před započítáním vlastních prací je potřeba vyhodnotit příčiny, které způsobují zamokření a podle nich zvolit vhodný způsob odvodnění a vybudovat příslušný druh drenážní stavby dle daných podmínek.

6.1. Nutnost průzkumných prací před návrhem odvodnění

Každému návrhu odvodnění musí předcházet důkladný rozbor příčin a stupně zamokření. Charakteristika zamokření se stanovuje pedologickým, případně hydropedologickým průzkumem a zahrnuje topografii, časový charakter, formu, příčinu, případně zdroj vody, způsobující zamokření a jeho stupeň. Způsob odvodnění se navrhne podle charakteru zamokření. [44] Při posuzování příčin lze vyjít z vodní bilance, viz rovnice (3) na str. 16.

Před vlastní stavbou zavlažovacích a odvodňovacích staveb vždy předchází pedologický průzkum. Při budování ve složitějších přírodních podmínkách je k dokonalému fungování nezbytné provádět též hydrogeologické a inženýrskogeologické průzkumy. Totéž platí pro budování složitějších způsobů odvodnění (regulační, retardační drenáž), pro která je znalost půdních poměrů, ale i geologické stavby území a hydrogeologických poměrů nezbytná. Pro zkoumanou lokalitu a její nejbližší okolí je vhodné konstruovat inženýrskogeologickou a hydrogeologickou mapu. V kombinaci s hydropedologickou mapou je pak možné určit přesné příčiny zamokření v jednotlivých částech lokality, sklon volné i napjaté hladiny podzemní vody a směr jejího proudění. Teprve na základě těchto podkladů je možné navrhnout potřebnou hloubku a správnou orientaci drenážních prvků. [41]

6.2. Příčiny zamokření

U zamokření se rozlišují dvě základní příčiny, a to zamokření povrchovou vodou a vodou podzemní. Příčiny zamokření mohou být oblastní (vyplývající hlavně z meteorologicko-klimatických poměrů vztahujících se na větší oblasti, což je dáno zejména úhrnem srážek, četností jejich výskytu a časovým rozdělením) nebo místní (dané obvykle místními přírodními poměry – geologickými, hydropedologickými, hydrologickými a technickými). [45]

6.2.1. Zamokření povrchovou vodou

U zamokření povrchovou vodou je potřeba rozlišovat, zda je způsobeno cizí povrchovou vodou (tj. vodou přitékající na danou lokalitu ze sousedního území), vlastní povrchovou vodou (čili srážkou spadlou na danou lokalitu a jeho těsné okolí) nebo vodou odtékající z pramenných vývěřů (zjevných či skrytých, soustředěných či rozptýlených). Cizí povrchové vody mohou na pozemek přitékat přirozeným způsobem z povodí nebo mohou být na pozemek převáděny umělým způsobem. Při zamokření srážkovou vodou se dále může zkoumat, zda je způsobeno tím, že se voda špatně vsakuje (málo propustné horninové prostředí, příliš zhutněná svrchní vrstva půdního prostředí) nebo i proto, že v důsledku plochého terénu ani nemá kam odtéct. [41]

6.2.2. Zamokření podzemní vodou

Při zamokření podzemní vodou se rozlišuje zamokření podzemní vodou s volnou a napjatou hladinou. Mokřady vzniklé na pozemcích zamokřených podzemní vodou s napjatou hladinou mohou být přírodní v okolí pramenných vývěřů nebo pocházet z technických zařízení (např. nezabezpečené vrty s volným přelivem, vývěry odkryté zemními pracemi). S vysokou volnou hladinou podzemní vody mohou být mokřady též přírodní (vzlínáním v propustných horninách) nebo umělé (snížením terénu k hladině nebo pod hladinu podzemní vody). [41]

U obou příčin zamokření lze rozlišovat zamokření trvalé a periodické. Příčiny zamokření a jejich periodicitu se v mokřadních lokalitách označuje jako vodní režim mokřadního stanoviště. Tento režim může být přírodní nebo umělý (ovlivněný lidskou činností), jak je popsáno výše. Pro všechna mokřadní stanoviště je třeba studovat, poznat a popsat poměry klimatické, morfologické, geologické, hydrogeologické a půdní.

6.3. Biologická diverzita mokřadů

Půdní pokryv a geologická stavba území mají krom vodního režimu základní vliv na rostlinná a také živočišná společenstva, která na mokřadním stanovišti vznikají a vyvíjejí se. Půda mokřadů má odlišné vlastnosti od okolních půd (např. obsahem živin nebo nízkou hladinou kyslíku). Na území mokřadů se nachází spousta jiných druhů rostlin i živočichů na rozdíl od okolí. Z přírodovědeckého hlediska se jedná o jedny z nejcennějších a nejproduktivnějších biotopů. Vegetace mokřadů je adaptována k zaplavení a výskyt většiny rostlin je podmíněn trvalou přítomností vody. V našich podmínkách řadíme k mokřadům nejčastěji prameniště, mokré louky, rašeliniště, části říčních niv a lužní lesy viz obr. 15 a 16 [46, 47]. [41]



Obr. 15: Mokřad (Žďárské vrchy) [46]



Obr. 16: Mokřad [47]

6.4. Způsoby odvodnění

Podle vyhodnocení druhu, stupně a příčiny zamokření, účelu odvodnění a ekonomického hlediska se zvolí způsob odvodnění. Způsoby odvodnění mohou být biologické, ale dnes převažují technické. Biologické způsoby odvodnění jsou většinou založeny na principu vysazení porostů s vyšší transpirací (olše, jasan, topol, vrba) a úpravě půdní struktury. Používají se v jednodušších případech zamokření. Technické způsoby odvodnění jsou hlavním odvodňovacím prostředkem na silně zamokřených půdách. Podle příčiny zamokření se volí odvodnění buď povrchové za použití otevřených kanálů a příkopů pro odvod vody, nebo podzemní (podpovrchové drenážní systémy, většinou trubkové), případně jejich kombinace. [48]

6.5. Odvodňovací stavba

Souhrnným úkolem odvodňovacích staveb je odvádět přebytečnou vodu z jejího povrchu i půdního profilu. Správné provedení může vytvořit příznivé podmínky pro zemědělskou i lesní výrobu.

Do prvků odvodňovací soustavy patří odvodňovací kanály, odvodňovací odpad, odvodňovací čerpací stanice, ochranné hráze, retenční ochranné nádrže, záchytné kanály a podrobná odvodňovací zařízení, která jsou buď povrchová (příkopové odvodnění) nebo podzemní (drenážní odvodnění). [48]

Osu sítě příkopového odvodnění tvoří hlavní odvodňovací kanál, který zaústíuje do odvodňovacího odpadu – vodní tok, rybník, nádrž. Voda se stahuje do sběrných příkopů, odkud teče do svodných příkopů, které pak ústí do hlavního kanálu. V případě, že je odvodňovací území příliš nízko a odpad nemůže být přirozený, zřizuje se odvodňovací čerpací stanice. Záchytná zařízení (obvodové záchytné kanály, ochranné retenční nádrže) slouží k ochraně území před vodami ze sousedního území.

Drenážní odvodnění je základním způsobem pro systematické odvodnění zemědělských půd. Drenáž je zařízení budované pod půdním povrchem sloužící k odvedení přebytečné vody z půdního profilu. Je tvořena soustavou drénů, které mohou být z různých materiálů, viz 6.5.2. Drenáž se používá nejen pro odvodnění zemědělských půd, ale i pro odvodnění různých staveb a objektů (budov, hřišť, letišť apod.). Systematická trubková drenáž se skládá ze sběrných a svodných drénů. Sběrné drény sbírají přebytečnou vodu ze zamokřeného území a přivádějí ji do svodného drénu, který vede do odvodňovacího kanálu nebo recipientu. Součástí drenážní soustavy jsou i záchytné drény, které mají obdobnou funkci jako záchytné kanály při povrchovém odvodnění. [48]

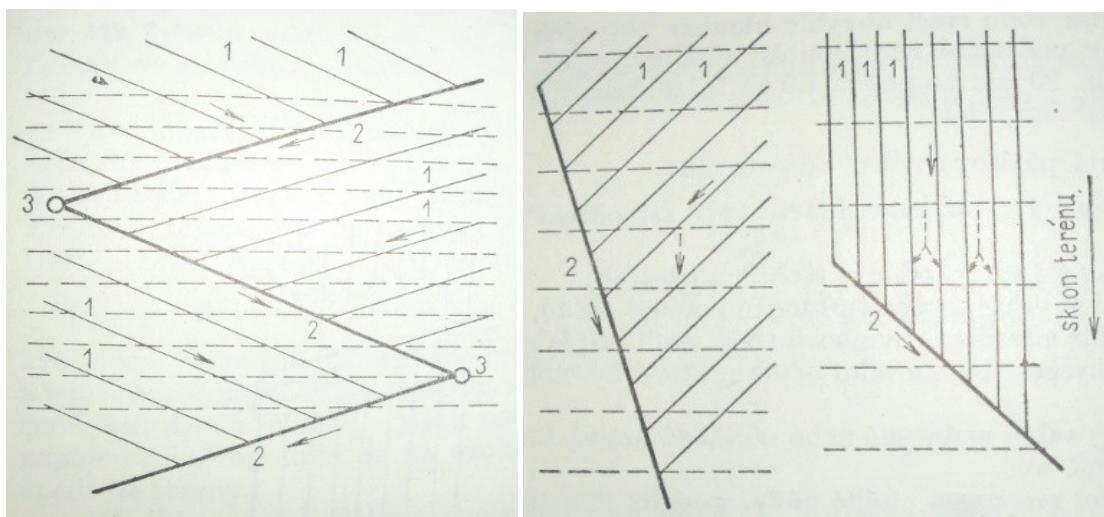
6.5.1. Druhy drenáže

Podstatou podzemního odvodnění je, že každý drén přijímá vodu spárami rozloženými po celé délce drénů a takto přijatou vodu gravitačně odvádí dál. Voda protéká potrubím o volné hladině. Drénů se rozlišují v zásadě dva druhy – sběrné a svodné. [49]

Drenážní stavby jsou několika typů. Nejvíce zastoupeným typem je systematická drenáž, méně pak sporadická a otevřená. Existují i další typy drenáží, ale ty nejsou až tolik významné. Pokud se podíváme na konkrétní údaje z jižní Moravy [36], zjistíme, že systematickou drenáží bylo odvodněno 97,4 %, sporadickou 0,7 % a otevřenou 0,3 %. V těchto údajích nejsou zahrnuty všechny typy drenáží.

Nejvíce využívaná plošná drenáž trubková je tvořena sběrnými a svodnými drény s drenážními objekty, které většinou tvoří pravidelné, ale i nepravidelné drenážní souřady a skupiny. Plošná trubková drenáž se může kombinovat se záchytnými drény, záchytnými příkopy či s pramennými jímkami. Sporadická drenáž se většinou navrhuje k odvedení přebytečné vody z místních zamokření v dané oblasti. Použije se zejména k odvodnění místních depresí, odvedení vody z lokálních mokřin a pramenišť. Záchytné příkopy a drény slouží především k zachycení a odvedení vnějších vod. Obvykle se umísťují na hranicích daného území, na hranicích zemědělských a lesních pozemků, podél vodních toků a nádrží a podobně, napříč směru přitékající vody. [38]

Při plošném odvodnění (odvodnění velkých pozemků) se používá soustava liniových drénů. Aby bylo dosaženo co nejlepšího odvodňovacího účinku je nutno drény uspořádat pravidelně. Existuje několik možností vedení drénů. Základem jednotlivých způsobů návrhu jsou drény sběrné. Podle nich rozeznáváme drenáž příčnou, podélnou a protisměrnou (tzv. bleskovou) viz obr. 17 [49].



Obr. 17: Protisměrná, příčná a podélná drenáž (1 – sběrný drén, 2 – svodný drén, 3 – drenážní šachtice [44]

Protisměrná (blesková) drenáž je vhodná v terénu s velkým sklonem (nad 10%). Sběrné drény se zaústí do svodných drénů tzv. „proti vodě“ (odtud název protisměrná). Lomy svodných drénů se osazují drenážní šachticemi.

Příčná drenáž se používá nejčastěji. Sklony terénu mohou být od 0,1 – 10%. Sběrné i svodné drény se vedou přibližně pod úhlem 45° vzhledem k vrstevnicím.

Podélná drenáž je vhodná v území o malém sklonu (0,5 – 1%). Je situována ve směru největšího sklonu. Sběrné drény jsou vedeny kolmo na vrstevnice. [48, 49]

6.5.2. Materiál

Počátky trubkové drenáže jsou z Anglie již z počátku 19. století. Trubková drenáž byla vyráběna z pálené hlíny o různých průměrech. Z minulosti též známe použití kamenné, dřevěné a betonové drenáže. Ovšem zhruba od poloviny 20. století bylo používáno především perforovaných plastových trubek z polyvinylchloridu (PVC) a polyetylenu (PE) viz obr. 18 [50]. Trubky z těchto materiálů měly jednu obrovskou výhodu v mnohonásobně menší hmotnosti. Zvolené materiály musí vyhovovat půdním podmínkám a hygienickým požadavkům technického řešení. [45]



Obr. 18: Drenážní trubka z PVC [50]

6.5.3. Možnosti regulovatelnosti a retardace odtoku

Jednostranná funkce odvodnění by se z hlediska potenciálu modernizace stávajících staveb mohla rozšířit na nový systém, který by byl dvoustranný tak, že by se do něj vnesly prvky regulovatelnosti. Protože v delších obdobích sucha a v suchých letech má drenážní systém velice omezenou funkci (kromě situace, kdy je drenáž položena pod mělkou hladinou podzemní vody a tím je její účinek prakticky trvalý a po většinu roku je v ní určitý průtok) je vhodné pro lepší hospodaření s vodou vnést do něj kombinaci systému odvodnění a závlahy, tzn. regulační, retardační a dvoufunkční drenážně – závlahové systémy. Existuje celá řada těchto systémů. Mezi základní typy patří [38, 45]:

Hrazení vody v příkopech – Je možné využít povrchových příkopů k akumulaci a retardaci vody hrazením vody stavítky. Hrazení vody v příkopech má význam především u pozemků s vyšší propustností.

Podzemní protiprůsakové bariéry – Jejich smysl spočívá v uložení žlabů z PE fólií do hloubky kolem 0,8m, čímž se zamezuje průsaku a umožňuje závlaha. Nad fólií se vytváří sekundární hladina podzemní vody po srážkách či závlaze. Použití podzemní protiprůsakové bariéry je vhodné především v režimu propustných písčitých půd.

Regulační drenáž – Spočívá v zabezpečení přívodu závlahové vody do podzemního systému k drenážnímu podmoku; spojuje závlahu a odvodnění do jediného celku. Oproti retardačním systémům zvyšuje regulační drenáž zabezpečení závlahy, ale má vyšší provozní i investiční náklady. V porovnání s tradičním systémem odvodnění je tento systém náročnější na projektovou přípravu i na vlastní realizaci. Pro optimální vodohospodářské i technické řešení systému je zapotřebí kvalitního zhodnocení přírodních, zemědělsko-hospodářských a ekonomických podmínek. Tato zásada platí jak při zakládání nového

systemu, tak i při rekonstrukci stávajícího systému odvodnění. Rozlišují se tři základní fáze regulační drenáže: odvodňovací, závlahová a udržovací. Z důvodu špatných ekonomických podmínek v zemědělství se tyto systémy přestaly používat v jejich plném rozsahu a slouží pouze k odvodnění.

Drenáž s regulovaným odtokem – Na svodných drénech jsou umístěny šachtice, kde dochází k regulaci drenážního odtoku. Důležitým parametrem pro regulaci objektu je výška zahrazení, při dosažení této výšky přebytečná voda dále protéká. Zdroje vody se mohou nacházet přímo na odvodněné ploše, mohou přitékat z okolních pozemků nebo se může využít i vody z vodních toků a nádrží, které jsou dál za hranicemi odvodňovaného pozemku. Sbíranou vodu lze regulovat až v nižších částech drenážního systému. Účinky regulace se projevují trvalým nebo občasným zvýšením hladiny podzemní vody, časovým posunem kulminace drenážního odtoku, zkrácením doby kriticky nízkých hodnot vlhkostí, vyšší evapotranspirací a zvýšením dotace podzemních zásob vody.

Závlaha drenážním podmokem – Na svodné drény se umístí regulační prvky, jimiž se zvedá hladina podzemní vody v půdním profilu cca 0,7 – 0,4 m pod povrch půdy. Další šíření půdní vláhy se uskutečňuje pomocí kapilárního efektu.

7. Údržba drenážních systémů a jejich současný stav

Na našem území bylo odvodněno kolem 1,1 mil ha zemědělské půdy a prakticky se dotýká celého území republiky. Bohužel v dnešní době neexistují podklady, které by vyjadřovaly funkčnost odvodňovacích systémů. Počátky tohoto problému jsou zakotveny v roce 1991, kdy došlo k legislativní úpravě vlastnických vztahů k půdě. Detail odvodnění byl převeden na vlastníka pozemku, čímž skončila role státu ohledně jakékoli další péče o drenážní systémy.

Byla rozšířena vize, že v případě zanedbávání údržby přestane systém postupně fungovat a vyžádá si nutné opravy a rekonstrukce. Nicméně i po několika desítkách let tyto systémy více či méně plní svoji funkci odvodňování, sice se zvyšujícím se počtem bodových závad, ale nedá se říct, že by došlo zcela k vyřazení systémů z funkce. [51]

7.1. Aktuální stav

Obecným jevem pro většinu drenážních systémů je ale naprostá absence údržby. Aktuální technický a provozní stav odvodňovacích staveb se díky dlouhodobé absenci údržby vyznačuje silným poškozením požadované funkce stavby. Poškození lze přisoudit příčinám mechanickým, chemickým a biologickým. Celkový stav se také dá odvodit ze stavu drenážních šachtic a výústí viz obr. 19 [40] nebo posouzením stavu drenážních potrubí. Při průzkumu potrubní kamerou byly zjištěny hlavní příčiny poškození drénů. Jedná se o zanášení jemnými zemitými částicemi, zúžení průtočného profilu (osovým posunutím u trubek z pálené hlíny nebo zhroucením klenby u flexibilního potrubí), zarůstání potrubí (nejčastěji sloučeninami železa), borcení trubek nebo odlupování materiálu zevnitř v případě potrubí z pálené hlíny a zarůstání kořeny rostlin. [51]



Obr. 19: Ukázka kritického stavu některých objektů zemědělského odvodnění [40]

7.2. Životnost drenážních systémů

Obecně se předpokládá životnost staveb odvodnění 40 let. V minulosti byly tři hlavní fáze výstavby: r. 1900 - 1910, 1920 - 1940 a pak období 1955 -1985. Tento fakt znamená, že většina systémů je již s prošlou životností a bez záruky a dá se očekávat pouze zhoršování funkce. Je ale pravdou, že životnost drenážních systémů je velice rozdílná. Jsou i drenážní systémy starší než deklarovaných 40 let a pořád je jejich stav natolik dobrý, že se dá předpokládat jejich funkčnost řadu dalších let. Znakem nefunkčnosti drenážního systému je nulový průtok i ve vlhkém období a obnovující se zamokření pozemků. [40]

7.3. Údržba drenážních systémů

Funkce jakékoli stavby se může prodloužit, pokud se provádí pravidelné údržby a drobné opravy. Co se týče drenážních systémů tak jejich životnost by se také jistě prodloužila, pokud by se prováděla údržba. Zejména odstranění nánosů a vysrážených sloučenin železa, odstraňování cizích předmětů z drénů, čištění sběrných, svodných a záchytných příkopů povrchového odvodnění od nánosů a cizích předmětů, propláchnutí potrubí při zanesení, opravy nadzemních, případně podzemních částí šachtic a další. [45] Jak již bylo řečeno v 7.1, je pro současný stav drenážních systémů typická nulová údržba. Opravy se také provádějí pouze výjimečně. Čili se dá předpokládat, že bude nadále přibývat lokálních závad a docházet k celkové nefunkčnosti drenážních systémů.

8. Diskuse - bilance současného stavu

Odvodňovací systémy byly v minulosti stavěny a následně využívány ve většině případů pouze k jednostrannému zajištění odvedení přebytečné vody z půdního prostředí. Uplynula určitá doba, během níž se změnily podmínky hospodaření na odvodněných půdách, ekonomické a vlastnické podmínky a byly získány nové vědecké poznatky, které výrazně mění požadavky na jejich další užívání vzhledem k ohrožení životního prostředí a trvale udržitelného rozvoje krajiny. Navíc v důsledku v podstatě nulové údržby vybudovaných odvodňovacích staveb dnes nelze v mnoha případech definovat přesně funkčnost či nefunkčnost těchto starých drenážních systémů.

Jsou území, na nichž vedlo vybudování odvodňovacích staveb k jasně prokazatelnému zlepšení a bylo tedy přínosem pro danou oblast. Naproti tomu ale odvodnění vznikalo v místech, kde nebylo vhodné, nebo mělo být budováno pouze za určitých podmínek. Bohužel těchto míst je poměrně hodně a velice negativně tak byla ovlivněna rozsáhlá území. O převažujících negativních účincích nad pozitivními svědčí mnohé výzkumy, a jak je popsáno v 5.5, argumentů „pro“ je méně a všechny byly přizpůsobeny a ovlivněny dobou a jejími potřebami, ve které odvodňovací stavby vznikaly. Negativní účinky byly zanedbávány a navíc se mnohé z nich ukázaly až s odstupem řady let.

Plochy odvodněné zemědělské půdy společně s odvodněnými lesními půdami rozhodně nejsou zanedbatelné a již v minulosti mohly a i v budoucnosti mohou výrazně ovlivnit jakost a množství všech vodních zdrojů a hydrologický režim. Proto je třeba snažit se optimálně hospodařit s vodou, rekonstruovat tyto systémy, modernizovat a upravovat funkce podle současných potřeb. Zajistit víceúčelové využívání a zohlednit ekonomické aspekty společně s environmentálními požadavky. Celá problematika environmentálního využití odvodňovacích staveb není jen problémem zemědělským, ale hospodářským problémem celé společnosti, což dokazují např. značné hospodářské ztráty v důsledku povodní nebo ztráty vzniklé suchem v roce 2000. [40]

Důležitým krokem vpřed je také legislativní vyřešení majetkových a právních vztahů. Stejně tak je zřejmě nezbytný i vstup státu do celé této problematiky. Bez toho se stávající stav nemůže příliš zlepšit.

9. Závěr

Lze konstatovat, že cíl práce byl splněn. Po obecném úvodu o výskytu vody na Zemi, její jedinečnosti a vlastnostech, bylo objasněno místo mělkého hypodermického odtoku v hydrologické bilanci, jeho význam, způsoby stanovení a úloha v krajině. V dalších kapitolách bylo popsáno jeho ovlivnění antropogenní činností, především ovlivnění odvodňováním zemědělských pozemků. Detailněji byla v 5. kapitole popsána historie odvodňování, jeho účel, výhody a nevýhody. V následující kapitole byly popsány způsoby odvodňování, druhy drenáže, materiál a také možnosti regulace a retardace odtoku. V 7. kapitole byl zhodnocen aktuální stav, údržba a funkčnost drenážních systémů. Na závěr bylo provedeno celkové zhodnocení.

Vzhledem k tomu, že práce byla rešeršního charakteru, bylo jejím hlavním cílem ucelení informací na dané téma a jejich koncentrace na jednom místě. Tato bakalářská práce může být předstoupněm dalších prací, které by mohly rozvinout tuto problematiku v různých směrech. Mohly by se zabývat vyhodnocením funkčnosti drenážních systémů, jakostí drenážních vod a jejich dalším použitím, spojitostí drenážního odtoku a povodní nebo spojitostí drenáží s vznikem a zánikem chráněných území.

V Praze dne 16.8. 2011

podpis

10. Použitá literatura

- [1] Freeze R.A, Cherry J.A. (1979): Groundwater. Prentice-Hall. Upper Sadlle River. USA. ISBN 0-13-365312-9
- [2] Geregová, M. (2009): Analýza klasifikačních a rozhodovacích modelů ve vybrané oblasti životního prostředí. Diplomová práce. Univerzita Pardubice. Fakulta ekonomicko-správní
https://dspace.upce.cz/bitstream/10195/33713/1/GeregovaM_Analyza%20klasifikacnich%20a%20rozhodovacich_JK_2009.pdf 21.4.2011
- [3] Marschalko M., Grygar R., Liberda A., Manfrinová J. Výukové multimediální texty – Geologie, VŠB – TU Ostrava
http://geologie.vsb.cz/geologie/KAPITOLY/10_z%Edklady_hydro/10_z%Edklady_hydrgeologie_soubory/image003.jpg 21.4.2011
- [4] Geografický portál Zeměpis.com (2002 – 2011): Zásoby vody na Zemi
<http://www.zemepis.com/zasoby.php> 23.4.2011
- [5] Lvovich M. I. (1979): World water resources, present and future. GeoJournal Vol. 3, Num. 5, s. 423-433, ISSN 0343 - 2521
<http://www.springerlink.com/content/v676631333j62826/> 23.4.2011
- [6] Kučerová R., Fečko P., Lyčková B. (2010): Multimediální učení texty – Úprava a čištění vody. VŠB - TU Ostrava
http://homen.vsb.cz/hgf/546/Materialy/Radka_2010/vv1.html 24.4.2011
- [7] Vohlídal J., Julák A., Štulík K. (1999): Chemické a analytické tabulky. Grada Publishing. ISBN 80-7169-855-5
- [8] Nave R.C. (2010): Hyperphysics. Georgia State University. Department of Physics and Astronomy. Atlanta
<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hframe.html> 14.7.2011

-
- [9] Wikipedie – Otevřená encyklopedie. Obrázek 14.7.2011
http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Wasserl%C3%A4ufer_bei_der_Paarung_crop.jpg
- [10] Wikipedie – Otevřená encyklopedie. Obrázek
http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Surface_Tension_01.jpg 14.7.2011
- [11] Rejlková M. (2004 – 2010): Chemie vody.
<http://maniakva.sweb.cz/chemie2.htm> 14.7.2011
- [12] Domenico P.A., Schwartz F.W. (1997): Physical and chemical hydrogeology, 2nd edition. John Wiley and Sons. New York, USA. ISBN 0-471-59762-7
- [13] Holoubek I.: Chemie životního prostředí III. Prezentace na přednášky pro studenty. Masarykova Univerzita. Přírodovědecká fakulta. Brno.
<http://www.recetox.muni.cz/res/file/prednasky/holoubek/chzp-iii/chzp-iii-hydrosfera-06-atmosfericke-vody.pdf> 19.7.2011
- [14] Hadaš P. (2009): Specification of precipitation inputs for the water balance of spruce stands in lower altitudinal vegetation zones. In: Rozvoj společnosti a bioklima. Mezinárodní vědecká konference. Stará Lesná.
http://www.cbks.cz/sbornikStrecno06/prispevky/Sekcia_4/S4-9.pdf 19.7.2011
- [15] Hudak P.F. (2005): Principles of hydrogeology. CRC Press. Boca Raton, USA. ISBN 0-8493-3015-7
- [16] Šilar J. (1996): Hydrologie v životním prostředí. Univerzita Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem. Fakulta životního prostředí. VŠB-TU Ostrava. ISBN 80-7078-361-3
- [17] Zákon č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů

-
- [18] Učební texty pro studenty. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Zemědělská fakulta.
http://www2.zf.jcu.cz/public/departments/kpu/vyuka/pu/skripta_geologie/web-prednasky/zs/predn-13-14_zs.pdf 20.7.2011
- [19] Drašnar J. & další autoři (2000 – 2011): Úvod do mineralogie. Elektronické texty.
http://www.museum.mineral.cz/mineraly/ucebnice/obecna_min/o_48.php
20.7.2011
- [20] Šilar J. a kolektiv (1983): Všeobecná hydrogeologie. Univerzita Karlova v Praze. Přírodovědecká fakulta. Státní pedagogické nakladatelství. Praha
- [21] Chmelová R. Učební elektronické texty pro studenty hydrologie. Univerzita Palackého v Olomouci. Přírodovědecká fakulta
http://geography.upol.cz/soubory/lide/chmelova/ZFG1X/ZFG1X_Klimaticti_cinitel_e_obehu.pdf 1.8.2011
- [22] Dunajský K. M. (2007): Využití poznatků z měření evapotranspirace mokřadních porostů u přírodních způsobů čištění. VUT v Brně. In: Venkovská krajina 2007. 5. ročník mezinárodní mezioborové konference. Česká společnost pro krajinou ekologii-regionální organizace cz-iale. Centrum Veronica. Hostěňín
http://www.veronica.cz/veronica.cz/dokumenty/venkovska_krajina_2007.pdf#page=67 20.7.2011
- [23] Remeš J., Ulbrichová I., Podrázský V. (1999): Dynamika a management lesních ekosystémů I. - EKOLOGIE LESA (návody do cvičení). Materiály pro studenty lesního inženýrství. Praha
http://lesaci.me.cz/borova_siska/materialy/ekologie_lesa/cviceni.doc 5.5.2011
- [24] Václavík V. a kolektiv. Výukové texty k soutěži: Voda a životní prostředí Moravskoslezského kraje 2010, VŠB – TU Ostrava. Hornicko-geologická fakulta
<http://rccv.vsb.cz/mostech/voda/data/Voda%20a%20zivotni%20prostredi%20Moravskoslezskeho%20kraje%202010.pdf> 5.5.2011

-
- [25] Janský B. (2006): Hydrologie – elektronický zdroj. Prezentace na přednášky pro studenty. Univerzita Karlova v Praze. Přírodovědecká fakulta
- [26] Jeníček M. (2007 – 2011): Modelování hydrologických procesů I. – prezentace na přednášku pro studenty. Univerzita Karlova v Praze. Přírodovědecká fakulta
<http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/vyuka.php?akce=procesya&lang=cze> 8.5.2011
- [27] Beven, K. J. (2001): Rainfall – runoff modelling. The Primer. John Wiley & Sons. Chichester.
http://www.google.com/books?hl=cs&lr=&id=FV5Jiy7MXkkC&oi=fnd&pg=PR9&dq=Rainfall+%E2%80%93+runoff+modelling&ots=bF1OaEypCf&sig=iSSAuRfZcMcl_t11MmPHMSvnJig#v=onepage&q&f=false 1.8.2011
- [28] Wilson E. Environmental Hydrogeology. Elektronické výukové texty. Northern Arizona University
<http://jan.ucc.nau.edu/~doetqp-p/courses/env302/lec4/LEC4.html> 21.7.2011
- [29] Křeček J. Prezentace na přednášku pro studenty hydrologie a klimatologie. ČVUT v Praze. Fakulta stavební.
http://hydrology.fsv.cvut.cz/vyuka/HYKV/data/Priloha_8-5.pdf 21.7.2011
- [30] Metodické listy pro podporu předmětu Analýzy krajiny v GIS. Stanovení retenční kapacity. Vytvořeno v rámci projektu FRVŠ 1482/2009FI. Univerzita Palackého v Olomouci. Katedra geoinformatiky
<http://www.geoinformatics.upol.cz/file/vyuka/ml3.pdf> 21.7.2011
- [31] Brassington R. (1998): Field hydrogeology. John Wiley and Sons. New York, USA. ISBN 0-471-97347-5
- [32] Prezentace na přednášku pro studenty hydrauliky. Přepady. ČVUT v Praze. Fakulta stavební.
http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Hydraulika/Predmety/HY2V/ke_stazeni/prednasky/HY2V_06_Prepady.pdf 21.7.2011

-
- [33] Česká kalibrační stanice vodoměrných vrtulí. Obrázek
<http://cksvv.vuv.cz/hydrometricke-vrtule> 24.7.2011
- [34] Šanda M. Tvorba podpovrchového odtoku na svahu. Teze doktorské disertační práce, ČVUT FSv
<http://cecwi.fsv.cvut.cz/jiz/msteze/msteze.htm> 24.7.2011
- [35] Doležal F., Kulhavý Z., Kvítek T., Soukup M., Čmelík M., Fučík P., Novák P., Peterková J., Pilná E., Pražák P., Tippl M., Uhlířová J., Zavadil J. (2006): Hydrologický výzkum v malých zemědělských povodích. VÚMOP. In: Journal of Hydrology and Hydromechanics. 54/2006 2. s. 217-229
http://dlib.lib.cas.cz/5896/1/2006_54_2_dolezal_217.pdf 26.7.2011
- [36] Orsillo N. (2008): The environmental impact and economic consequences of agricultural land drainage in Czechia: 1960-1989. *Klaudyán* 5/2008, No. 1. pp. 14-29. ISSN 1212-9690. www.klaudyan.cz 9.5.2011
- [37] Fučík P. a kol. (2010): Posuzování vlivu odvodňovacích systémů a ochranných opatření na jakost vody v zemědělsky obhospodařovaných povodích drobných vodních toků – metodika. VÚMOP, v.v.i. ISBN 978-80-87361-00-9, s. 5 – 9, 40 – 47
- [38] Kulhavý Z., Soukup M., Doležal F. (2007): Zemědělské odvodnění drenáží – Racionalizace využívání, údržby a oprav. VÚMOP, v.v.i. ISBN 978-80-254-0672-4, s. 5 - 9, 32 - 39
- [39] Novák P. (2004): Pozitivní a negativní dopady odvodňovacích a rekultivačních úprav. In: *Meliorace včera, dnes a zítra - Sborník vybraných příspěvků z celostátního semináře pořádaného u příležitosti 50. výročí založení ústavu.* VÚMOP, v.v.i., Průhonice u Prahy. ISBN 80-239-3640-9. s. 143 - 148
- [40] Zemědělské odvodnění v kulturní krajině - Sborník příspěvků a diskusních vystoupení z panelové diskuse a workshopu(2005). VÚMOP, v.v.i., Praha. ISBN 80-239-7308-8. s.7 – 60

-
- [41] Hejnák J. (2004): Geologické podklady pro krajinotvorné programy. Ministerstvo životního prostředí. ISBN 80-7212-321-1
- [42] Whiteman M. I., Low R., Coffey A., Ward W. (2010): Investigation of diffuse groundwater chemical impacts on groundwater-dependent terrestrial ecosystems in England and Wales: Implications for WFD significant damage assessments. In: Zuber A., Kania J., Kmiecik E. (eds.) XXXVIII IAH Congress Groundwater Quality Sustainability. 12-17 September 2010, pp. 395-396. University of Silesia and IAH. Krakow, Poland. ISBN 978-83-226-1979-0
- [43] Whiteman M. I., Skinner A., Jose P. V., McNish J. (2006): Eco-hydrological guidelines for wetland management. In: Hrkal Z., Kovář K, Hill M.C., Szöllösi-Nagy A. (eds.): International conference HydroEco 2006 „The groundwater/ekology connection“, 11.-14. September 2006. pp. 337-342, PřF UK-ČAH-ICGW-IAHS-VÚVTGM-USGS. Karlovy Vary. ISBN 80-903635-1-2
- [44] ČSN 75 4200 Úprava vodního režimu zemědělských půd odvodněním
- [45] Voda v krajině – závlahy, odvodnění, malé vodní nádrže, protierozní ochrana (1995). Mze ČR, s. 3 – 35
- [46] Krajská síť enviromentálních center (2006). Obrázek
<http://www.krasesec.cz/kalendar/detail/461?seo=Filmov%C3%A9+ve%C4%8Dery+s+p%C5%99%C3%ADrodou%3A+Sv%C4%9Btov%C3%BD+den+mok%C5%99ad%C5%AF> 2.8.2011
- [47] Kraj Vysočina – Kulturní a přírodní dědictví. Obrázek - chráněná krajinná oblast Žďárské vrchy
http://weby.istudio.cz/aktivni/vysocina/web/priroda/zvlaste_chranena_uzemi-11/chranena_krajinna_oblast-36/?id=1017 2.8.2011
- [48] Bém, J. (1990): Vodohospodářské inženýrství. ČVUT v Praze. Fakulta stavební. Editační středisko ČVUT. Praha

-
- [49] Fiala J., Kaura J., Sádlo J. (1980): Stavby vodní a meliorační. Pro 4. ročník středních průmyslových škol stavebních. Praha. SNTL-nakladatelství technické literatury, N.P., s. 200 –228
- [50] Obrázek. <http://static.akcniceny.cz/foto/vyrobky/736750/736609.jpg> 2.8.2011
- [51] Kulhavý Z., Soukup M. (2010): Zemědělské odvodnění a krajina. In: Voda v krajině. Sborník příspěvků. Lednice. ISBN 978-80-86690-79-7
<http://www.cbks.cz/Sbornik10a/KulhavySoukup.pdf> 5.5.2011