



Zemědělská
fakulta
Faculty
of Agriculture

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Katedra Krajinového Managementu

Bakalářská práce

Vliv vodních nádrží v povodí na odtokové charakteristiky při
srážko-odtokových událostech

Autor práce: Štěpán Hořejší

Vedoucí práce: Ing. Václav Bystřický, Ph.D.

České Budějovice, 2021

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem autorem této kvalifikační práce a že jsem ji vypracoval pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu použitých zdrojů.

V Českých Budějovicích dne

.....
Podpis

Abstrakt

Tato bakalářská práce, psána jako literární rešerše, je zaměřena na jednu z důležitých funkcí vodních nádrží – retenci vody. Cíl bakalářské práce je ukázat, jak jsou vodní nádrže schopny ovlivnit odtok vody z povodí a tím tak ovlivnit hydrogram při srážko-odtokových událostech. První část bakalářské práce je zaměřena na celkové rozdělení vody a hydrologický cyklus. V další části jsou popsány vodní nádrže z různých úhlů pohledu včetně popisu jejich funkcí a různých rozdělení. Nechybí zde také jejich historie. Třetí část bakalářské práce je vyhrazena pro srážko-odtokové události. Dále jsou popsány faktory ovlivňující odtok vody z povodí, a také vliv vodních nádrží na vodní režim krajiny. Na závěr je uveden vliv vodních nádrží na velikost a tvar hydrogramu při srážko-odtokových událostech.

Klíčová slova: voda, vodní nádrže, atmosférické srážky, odtok vody, srážko-odtokové události, retence vody

Abstract

This bachelor thesis, written as literary research, is focused on one of the most important functions of water reservoirs - water retention. The aim of this bachelor thesis is to show the way water bodies are able to affect the hydrograph during rainfall-runoff events. The first part of the thesis is focused on water categorization and the hydrological cycle. The next part comprises a detailed description of water reservoirs. This includes a list of their key functions and specific types. The history of water reservoirs is also mentioned. The third part is reserved for rainfall-runoff events. Finally, factors affecting water runoff are discussed, followed by an explanation of how water bodies affect water regimes. In the end, the influence of water reservoirs on the size and shape of the hydrograph during rainfall-runoff events is described.

Keywords: water, water reservoirs, precipitation, runoff, rainfall-runoff events, water retention

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Václavu Bystřickému, Ph.D. za odborné vedení a cenné rady, které mi pomohly při tvorbě bakalářské práce.

Obsah

Úvod.....	7
1 Oběh vody v krajině	8
2 Rozdělení vody na Zemi	10
2.1 Atmosférická voda	10
2.2 Podpovrchová voda	10
2.3 Povrchová voda	10
3 Vodní nádrže	11
3.1 Definice podle zákona 254/2004 Sb. (Vodní zákon)	11
3.2 Definice dle ČSN normy	11
3.3 Definice vodních děl	11
3.4 Historie vodních nádrží v ČR.....	12
3.5 Přirozené vodní nádrže	14
3.6 Umělé vodní nádrže.....	15
4 Srážky a odtok.....	17
4.1 Vznik srážek	17
4.2 Dělení srážek	18
4.3 Vznik odtoku	19
4.4 Dělení odtoku	19
5 Srážko-odtokové události.....	21
5.1 Průtok	21
5.2 Čáry překročení	23
5.3 Hydrogram.....	24
5.4 Efektivní srážka a jednotkový hydrogram.....	25
6 Faktory ovlivňující odtok vody z povodí	26
7 Vliv vodních nádrží na vodní režim krajiny	30

8	Vliv vodních nádrží na velikost a tvar hydrogramu při srážko-odtokových událostech.....	31
8.1	Vltavská kaskáda.....	33
8.2	Vodní nádrž Vír.....	34
8.3	Vodní nádrž Nové Mlýny.....	36
	Závěr	37
	Seznam použité literatury.....	38
	Seznam obrázků	44

Úvod

Voda je nejrozšířenější látkou na Zemi. Je to sloučenina podmiňující vznik a zachování života. Je obsažena ve všech živých organismech, ekosystémech a dalších látkách. Je také nenahraditelnou surovinou, složkou životního prostředí a čistým obnovitelným zdrojem energie. Na Zemi je voda nerovnoměrně rozložena, a tak existují místa, kde je jí nadbytek, ale i nedostatek. Voda však nejenže dobře slouží, ale dokáže také napáchat velké škody při povodních, proto se před ní musíme občas i chránit. Vodu bychom měli rozumně používat, uváženě a šetrně s ní hospodařit.

Na Zemi voda neustále mění svá skupenství a je v trvalém pohybu. V životním prostředí je voda charakteristická svojí kvantitou a kvalitou. Množství a jakost nejsou stálé, vývoj těchto vlastností může znemožnit využití vody pro požadované účely nebo ovlivňovat stabilitu přírodního prostředí. V podmínkách České republiky jsou primárním zdrojem vody srážky, což je příčinou velké závislosti na našich vodních zdrojích a jejich využitelnosti při případných změnách klimatických podmínek na Zemi. Zároveň je však srážková voda zdrojem kvalitní vody (Satrapa, 2006). Vodní režim kulturní krajiny je zcela jiný než v přirozeném nenarušeném krajinném ekosystému. Vlivem člověka se snížila retenční schopnost krajiny, snížila se plocha mokřadních ekosystémů a omezila se retenční funkce přirozených inundačních prostor. V současné době však již probíhá náprava nešetrných zásahů do krajiny, ve kterých by se mělo pokračovat i nadále (Slavík a Neruda, 2007).

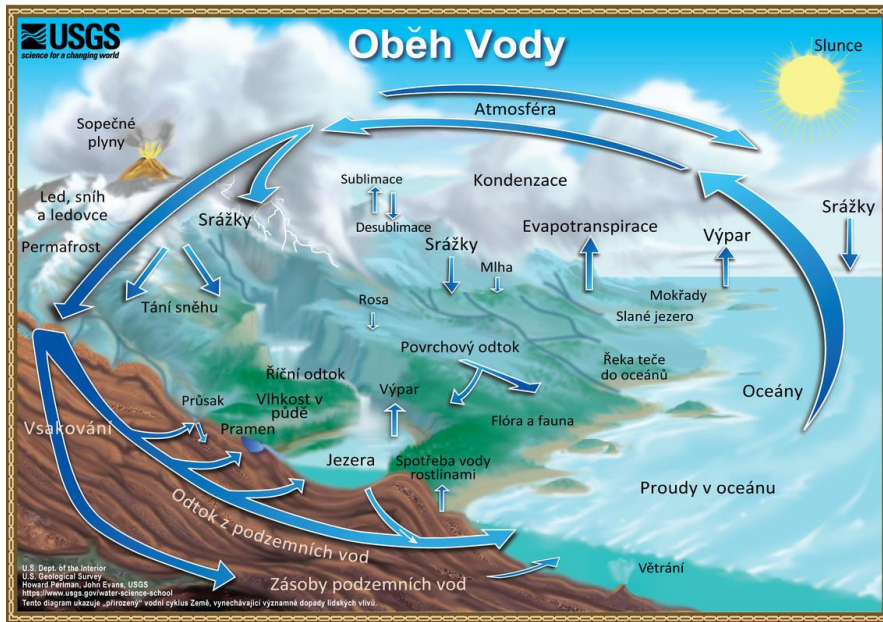
Cílem této bakalářské práce je ukázat jednu z nejdůležitějších funkcí vodních nádrží, tedy retenci vody. Díky ní jsou vodní nádrže schopny ovlivnit odtok vody z povodí a tím tak ovlivnit velikost a tvar hydrogramu při srážko-odtokových událostech. Téma ochrany před povodněmi je a i nadále bude důležité, proto bychom se měli zabývat otázkami, jak povodním předcházet a zabraňovat jejich vzniku.

1 Oběh vody v krajině

Oběh vody neboli vodní koloběh či hydrologický cyklus je jedním z nejdůležitějších fází hydrologie. Probíhá prakticky neustále. Obecně tento cyklus funguje tak, že se voda vypařuje (jev zvaný evaporace) z vodních ploch (zejména z oceánů a moří), ale i z pevniny. Z moří a oceánů se vypaří zhruba 430 000 km³ vody, z pevniny je to přibližně 70 000 km³ vody. Voda se také může vypařovat z rostlin. Takový výpar se nazývá transpirace a jde o fyziologický proces. Transpirace se z hlediska, jak je voda transpirována, dělí na stomatární, kdy je voda vydávána štěrbinami průchodů a kutikulární, kdy se voda transpiruje skrze epidermis a kutikulu. Celkový výpar (evapotranspirace) se tedy rovná součtu evaporace a transpirace (Vysoudil, 2013; Procházka, 1998).

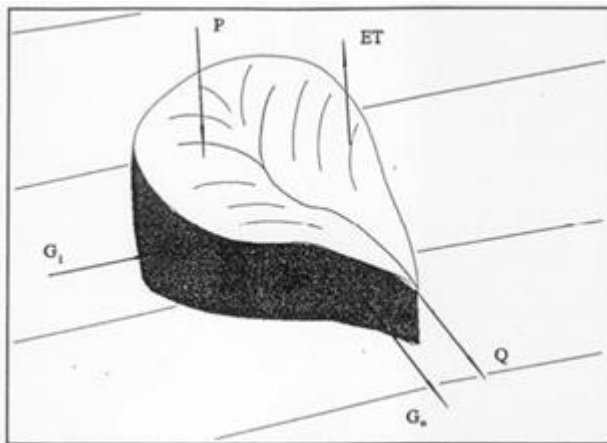
Voda se evapotranspirací dostane do formy vodní páry a pomocí proudění vzduchu se často přenesení na jiné místo. Dále pak tato vodní pára zkondenzuje a spadne na zemský povrch ve formě kapalných či pevných srážek. Na zemský povrch takto dopadne zhruba 110 000 km³ vody (Maidment, 1993; Arnell a Liu, 2001). Na zemi voda může dopadnout přímo do vodních ploch, nebo se vsákne (infiltruje) do půdy. Jedna z možností také je, že se zadrží na vegetaci (intercepce) (Serrano, 1997).

Podle Brutsaerta (2005) vodu, která byla infiltrována do půdy, můžeme definovat jako vodu, která se dostala do půdního profilu a probíhá zde její další pohyb. Z půdy se infiltrovaná voda může dostat ve formě podzemní vody do vodních toků a následně i velkých vodních ploch. Serrano (1997) tvrdí, že pokud je půda nasycena vzniká povrchový odtok. Povrchový odtok je nejprve nesoustředěný – plošný, později se odtékající voda dostává do údolnic nebo depresí a v nich pokračuje déle. Takto se voda dostává do vodních toků a vodních ploch. Ty slouží k tomu, aby vodu zadržely (retence). Z vodních ploch se voda opět vypaří a celý koloběh se tak opakuje. Na tomto koloběhu má však podíl jen malá část vody na Zemi, necelé půl procento z vod světových oceánů. Hydrologický cyklus rozdělujeme na tzv. velký a malý oběh. Velký oběh probíhá mezi mořem a pevninou a malý se odehrává pouze v rámci moří nebo pouze mezi pevninou. Znázornění hydrologického cyklu je na obrázku 1.1.



Obrázek 1.1 Znárodnění procesů v hydrologickém cyklu (usgs.gov, 2017)

Pačes (1983) říká, že hydrologický cyklus je vždy vyrovnaný, platí zde rovnice $S = O + E + Z$, kde S jsou srážky, O je odtok, E je evapotranspirace (celkový výpar) a Z je zadrženi vody. Někdy se rovnice rozšiřuje na tvar $S = O + E + R + U$, kde S jsou srážky, O je odtok, E je evapotranspirace (celkový výpar), R je změna zásob vody v povodí na začátku a na konci období a U je výměna vody se sousedním povodím (přírůstek nebo úbytek). Tato rovnice se dá dobře uplatnit, neboť odtok a srážky jsou dobře měřitelné a výpar se tak dá vypočítat. Následující obrázek znázorňuje hydrologickou bilanci v povodí.



Obrázek 1.2 Hydrologická bilance v povodí (Serrano, 1997)

- P – srážky
- Q – celkový odtok
- ET – evapotranspirace
- G_i – přítok podzemní vody
- G_o – odtok podzemní vody

2 Rozdělení vody na Zemi

Voda je jednou z nejdůležitějších látek na Zemi. Je jedním z předpokladů ke vzniku, existenci a zachování života. Voda je také nenahraditelnou složkou životního prostředí a čistým zdrojem obnovitelné energie. Její množství a kvalita však není stálá, proto bychom ji měli náležitě chránit (Satrapa, 2006). Ačkoliv voda pokrývá přes 70 % povrchu Země, pouze její nepatrná část (2,53 %) je pro nás ta důležitá k životu, jelikož je pitná. Voda je také jednou z mála látek vyskytující se ve třech skupenstvích. Díky tomu, že voda mění svá skupenství, se na naší planetě vytváří klima (Davie, 2008). Vodu na Zemi můžeme samozřejmě kromě skupenství rozdělit podle toho, zda se nachází na povrchu, nad povrchem, nebo pod povrchem (Brutsaert, 2005).

2.1 Atmosférická voda

Brutsaert (2005) říká, že voda, která se nachází nad povrchem země, je voda atmosférická. Ta je nejčastěji ve formě vodních par. V atmosféře následně zkondenzuje a dostává se na povrch.

2.2 Podpovrchová voda

Všechna voda v jakémkoli skupenství, která se nachází pod povrchem země, je voda podpovrchová. Podpovrchových vod je z celkového objemu vody na Zemi asi 1,7 %. Podpovrchovou vodu dělíme na vodu podzemní a vodu půdní. Podzemní voda je voda, která je v kapalném skupenství, vytváří pod povrchem souvislou hladinu a zabývá se jí hydrologie. Půdní voda se váže na půdní částice a oproti podzemní vodě nevytváří souvislou hladinu. Půdní vodu studuje obor hydropedologie. Podzemní voda se dále dělí na vodu průlinovou, ta vyplňuje v půdě všechny průliny (prostory mezi zrny hornin), vodu puklinovou (ve volných prostorech mezi plochami hornin) a vodu krasovou (v krasových dutinách). Půdní vodu můžeme dále rozdělit podle její teploty, mineralizace nebo vazby, které má v půdě (Pačes, 1983).

2.3 Povrchová voda

Povrchové vody jsou všechny vody, které se vyskytují na zemském povrchu. Jsou to především oceány, moře, ale i menší vodní plochy, jako jsou vodní nádrže a vodní toky. Mezi povrchové vody se řadí i částečně zakryté vodní toky, tekoucí například dutinami či jeskyněmi (Oppeltová et al., 2012).

3 Vodní nádrže

Vodní nádrže jsou nejdůležitějším prvkem pro zadržení vody a hospodaření s vodou. Zadržování vody a hospodaření s vodou funguje na principu transformace časového přítoku do nádrže a odtoku z nádrže (Brandt et al., 2017).

3.1 Definice dle zákona 254/2004 Sb. (vodní zákon)

Přímo pojem vodní nádrž ve vodním zákoně není definován, jak ale píše Majerák (2020), pojem vodní nádrž se dá definovat pomocí průniku několika definic, které obsahuje zákon č. 245/2001 Sb. o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon). Těmi definicemi jsou „útvary povrchové vody“ a „umělý vodní útvar“. V tomto případě by se do termínu vodní nádrže počítaly nádrže na vodních tocích, různá vodní díla, ale i přírodní jezera. Pokud k tomu použijeme i definici vodního díla dle vodního zákona, tak vodní nádrže můžeme popsat jako přírodní či umělé vodní útvary, jejichž hlavní cíl jest zejména zachycení a následné zadržení vody, umělá regulace odtokového režimu povrchových vod nebo další nakládání s vodami.

3.2 Definice dle ČSN normy

Podle ČSN normy 75 0101 se vodní nádrže dají definovat jako vodní útvar vzniklý akumulací vody v přírodní prohlubni nebo uměle vytvořeném prostoru na zemském povrchu, ve které se zdržuje nebo zpomaluje odtok vody z povodí. Dále norma popisuje, že jde o prostor vytvořený vzdouvací stavbou (přehrada, jez) na vodním toku, a to s využitím přírodní nebo umělé prohlubně na zemském povrchu.

3.3 Definice vodních děl

V samotném vodním zákoně je definován pojem „vodní dílo“. Pod tento pojem spadají i vodní nádrže, jakožto typ vodního díla. Vodní zákon tedy říká, že vodní díla jsou stavby, které slouží k zadržování a vzdouvání vod, usměrňování odtokového režimu, užívání i ochraně vod, k nakládání s vodami, k ochraně před škodlivými účinky vody, k úpravě poměrů vod nebo k jiným účelům, a to zejména

- a) přehrad, vodní nádrže, hráze a jezy,
- b) stavby, jimiž se upravují, mění nebo zřizují koryta vodních toků,
- c) stavby vodovodních řadů a vodárenských objektů včetně úpraven vody, stok a kanalizačních objektů včetně čistíren odpadních vod,
- d) stavby na ochranu před povodněmi,
- e) stavby k vodohospodářským melioracím, zavlažování a odvodňování pozemků,

a jiné dle Zákona č. 245/2001 Sb.

(Zákon č. 245/2001 Sb.)

3.4 Historie vodních nádrží v ČR

Pokorný (2010) starší historii vodních nádrží na území ČR shrnuje takto: První malé vodní nádrže (rybníky) se na území dnešní České republiky začaly objevovat už v 11. století. Tyto první rybníky byly bezpochybně spojené s chovem ryb, zejména kaprů. Kapr v té době platil za velmi chutnou rybu. První rybníky patřily klášterům, později začala rybníky budovat i šlechta. Ve 13. a 14. století přibýlo velké množství těchto malých vodních nádrží, takže toto období lze označit jako rozvojovou fázi rybníkářství. V průběhu husitských válek v 15. století došlo k útlumu celého hospodářství. Tento útlum zasáhl samozřejmě i rybníkářství.

Konec 15. a hlavně pak 16. století popisuje Hule (2015) jako vrcholné období výstavby malých vodních nádrží. Nestavěly se pouze osamocené rybníky, ale také se začaly stavět celé rybníční soustavy. Chov ryb již nebyl soustředěn do jednoho rybníku, ale v té době se začala uplatňovat tzv. třístupňová metoda chovu. Ta spočívá v rozdělení chovných ryb podle věku. Mladé plody nejprve vyrůstají v plůdkových rybnících, následně jsou přemístěny do násadových a později do hlavních rybníků. Nejvýznamnějšími oblastmi pro stavbu rybníků se staly rovinné oblasti zejména Polabí a Třeboňsko. V průběhu 16. století vznikaly ty největší a technicky nejvyspělejší rybníky. V této zlaté době českého rybníkářství působili například Josef Štěpánek Netolický či Mikuláš Ruthard z Malešova. S touto dobou je především neodmyslitelně spjat Jakub Krčín z Jelčan a Sedlčan, který se zasloužil například o výstavbu rybníků Svět, Spolský nebo český největší rybník Rožmberk.

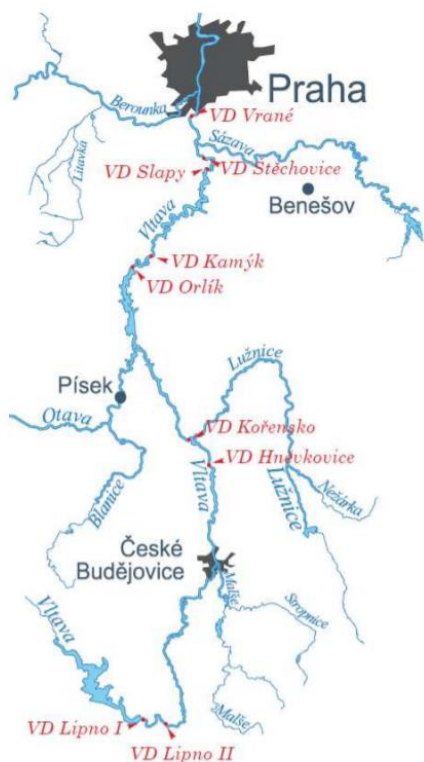
Pokorný (2010) se dále zmiňuje o rušení rybníků v 18. a 19. století. Dělo se tak za účelem zvětšení rozlohy orné půdy. Základem zemědělství se v tomto čase stala rostlinná výroba. Bylo také potřeba více luk, které byly použity pro pastvu dobytka. Koncem 19. století se některé rybníky obnovily, ale původních ploch již nedosahovaly. Počet rybníků se po této době ustálil. Ve 20. století spolu s technickým rozvojem přišla i nová vlna budování vodních nádrží a velkých přehrad. První důvody ke stavbě přehrad byly povodně v 90. letech 19. století, stoupající nároky na pitnou vodu a zvyšující se poptávka po elektrické energii.

V této době byla vybudována naše nejstarší vodní nádrž se zděnou hrází – Mariánské Lázně, postavena v roce 1896. Přehrada vznikla za účelem zásobování Mariánských Lázní pitnou vodou a tomuto účelu slouží dodnes. Její další funkce je ochrana před povodněmi. Jako další můžeme jmenovat vodní nádrž Kameničku, která byla postavená v roce 1904 a její hlavní funkce je zásobování pitnou vodou město Chomutov a jeho okolí (Povodí Ohře Chomutov, 2019).

V roce 1906 byla dokončena vodní nádrž Harcov (dnes Starý Harcov), která se nachází v údolí Harcovského potoka. Tato vodní nádrž leží v těsné blízkosti centra Liberce. Její hlavní účel je ochrana města před povodněmi a zásobárna vody pro místní průmysl. Dnes má vodní nádrž zejména rekreační účel pro obyvatele Liberce. O pár let později v roce 1919 byla dokončena vodní nádrž Les Království na Labi. Jako podnět pro její stavbu byla katastrofální povodeň z roku 1897. Tato vodní nádrž má dvě důležité funkce. Tou hlavní je regulace průtoků v Labi a druhou funkcí je pak výroba elektrické energie (Šámalová, 2014).

Velký rozvoj výstavby velkých vodních nádrží přišel po druhé světové válce. Od konce 19. století přicházely úvahy o splavnění Vltavy z Českých Budějovic do Prahy, potažmo až do Mělníka. První návrhy hovořily nejprve o stupních. Podle návrhu od firmy Lanna-Vering z roku 1894, mělo být mezi Českými Budějovicemi a Prahou 33 stupňů o výšce 2-4 metry. Postupem času se začala zvyšovat poptávka po elektrické energii. Právě střední tok Vltavy nabízel jedinečnou možnost k její výrobě. Jelikož celkový spád řeky mezi Budějovicemi a Prahou jest 190 metrů, bylo nakonec po dlouhých jednáních a rozepřích, zda upřednostnit splavnost řeky či výrobu elektrické energie, rozhodnuto o výstavbě velkých vodních nádrží s relativně vysokými hrázemi, vhodných právě k výrobě elektřiny (Broža et al., 2009). V roce 1945 byla dokončena vodní nádrž Štěchovice, jejíž stavba započala v roce 1938. Po vodní nádrži Vrané, která byla vybudována v letech 1930-1935, to byla již druhá přehrada na řece Vltavě. Těmito dvěma přehradami začala výstavba tzv. Vltavské kaskády, což je označení pro soustavu vodních nádrží na středním toku Vltavy. Další v pořadí Slapská přehrada byla dokončena v roce 1955. V padesátých letech minulého století byly ještě dokončeny vodní nádrže Lipno I. a Lipno II. na horním toku Vltavy. Další důležitá dvojice přehrad tentokrát na středním toku (Orlík a Kamík) byla uvedena do provozu začátkem 60. let 20. století (Hašková, 1961). Tím byla dokončena většina podstatné části Vltavské kaskády. Na obrázku 3.3 jsou znázorněny přehrady Vltavské kaskády. Ve druhé polovině

20. století se začaly budovat vodárenské nádrže, jakožto zdroje pitné vody. Patří k nim například vodní nádrž Švihov (Želivka), Římov, Nýrsko či Lučina (Broža et al., 2009).



Obrázek 3.3 Vltavská kaskáda (pvl.cz, 2013)

3.5 Přirozené vodní nádrže

Přirozené vodní nádrže jsou především jezera. Ty mohou být tektonického, vulkanického, krasového, ledovcového či jiného původu. V České republice jsou velmi známá ledovcová jezera na Šumavě, ale také se u nás například nacházejí menší krasová jezera (Pavelková Chmelová a Frajer, 2013). Ledovcová jezera vznikala po ukončení doby ledové v teplejším období. Byla modelována tajícím ledem tedy zbytkovým ledovcem, který byl na úbočí hory a procesem tání se posouval směrem dolů. Při tomto klouzavém pohybu před sebou hrnul velké množství materiálu, ze kterého vznikla budoucí hráz ledovce (moréna). Taková jezera nazýváme hrazená. Druhý způsob vzniku jezer je vyplnění vodou vyplněný skalní kotel (kar) ve vyživovací oblasti ledovce. Taková jezera se nazývají karová (Netopil et al., 1984).

Krasová jezera vznikala v krasových oblastech zaplavením závrtů nebo poljí. Jezera vulkanického původu jsou většinou zaplavené krátery vyhaslých sopek a tektonická jezera jsou jezera, která vyplňují zlomové a příkopové propadliny způsobené pohyby ker zemské kůry. Taková to jezera jsou zpravidla dosti hluboká. Mezi známá

tektonická jezera patří jezero Bajkal na Sibiři nebo třeba jezero Tanganika ležící v Africe (Pavelková Chmelová a Frajer, 2013).

3.6 Umělé vodní nádrže

Umělé vodní nádrže jsou všechny nádrže vytvořené člověkem. Aby taková nádrž vznikla je třeba vybudovat hráz, která zadrží vodu a dále pak mít zajištěn zdroj (přítok) vody do nádrže. Umělé vodní nádrže můžeme dělit podle několika kritérií. Jedním z hlavních kritérií pro dělení je jejich velikost (Brandt et al., 2017).

Malé vodní nádrže a rybníky a jejich definice

Podle ČSN normy 75 2410 existují malé vodní nádrže, jejichž objem po hladinu ovladatelného prostoru (normální hladinu) je menší než 2 mil m³ a zároveň jejich největší hloubka nepřesahuje 9 metrů. Jako normální hladina se definuje hladina v úrovni nejnižší části přelivové hrany bezpečnostního přelivu.

Tato norma ČSN 75 2410 neplatí pro nádrže přečerpávajících vodních elektráren, pro odkaliště a pro nádrže s přítokem a odtokem propustným horninovým prostředím dna a svahů nádrže (např. šterkoviště).

Malé vodní nádrže a rybníky a jejich dělení

Malé vodní nádrže můžeme dále dělit podle jejich účelu (funkce). Jejich účel může být jen jeden, ale většinou mají polyfunkční charakter. Mezi nejdůležitější funkce vodních nádrží řadíme:

zadržování vody – zásobní nádrže (vodárenské, závlahové, energetické...)

ochranná funkce – retenční nádrže (suché, ochranné, protierozní, dešťové...)

upravení vlastnosti vody – čistící nádrže (usazovací, dočišťovací)

hospodářská funkce (požární nádrže, chov vodní drůbeže...)

rybochovná funkce (výtěrové, třecí, plůdkové...)

speciální funkce (přečerpávací, vyrovnávací...)

asanační funkce (záchytné, skladovací, laguny)

krajinotvorné nádrže

rekreační nádrže

(Norma ČSN 75 2410)

Podle Vrány a Berana (1998) můžeme rozdělit malé vodní nádrže podle polohy hráze. Ty se dělí na nádrže s čelní hrází nebo s boční hrází. Podle typu hráze se dále malé vodní nádrže člení na průtočné a neprůtočné. Průtočné nádrže musí být vybaveny bezpečnostním přelivem. Neprůtočné mají uměle vybudovaný regulovaný přítok do

nádrže i odtok z nádrže. Hráz je buď sypaná nebo zděná (betonová). Tvar hráze můžeme rozčlenit na přímý, vypouklý, vydutý, lomený a nepravidelný. Vodní nádrže se dají třídit z hlediska jejich polohy vzhledem k vodnímu toku. Zde rozlišujeme údolní, břehové a boční nádrže. Údolní nádrže jsou umístěné přímo v údolí, zpravidla na vodním toku. Břehové nádrže leží na okraji vodního toku a boční nádrže jsou postaveny mimo vodní tok nebo se nacházejí na jeho okraji.

Brandt et al. (2017) uvádějí, že retenční nádrže, tj. nádrže s ochranou funkcí můžeme rozdělit mimo jiné na:

- 1) Suché ochranné nádrže, sloužící k zachycení povodňových průtoků a jejich krátkodobé akumulaci s postupným vypouštěním.
- 2) Ochranné nádrže s přesně vymezeným velkým ochranným prostorem určeným ke snížení povodňových průtoků a malým zásobním prostorem.
- 3) Běžné nádrže přehradního typu s vymezeným regulovatelně vyprazdňovacím ochranným prostorem a neovladatelným retenčním prostorem, kde ochranná funkce není dominantní.

Velké vodní nádrže a přehrady a jejich funkce

Nádrže, které nesplňují kritérium popsané v normě ČSN 75 2410 a nejedná se tak o malé vodní nádrže můžeme označit jako větší a velké nádrže a přehrady. Tyto velké vodní nádrže a přehrady mají stejné nebo podobné funkce jako malé vodní nádrže. Nejdůležitějšími funkcemi jsou zejména tyto dvě:

Zásobní funkce – pro zajištění zdroje vody (i pitné), zlepšení průtoků v tocích

Ochranná funkce – ochrana při povodňových situacích snížením průtoků

Další důležité funkce je energetická, rekreační. Dále pak funkce úpravy vlastností vody a zachycování splavenin.

Velké vodní nádrže a přehrady a jejich dělení

Vodní nádrže a přehrady také můžeme dělit podle jejich ročních cyklů na několik druhů:

Roční cyklus nádrže – každý rok se nádrž řídí stejným nebo podobným cyklem (vypouštění a napouštění nádrže)

Víceletý cyklus nádrže – nádrž by se každý rok nedokázala celá naplnit (nevyprazdňuje se úplně)

Krátkodobý cyklus nádrže – denní nebo týdenní řízení odtoku

Nepravidelný cyklus nádrže – nepravidelné vypouštění

(Brandt et al., 2017)

4 Srážky a odtok

4.1 Vznik srážek

Serrano (1997) uvádí, že pro vznik srážek je potřeba splnit několik aspektů. V zásadě to je produkce nasyceného vzduchu a kondenzace vodních par na ledové krystaly nebo kapky vody. Dále je zapotřebí neustálý růst těchto podmínek a dostatečné množství vlhkého vzduchu. Pro vytvoření srážek je zapotřebí ochladit teplý vzduch. To se děje několika způsoby, kterými jsou advekce, radiace nebo smícháním vzduchových hmot s rozdílnou teplotou. Avšak nejúčinnější metoda, díky které se vytvoří oblačnost s největší potencionální srážkovou činností, je spojena s vertikálním pohybem vzduchu.

Nejčastější možnost vertikálního pohybu vzduchu souvisí s frontálními systémy (Vysoudil, 2013). Na frontálním rozhraní (teplá a studená fronta) teplý vzduch stoupá, překročí hranici kondenzace, na které je 100% relativní vlhkost. Nad hranicí kondenzace je již voda ve formě malých kapiček, které kondenzují na kondenzačních jádrech. V tomto momentě se začíná uvolňovat kondenzační teplo. Následně se vytvoří oblačnost (nejčastěji typu stratus, ale i cumulus), která přináší pravidelné srážky (Brutsaert, 2005; Davie, 2008).

Druhá možnost, jak se vzduch může dostat do vyšších výšek, popisuje Davie (2008). Tato situace nastává, pokud je vzduch zahříván zemským povrchem. V takovém případě vystoupá přes hornatý terén, který tvoří přirozenou překážku. Ve vyšší výšce, nad hranicí kondenzace, se vodní pára přemění na kapičky vody nebo na sněhové vločky. Oblačnost, která vznikne tímto způsobem, se nazývá orografická. Srážky v takovém případě častěji dopadají na tzv. návětrnou stranu pohoří.

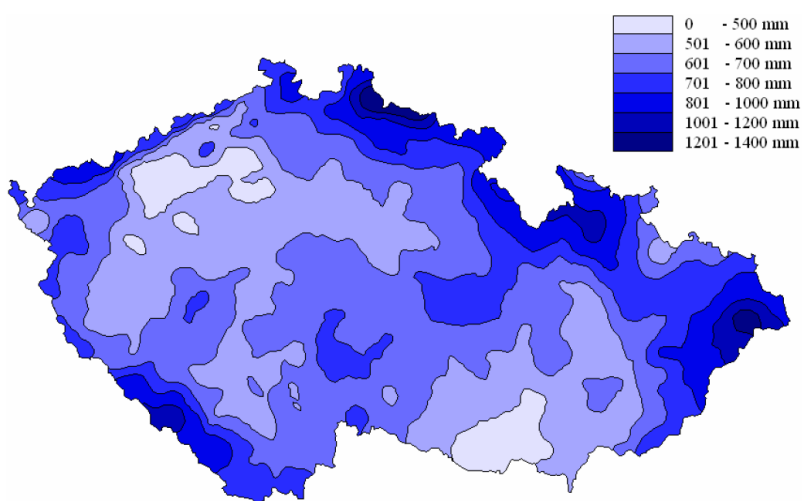
Třetí možností jsou srážky konvektivní. Konvekce závisí na rozložení vertikálního profilu atmosféry. Konvektivní srážky opět souvisí s vertikálními pohyby vzduchu. Tyto pohyby se dělí na vertikální a horizontální. Ohřátý vzduch má nižší hustotu a stoupá tak vzhůru. Poté co dosáhne hranice kondenzace a je zároveň ve stavu nasycení, tak se z této oblačnosti vytvoří oblačnost typu cumulus nebo cumulonimbus. Takovou to oblačnost tvořící se díky konvekci máme spojenou s výraznou srážkovou činností. Těmto srážkám se lidově říká „bouřky z horka“. Studený vzduch, který pak klesá dolů k zemi, má silné ochlazující účinky (Řezáčová et al., 2007).

4.2 Dělení srážek

Základní rozdělení srážek jest na srážky vertikální a horizontální.

Horizontální srážky jsou rosa, jinovatka a námraza. Rosa vzniká kondenzací vzdušné vlhkosti, pokud teplota vzduchu klesne na teplotu rosného bodu. Stává se tomu tak nejčastěji v ranních hodinách. Jinovatka se tvoří také při kondenzaci vzdušné vlhkosti, pokud je ovšem teplota rosného bodu záporná. Poslední z jmenovaných námraz vzniká, pokud má povrch země nižší teplotu než okolní vzduch. Námraza může vzniknout kdykoli během dne (Maidment, 1993).

Vertikální srážky jsou ty srážky, kdy skutečně voda v nějaké podobě padá z atmosféry. Vysoudil (2013) rozděluje vertikální srážky na déšť, mrholení, sníh, kroupy, ledový déšť a ledovku. Základní rozdíl mezi deštěm a mrholením je ve velikosti kapek. Při mrholení je totiž velikost vodních kapek menší než 0,5 mm. Dráha dopadu těchto kapiček na zem je mnohonásobně větší než při dešti. Sníh padá, pokud je celý prostor mezi zemským povrchem a mraky v záporné teplotě. Kroupy se vytvářejí ve vegetačním období. Část mraku je pod izotermou 0 °C (v záporné teplotě) a část je nad touto hodnotou (tedy má kladnou teplotu). Ledový déšť vzniká z pravidla začátkem a koncem zimy, kdy vodní pára sice kondenzuje na kapalně kapičky vody, ale při pádu směrem k zemi překoná hranici 0 °C a na zem již dopadne v pevné formě. Ledovka se vytváří zejména při kapalných srážkách, které dopadnou na zem sice v kapalně formě, ale hned dochází k jejich přeměně na led. Starý (2005) uvádí, že dlouhodobý roční průměrný úhrn srážek pro celou Českou republiku je 672 mm. Obrázek 4.4 ukazuje průměrný roční úhrn srážek v ČR.



Obrázek 4.4 Dlouhodobý roční průměrný úhrn srážek v ČR (Starý, 2005)

4.3 Vznik odtoku

Odtok vody z povrchu země je spojen s výskytem příčinné srážky. Důležitými faktory pro vznik povrchového odtoku jsou půdní poměry a morfologie. Velkou roli také hraje vegetační pokryv. Pak už jenom záleží, jaké množství vody se vsákne do země a jaké odteče po povrchu. V takovém případě mluvíme o povrchového odtoku (Stašek et al., 2018).

4.4 Dělení odtoku

Celkový odtok

Hall (1968) uvádí, že určité množství vody, které odteče z povodí za jednotku času, se nazývá celkový odtok. Je to celkové množství vody, které odteče v řekách, ale i pod povrchem země. Celkový odtok můžeme rozdělit na povrchový odtok a podpovrchový odtok.

Povrchový odtok

Povrchový odtok může vznikat, buďto při překročení infiltrační kapacity půdy nebo při dosažení stavu nasycení půdy. Pokud vznikne první možnost – překročením infiltrační kapacity půdy – děje se tomu v případě, kdy půda ještě není nasycena. Obsah vody v půdě není v tomto případě podstatný. Rozhodujícím faktorem je intenzita srážek, která převyšuje rychlost vsakování vody do půdy. Tento odtok nastává častěji během krátkých, ale intenzivních dešťů (Serrano, 1997). Při druhé možnosti vzniku povrchového odtoku je půdní profil zcela zaplněn vodou. Další voda ze srážek se tedy nemá kam vsakovat, protože půda dosáhla stavu nasycení. Tato situace nastává častěji při dlouhotrvajícím dešti o malé nebo střední intenzitě (Beven, 2012).

Podpovrchový odtok

První typ podpovrchového odtoku označujeme jako hypodermický odtok (interflow). Hypodermický odtok vzniká pod povrchem a jde o relativně rychlou složku odtoku, která probíhá ve střední vrstvě půdy. Voda z hypodermického odtoku se dostává do vodních ploch pomaleji než povrchovým odtokem. V lokalitách s vysokou infiltrací a větší svažítostí terénu může však být tato podoba odtoku dominantní (Kříž, 1983).

Základní odtok

Další druh odtoku je odtok základní. Základní odtok představuje dynamickou složku podzemních vod a je samozřejmě součástí celkového odtoku. Dá se definovat jako přítok podzemních vod do toku (Hall, 1968). Někdy se označuje jako odtok podzemní

vody. Pomocí základního odtoku se zjišťují změny zásob podzemních vod (Kříž, 1983).

Přímý odtok

Přímý odtok je složen z povrchového a hypodermického odtoku. Vzniká zejména díky dlouhodobější srážkové činnosti, nebo při tání sněhu, a to v jejím průběhu nebo krátce po skončení. Jedná se o rychlou složku odtoku (Beven, 2012).

5 Srážko-odtokové události

Při popisu srážkoodtokových událostí Beven (2012) uvádí, že vždy existuje vztah mezi srážkou a odtokem. S tímto vztahem většinou pracujeme v rámci jednotlivých povodí. Odtok tedy vzniká díky srážkám, které nejvíce ovlivňují jeho objem, ale je také ovlivněn řadou dalších aspektů, jako je velikost povodí, tvar povodí, sklonitost terénu, hydrografická síť, geologie povodí, využití území a vegetační pokryv.

5.1 Průtok

Průtokem se rozumí objem vody Q , který proteče daným průtočným profilem za jednotku času t , většinou za sekundu (Dub, 1963). Může se zjistit jako celkové množství vody, které odeče z povodí uzávěrovým profilem vodního toku za určitý čas. Zjišťování průtoků se však nejčastěji provádí na příčném profilu toku, kde se zjistí objem vody v korytě a následně rychlost proudění vody (Brandt et al., 2017). Podrobněji jsou metody měření průtoků popsány níže.

Měření průtoků

Okamžitý průtok v toku je výsledkem složitého procesu. Není tedy stálý, ale velmi proměnlivý. Když se změní průtok, změní se také hladina toku. Okamžitý průtok nelze běžně určit přímo, proto se musí měřit takový prvek, který je lehce měřitelný a má vztah s průtokem. Tímto prvkem je vodní stav (Dub, 1963).

Sledování průtoků a stavů vodní hladiny se provádí ve vodočetných stanicích, které tvoří síť vodočetných stanic. Staniční sítě jsou rozděleny do tří druhů – základní (pro pozorování, vyhodnocování, předpověď a varovnou službu); sekundární (doplňování, ověření a upřesnění údajů) a účelové (příprava podkladů pro technické záměry). Samotná úroveň vodní hladiny se měří ve vodočtech, ve většině případů se k tomu používá laťový vodočet. Ten existuje buď šikmý nebo svislý, podle toho, kde je umístěn. Na důležitých tocích se používají limnigrafy, které měří přímo průtoky. Ty většinou fungují tak, že plovák v toku sleduje kolísání hladiny a následně se tato informace o vodním stavu mechanicky přenesou pisátkem na papír (Kemel, 2000). Kromě limnigrafů se také používají k měření průtoků přelivy, přepady či žlaby. V současnosti jsou však již pro měření průtoků používány modernější technologie. Často se používá například měření ultrazvukem (ADCP ultrazvuk). Tento způsob funguje na principu Dopplerovi metody tak, že na plováku je umístěno čidlo vysílající ultrazvukové impulzy, ze kterých se po odražení získá tvar koryta a rychlost proudění. Dále se také používají různé systémy měřících křídel a vrtulí, které měří přímo průtok ve vodním

toku. Dnešní moderní systémy také naměřené informace o vodním stavu přenášejí na vzdálené místo (například pracoviště ČHMÚ) on-line (Hrádek a Kuřík, 2002).

Extrémní průtok

Extrémní průtoky jsou nejvyšší nebo nejnižší hodnoty odtoku, které se vyskytly v určitém časovém období. Do extrémních průtoků řadíme minimální a maximální průtoky. Sestavují se také N-leté maximální a N-leté minimální průtoky (Starý, 2005).

Minimální či nízké průtoky znamenají sucho. To je stav, kdy jest v daném profilu toku průtok dlouhodobě pod normálním stavem. V tomto případě se jedná o hydrologické sucho. Hydrologické sucho nejčastěji přímo navazuje na sucho meteorologické a projevuje se s mírným zpožděním oproti tomuto suchu. Meteorologické sucho je způsobené zejména nedostatkem srážek (Palmer, 1965). Monitorování nízkých průtoků se provádí z důvodu posouzení ekologického stavu toku. Při nízkém průtoku je negativně ovlivněna nejen kvalita vody a vodní organismy, ale i celkové zásobování vodou nebo splavnost toku (Brázdil a Trnka, 2015).

Povodně

Obrácený případ jsou maximální průtoky. Tyto extrémní průtoky se označují jako povodně. Nejčastěji se uvádí, že povodeň je situace, kdy množství vody z různých příčin překročí kapacitu koryta toku, nebo jako náhlé zvětšení vodního stavu. Povodně se dělí na dešťové, to jsou takové, které vznikají jen z dešťových srážek. Dešťové povodně se dále dělí na povodně z trvalých srážek (dlouhá doba trvání, nižší intenzita deště) a z přívalových srážek (krátká doba trvání ale vysoká intenzita deště). Pokud nastanou povodně, kdy je intenzita srážek vyšší než 100 mm za hodinu, označujeme takové povodně jako bleskové (Pavelková Chmelová a Frajer, 2013). Dalším druhem povodní jsou povodně sněhové. Ty jsou způsobené pouze táním sněhové pokrývky při kladných teplotách v zimním a jarním období. Třetí typ povodní jsou povodně smíšené. Ty jsou kombinací předchozích dvou typů. Jsou často vázány na rozdílné povětrnostní situace. Často tyto povodně vznikají na začátku jara, když se oteplí a jsou tedy kladné teploty vzduchu a zároveň i silnější vítr. Během zimy nebo na jaře také mohou vznikat ledové povodně. Tyto povodně jsou způsobené ucpáním koryta vodního toku ledovými kry. Zvláštním druhem povodní jsou povodně, které mají specifickou příčinu vzniku. Tou může být přehrazení koryta vodního toku sesuvem půdy nebo spadlou lavinou. Do kategorie zvláštních povodní řadíme také povodně vzniklé ucpáním mostních otvorů či propustků různými splaveninami. Posledním druhem zvláštních

povodní jsou povodně vznikající narušením nebo protržením vodního díla (Brázdil et al., 2005).

Kulminační průtok a N-letý průtok

Brázdil et al. (2005) definuje kulminační průtok jako nejvyšší vrcholový průtok u průtokové vlny. Pomocí něj lze také charakterizovat povodně. Velikost kulminačního průtoku rozhoduje o tom, jaké škody povodně napáchají. Brandt et al. (2017) píše, že z hodnot kulminačních průtoků jednotlivých povodní se stanovují N-leté (kulminační) průtoky. Tyto maximální průtoky různé pravděpodobnosti slouží mimo jiné k projektování (správnému dimenzování) vodohospodářských staveb.

Při povodních dochází k překročení právě N-letých průtoků. Například při průtoku Q_{100} mluvíme o tzv. stoleté vodě. Tento průtok je v dlouhodobém průměru dosažen nebo překročen jednou za 100 let. Tento konkrétní průtok Q_{100} může být však samozřejmě překročen klidně třikrát do roka, ale posléze musí být v daném profilu průtoky po dobu 297 let nižší. Pravděpodobnosti překročení kulminačních průtoků a průměrné doby opakování se stanovují pomocí metod teorie pravděpodobnosti (Starý, 2005).

5.2 Čáry překročení

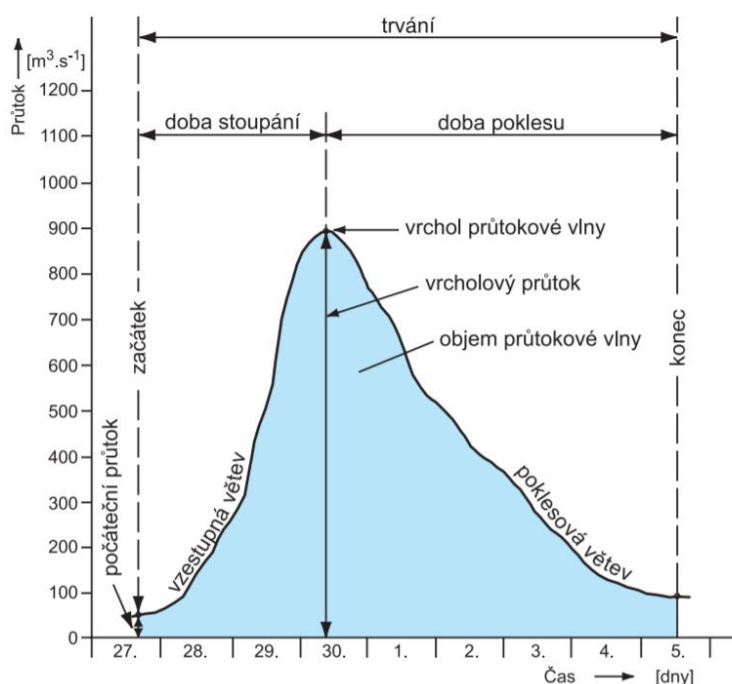
Čáry překročení udávají kolikrát nebo po jakou dobu byla určitá hodnota překročena. Jedná se o hodnoty překročení (nebo alespoň dosažení) průměrného ročního průtoku (Dub, 1963). Ten se vypočítává z dostatečně dlouhé řady pozorování průměrných ročních průtoků. Čáry překročení se dále zpracovávají a s pomocí jejich výsledků jsou zpracovávány údaje, které se používají při projektování vodohospodářských staveb (Starý, 2005). Čáry překročení se dělí na empirické a teoretické.

Empirické čáry se sestavují pomocí histogramů četností, což jsou sloupcové diagramy, vytvořené z hodnot a jejich četností. Po další úpravě histogramu četností dostaneme body, které po plynulém spojení určí průběh empirické čáry překročení. Přesnost empirických čar překročení je přímo úměrná délce řady pozorování. Čím je období delší, tím je čára překročení přesnější. Pro krátká období pozorování tedy není vhodná, a proto se zavádí teoretická čára překročení. Teoretická čára překročení má plynulejší průběh ve střední části a jelikož umožňuje extrapolaci čáry, můžeme ji použít také pro extrémní hodnoty (Kemel, 2000).

5.3 Hydrogram

Zhou et al. (2019) uvádějí, že hydrogram popisuje hydrologický jev Q (průtok, odtok) v závislosti na čase t . Pomocí hydrogramu nejčastěji znázorňujeme průtok, takový hydrogram se též nazývá čára průtoků. Hydrogramem povodně lze v libovolném profilu na vodním toku znázornit průběh povodně, tedy časový průběh povodňového průtoku. Ten se vyznačuje vzestupnou a sestupnou větví. Starý (2005) popisuje hydrogram povodně těmito veličinami: kulminačním průtokem Q_{\max} , objemem povodně (povodňové vlny) W a samotným tvarem hydrogramu. Jako objem povodňové vlny se počítá veškerý objem proteklé vody od začátku do konce povodně.

Na následujícím obrázku popisuje Brázdil et al. (2005) hydrogram průtokové (povodňové) vlny. Jak je vidět, vzestupná větev začíná stoupat při překročení počátečního průtoku. K tomu dochází zejména díky srážkám, ale i třeba táním sněhu. V určitém bodě se stoupání zastaví, tento bod se nazývá vrchol průtokové vlny a nastává zde kulminační průtok. Od tohoto bodu průtok klesá až na hodnotu počátečního průtoku. Pokles je znázorněn sestupnou větví (větev poklesu).



Obrázek 5.5 Hydrogram průtokové vlny (Brázdil et al., 2005)

5.4 Efektivní srážka a jednotkový hydrogram

Srážky se mimo jiné mohou dělit na dvě části. Dub (1963) je rozděluje takto: Jedna část srážek je na povodí zadržena například rostlinami. Druhá část spadne na povrch země do určitého povodí, nevsákne se, nevypaří se, ale je schopna odtoku, a proto následně odeče. Taková srážka se nazývá efektivní. Efektivní srážka je také nazývána srážkou příčinou. Odtok vyvolaný právě efektivní srážkou je odtokem přímým.

Starý (2005) uvádí, že efektivní srážku o konstantní intenzitě a rovnoměrném rozložení nad povodím popisuje jednotkový hydrogram. Ten právě stanovuje vztah mezi srážkou a odtokem, protože vyjadřuje závislost objemu odtoků na morfologických a fyzikálních vlastnostech povodí. Součin plochy a srážkové výšky efektivní srážky se pak rovná objemu jednotkového hydrogramu. Podle Daňhelky (2007) je jednotkový hydrogram unikátní pro každé povodí. Vyjadřuje v podstatě časové rozložení odtoku z jednotky příčinné srážky. Jeho stanovení je možné na základě historických srážkových a průtokových řadách, v nichž jsou vyhledávány situace, kdy srážka vyvolala odtok. Ve skutečnosti však situace s výskytem srážky, která by odpovídala teorii jednotkovému hydrogramu, existuje jen výjimečně, a proto byly odvozeny syntetické jednotkové hydrogramy. Serrano (1997) píše, že díky jednotkovému hydrogramu jsou hydrologové schopni předpovědět povodňové vlny při intenzivních deštích, navrhovat vodohospodářské stavby a provádět jiné důležité věci, založené právě na jednotkovém hydrogramu.

6 Faktory ovlivňující odtok vody z povodí

Faktorů, které ovlivňují odtok vody z povodí je několik. Jedná se o plochu povodí, délku povodí, tvar povodí, orografické faktory, geologii, půdní vlastnosti a v neposlední řadě vegetační pokryv a lidský faktor (Pavelková Chmelová a Frajer, 2013). Tyto faktory jsou podrobněji popsány níže.

Plocha povodí

Plocha povodí, značena F , je jednou ze základních charakteristik povodí. Poskytuje prvotní názor o významu toku. Velikost odtoku většinou roste s velikostí povodí. Odtok je vztažen k určitému profilu na toku – uzávěrovému profilu. Plocha povodí se nejčastěji zjišťuje přímo z mapy, například ručně planimetrováním nebo pomocí počítačových metod. Jednotlivá povodí od sebe odděluje rozvodnice. Plocha povodí se nejčastěji uvádí v km^2 nebo v ha (Kemel, 2000). Velikost odtoku většinou roste s plochou povodí a zároveň s rostoucí plochou povodí se také zvětšuje kulminační průtok (Daňhelka, 2007).

Délka povodí

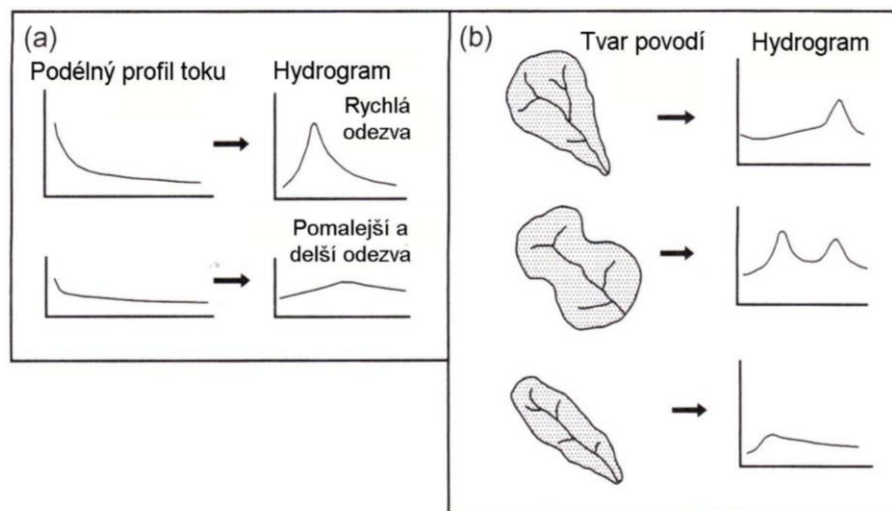
Délka povodí jest přímá vzdálenost mezi ústím toku a nejbvzdálenějším bodem povodí. Značí se L a udává se v kilometrech. Dále určujeme délku toku, což je vzdálenost ústí od pramene toku, měřená na střednici. Délka povodí i délka toku mají přímý vliv na odtok vody z povodí (Pavelková Chmelová a Frajer, 2013).

Tvar povodí

Dub (1963) uvádí, že povodí, které je přirozené a nepozměněné má většinou tvar více či méně symetrického listu. Tento list může být protáhlý, nebo spíše širší, tedy kruhový. Ten se nazývá též vějířovitý. Samotný tvar povodí lze pak vyjádřit koeficientem tvaru povodí α jako poměr průměrné šířky povodí B a délky povodí L .

$$\alpha_T = \frac{B}{L} = \frac{B \cdot L}{L^2} = \frac{F}{L^2}$$

Gordon et al. (2004) popisují, že u širších povodí většinou platí, že odtokové dráhy jsou kratší a dochází tak k rychlejšímu odtoku z povodí. Právě u těchto povodí tedy spíše dochází k povodňovým vlnám s velkým kulminačním průtokem. Naopak u povodí, které jsou protáhlé jsou kulminační vlny nižší. Větší kulminační vlnu s rychlejší odezvou lze také očekávat, pokud má podélný profil toku vyšší sklon. Na obrázku níže je vyobrazeno, jaký vliv má tvar povodí na velikost a tvar hydrogramu.



Obrázek 6.6 Tvar povodí
(Gordon et al., 2004)

Orografické poměry povodí

Orografické poměry povodí uvádějí jeho výškové a sklonitostní poměry. Tyto poměry nemají vliv pouze na samotný vodní tok, ale i na klimatologické a meteorologické charakteristiky (Kemel, 2000). Výškové poměry můžeme zjistit terénním průzkumem nebo z map pomocí vrstevnic. Orografické poměry se dají popsat pomocí hypsografické křivky. Křivka nám pak určí celkový charakter konfigurace povodí či extrémní nadmořské výšky v povodí. Z orografických charakteristik je nejdůležitější expozice hlavních svahů, ovlivňující proces odtoku vody z povodí. Pokud strmé svahy nejsou pokryty vhodnou vegetací, stékající voda nabírá značnou rychlost a sílu. Následně může způsobovat vodní erozi, zejména plošnou a rýhovou (Dub, 1963). Sklon povodí značně ovlivňuje nejen rychlost odtoku, ale také možnou infiltraci vody v povodí. Při větším sklonu povodí obecně platí, že rychlost odtoku je větší a infiltrace je menší (Beven, 2012).

Geologické a půdní poměry

Geologii povodí ovlivňuje zejména typ a mocnost půdy, dále pak hladina podzemní vody. Vlastní geologické podmínky se uplatňují převážně ve smyslu rozdělení na propustné a nepropustné podloží (Daňhelka, 2007). Propustnost území a infiltrační schopnost půdy má přímý vliv na utváření odtoku a jeho velikost. Vrstvy propustnější snižují povrchový odtok a zvětšují tak odtok podpovrchový (Němec, 1965). Geologické podmínky stanovujeme z podrobných geologických map. S geologickým podložím souvisí půdní poměry. Ty rozhodují o velikosti a intenzitě vsaku vody a tím i o velikosti časového a plošného rozdělení odtoku (Dub, 1963).

Vegetační pokryv

Využití území a vegetační pokryv má velký vliv na zachycení vody na povrchu, intercepci, evapotranspiraci a infiltraci. Přítomnost vegetace obecně zvyšuje zadržování vody v krajině. V podstatě jakýkoliv vegetační kryt zabraňuje erozi a z vodohospodářského hlediska je tedy výhodný. Pokrytí vegetací navíc podporuje pravidelný hydrologický cyklus (Němec, 1965). Vegetační pokryv také velmi výrazně určuje velikost odtoku. Stašek et al. (2018) zjistili, že vliv pěstovaných plodin na povrchový odtok je dán zejména schopností zpozdit začátek nesoustředěného povrchového odtoku a snížit tak jeho objem. Jednotlivé rostliny mají největší vliv na povrchový odtok v době, kdy mají největší listovou plochu a jsou tedy dostatečně vyvinuty. Z kulturních plodin na povrchový odtok má vliv pšenice, ječmen, řepka, vojtěška, menší vliv má pak pohanka. Zmíněné plodiny dokážou vlivem intercepce a podporou infiltrace zpozdit vznik povrchového odtoku až o 30 a více minut, v závislosti na vývojové fázi. Poměr odtoku se také u výše uvedených plodin snížil přibližně na polovinu oproti odtoku vody z holého úhoru. Daňhelka (2007) říká, že existují porosty, které naopak přispívají k rychlému povrchovému odtoku. Patří mezi ně chmelnice, vinice nebo plochy s porosty kukuřice. Snížení rychlosti odtoku lze však zajistit i při pokrytí travním porostem. Jak popisuje Němec (1965), takový povrch má vyšší drsnost a tím se tedy zmenšuje rychlost odtoku a zvyšuje se infiltrace do půdy. Kemel (2000) uvádí, že velký vliv na odtokový proces má zdravý smíšený les s vhodným zastoupením dřevin a dostatečnou vrstvou hrabanky a humusu. Takový les dokáže pojmout značné množství vody ze srážek. Voda se následně vsákne, je předávána spodním vrstvám a zásobuje tak postupně vodní tok. Díky tomu se tedy opět sníží kulminační průtok.

Lidský faktor

Lidský faktor má velký vliv na odtokové poměry a na vodní režim krajiny. Činnost člověka ovlivňuje krajinu po staletí. Je známo, že odlesňování, rozvoj a rozšiřování zemědělství a zejména urbanizace jsou důvody, díky kterým se snižuje míra infiltrace v krajině a současně se přitom zvyšuje povrchový odtok (Serrano, 1997). Mnohé z přirozených hydrologických faktorů byly postupem času stále více měněny lidskou činností. Změna odtokových podmínek vlivem lidské činnosti byla zapříčiněna zejména vysokou spotřebou vody v průmyslu, intenzifikací zemědělství, změnami v lesním hospodářství, budováním odvodnění a růstem zastavěné plochy (Brázdil et al., 2005). Největší zásah do krajiny však nastává při povrchové těžbě nerostných zdrojů. Při této činnosti jsou narušeny veškeré vodní toky a vodní plochy. Tato činnost také vyvolává

změny v podpovrchových vodách (Kemel, 2000). Činnost člověka v přírodě je však mnohotvárná, může též působit příznivě. Úpravami toků se mohou vylepšit odtokové poměry v povodí, stavbami vodních ploch se zvyšují zásoby vody v krajině. Budování nových vodních nádrží se však musí provádět účelově a s ohledem na krajinný ráz (Němec, 1965).

7 Vliv vodních nádrží na vodní režim krajiny

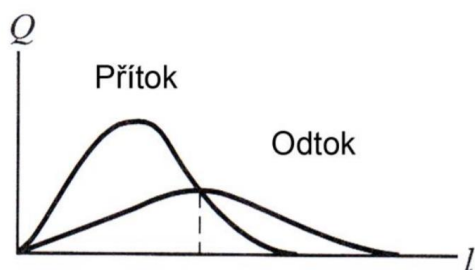
Vodní nádrže přispívají k zadržení vody v krajině. Jsou důležitým faktorem pro zachycení a zadržení srážek. To vede ke zpomalení povrchového odtoku. Dále hrají vodní nádrže rovněž významnou úlohu v transformaci kulminačních průtoků, což vede k omezení škod při povodních v bezprostředním okolí vodních toků. Děje se tak díky retenční schopnosti vodních nádrží. Za podstatnou roli retence vody v krajině lze mimo jiné považovat zvyšování zásob podzemních vod infiltrací povrchové vody do spodních horizontů, což ve svém důsledku vede k ovlivnění průtokového režimu vodních toků v povodí (Konečná et al., 2018). Malé vodní nádrže tvoří v krajině významný prvek její ekologické stability. Výstavba i obnova vodních nádrží jest efektivním revitalizačním opatřením v krajině. Vodní nádrže mají několik funkcí, jak již bylo ostatně popsáno v kapitole uvedené výše. Vždy mají jednu hlavní funkci, pro kterou byly budovány, což může být například retence vody, nebo chov ryb. Na vodní nádrže však vždy musíme pohlížet jako na multifunkční nádrže, které ovlivňují vodní režim krajiny během povodní i sucha. Právě v období sucha se dají očekávat větší škody a negativní účinky než při povodních. Zachování minimálních průtoků, díky vodním nádržím má cenný environmentální i zdravotní efekt na krajinu a její ekosystémy (Slavík a Neruda, 2007).

V povodích mají z hydrologického hlediska svůj význam průtočné i neprůtočné nádrže. Především neprůtočné nádrže mohou značnou část vody zadržet, takže se dále nepodílí na maximálním průtoku v toku samotném. Průtočné vodní nádrže pak retardačním účinkem zpomalí odtok velkého množství vody a podílí se tak na transformaci povodňové vlny. Vodní nádrže mají také regulační účinek. Toky vytékající z vodních nádrží mají vyrovnanější vodní režim než jiné toky. V jaké míře může vodní nádrž ovlivnit vodní režim toku, závisí na tom, kde se vodní nádrž nachází. Pokud je situována v horní části toku, nemá na vodní režim toku takový vliv, jako nádrž umístěná v dolní části toku (Kemel, 2000).

Každá vodní nádrž představuje složitý ekosystém. Přírodní vodní nádrže a mokřady mají svůj specifický a dlouhodobě nenarušený ekosystém. Umělé vodní nádrže vytvořené člověkem existují teprve několik desítek či stovek let. Jejich ekosystémy jsou méně stabilní a více ovlivněné právě člověkem. Tyto vodní nádrže mají také často kolísavou úroveň hladiny vody. Všechny vodní nádrže také ovlivňují mikroklima, velké vodní nádrže dokonce mohou ovlivnit klima celé oblasti (Dub, 1963).

8 Vliv vodních nádrží na velikost a tvar hydrogramu při srážko-odtokových událostech

Jak již bylo v této práci mnohokrát uváděno, vodní nádrže mají velký vliv na celý vodní režim krajiny. Jejich zásadní schopností jest retence a akumulace vody. Povodně, které se u nás vyskytují, mají často katastrofální následky. Úkolem, kterým se zabývají vodohospodáři, je minimalizovat případné následky povodní všemi dostupnými prostředky. Jednou z možností je maximální využití potenciálu vodních nádrží. Díky zadržování vody jsou vodní nádrže schopny ovlivňovat povodňové průtoky v tocích při srážko-odtokových událostech (Starý, 1986). Na obrázku 8.7 je zobrazen příklad transformace povodňové vlny ve vodní nádrži.

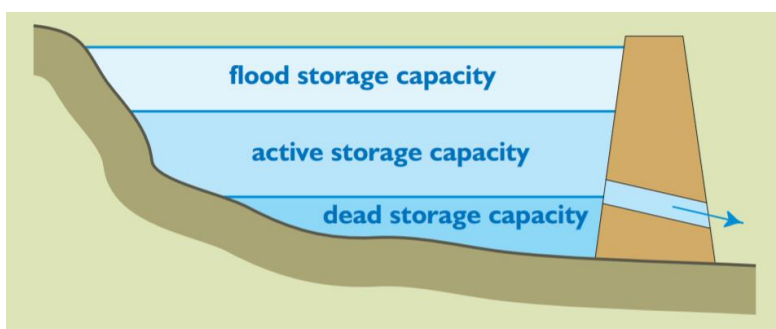


Obrázek 8.7 Příklad transformace povodňové vlny ve vodní nádrži
(Bedient et al., 2013)

Z hlediska vlivu na extrémní průtoky, tedy na protipovodňovou ochranu má zásadní vliv retenční prostor ve vodních nádržích. Tento prostor je na počátku povodně prázdný a může se tak podílet na utlumení povodňových průtoků (Loucks a Beek van, 2005). Hlavní funkcí retenčních vodních nádrží je zajištění ochrany níže ležícího území před zaplavením nebo zamokřením. Retenční nádrže mají za cíl zachytit podstatnou část nebo celý povodňový průtok včetně splavenin (Bedient et al., 2013). Nově navrhované vodní nádrže mají velikost retenčního prostoru navrženou ve vztahu k očekávaným povodňovým vlnám. Tyto povodňové průtoky je možné zjistit například pomocí modelování v prostředí GIS. Akumulační prostor pro dlouhodobé zadržení vody, přispívá ke zlepšení vodního režimu krajiny, ale na tlumení velkých povodňových vln se nepodílí (Loucks a Beek van, 2005). Větší funkci pro regulaci extrémních průtoků mají právě vodní nádrže s ovladatelným retenčním prostorem, případně pak velké vodní nádrže se spodní výpustí nebo hrazeným přelivem, u nichž je možné zvyšovat odtok z nádrže a udržovat tak retenční prostor prázdný pro kulminační průtok. Dále

jsou to pak poldry, které jsou na začátku povodňové vlny úplně prázdné. Menší vliv na povodňové průtoky pak mají malé vodní nádrže a rybníky bez ovladatelného retenčního prostoru (Brandt et al., 2017).

Volpi et al. (2018) potvrzují, že jeden z hlavních parametrů vodních nádrží, které mají protipovodňovou funkci, je velikost retenčního prostoru vodních nádrží. Tyto nádrže zejména snižují kulminační povodňovou vlnu, jejím zadržením ve vodní nádrži. Stejný objem vody, který se zadrží, se následně postupně odpouští z nádrže. Rozdělený prostor ve vodní nádrži je na obrázku níže. Dalším důležitým faktorem pro protipovodňovou ochranu je poloha vodních nádrží. Umístění vodní nádrže do krajiny závisí na mnoha faktorech. V dnešní době se jejich poloha velmi pečlivě zvažuje.



Obrázek 8.8 Prostory vodní nádrže

Flood storage c. – retenční prostor

Active storage c. – rezervní prostor

Dead storage c. – zásobní prostor

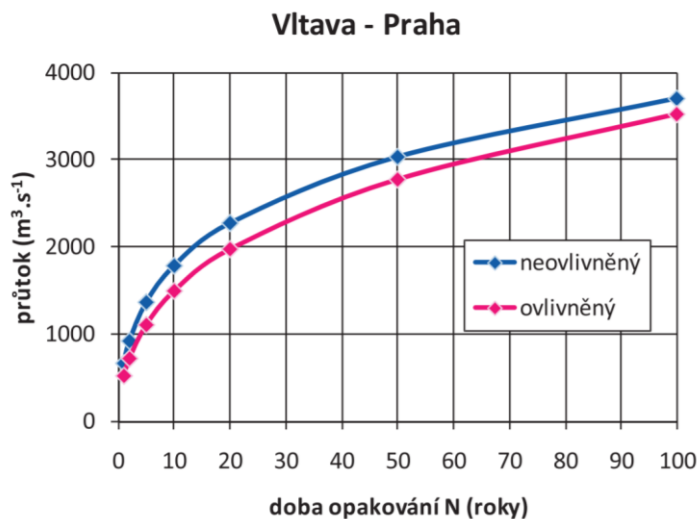
(Loucks a Beek van, 2005)

Mei et al. (2016) zkoumali vliv vodních nádrží na výskyt povodňových průtoků na vybraných řekách v USA. Bylo vybráno 38 vodních nádrží, rozmístěných v šesti klimatických oblastech po celých Spojených státech. Použitá data byla sbírána nejméně dvacet let před výstavbou nádrží, a také nejméně dvacet let po výstavbě jednotlivých nádrží. Z výsledků vyplynulo, že po výstavbě nádrží byly výrazně stabilizovány odtoky, díky jejich regulacím. Dále popisují, že po výstavbě vodních nádrží, byly v 37 případech sníženy roční kulminační průtoky a v 25 případech byl zjištěn významný pokles tendence pro vznik povodňových průtoků. Autoři také popisují, že vliv vodních nádrží na povodňové průtoky závisí na velkém množství faktorů, zejména pak na jejich poloze, charakteru, funkci a velikosti retenčního prostoru.

8.1 Vltavská kaskáda

Vltavská kaskáda je nejvýznamnější vodohospodářskou soustavou v povodí Vltavy. Její role během povodňových událostí v letech 2002 a 2013 byla zásadní. Manipulace, které byly prováděny na vodních nádržích, vedly k částečnému snížení kulminačního průtoku a zároveň tak poskytly čas pro přípravu protipovodňových opatření v Praze (Fošumpaur a Kopecká, 2013). Při povodni roku 1954 se poprvé projevil význam Vltavské kaskády, kdy byla povodňová vlna snížena zachycením vody v jen částečně naplněné nádrži Slapy, jejíž hráz byla v té době teprve dokončována. Zatímco neovlivněný přítok do Slap $2920 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ by byl druhou nejhorší povodňovou vlnou v Praze ve 20. století, tak roku 1954 protékalo Prahou jen $2240 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Brázdil et al., 2005). Nej důležitější vodní nádrže na Vltavě, z hlediska ochrany před povodněmi, jsou nádrže s největším ovladatelným ochranným prostorem. Tyto nádrže poskytují největší protipovodňovou ochranu. Jsou jimi v. n. Lipno I, v. n. Orlický náhon a v. n. Slapy (Fošumpaur a Kopecká, 2013).

Snížení povodňových průtoků na Vltavě v Praze není jen vlivem přehrad Vltavské kaskády. Kašpárek a Bušek (1990) popisují, že vliv velkých vodních nádrží na povodně v Praze v druhé polovině 20. století byl omezený, protože v tomto období došlo k poklesu kulminačních průtoků. Jde o přirozené kolísání hydrologických procesů. Dále současně upozorňují na možnost vzniku povodí generovaných z Berounky a Sázavy. Tyto řeky jsou bez větší regulace. Hrozí zde proto jisté povodňové nebezpečí, zejména pro Prahu a samozřejmě pro oblasti dále po proudu. Kašpárek et al. (2012) zjistili, že největší zmenšení povodňových průtoků díky Vltavské kaskádě, se projevuje u desetiletých a dvacetiletých kulminačních průtoků. V případě jedno, dvou a pětiletých průtoků je zmenšení menší, protože se retenční prostor nádrží nechává volný pro možný další nárůst průtoků. Naopak v případě padesát a více letých průtoků je vliv Vltavské kaskády menší z důvodu zaplnění retenčních prostor ještě před dosažením kulminačních průtoků. U nižších průtoků je zmenšení vlivem Vltavské kaskády na Vltavě v Praze do 15 %, u desetiletých a dvacetiletých průtoků okolo 22 % a u stoletých průtoků se zmenšení pohybuje do 6 %. Toto také potvrzují Kašpárek a Bušek (1990), kteří uvádějí, že snížení kulminačních průtoků díky Vltavské kaskádě je v Praze v rozmezí $0-800 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Na následujícím obrázku jsou zobrazeny čáry opakování maximálních ročních průtoků na Vltavě v Praze.



Obrázek 8.9 Čáry opakování maximálních ročních průtoků na Vltavě v Praze (Kašpárek et al., 2012)

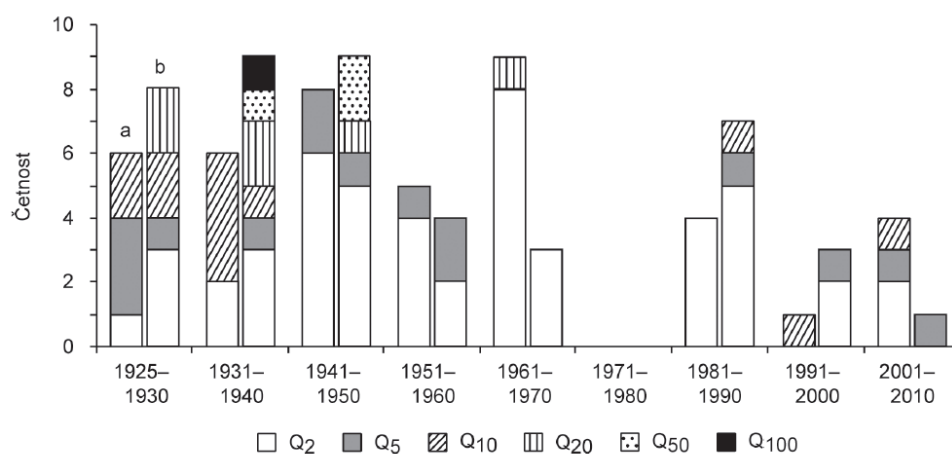
8.2 Vodní nádrž Vír

Vodní nádrž Vír leží v horním povodí řeky Svratky. Výstavba této vodní nádrže probíhala v letech 1949-1957. Objem nádrže činí 56,19 mil. m³ a zatopená plocha je 223 ha. Vodní dílo slouží k regulování odtoku (zadržování vody v době jejího nadbytku a zlepšování průtoků pod nádrží v době sucha), k protipovodňové ochraně, k výrobě elektrické energie a pro vodárenské účely (zásobárna pitné vody). Současně s výstavbou vodní nádrže Vír probíhala též stavba vodní nádrže Vír II, která slouží jako vyrovnávací nádrž (Broža et al., 2009).

Sklenář a Brázdil (2012) provedli časoprostorovou kvantitativní analýzu maximálních ročních průtoků a povodní jako extrémů hydrologického režimu na horní Svratce, v období systematických měření před a po výstavbě vodních děl Vír I a Vír II. Hodnoty průtoků byly zjišťovány z údajů zaznamenaných stanicemi Borovnice (před vodní nádrží Vír I) a ze stanice Vír (až pod vyrovnávací nádrží Vír II). Průměrný průtok v profilu stanice Borovnice z období 1931-1980 je 1,515 m³ * s⁻¹, přičemž data nejsou ovlivněny vodní nádrží Vír. Hodnoty ze stanice Vír jsou ovlivněné vodní nádrží. Vodoměrná stanice byla navíc dvakrát přemístěna. Dlouhodobý průměrný průtok ze stanice Vír ze stejného období je 3,920 m³ * s⁻¹. Pro analýzu byla použita data z let 1925-2010. Na základě tohoto dlouhodobého měření proběhlo srovnání maximálních měsíčních a ročních průtoků a všech povodní s kulminačními průtoky většími, než jsou

hodnoty dvouletého kulminačního průtoku. Hodnoty kulminačních N-letých průtoků ze stanice Vír se liší pro období před stavbou nádrže a po stavbě nádrže.

Na obrázku 8.10 je vyobrazena četnost výskytu povodní na stanicích Borovnice a Vír mezi lety 1925-2010 se zřetelem na jejich N-letost. Výrazně vyšší výskyt četností povodní připadá u obou stanic na první polovinu období. Ve stanici Vír připadá zvýšená četnost výskytu povodní na období před výstavbou vodní nádrže. Před výstavbou nádrže bylo v Borovnici zaznamenáno 20 povodní a ve Víru 26. V období po výstavě nádrže bylo v Borovnici zjištěno 23 povodní, ve Víru 18. Extremita povodní byla větší ve stanici Vír, avšak po stavbě vodní nádrže výrazně klesla.



Obrázek 8.10 Četnost výskytu povodní
 stanice Borovnice (a)
 stanice Vír (b)
 (Sklenář a Brázdil, 2012)

Sklenář a Brázdil (2012) dále uvedli, že po dokončení nádrže došlo ke zásadním změnám v rozložení průměrného ročního chodu průtoků. Průtoky ve vodoměrné stanici Vír byly před výstavbou vodní nádrže mnohem více proměnlivé. Je také zjevné, že vodní nádrž Vír způsobuje pokles rozkolísanosti maximálních ročních průtoků, pokles frekvence a kulminaci povodní. Rovněž opožďuje dobu kulminace, která může být ovlivněna vypouštěním vody z nádrže před příchodem povodňové vlny. Čekal et al., (2011) však konstatuje, že je třeba zmínit výraznou roli antropogenního odtokového režimu a konkrétních manipulací, se kterými je třeba počítat při jednotlivých analýzách. Rozhodování obsluhy o manipulacích je ovlivněno vývojem hydrometeorologické situace a vydané hydrometeorologické předpovědi. Obsluha vodní nádrže se může připravit na povodňovou vlnu upuštěním vody ve vodní nádrži.

Matějíček (1998) zmiňuje vliv Vírské přehrady na povodně v roce 1997. Podle něj, díky vodní nádrži Vír, byl během těchto katastrofálních povodní kulminační průtok v Brně pouze v rozmezí dvouletého až pětiletého kulminačního průtoku. Proto nedošlo v Brně k výraznějším záplavám. Avšak hráz vodní nádrže Vír se v roce 1997 opravovala, hladina vody byla tudíž upuštěna o 10 metrů. Volný retenční prostor nádrže zachytil velkou část povodňové vlny a snížil kulminační průtok.

8.3 Vodní nádrž Nové Mlýny

Vodní nádrž Nové Mlýny na řece Dyji se skládá ze tří nádrží: dolní, střední a horní nádrž, která je z vodohospodářského hlediska nejdůležitější. Jednotlivé nádrže jsou od sebe odděleny hrázemi. Vodní nádrž byla takto rozdělena z důvodu zajištění silničního spojení Brno-Vídeň. Stavba nádrže byla dokončena roku 1988, ale o její výstavbě se začalo jednat už v 50. letech 20. století. Nové Mlýny jsou největší vodní plochou v povodí Moravy. Hlavním důvodem ke stavbě vodní nádrže bylo zajištění vody v době sucha a regulace toku při povodních. Řeka Dyje měla v místech dnešní vodní nádrže nížinný charakter a také mnoho meandrů, proto se často vylévala z koryta řeky, kde pak dlouho zůstávala, což bylo pro zemědělství nežádoucí. Vliv této vodní nádrže na povodňové průtoky se prokázal při povodni v roce 2002. Do nádrží přitékal kulminační průtok zhruba $400 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, ale odtok byl díky volnému retenčnímu prostoru (asi 35,5 mil. m^3) snížen na $312 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Broža et al., 2009).

Sandev et al. (2006) uvádějí, že ještě větší význam měla vodní nádrž Nové Mlýny na jarní povodně v roce 2006. Před příchodem povodňové vlny byl v nádrži volný retenční prostor zhruba 42,3 mil. m^3 (z toho 24,3 mil. m^3 v dolní nádrži). Kulminační přítok do Nových Mlýnů byl $740 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Díky vodní nádrži byl tento průtok transformován v nádrži a snížen na $657 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Z důvodu žádosti o pomoc, o kterou požádalo Rakousko, kde došlo k protržení hráze Moravy a následné zaplavení několika obcí, byl průtok postupně dále snižován až na hodnotu $260 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Závěr

Tato bakalářská práce, která byla sepsána formou literární rešerše, pojednává o vlivu vodních nádrží na odtokové charakteristiky při srážko-odtokových událostech v povodí.

Úvod bakalářské práce se stručně věnuje hydrologickému cyklu a rozdělení vody. Poté je zde podrobně popsána důležitost výstavby vodních nádrží, jejich funkčnost, rozdělení a historie. Bakalářská práce rovněž rozebírá druhy srážek, faktory ovlivňující odtok vody z povodí a charakteristické znaky srážko-odtokových událostí. V neposlední řadě zmiňuje tato práce také vliv vodních nádrží na vodní režim krajiny. V závěru jsou uvedeny dokladující údaje, jaká je ve skutečnosti schopnost vodních nádrží ovlivnit odtokové události pomocí svého retenčního prostoru. Tato důležitá funkce vodních nádrží, která se často uplatňuje při povodních je popsána na konkrétních případech. Zvláště zajímavé je zjištění, co všechno vodní nádrže ovlivňují a dále také porovnání, jak jsou vodní nádrže schopny ovlivnit velikost kulminačních průtoků při povodních. Vodní nádrže nejsou přesto dostatečným řešením v případě velkých povodní. V jednotlivých povodích by se měly provádět kompletní úpravy vodních toků a jejich postupné navrácení do původních koryt. Důležitá je také tvorba suchých nádrží a poldrů. Téma ochrany před povodněmi bude i nadále zcela zásadní, měli bychom se tudíž zabývat otázkami, jak lze povodním z velké části předejít nebo zabránit jejich vzniku úplně.

Bakalářská práce se bezpochyby zabývá velmi důležitou problematikou, jíž by se její autor i v budoucnu rád hlouběji zabýval.

Seznam použité literatury

Seznam klasické literatury

ARNELL, N. a LIU, C. (2001). Hydrology and Water Resources. In: MCCARTHY, J. et al. (Eds.). *Climate Change 2001: Impact, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge University Press, Cambridge, s. 193-234. ISBN 0-521-80768-9.

BEDIENT, P. B. et al. (2013). *Hydrology and Floodplain Analysis*. 5. vydání. Pearson, Upper Sadle River, NJ, 816 s. ISBN 978-0-13-256796-1.

BEVEN, K. (2012). *Rainfall-Runoff Modelling: The Primer*. 2. vydání. Weley, Chichester, 457 s. ISBN 978-0-470-71459-1.

BRANDT, M. J. et al. (2017). *Twort's Water Supply*. 7. vydání. Elsevier, 676 s. ISBN 978-0-340-72018-9.

BRÁZDIL, R. et al. (2005). *Historie počasí a podnebí v Českých zemích: Historické a současné povodně v České republice*. Masarykova univerzita, Brno, 369 s. ISBN 80-210-3864-0.

BRÁZDIL, R. a TRNKA, M. (2015). *Historie počasí a podnebí v Českých zemích: minulost, současnost, budoucnost*. Centrum výzkumu globální změny Akademie věd České republiky, Brno, 402 s. ISBN 978-80-87902-11-0.

BROŽA, V. et al. (2009). *Přehrady Čech Moravy a Slezska*. Nakladatelství knihy 555, Liberec, 251 s. ISBN 80-86660-11-7.

BRUTSAERT, W. (2005). *Hydrology: an Introduction*. 8. vydání. Cambridge University Press, Cambridge, 605 s. ISBN 978-0-521-82479-8.

ČEKAL, R. et al. (2011). *Průvodce informacemi pro povodňové orgány*. Český hydrometeorologický ústav, Praha, 32 s. ISBN 987-80-86690-93-3.

DAÑHELKA, J. (2007). *Operativní hydrologie: Hydrologické modely a nejistota předpovědi*. Český hydrometeorologický ústav, Praha, 104 s.

DAVIE, T. (2008). *Fundamentals of Hydrology*. 2. vydání. Routledge Fundamentals of Physical Geography, New York, NY, 200 s. ISBN 0-415-39986-6.

DUB, O. (1963). *Hydrológia, hydrografia, hydrometria*. SVTL, Bratislava, 488 s.

FOŠUMPAUR, P. a KOPECKÁ, P. (2013). *Analýza retenční funkce Vltavské kaskády a rybníka Rožmberk za povodně 2013*. ČVUT, Praha, 36 s.

GORDON, N. D. et al. (2004). *Stream Hydrology: An Introduction for Ecologists*. 2. vydání. Wiley, Chichester, 429 s. ISBN 0-470-84357-8.

HALL, F. R. (1968). Base-Flow Recessions – a Review. *Water Resources Research*, American Geophysical Union, **4**(5), s. 973-983. ISSN 1944-7973.
doi:10.1029/WR004i005p00973.

HAŠKOVÁ, L. (1961). *Vltavská kaskáda*. SNPL, Praha, 151 s.

HRÁDEK, F. a KUŘÍK, P. (2002). *Hydrologie*. Česká zemědělská univerzita, Praha, 271 s.

HULE, M. (2015). Z dějin našeho rybníkářství. In: URBÁNEK, M. (Ed.). *Naše Rybníkářství*. Rybářské sdružení České republiky, Nakladatelství TYP, České Budějovice, s. 15-34. ISBN 978-80-87699-05-8.

KAŠPÁREK, L. a BUŠEK, M. (1990). Vliv Vltavské kaskády na povodňový režim Vltavy v Praze. *Vodní hospodářství*, **40**(7), s. 231-235.

KAŠPÁREK, L. et al. (2012). Vliv Vltavské kaskády na povodňové průtoky. *Vodní hospodářství*, **62**(11), s. 356-358.

KEMEL, M. (2000). *Klimatologie, meteorologie, hydrologie*. ČVUT, Praha, 289 s. ISBN 80-010-1456-8.

KONEČNÁ, J. et al. (2018). *Optimalizace ochrany vody a půdy v povodí vodních zdrojů: metodika*. VÚMOP, Brno, 106 s. ISBN 978-80-87361-87-0.

KŘÍŽ, H. (1983). *Hydrologie podzemních vod*. Academia, Praha, 268 s.

LOUCKS, D. P. a BEEK, E. van (2005). *Water Resources Systems Planning and Management: An Introduction to Methods, Models and Applications*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paříž, 680 s. ISBN 92-3-103998-9.

MAIDMENT, D. R. (1993). *Handbook of Hydrology*. McGraw-Hill, 1424 s. ISBN 978-0070397323.

MAJERÁK, P. (2020). *Vodní nádrže v právních vztazích*. Diplomová práce, Univerzita Karlova v Praze, Právnická fakulta, 78 s.

MATĚJÍČEK, J. (1998). *Povodeň v povodí Moravy v roce 1997*. Povodí Moravy, Brno, 109 s.

MEI, X. et al. (2016). Impact of Dams on Flood Occurrence of Selected Rivers in the United States. *Frontiers of Earth Science*, Higher Education Press, **11**(2), s. 268-282. doi: 10.1007/s11707-016-0592-1.

NĚMEC, J. (1965). *Hydrologie*. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 237 s.

NETOPIĽ, R. et al. (1984). *Fyzická geografie I*. Státní pedagogické nakladatelství, Praha, 272 s.

OPPELTOVÁ, P. et al. (2012). *Vzdělávací modul Ochrana životního prostředí: Voda*. ZERA – Zemědělská a ekologická regionální agentura, Náměšť nad Oslavou, 164 s. ISBN 978-80-87226-12-4.

PAČES, T. (1983). *Základy geochemie vod*. Academia, Praha, 300 s.

PALMER, W. C. (1965). *Meteorological Drought*. Office of Climatology, U.S. Weather Bureau, Washington D.C., 58 s.

PAVELKOVÁ CHMELOVÁ, R. a FRAJER, J. (2013). *Základy fyzické geografie 1: Hydrologie*. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, 141 s. ISBN 978-80-244-3843-6.

POKORNÝ, J. (2010). *Vodní hospodářství: Stavby v rybářství*. Informatorium, Praha, 318 s. ISBN 978-80-7333-071-2.

POVODÍ OHŘE CHOMUTOV. (2019). *Přehradý povodí Ohře*. Povodí Ohře, Chomutov, 52 s.

PROCHÁZKA, S. (1998). *Fyziologie rostlin*. Academia, Praha, 484 s. ISBN 80-200-0586-2.

ŘEZÁČOVÁ, D. et al. (2007). *Fyzika oblaků a srážek*. Academia, Praha, 574 s. ISBN 978802001505.

SANDEV, M. et al. (2006). *Vyhodnocení jarní povodně 2006 na území ČR*. VÚV TGM, Praha, 161 s.

SATRAPA, L. (2006). *Principy a pravidla územního plánování: Vodní Hospodářství*. Ústav územního rozvoje, Brno, 26 s.

SERRANO, S. E. (1997). *Hydrology for Engineers, Geologists and Environmental Professionals*. HydroScience, Lexington, KY, 452 s. ISBN 0-9655643-9-8.

SKLENÁŘ, J. a BRÁZDIL, R. (2012). Vliv vodní nádrže Vír na maximální roční a povodňové průtoky na horní Svratce. *Geografie*, Česká geografická společnost, **117**(2), s. 192-208. ISSN 1212-0014.

SLAVÍK, L. a NERUDA, M. (2007). *Voda v krajině*. Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem, Fakulta životního prostředí, Ústí nad Labem, 176 s. ISBN 978-80-7044-882-3.

STARÝ, M. (1986). *Nádrže a vodohospodářské soustavy*. Vysoké učení technické, Brno, 165 s.

STARÝ, M. (2005). *Hydrologie*. Vysoké učení technické, Brno, 156 s.

STAŠEK, J. et al. (2018). Vliv pěstovaných plodin na formování povrchového odtoku. In: *Hospodaření s vodou v krajině, Třeboň 21.-22.6.2018*. Česká bioklimatická společnost, Praha, s. 133-143. ISBN 978-80-87361-83-2.

ŠÁMALOVÁ, Z. (2014). *Labe v Krkonoších*. Povodí Labe, Hradec Králové, 36 s.

VOLPI, E. et al. (2018). Reservoir Effect on Flood Peak Discharge at the Catchment Scale. *Water Resources Research*, American Geophysical Union, **54**(11), s. 9623-9636. ISSN 1944-7973. doi:0.1029/2018WR023866.

VRÁNA, K. a BERAN, J. (1998). *Rybníky a účelové nádrže*. 3. vydání. ČVUT, Praha, 150 s. ISBN 978-80-01-04002-7.

VYSOUDIL, M. (2013). *Základy fyzické geografie I.: Meteorologie a Klimatologie*. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, 110 s. ISBN 978-80-244-3892-4.

ZHOU, M. et al. (2019). Impact Assessments of Rainfall-Runoff Characteristics Response Based on Land Use Change via Hydrological Simulation. *Water Journal*, MDPI, **11**(4), s. 1-19. ISSN 2073-4441. doi:10.3390/w11040866.

Seznam legislativy

Norma ČSN 75 0101 (2003). *Vodní hospodářství: Základní terminologie*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 28 s.

Norma ČSN 75 2410 (1997). *Malé vodní nádrže*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 48 s.

Zákon č. 245/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů [Vodní zákon].

Seznam internetových zdrojů

Povodí Vltavy, (2013). *Studie ČVUT – Vltavská kaskáda*. [on-line] [cit. 12.1.2021]. Dostupné z: <http://www.pvl.cz/files/download/vodohospodarske-informace/studie-CVUT/cvut-vltavska-kaskada.pdf>.

U.S. Geological Survey, (2017). *Oběh vody – The Water Cycle diagram in Czech*. [on-line] [cit. 26.2.2021]. Dostupné z: <https://www.usgs.gov/media/images/ob-h-vody-water-cycle-diagram-czech>.

Seznam obrázků

Obrázek 1.1: Znázornění procesů v hydrologickém cyklu (usgs.gov, 2017).....	9
Obrázek 1.2: Hydrologická bilance v povodí (Serrano, 1997)	9
Obrázek 3.3: Vltavská kaskáda (pvl.cz, 2013).....	14
Obrázek 4.4: Dlouhodobý roční průměrný úhrn srážek v ČR (Starý, 2005)	18
Obrázek 5.5: Hydrogram průtokové vlny (Brázdil et al., 2005)	24
Obrázek 6.6: Tvar povodí (Gordon et al., 2004).....	27
Obrázek 8.7: Příklad transformace povodňové vlny ve vodní nádrži (Bedient et al., 2013)	31
Obrázek 8.8: Prostory vodní nádrže (Loucks a Beek van, 2005).....	32
Obrázek 8.9: Čáry opakování maximálních ročních průtoků na Vltavě v Praze (Kašpárek et al., 2012)	34
Obrázek 8.10: Četnost výskytu povodní (Sklenář a Brázdil, 2012).....	35
