

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta životního prostředí**

**Katedra vodního hospodářství a environmentálního  
modelování**



**Vliv sucha na provoz vodních elektráren**

**Bakalářská práce**

Vedoucí práce: Ing. Petra Sychová, Ph.D.

Bakalant: Pavel Čanda, DiS.

2020

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Pavel Čanda, DiS.

Krajinářství  
Územní technická a správní služba

Název práce

**Vliv sucha na provoz vodních elektráren**

Název anglicky

**Impacts of droughts on function of hydroelectric power plants**

---

### Cíle práce

Předmětem bakalářské práce je popis vodních elektráren na Vltavské kaskádě s podrobnějším popisem vodního díla Štěchovice, včetně přiblížení funkce zdejší přečerpávací vodní elektrárny. Dílčím cílem práce je posouzení provozních vlastností zařízení vodních elektráren s návazností na dispečerské řízení Vltavské kaskády. Souvisejícím cílem pak je i studium extrémních hydrologických situací v povodí se specifickým zaměřením vlivu hydrologického sucha na provoz vodních elektráren.

### Metodika

Vypracování literární rešerše na dané téma

Charakteristika vodních elektráren

Shrnutí zjištěných informací

Závěr

**Doporučený rozsah práce**

30 stran

**Klíčová slova**

Vodní elektrárny, turbína, přehrada, Vltavská kaskáda, vodní dílo, sucho

---

**Doporučené zdroje informací**

AUGUSTA P., Velká kniha o energii. Praha: L.A. Consulting Agency, c2001. ISBN 80-238-6578-1

BROŽA V., SATRAPA L., Hydrotechnické stavby 2: přehrady. Vyd. 2. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03655-6.

HAVLÍK A., SATRAPA L., PÍCEK T., Vodní hospodářství: vodní toky a vodní stavby. Vodňany: Střední rybářská škola a Vyšší odborná škola vodního hospodářství a ekologie, 2015. ISBN 978-80-87096-18-5.

KISHOR N., FRAILE-ARDANUY J., Modeling and Dynamic Behaviour of Hydropower Plants. The Institution Of Engineering & Technology, 2017. e-ISBN: 9781785611964

---

**Předběžný termín obhajoby**

2019/20 LS – FŽP

**Vedoucí práce**

Ing. Petra Sychová, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

---

Elektronicky schváleno dne 2. 3. 2020

**doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D.**

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 4. 3. 2020

**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

Děkan

V Praze dne 20. 03. 2020

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Vliv sucha na provoz vodních elektráren vypracoval samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů. Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze 27. 3. 2020

.....

## Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Petře Sychové, Ph.D. za ochotu, odborné rady a připomínky, kterými přispěla k vypracování této bakalářské práce. Dále pak své manželce za její trpělivost a psychickou podporu při psaní této práce, a nakonec společnosti ČEZ, a. s., Vodní elektrárny za poskytnuté materiály.

## Abstrakt

Tato bakalářská práce se především věnuje vodním elektrárnám na řece Vltavě a omezeným provozem v období sucha. Vodní díla, která jsou osazena velkými vodními elektrárnami na řece Vltavě, zajišťují výrobu elektrické energie z vody. Tyto přehrady jako stavby jsou v majetku státního podniku Povodí Vltavy a elektrárny jsou firmy ČEZ, a. s.. Práce charakterizuje vodní energii při jejím zpracování a přeměně na elektrickou energii. Dále se práce věnuje významu přehradních nádrží na Vltavě v průběhu hydrologických extrémů (povodně či sucha) a zmírňování jejich dopadů.

## Klíčová slova

Vltava, Vltavská kaskáda, vodní elektrárna, voda, přečerpávací elektrárna, elektrická energie, povodeň, sucho

## Abstract

This bachelor thesis deals mainly with hydropower plants on the Vltava River and limited operations during the drought. The dams, which are equipped with large hydroelectric power plants on the Vltava river, ensure the production of electricity from water. These dams are owned by the Povodí Vltavy, State Enterprise and the power plants are companies of ČEZ, a.s. The thesis is also focused on the importance of dam reservoirs on the Vltava river during hydrological extremes (floods or droughts) and mitigation of their impacts.

## KEY WORDS:

Vltava, Vltava cascade, hydroelectric power station, water, pumped storage, flooded villages, electricity, drought, flood

## **Seznam použitých zkratk**

ČHMÚ... Český hydrometeorologický ústav

ČR... Česká republika

VD... vodní dílo

VE... vodní elektrárna

JE... jaderná elektrárna

PVE... přečerpávací vodní elektrárna

SPI... Standardizovaný index srážek

# Obsah

1	Úvod .....	1
2	Cíle práce .....	2
3	Metodika .....	2
4	Historie .....	3
4.1	Historie řeky Vltavy .....	3
4.2	Historie vodní dopravy na řece Vltavě .....	4
4.3	Podoba Vltavy .....	5
4.4	Vodní díla vltavské kaskády .....	6
4.5	Účely vodních děl .....	8
4.6	Vodní elektrárny Lipno I. a Lipno II. ....	9
4.7	Vodní elektrárny Hněvkovice a Kořensko .....	10
4.8	Vodní dílo Orlík .....	11
4.9	Vodní elektrárna Kamýk .....	12
4.10	Vodní elektrárna Slapy .....	12
4.11	Vodní elektrárna Štěchovice I a II (přečerpávací elektrárna) .....	13
4.12	Vodní elektrárna Vrané .....	13
4.13	Rozdělení vodních elektráren .....	14
5	Sucho .....	15
5.1	Hydrologické sucho .....	15
5.2	Problematika sucha v povodí Vltavy .....	16
5.3	Stav sucha .....	17
5.4	Metody stanovení sucha .....	17
5.5	Monitoring sucha .....	18
5.6	Aktuální sucho .....	19
5.7	Podoba sucha v zahraničí .....	21
5.8	Legislativní opatření ke zvládnutí sucha .....	22



5.9	Vliv sucha na odvětví elektřiny.....	23
5.10	Závislost na hydroenergetice .....	25
5.11	Dopady sucha na provozování vodních elektráren .....	25
6	Diskuze.....	26
7	Závěr .....	27
8	Přehled literatury a použitých zdrojů .....	28
8.1	Seznam obrázků.....	28
8.2	Seznam tabulek.....	28
8.3	Seznam literatury.....	29
8.3.1	Odborné publikace .....	29
8.3.2	Legislativní zdroje.....	32
8.3.3	Internetové zdroje.....	32
8.3.4	Ostatní zdroje.....	33
9	Přílohy .....	34

# 1 Úvod

Vodní elektrárny mají velice důležité funkce. Z hlediska výroby elektrické energie v ČR hrají velkou roli vedle jiných zdrojů. Výhoda je i ekologická a ekonomická výroba elektrické energie, jejíž spotřeba neustále roste. Na tato vodní díla, ale nelze jen pohlížet jako na výrobce energie, ale poskytují i jiné ocenitelné hodnoty. Stavby na řece Vltavě, které přehradili tento tok, jsou nápomocné při povodních a v dnešní době i při panujícím suchu. V letních měsících poskytují možnosti rekreace, rybaření nebo vodních sportů. O stavbě děl v dobách, kdy našim předkům byla zaplavena obydlení a půda, se můžeme dozvídat z historických záznamů. V dnešní době se budování nových přehrad téměř zastavilo. Přehrady umožňují zadržovat vodu pro zásobování obyvatel pitnou vodou, pro závlahy či jiné využití. Zachytí povodňovou vlnu, nadlepší průtok v toku v době sucha – tedy umožní úpravu vodohospodářské bilance. Velkým přínosem v boji proti suchu je komplexní přístup v celém povodí, které vede k zadržení vody v krajině.

Vodní elektrárny jakožto významný zástupce z obnovitelných zdrojů využívá hydroenergetický potenciál toků s vysokou účinností a minimálním dopadem na životní prostředí. Vyrábějí ekologicky čistou elektrickou energii při nízkých provozních nákladech. Vodní elektrárny svými provozními vlastnostmi a rychle ovladatelným výkonem zajišťují dynamické funkce elektrizační soustavy, což zajišťuje dostatek elektrické energie ve špičce a pokrývá krátkodobé výpadky výkonů. Jejich provozování je nezbytné pro výkonovou zálohu soustavy. Provozní vlastnosti vodních elektráren umožňují rychlou a přesnou regulaci výkonů, zásadní pro udržení frekvence soustavy.

Vltavská kaskáda je blok nejvíce známých vodních elektráren. Řeka Vltava protíná Českou republiku a až po Prahu je na ní 9 hydroelektráren. Tyto hydroelektrárny vyrábí významné množství elektrické energie v naší soustavě. Část práce bude pojednávat o dopadu na okolní prostředí, problematice přeměně síly vody na elektrickou energii a závěrem zhodnotí hlavní úlohy přehrad.

## 2 Cíle práce

Hlavním cílem této práce je, jak ovlivňují klimatické změny a panující sucho provozování vodních elektráren na Vltavské kaskádě. V práci je uveden popis hydrologického sucha a omezení výroby elektrické energie v závislosti na výšce vodní hladiny, vznik stavebních objektů a nádrží, jejich dopad na okolní krajinu a zatopené vesnice. Dále je zde základní charakteristika vodních turbín a provozní vlastnosti zařízení vodních elektráren s návazností na dispečerské řízení Vltavské kaskády. Práce zhodnotí funkce protipovodňové ochrany ale i ochrany před suchem a výrobu energie z obnovitelných zdrojů.

## 3 Metodika

K výběru tématu a vypracování této bakalářské práce přispělo mé zaměstnání ve společnosti ČEZ a.s., organizační jednotka vodní elektrárny. Během mého působení na vodních elektrárnách jsem si schraňoval myšlenky k sepsání práce. Pomohli mi konzultace od kolegů a mnohem větších praktiků v oboru.

Souhrn informací z odborné literatury o suchu a vodních dílech je psán metodou odborné rešerše. Zhodnocen je zde i stav například v období sucha a uváděný v literatuře. použitá literatura je odborného charakteru, získaná z technického archivu Vodních elektráren, brožur z informačních center a internetových zdrojů. Data jako tabulky a číselné údaje jsou získána na vyžádání z dispečinku vodních elektráren ve Štěchovicích.

## 4 Historie

### 4.1 Historie řeky Vltavy

Pramen Vltavy se nachází na Šumavě v nadmořské výšce 1172 m n. m., určuje se jako hlavní pramenná větev a setkáváme se s názvem Teplá Vltava. V mapách můžeme úplný začátek pramene najít pod názvem Černý potok a od obce Borová Lada již jako Teplá Vltava. Jako druhý pramen nebo také druhá pramenná větev je takzvaná Studená Vltava, která pramení v sousedním Německu. Od soutoku Studené a Teplé Vltavy v katastru obce Chlum je řeka pojmenována jen jako Vltava. Větší přítoky Vltavy kromě menších potoků a říček jsou řeky Maše, Lužnice, Otava, Sázava a Berounka. U města Mělník se Vltava vlévá do Labe, a to v nadmořské výšce 156 m n. m. což je více jak o tisíc výškových metrů méně než její pramen. Od soutoku těchto řek nese dále jméno Labe a po průtoku sousedním Německem ústí do Severního moře. I přesto že řeka Vltavě je v místě soutoku mohutnější a její tok je delší než Labe, od soutoku nese řeka název Labe. Mají to údajně na svědomí Keltové, kteří obývali v dobách středověku poblíž soutoku a za hlavní tok měli Labe. Název Vltava je vysvětlován odvozením z německých slov *wild* to je dravý nebo také divoký a slova *ahwa*, neboli voda nebo také řeka (Podzimek a kol., 1970).



Obrázek 1: Průběh Vltavy územím ČR (zdroj: [www.mapy.cz](http://www.mapy.cz))

## 4.2 Historie vodní dopravy na řece Vltavě

Lidé využívali Vltavu jako přírodní komunikaci již od nepaměti. Plavilo se po ní dřevo stavební i palivové, a to až do Prahy. Z původního volného plavení což znamená, že kmeny pluly po řece nijak nesvázané, se přirozeným časovým vývojem přešlo ve voroplavbu. Vor je již uspořádaný tvar klád do takzvané tabule s několikametrovou šířkou. Když se tabule klád poskládaly za sebe, vznikly takzvané prameny, které mnohdy dosahovaly několika desítek metrů. Na místo, kde se takto svazovali, se dřevo dopravovalo koňmi anebo samostatně po kládách. Tomuto místu na břehu vodního toku, kde se kmeny svazovaly se říkalo vaziště. Těchto vazišť bylo na Vltavě několik, první (od roku 1562) v Českém Krumlově. Největší vaziště bylo v Českých Budějovicích, zde se svazovaly obrovské kmeny dlouhé až 50 metrů a nejznámější bylo v Praze (Výtoň), kde se většina dřeva odvážela ke zpracování. Název Výtoň v Praze zůstal a byl odvozen od slova výtoň neboli výteň, což byla daň, mýtné z podílu přepravovaného dřeva.

Vltava nesloužila jen k dopravě neboli plavení dřeva. Dpravoval se po ní důležitý sortiment – sůl. K dopravě do Prahy z jihu Čech se využívaly lodky a na nich soudky se solí. Komplikace s navrácením lodí proti proudu například do Českých Budějovic pomohly najít vorům dvojí využití. Dopravily sůl do Prahy a rovnou i dřevo z vorů. Důležitost této dopravy po Vltavě, dokazuje i výnos Karla IV., kterým se nařizovalo, že všechny jezy na Vltavě musí mít zařízení pro voroplavbu – vorové propusti. Rozmachu lodní dopravy a zlepšení plavebních podmínek napomohly v 16. století dálkové lodní dopravy a další rozmach přišel s parníky (Čáka J., 2002).



Obrázek 2: Dobová fotografie plavců na voru (zdroj: [www.voroplavba.cz](http://www.voroplavba.cz))

### 4.3 Podoba Vltavy

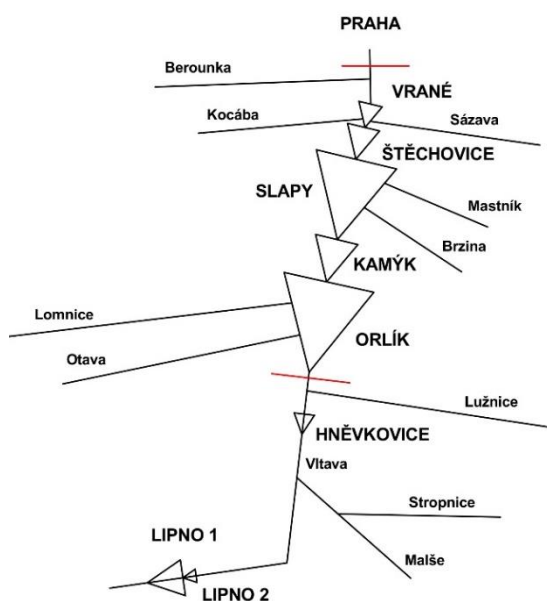
Za vlády Marie Terezie byl vydán takzvaný Český navigační zákon a předpisy říční policie. Což mělo napomoci plnému splavnění Vltavy. První projekt na splavnění Vltavy z Českých Budějovic do Mělníka vypracovala firma Lanna – Vering a to v roce 1894. Ve studiích splavnění a využití vodní síly se v roce 1911 začalo přihlížet také k využití vodní energie. Obrat v řešení vltavských úprav nastává po 1. světové válce. Od této doby se zájem plavby střetává s novým energetickým. Navrhovaná řešení úprav řeky narážela na různé překážky, a to zejména vysoké náklady, které se vymykaly tehdejšímu hospodářskému možностям. Teprve až po vleklých sporech o vltavské přehradě trvajících několik let se začalo budovat u Vraného nad Vltavou. Zdejší stavba zdymadla byl v podstatě vyrovnávací stupeň, a to ještě nebylo rozhodnuto o podobě Štěchovické přehradě, jak bude vysoká a jaký bude mít objem. Druhá stavba velké přehradě byla započata těsně před 2. světovou válkou v roce 1938. Práce na stavbě nebyly jako jedny z mála zastaveny německými okupanty, ti očekávali od dokončení této stavby hospodářské posílení zázemí. Vodní dílo ve Štěchovicích už nacistům užitek nepřineslo, jelikož k jeho spuštění došlo až v roce 1945. Po válce dochází k závěrům odborníků, že je třeba vybudovat co největší přehradě s velkou zásobou vody a dalším hospodářským využitím. Tehdy vyplynulo řešení největších vodních staveb na Vltavě, a to jsou Orlík, Slapy a Lipno. Musela se vytipovat místa v profilech řeky tak, aby splňovala geologické předpoklady. Slapská přehradě musela navazovat na konec vzduť již postavené přehradě u Štěchovic. Vybudováním přehradě ve Svatojánských proudech v úzkém profilu řeky si vynutilo netradiční umístění elektrárny pod přelivy.

Další zlom kolem plavby padl při rozhodování o Slapské přehradě. Plavební komory byly vybudovány ve Vraném a Štěchovicích a z důvodu vysokých finančních nároků na vybudování zdvihadla pro lodě se tomu u Slapské přehradě upustilo. Další dva stupně na Vltavské kaskádě jsou dílo Kamýk a nejvyšším stupněm je Orlík se spádem přes 70 metrů. S výstavbou jaderné elektrárny Temelín přibyla na Vltavě dvě díla – Kořensko a Hněvkovice (Povodí Vltavy, státní podnik, 2013).

#### 4.4 Vodní díla vltavské kaskády

Vodní energie se již v historii využívala k roztáčení mlýnských kol. Proto není divu, že vývoj pokročil a začala se počátkem 19. století stavět menší vodní díla. Vynález vodní turbíny přinesl jeden z nejučinnějších motorů, jaký máme dodnes k dispozici (Augusta a kol., 2003). Vodní nádrže mají nezastupitelné funkce při hospodaření s vodou. Z manipulačních řádů vodních děl vyplývají funkce jako zásobování pitnou vodou, rekreace, využití potenciálu vodní energie a výroba elektrické energie, ale také důležitější funkce, a to ochrana před povodněmi. Nezatěžují životní prostředí žádnými odpady, a přitom představují levný zdroj energie. Bohužel i provozování vodních děl a jejich výstavba má negativní dopady. Z pohledu životního prostředí působí kolísání vody negativně na abrazi břehů a tím dochází k zanášení nádrží. Na obyvatelstvo nejvíce dopadlo napouštění nádrží a nutnost opustit svá obydlí a vesnice, které musely výstavbě nádrží ustoupit.

Na počátku 20. století Dochází k budování větších vodních elektráren a menší vodní díla byla označena za neefektivní a zdemolována. Vybudovala se takzvaná Vltavská kaskáda – soustava vodních děl na stejném toku a po proudu řeky stojí díla Lipno (I a II), Hněvkovice, Kořensko, Orlík, Kamýk, Slapy, Štěchovice, Vrané. (Štoll a kol., 1977). Finanční náklady na vybudování přehrady byly obrovské a mnozí se domnívají, že v dnešní době by přínos výstavby nepřevýšil náklady (Maran a kol., 2018).



Obrázek 3: Schéma Vltavské kaskády

Pojem kaskáda označuje soustavu nádrží vybudovaných na jednom toku. Funkce jednotlivých nádrží je podle vodohospodářských potřeb přizpůsobená průtokovému režimu. Každá nádrž reguluje odtoky pro potřeby, jako jsou energetické, plavební nebo zadržování velkých vod. Regulování odtoku z geologicky výše položených nádrží ovlivňuje odtoky níže položených nádrží. Tento režim usměrňuje průtok velkých vod a zabezpečuje zaručený průtok všemi nádržemi (Kratochvíl, 1961).

Vltavskou kaskádu tvoří 9 vodních děl. Od nejnižnějšího díla Lipna I po Vrané je to po řece Vltavě úsek delší než 250 km (tabulka 1). Často je řeka nebo úseky Vltavy nazývané jako horní (Orlík až Vrané) a dolní Vltava (Lipno až Kořensko). Stavby neboli vodní díla jsou v majetku státního podniku Povodí Vltavy, ale veškeré elektrárny v útrobách těchto staveb jsou společnosti ČEZ, a. s..

Provoz elektráren je zautomatizován a je řízen centrálním dispečinkem, který je umístěn v Štěchovicích. Dle priorit je funkce kaskády rozdělena na čtyři části: zajištění minimálního průtoku, snížení povodňových průtoků a ochrana území, využití odtoku k výrobě elektrické energie, nadlepšování průtoků.

Vodní dílo	říční kilometr
<b>Lipno I</b>	329,540
<b>Lipno II</b>	319,120
<b>Hněvkovice</b>	210,390
<b>Kořensko</b>	200,405
<b>Orlík</b>	144,700
<b>Kamýk</b>	134,730
<b>Slapy</b>	91,694
<b>Štěchovice</b>	84,440
<b>Vrané</b>	71,325

Tabulka 1: Vodní díla vltavské kaskády (zdroj: <http://www.pvl.cz>)



## 4.5 Účely vodních děl

V manipulačních řádech vodních děl Vltavské kaskády jsou uvedeny účely vodních nádrží, dle povolení k nakládání s vodami a hospodařením s vodou (Komplexní manipulační řád Vltavské kaskády, 2016).

Seznam seřazený dle účelu VD:

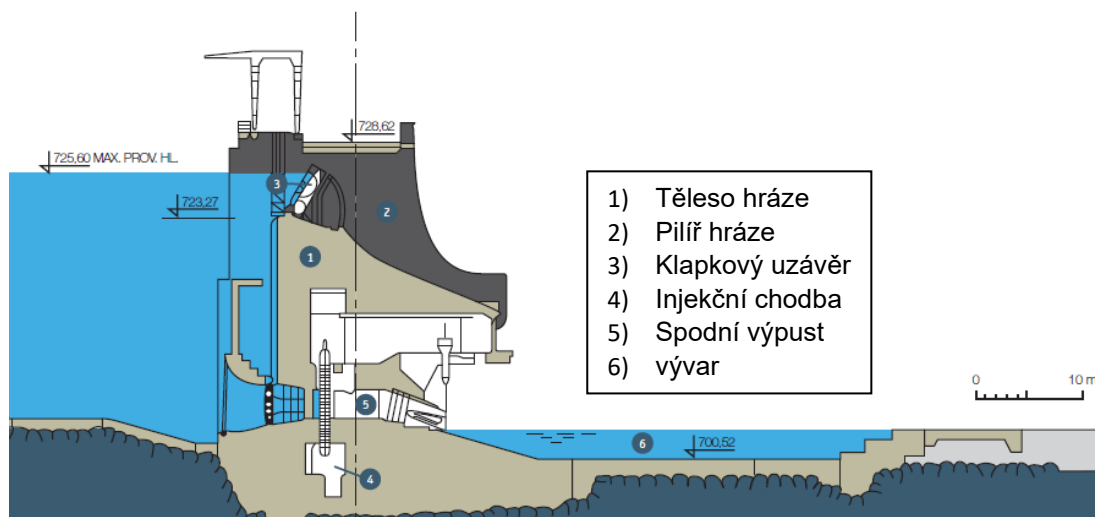
- akumulace a vzdouvání povrchové vody
- zajišťovat minimální průtok ve významném vodním toku Vltava pod vodním dílem
- částečné snížení povodňových průtoků za účelem ochrany území pod vodním dílem před účinky povodní (u vodních děl, která mají vymezen ochranný prostor nádrže)
- využití odtoku z vodní nádrže k výrobě elektrické energie ve vodní elektrárně fungující v dohodnutém režimu, která je součástí vodního díla;
- vytváření podmínek pro povolená nakládání s vodami
- vyrovnávání kolísání průtoků
- nadlepšování průtoků ve významném vodním toku Vltava, příp. ve významném vodním toku Labe, pro zlepšení plavebních podmínek
- nadlepšování průtoků pod vodními díly za účelem zlepšení jakosti vody ve významném vodním toku Vltava
- ovlivňování zimního průtokového režimu pod vodními díly a omezení nežádoucích ledových jevů
- plavba
- rekreace a vodní sporty
- extenzivní rybí hospodaření.

## 4.6 Vodní elektrárny Lipno I. a Lipno II.

Lipno I, vodní nádrž, která je největší vodní plochou v ČR. Jeho rozloha je 4 870 ha v délce vzdutí 42 kilometrů a jako další důležitý parametr je objem 309 502 000 m<sup>3</sup>. Z hydrologických údajů uvedených Manipulačním řádu vodních děl Lipno I. a Lipno II. na Vltavě (2009) vyplívají průtoky, které jsou v dlouhodobém ročním průměru průtoku  $Q_a = 13,7 \text{ m}^3/\text{s}$  a maximální průtok za dané období (N-letý průtok  $Q_{100}$ ) 374 m<sup>3</sup>/s. Špičková vodní elektrárna má dvě Francisovi turbíny o instalovaném výkonu 120 MW umístěné v podzemí 200 metrů pod povrchem. Odtok od turbín je zaústěn 3,5 km dlouhým tunelem do nádrže Lipno II.

Využitelnost vodních elektráren je ovlivněna především výškou hladiny, (uváděná v m n. m) a možnosti využití spádu, nebo hodnotou průtoku vody. Lipno I. (obr. 4) má maximální a minimální spád v rozsahu od 161,65 do 149,35 m n. m.. Na tomto výškovém rozdílu vodních hladin závisí využití energie vodního zdroje. Energetické využití Lipna je více jak sto metrů, a proto elektrárna je vysokotlaká.

Elektrárna Lipno II. je průtočná s výkonem 1,5 MW. Pod VD Lipno II. je požadovaný minimální průtok ve výši 6 m<sup>3</sup>/s. Spád u tohoto typu elektrárny není důležitý.



Obrázek 4: Řez VE Lipno I. (zdroj: <http://www.pvl.cz>)

## 4.7 Vodní elektrárny Hněvkovice a Kořensko

Tato dvě vodní díla byla budována současně v letech 1986-1991 a jsou nejmladšími stupni Vltavské kaskády. Hněvkovická nádrž zabezpečuje odběr povrchové a zároveň chladicí vody pro jadernou elektrárnu (JE) Temelín, a to i v suchých letech, která panují. Povolený odběr má JE Temelín 42 000 m<sup>3</sup>/rok, což je zhruba 0,3 % zásobního prostoru nádrže. Čerpací stanice je umístěna na levém břehu nádrže, čerpaná voda je vedena potrubím cca 6 km do JE (obr. 5). Povolené odběry z nádrží mohou také ovlivňovat stav hladin povrchových vod. Vodní dílo Kořensko bylo postaveno za účelem vypouštění nezávadné technologické odpadní vody z Jaderné elektrárny Temelín. Také vyrovnává hladinu a kolísání v nádrži Orlík. Obě vodní díla mají v útrokách VD elektrárny a slouží i pro výrobu elektrické energie. Elektrárna Hněvkovice má typ turbíny 2x Kaplan o výkonu 7,8 MW. Rozsah spádu je 9,3-14,8 metrů. Bezobslužná elektrárna funguje v pološpičkovém režimu (Manipulačním řád vodních děl Hněvkovice a Kořensko na řece Vltavě, 1996).

Kořenská elektrárna má dvě, provedením zajímavé, kolenové Kaplanovy turbíny s výkonem 3,5 MW s hltností neboli maximálním průtokem vody 2 x 35 m<sup>3</sup>/s a spádem v rozmezí 2,0 – 6,2 m.



Obrázek 5: Lokalita VE (zdoj: [www.pvl.cz](http://www.pvl.cz))

## 4.8 Vodní dílo Orlík

Nejznámějším, objemově největším a nejdůležitějším článkem Vltavské kaskády je vodní dílo Orlík. Na stavbu hráze bylo spotřebováno přes 1 milion m<sup>3</sup> betonu. Toto vodní dílo sloužící především k využití vodní energie (ČSN 75 0120) je vystavěno jako špičková elektrárna umístěná při levém břehu je vybavená čtyřmi turbínami typu Kaplan. Instalovaný výkon elektrárny je 364 MW s maximální hltností 4x150 m<sup>3</sup>/s. Již zmíněné technické údaje je nutné doplnit o maximální spád, který je na VD Orlík 71,50 m a minimální 45 m. Možnost využití spádu ovlivňuje výkon elektrárny a tím pádem i výrobu elektrické energie (Manipulační řád vodního díla Orlík na významném vodním toku Vltava, 2015).

Panující suché období má za následek pokles hladiny i v největším VD u nás (obr. 6). Dle Informační zprávy č. 75 o situaci na vodních tocích a vodních dílech při výskytu hydrologického sucha v povodí spravovaném státním podnikem Povodí Vltavy (2019) hladina ve VD Orlík poklesla pod kótu 339,00 m n. m.. Tato kóta byla určena jako maximální hladina, protože se aktuálně provádí oprava a zvětšení lodního výtahu pro plavidla. Hladina počátkem roku 2020 i nadále klesala. Způsobovala to hydrologická situace v podobě slabých přítoků do nádrže a z nádrže byl upouštěn pouze minimální požadovaný odtok. Naplněnost z celkového objemu nádrže byla v lednu 2020 necelých 33 % a odtok byl větší než přítok (přítok 31 m<sup>3</sup>/s; odtok 34 m<sup>3</sup>/s). Aktuálně se uvažuje o velké rekonstrukci útrobu elektrárny a přestavbu na přečerpávací turbíny. To by dopomohlo většímu využití potenciálu vodní energie a zřejmě by došlo k částečnému nadlepšení hladiny v nádrži.



Obrázek 6: Fotky z Podolska – porovnání plný a nízký stav hladiny

## 4.9 Vodní elektrárna Kamýk

Výstavba tohoto VD byla uskutečněna z důvodu vyrovnávání odtoků z VD Orlík a zároveň využití k výrobě elektrické energie. Kamýcká nádrž z důvodu přivádění z VD Orlík spodní a studené vody není využívána k hojně rekreaci a není zde tolik kladen požadavek na úroveň hladiny.

Kratochvíl (1956) popisuje hlavní zásady při využití vodní energie. Podmínkou vodní energie toku je spád neboli výškový rozdíl hladin horní vody a spodní vody. Spád Kamýcké elektrárny je v rozsahu 11,5 – 16 metrů a využívají jej celkem 4 Kaplanovy turbíny o výkonu celkovém 40 MW (Elektrárna Kamýk, 2004).

V období sucha může ovlivňovat dle Manipulačního řádu pro vodní dílo Kamýk na Vltavě (2002) výšku hladiny množství vypařené vody. Roční předpokládaný výpar z hladiny v nádrži Kamýk činí 590 mm, to je v porovnání s průměrným ročním úhrnem srážek - 687 mm poměrně velké množství vody. Elektrárna se dá provozovat do výšky hladiny na kótě 282,10 m n.m. (Manipulační řád pro vodní dílo Kamýk na Vltavě, 2002), to s přehledem dosahovala hladina v počátku roku 2020 (284,20 m n.m) a tato hodnota je srovnatelná s obvyklou hladinou (284,60 m n.m). Hospodaření a manipulace s vodou v nádržích Vltavské kaskády má na starosti centrální vodohospodářský dispečink Povodí Vltavy v Praze.

## 4.10 Vodní elektrárna Slapy

Výstavba VD Slapy byla třetím stupněm kaskády. Přípravy na stavbu přehrady začaly již za II. světové války. Umístění elektrárny do tělesa hráze pod přelivy bylo ojedinělým řešením v celé Evropě. Provoz tří Kaplanových turbín o výkonu o výkonu 3x48 MW je řízen dálkově z dispečinku VE ve Štěchovicích. Malá vzdálenost od Prahy vybízí hojněho využití vodní hladiny k rekreaci. Hlavní využití je, ale výroba špičkové elektrické energie při využití spádu v rozsahu 27,4 – 56 m (Manipulační řád vodního díla Slapy na významném toku Vltava, 2018). Do Slapské přehrady není žádný významný přítok, a tak je prakticky dán odtokem z Kamýcké přehrady. Průtoky při období sucha je nutné upravit odtoky z vodních děl, aby se nadále nesnižovaly.

#### 4.11 Vodní elektrárna Štěchovice I a II (přečerpávací elektrárna)

Toto vodní dílo bylo budováno během války v letech 1938-1944. Betonová přehrada dlouhá 120 m a vysoká 22,5 je ozvláštněná žulovým obkladem. Obsah vody v nádrži je 11 200 000 m<sup>3</sup> a tento zásobní prostor už je malý v porovnání například s Orlíkem. Středotlaká, pološpičková elektrárna je vybavená dvěma soustrojími s Kaplanovými turbínami, které vyrábějí proud o napětí 10,5 kV. Elektrárna využívá spád v rozmezí 14,5 – 20,1 metrů. Při budování bylo rozhodnuto o výstavbě přečerpávací vodní elektrárny Štěchovice II. Akumulační nádrž byla vybudovaná na kopci s výškovým rozdílem 200 metrů. Přečerpávací vodní elektrárna (PVE) má reverzní Francisovou turbínu a pracuje buď v režimu čerpadlovém a plní akumulaciční nádrž anebo v turbínovém provozu. PVE se podílí na rychlé záloze pro krytí dynamických potřeb provozu elektrizační soustavy. Akumulační nádrž o objemu 427 000 m<sup>3</sup> je schopná načerpat za necelých 6 hodin. V porovnání s naší největší PVE na Dlouhých Stráních je o mnoho menší (Manipulační řád pro vodní dílo Štěchovice, 2016). Nádrž PVE Dlouhé Stráně má celkový objem 2 720 000 m<sup>3</sup> (Kopřiva a kol., 1997). Má tedy uskladněnou vodní energii ve formě potenciální energie. Akumulace hydraulické energie nám umožňuje přesun přebytečné energie při malém odběru ze sítě a využití v době většího odběru (Hušek J., 1963).

#### 4.12 Vodní elektrárna Vrané

Vodní dílo Vrané bylo vybudováno jako první a je tedy nejstarším stupněm kaskády. Zaručený minimální odtok z Vraného je 40 m<sup>3</sup>/s, nadlepšuje tím jakost vody při průtoku Prahou. Sucho se v hospodaření vodou dá nazvat jako hydrologická porucha. Dojde-li k němu v prostoru nádrže Vrané, lze snížit minimální průtok na 35 m<sup>3</sup>/s. Toto panovalo začátkem roku 2020. Při odtoku z nádrže využívá vodní energii k výrobě elektrické energie. Průtočná vodní elektrárna má dvě Kaplanovy turbíny o výkonu 8 MW a využívá malý spád v rozmezí 6 – 10,2 m. Jako jediná přehrada má vybudovány dvě plavební komory, tehdy se počítalo s větším množstvím přeplavování nákladů (Manipulační řád vodního díla Vrané nad Vltavou, 2014).

## 4.13 Rozdělení vodních elektráren

Typ elektrárny je dán několika hledisky:

- Velikostí instalovaného výkonu elektrárny
  - Drobná – do 1 MW
  - Malá – do 10 MW
  - Střední – do 100MW
  - Velká – nad 100MW
- Velikostí maximálního spádu
  - Nízkotlaká – do 15 m
  - Středotlaká – do 100 m
  - Vysokotlaká – nad 100 m
- Uspořádáním objektů elektrárny (umístěním)
  - Jezová – elektrárna umístěná při jezu
  - Kanálová – elektrárna umístěná na spojovacím kanále
  - Derivační – elektrárna umístěná na derivačním přivaděči
  - Přehradová – elektrárna umístěná u přehrady nebo v ní
  - Věžová – elektrárna ve tvaru věže
- Charakterem vodního režimu elektrárny
  - Průtočná – bez možnosti nadržování vody
  - Akumulační – s možností nadržování vody
  - Vyrovnávací – s možností rovnoměrného vyrovnávání odtoku vody a zpracování akumulací elektrárnou
  - Přečerpávací – s možností přečerpávání vody z dolní do horní nádrže s přirozeným nebo bez přirozeného přítoku
- Způsobem práce vzhledem k elektrizační soustavě
  - Špičková – pokrývá špičky při zatížení soustavy
  - Pološpičková – pokrývá i proměnnou část zatížení soustavy
  - Základní – výkonem pokrývá základ diagramu zatížení soustavy

Všechny VE Vltavské kaskády jsou plně automatizovány. To zajišťuje bezpečnost soustrojí, zajištění provozu strojů a snížení provozních nákladů (Drbohlav a kol., 1963).

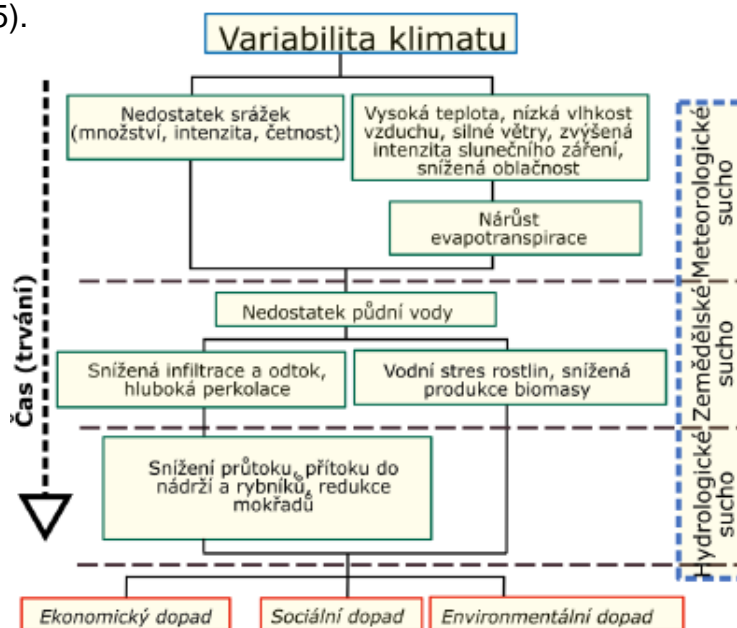
## 5 Sucho

### 5.1 Hydrologické sucho

Sucho je neurčitý, ale aktuálně hojně používaný pojem. Znamená zjednodušeně nedostatek vody ať už v atmosféře, v půdě, nebo v této práci nejvíce spojený s hydrologickým suchem. Jeho vliv se liší v každém regionu. K suchu dochází při nedostatku srážek v delším časovém období. V našem regionu působí sucho problémy a hydrologickým projevem je výrazné snížení vodních toků (Wilhite 2005).

Období sucha jsou dle Blinky (2005) jevem běžně se opakujícím. Vývoj sucha je pomalý a může trvat měsíce v některých případech celé sezony nebo roky (obrázek 7). Vyhraničení začátku a konce sucha je těžké. Dopady jsou ale patrné i několik let po výskytu sucha.

Vodní zdroje v ČR jsou na atmosférických srážkách závislé a totéž platí na zadržení a akumulaci vody v našem území. Deficit srážek, který vede ke snížení hladin vodních toků, může způsobit hospodářské ztráty. Z historických dat a novodobého pozorování je známo, že sucha přicházela a většinou způsobovala velké škody. Postupně se měnící klimatické podmínky zvětšují pravděpodobnost výskytu suchých období. Ve výhledu do budoucna, tak můžeme očekávat, že by stávající vodní zdroje nemusely být dostatečné s potřebným množstvím vody a dobrou jakostí vody (Mezirezortní komise VODA-SUCHO, 2015).



Obrázek 7: Propagace sucha do jednotlivých částí hydrologického cyklu



## 5.2 Problematika sucha v povodí Vltavy

Schopnost vodních nádrží tvořit zásoby vody i pro situace s dlouhotrvajícím suchem slouží jako ochranné opatření v aspektu změn klimatu. S nastupujícím suchem v roce 2015 a pokračujícím i v dalších letech se ukázalo, že nádrže na Vltavě a jiných povodích pomohly zmírnit ekonomické, sociální a environmentální problémy při nedostatku vody. I přesto je na velké přehradě pohlíženo jako na megalomanské a zhoršující ekologické ambice vodních toků. Běžným jevem jsou vyšší průtoky na řece, které jsou přehrady nuceny vypouštět bez zřetele, k jakému účelu slouží. V potaz se nebere vypařování vody z hladin nádrží v teplých dnech. Dle ČHMÚ byl v roce 2015 výpar v tropických dnech z hladiny Vltavy větší než  $3 \text{ m}^3/\text{s}$ , což je obrovský ubytok vody z nádrže a celého toku. Takovéto množství vody převedeno na energetický potenciál by pokrylo 70 % výkonu celé elektrizační soustavy ČR (Broža, 2017).

Výstavbu nových vodních nádrží doporučují vodohospodáři v návaznosti na potřebu vody a ochrany před suchem anebo povodněmi. V myslí mají velké dopady na životní prostředí a změny hydromorfologických úseků v povodí toku. Nesouhlasí s názorem veřejnosti, že by si s extrémním suchem neporadila další velká přehrada, ale hlavní by měla být rekultivace přirozených zásobáren vody, jako jsou mokřady a nivy u vodních toků (Petřík, 2016).

U vodních toků nastává hydrologické sucho, když je průtok korytem menší nebo roven takzvaný 355denního průtoku  $Q_{355d}$  stanoveného v referenčním období v letech 1981-2010. Je to takový průtok, který v dlouhodobém průměru byl dosažen nebo překročen po 355 dní v roce. Při hydrologickém suchu mohou průtoky  $Q_{355d}$  a menší trvat i několik týdnů (Kukla a kol., 2018).

Klimatické modely většinou předpokládají výhledově pro Českou republiku klimatické podmínky, které směřují k růstu suchých období (Brázdil a kol., 2015).

### 5.3 Stav sucha

Nedostatečné množství srážek poslední roky trápí Českou republiku. Deficit srážek začal v roce 2014 a v ostatních letech pokračoval (Hubalová a Janíček, 2017). Zaručení dostatku vody v krajině je v ČR závislé pouze na srážkách. Dopady změn klimatu a suchem ohrožené vodní hospodářství je limitující ve výrobě energie z vodních elektráren (Rožnovský a Kohut, 2004).

Porovnání těchto změn provedli Hanel a kol. (2013) pro 250 povodí. Při tomto modelování dopadů změn klimatu v ČR bylo uvažováno hlavně rostoucí teplota během roku a snižování srážek. Předpoklad je v dlouhodobém budoucím horizontu (období 2040–2069), že se výrazně sníží hladiny vodních toků.

Přítomnost neobyčejného sucha na našem území ČR jsme pocítili v letech 2000, 2003, 2012, 2015, 2017 a 2018. V dalších letech se vyskytovalo nahodile a tím pádem těžce předvídatelně. Poloha ČR je ohledem na vodní zdroje nevýhodná, jelikož žádná řeka na naše území nepřitéká a jsme takzvanou střechou Evropy (Střeštík a kol., 2018). V pětiletém období bylo největší sucho v letech 1989-1993 (Blinka, 2015). Za následek v předešlých letech je zřetelně snížená vodnatost toků. Potvrzením toho je dosažení historických minimálních průtoků na mnoha vodoměrných stanicích. Mnohé toky si zachovaly průtok nad hranicí sucha jen zásluhou umělého nadlepšování vodnosti a zachování minimálních průtoků z přehrad (Bárta a Boráková, 2019).

Mírné zimy a aktuální pokles intenzity zimních srážek ovlivňuje zásobu vody ve sněhové pokrývce. Tento stav je známý z posledních suchých zim. Vývoj sucha většinou startuje v zimním období a vyvíjí i se v dalších měsících (Zahradníček a kol. 2015). Srovnání poklesu vody v tocích během měsíce ledna s předešlými měsíci není zcela správný. V zimních měsících by toky měly být zamrznuté spojené s menšími průtoky. Zásoba sněhu způsobuje to, že voda netaje a neodtéká. Zásobu vody ve sněhu sledují na ČHMÚ.

### 5.4 Metody stanovení sucha

Při zhodnocení sucha používáme indikátory a indexy sucha. Indikátory se definují jako proměnné k zjištění a určení sucha. Charakterizují velikost, dobu trvání a rozsah v zasažené ploše území. Ukazatele jsou podloženy

meteorologickými a hydrologickými proměnnými, což jsou srážky, průtoky, půdní vlhkost a stavy podzemních vod. Po sloučení všech indikátorů sucha v jeden ukazatel kvantitativního měřítka se konečný výsledek označuje jako index sucha (Karamouz a kol., 2011).

Byla vytvořena spousta metod k určení hydrologického sucha, které jsou složité na získání dat a výpočetně obtížné. Kdežto pro meteorologickou éru sucha lze použít jednoduchý, a přesto efektivní ukazatel, jako je Standardizovaný index srážek (Nalbantis a kol., 2009). Standardizovaný index srážek (SPI) je výsledek výpočtů z dlouhodobých srážek za určité období. Výhodou této metody je, že může vypočítávat různé časové škály. Nevýhodou se jeví, že je počítáno jen se srážkami a neuvažuje s dalšími meteorologickými ukazateli jako je výpar anebo teplota vzduchu (Sheffield a kol. 2011). V tabulce 2 je uvedené bezrozměrné číslo indexu SPI a vymezuje 7 tříd indikujících sucho. Ukazatel hydrologického sucha se zaměřuje na proměnné vodního systému, to jsou průtoky, hladiny, nádrže, půdní vlhkost a zásoba sněhu (Mishra a kol., 2010).








Název období	Index SPI
Extrémně vlhké	$\geq 2$
Velmi vlhké	1,50 až 1,99
Středně vlhké	1,00 až 1,49
Mírně vlhké	0,99 - 0
Vlhké období – počínající	
Normální	0
Suché období – počínající	0,00 až -0,99
Mírně suché	
Středně suché	-1,00 až -1,49
Velmi suché	-1,50 až -1,99
Extrémně suché	$\leq -2$

*Tabulka 2: Hranice sucha podle indexu SPI*

## 5.5 Monitoring sucha

Ve spolupráci vědců a řady odborných pracovníků vznikl projekt Intersucho. Tento portál provozují instituce Ústav výzkumu globální změny, Akademie Věd České republiky, Mendelova univerzita v Brně a Státní

pozemkový úřad. V projektu bylo navázáno na dlouholetý výzkum v oblasti klimatologie sucha. Projekt monitoruje sucho a výsledkem je kombinace pozemních měření, dynamický model vodní bilance a postupy dálkového průzkumu Země. Mapa ukazatele velikosti sucha znázorňuje aktuální hodnoty půdní vláhly v daném období. Dosažené hodnoty jsou vyjádřeny možností opakování daného obsahu půdní vláhly v daný den a k tomu je použita odpovídající stupnice sucha uvedené v tabulce 3.

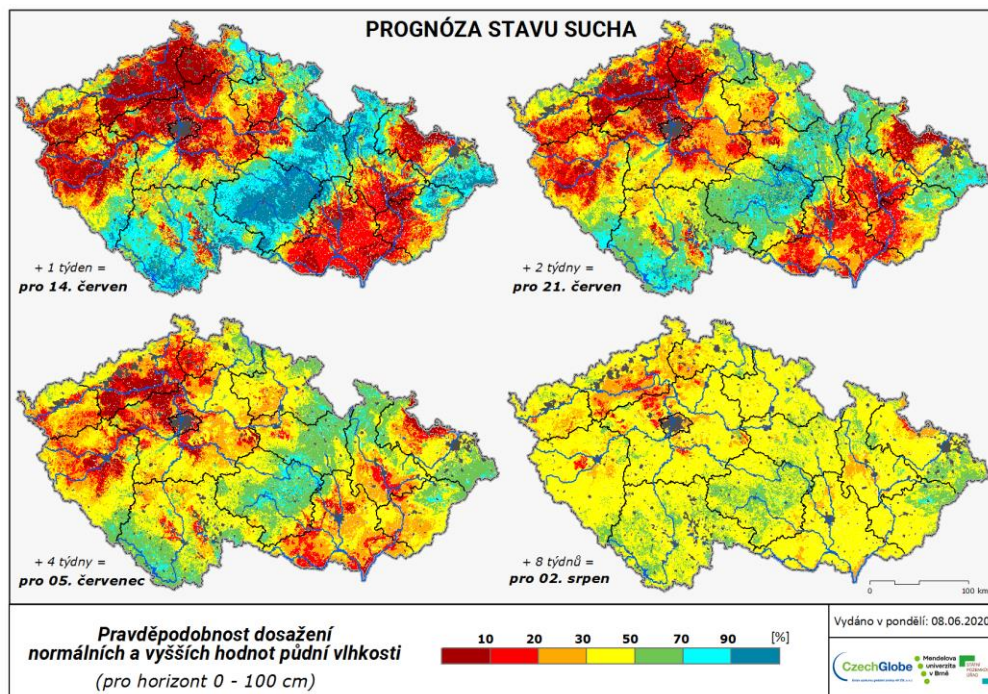
Kategorie	Popis	Barevná škála
Normální stav	<i>Zásoba vody v půdě je blízka nebo vyšší než normální hodnoty pro dané období</i>	
<b>S0</b> – snížená úroveň půdní vláhly	<i>Relativně nižší úroveň půdní vlhkosti opakující se v daném období v průměru jedenkrát za 3–5 let</i>	
<b>S1</b> – počínající sucho	<i>Snížená úroveň půdní vlhkosti opakující se v daném období v průměru jedenkrát za 5–10 let</i>	
<b>S2</b> – výrazné sucho	<i>Půdní vlhkost dosahuje hodnot, které se v daném období opakují v průměru jedenkrát za 10–20 let</i>	
<b>S3</b> – velmi výrazné sucho	<i>Půdní vlhkost dosahuje hodnot, které se v daném období opakují v průměru jedenkrát za 20–50 let</i>	
<b>S4</b> – výjimečné sucho	<i>Půdní vlhkost dosahuje neobvykle nízkých hodnot, které se v daném období opakují v průměru jedenkrát za 50–100 let</i>	
<b>S5</b> – extrémní sucho	<i>Extrémně nízká půdní vlhkost, které se v daném období opakuje méně než jedenkrát za 100 let a současně nasycení půdy je nižší než 50 % po více než 1 měsíc</i>	

Tabulka 3: Stupnice intenzity sucha a barevná škála

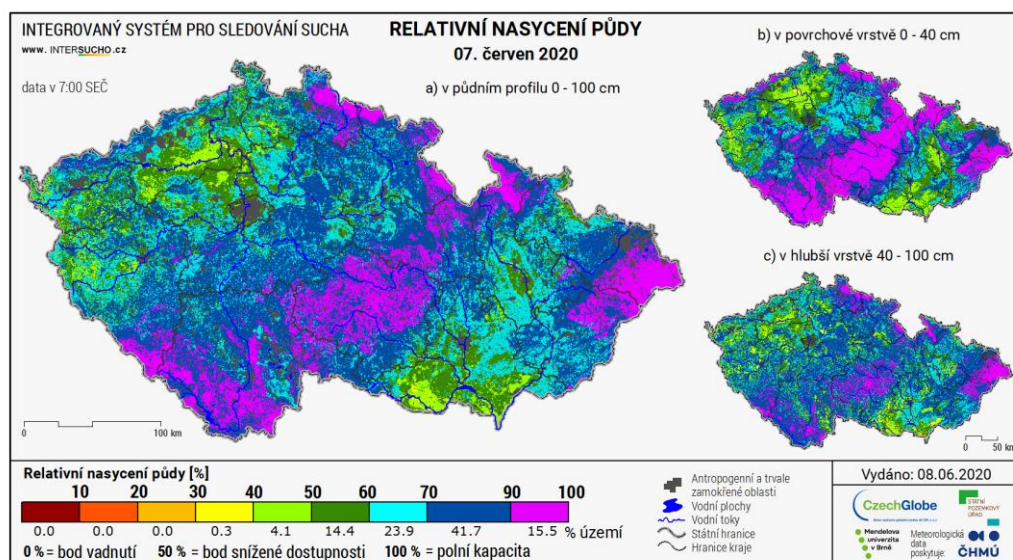
## 5.6 Aktuální sucho

V začátku roku bylo minimální množství srážek, ať už dešťových nebo sněhových, kdy napršelo několik milimetrů. Aktuální počasí v měsíci květnu bylo z pohledu srážek výrazně lepší. Pršelo a z hlediska povrchových vod je stav v současné chvíli lepší, průtoky v řekách se dostávají do průměrných stavů, někde lehce nadprůměrných, ale zásoby podzemních vod jsou doplňovány pomaleji, v některých částech republiky zatím v podstatě vůbec. (obrázek 8). To znázorňují situace zásobení půdního profilu vláhou a relativní nasycení půdy (obrázek 9).

Zvyšující se teploty v ČR jsou identické s globálními hodnotami a zveřejněnými hodnotami pro Evropu = 0,2°C. Výhledově do roku 2030 se očekává pokles srážek o 3 % oproti sledovanému období z let 1961-1990 (Bartoš 2009).



Obrázek 8: Prognóza předpovědi sucha na 2 měsíce



Obrázek 9: Relativní nasycení půdy

## 5.7 Podoba sucha v zahraničí

Dlouhodobé hydrologické ovlivnění alpských řek v období sucha bylo zkoumáno na 23 alpských řek v Severní Itálii. Toto místo bylo vybráno proto, že Alpy jsou citlivý ekosystém a odborníci je nazývají vodárenskými věžemi Evropy. Globální oteplování ovlivňuje i v těchto chladných místech distribuci vody a dochází ke zvýšení teploty o 2 °C způsobuje úbytky sněžení a zásoby v podobě sněhové pokrývky. Srážky v této oblasti jsou v průměru 1000–1500 mm (často sněhové). V jarní sezóně se průtoky řek zvýšily a přes léto postupně stagnovaly. Hydrologické změny v alpských řekách dokazují, že změna klimatu se projevuje i v okolních státech ČR. Proto i v této oblasti se snaží o regulaci odtoků a zadržení vody v povodí Alp (Bocchiola D., 2014).

Budoucnost vodní energie čelí aspektům politickým, změnám klimatu a argumentem čistého nebo obnovitelného zdroje. Gaudard L. a kol. (2014) popisuje slibnou budoucnost vodní energetiky. Výroba energie z řeky vodní elektrárny závisí na přítoku. Proto by nádrž měla mít kapacitu na několik dní provozu. Dostatečnou kapacitu však naplánovat kvůli suchu a sezonním výkyvům dlouhodobě nelze. Menší průtoky řekou a využití průtoky k výrobě elektřiny je ovlivněn i trhem s elektřinou. Zjednodušeně si to lze představit, tak že když je v síti malý odběr během víkendu, tak není potřeba vyrábět pomocí turbín energii. V tuto dobu se voda akumuluje a využije se v době větší poptávky po elektřině. Lze tedy říct, že dopady sucha budou mít vliv na trh s elektřinou (Joskow, 2006). Z environmentálního pohledu je vodní zdroj pro výrobu energie čistý a obnovitelný, ale dopad na životní prostředí má také. Odkloněním a zadržením přirozeného toku způsobuje abiotické a biotické změny v říčním systému (Berkamp, a kol., 2000).

Výroba z vody a využití vodní energie je hlavně ovlivněna průtokem. Dopady ve změnách klimatu se mohou lišit v každé oblasti, a to i někdy v poměrně krátké vzdálenosti lokalit zasažených suchem. Kolik kW dokáže vyrobit vodní elektrárna je závislé na množství vody procházející turbínou, výšce hladiny a účinnosti turbíny. Nárůst výroby energie z vodních zdrojů se do roku 2030 odhaduje až o 3 % ročně, ale i toto množství je dost omezené, protože nové přehrady se u nás ani ve světě staví obtížně a pomalu (Hamududu a kol. 2012).

## 5.8 Legislativní opatření ke zvládnání sucha

Právní nástroje na zmírnění dopadů sucha ve vodním hospodářství jsou v ČR v podobě zákonů, vyhlášek a metodických pokynů v kompetenci ministerstva zemědělství a ministerstva životního prostředí.

V oblasti vodního hospodářství zmírňují právní nástroje dopady hydrologického sucha. Prolínají se zde i právní úpravy například pro retenční schopnosti pozemků, ale tím se tato práce nezabývá. V minulosti se vodní hospodářství zabývalo pouze uspokojením poptávky po vodě. Změnila to až evropská směrnice 2000/60/ES, ta ochraňuje dlouhodobě dosažitelné vodní zdroje, zabraňuje znečišťování povrchových a podzemních vod (Směrnice evropského parlamentu a rady 2000/60/ES).

Na území ČR je základním právním předpisem zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů (dále jen vodní zákon), ten je v souladu s výše uvedenou evropskou směrnicí. Vodní zákon mimo jiné stanovuje podmínky využití vodních zdrojů hospodárně a určuje podmínky snížení dopadů povodní a sucha. Vodní zákon rozlišuje povrchové a podzemní vody. Povrchovými vodami jsou podle § 2 vodního zákona, vody přirozeně se vyskytující na zemském povrchu, tento charakter neztrácejí, protékají-li přechodně zakrytými úseky, přirozenými dutinami pod zemským povrchem nebo v nadzemních vedeních. Paragraf § 23 vodního zákona se zabývá plánováním v oblasti vod a veřejným zájmem je snížení nepříznivých účinků povodní a sucha a udržitelné užívání vodních zdrojů (Zákon č. 254/2001 Sb.)

Snížením nepříznivých dopadů sucha a jeho zvládnáním se zabývá Koncepce ochrany před následky sucha pro území České republiky. Zajištěním dostačujících vodních zdrojů se sníží dopad sucha a řešením by mohly být víceúčelové nádrže. Ty mohou být využity pro pitnou vodu, zavlažování, energetiku a průmysl. Akumulací povrchových vod v nádrži a stavbou tohoto díla se zabývá § 55 vodního zákona (Mezirezortní komise VODA-SUCHO, 2017).

Vodní díla jsou charakterizována dle platné legislativy §55 zákona č. 254/2001 Sb., jako stavby, které slouží ke vzdouvání a zadržování vod, umělému usměrňování odtokového režimu povrchových vod, k ochraně a

užívání vod, k nakládání s vodami, ochraně před škodlivými účinky vod, k úpravě vodních poměrů nebo k jiným účelům sledovaných tímto zákonem. Za vodní díla se považují dle tohoto zákona přehrady, hráze, vodní nádrže, jezy a zdrže (zákon č. 254/2001 Sb.).

Při přehrazení původního vodního toku vzniká přehrada nebo i mnohdy jinak nazývaná přehradní nádrž. Slouží k akumulaci většího množství vody a tím se liší od přirozených jezer. Vodní nádrže vyrovnávají nepravidelné průtoky korytem řek a zvyšují minimální stavy v řekách, což lze ocenit v aktuálně panujícím suchu. Prostor přehrady je tvořen údolím řeky a její nejvyšší vodní hladina vzniká vzduťím hladiny řeky (Kratochvíl, 1961).

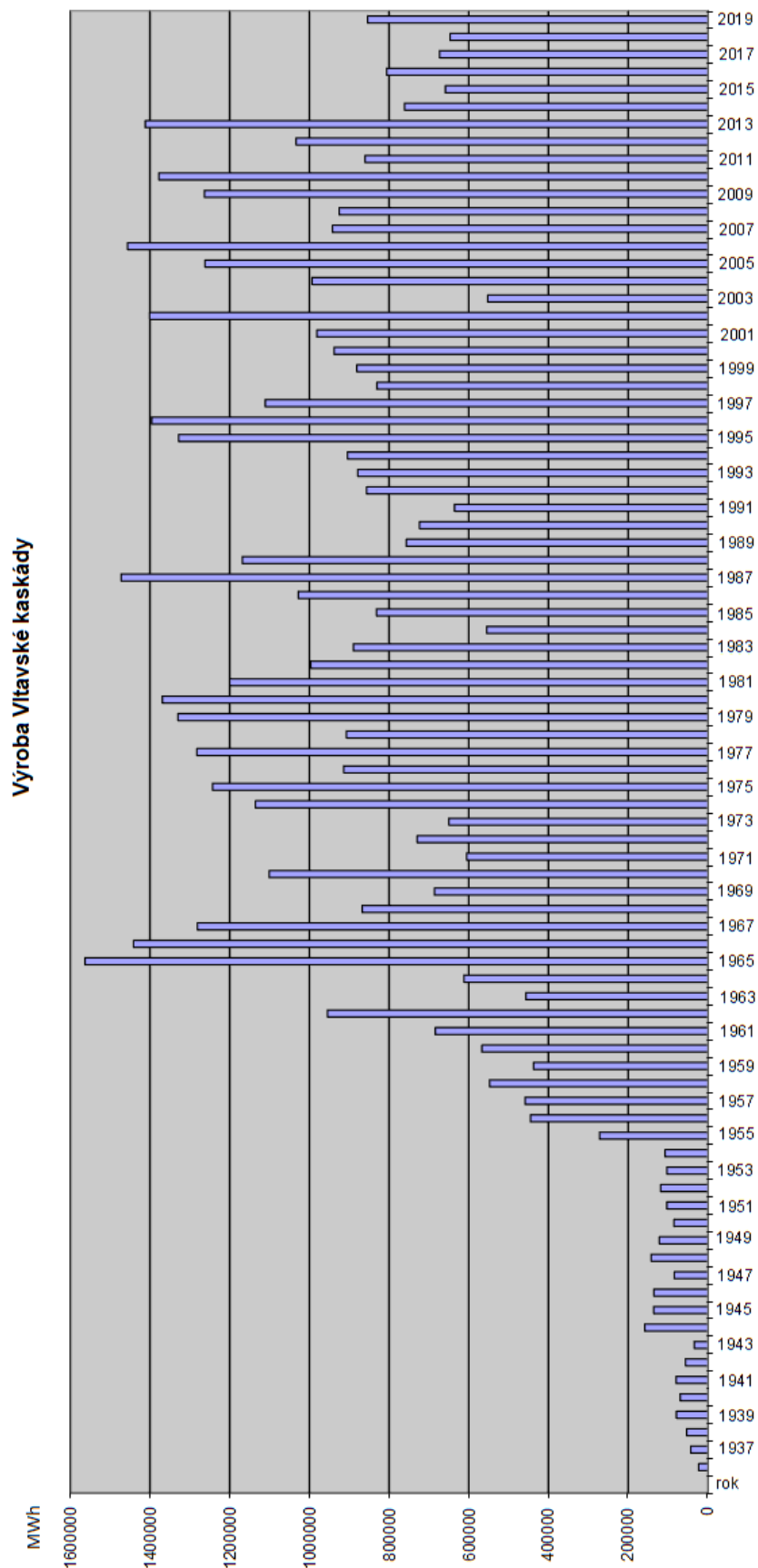
## 5.9 Vliv sucha na odvětví elektřiny

Na trhu s elektřinou se obchoduje jeden den dopředu. Mezi obnovitelnou energetiku patří právě i vodní energie, která má na trhu s elektřinou lepší preference. Dispečink plánuje a řídí elektrárny, aby poptávka po elektřině byla rovná nabídce. S přebytky energie jsou problémy a tím, že jsou vodní elektrárny flexibilní a dokážou zahájit výrobu během několika minut, jsou schopny vykrývat špičky v časech výrazně vyšší spotřeby (Kanamura a kol., 2007).

Když není nutné najetí do provozu vodních elektráren prostor stálého nadržení v přehradě se může doplnit a dopomocť následkům sucha v okolí řeky. V porovnání s ročními obdobími je léto ve spotřebě energie na prvním místě, protože chlazení v horkých dnech se stalo důležitější než v zimě vytápění. Klesající přítoky během léta ovlivňují provozování vodní energetiky a pokles výroby z tohoto zdroje. (Kumar a kol., 2011). Vodní energetika má nespornou výhodu v tom, že náklady na výrobu elektřiny jsou nízké vzhledem k dostupnosti suroviny, kterou je voda.

Elektrárny od Lipna až po Vrané využívají 500 metrů spádu řeky Vltavy. Za rok 2019 elektrárny Vltavské kaskády vyrobily 906 000 000 kWh čisté energie. Je to o 29 % více než v předchozím suchém roce 2018. Tuto vyrobenou energii by celý rok spotřebovávalo 258 000 domácností v ČR (ČEZ, 2020).





Obrázek 10: Graf porovnání výroby VE

## 5.10 Zavislost na hydroenergetice

Pro země, které jsou závislé hlavně na hydroenergetice, jsou suchá období a nedostatek vody velkým rizikem. Vodní elektrárny jsou ovlivněny změnami klimatu. Přehrada Itaipú na toku Paraná, která je druhou nejvýkonnější vodní elektrárnou na světě, je vybudována na pomezí Brazílie a Paraguaye. Z celkového množství vyrobené elektrické energie v Brazílii je asi 68 % energie pocházející z hydroelektráren a v Paraguayi je podíl VE na výrobě energie téměř 99,9 %. Tyto země se dohadují na poplatcích doslova z každé kapky vody na průtoku na turbínu. V minulosti bylo dohodnuto, že každé zemi připadne polovina vyrobené energie z této přehrady. Tento zdroj energie je tedy velmi zranitelný a závislost na něm je enormní (Lorenzon a kol., 2016). V prostředí k nám polohově bližším jsou Italské Alpy. Zde ovlivňuje při pozorování průtoků a plnění nádrží tání sněhové pokrývky, ale aktuálně při oteplování také výrazné tání ledovců. Měsíční produkce výroby energie z vodních zdrojů se proto v ročním období mění a kolísá. Tyto očekávané odchylky stavu hladiny mohou být analyzovány a následně mohou pomoci ke zmírnění ekonomického dopadu v této oblasti (Maran a kol., 2013).

## 5.11 Dopady sucha na provozování vodních elektráren

Z manipulačních řádů vodních děl lze vyčíst důležité údaje o každém vodním díle. Zajímavé pro určení dopadů hydrologického sucha jsou především N-leté průtoky toku. Pro výrobu na každé elektrárně je určený spád neboli výška hladiny, při které lze turbíny provozovat a vyrábět elektrický proud. Největší hydrologická sucha 20. století hodnotil Tremi (2012). Shledal, že sucha v 90. letech minulého století a v porovnání s rokem 2003, při kterých byly značně poklesnuté průtoky, nebyly tak extrémní jako v letech 1921, 1947 a 1953. Na obrázku 10 poskytnutým dispečinkem VE lze vyčíst, že sucho v posledních pěti letech mělo zásadní vliv na výrobu elektrické energie. Je zde počítáno s delším obdobím z důvodu lepšího porovnání. Však údaje o výrobě na VE, můžeme začít porovnávat až zhruba od poloviny grafu na časové ose. Před tímto milníkem se zde ještě nepromítly velké VE elektrárny, které se v tu dobu teprve budovaly a Orlík byl spuštěn v březnu 1962.

## 6 Diskuze

V nedávné minulosti zasáhl ČR výskyt hydrologického sucha. Toto období se odrazilo v mnoha odvětvích. Tato práce poukazuje na to, jak výskyt sucha ovlivňuje výrobu elektrické energie pomocí vodní energie. Výroba elektrické energie z obnovitelných zdrojů všeobecně stoupá a v posledních letech se vyrobilo nejvíce této energie právě ve vodních elektrárnách. Hlavní výhodou tohoto zdroje okamžitá reakce na aktuální potřebu elektrické energie v síti. Využitím potenciální energie vody za účelem získání mechanické práce a přeměny na elektřinu, ale naráží na své limity. Sucho ovlivňuje množství výrobní suroviny v tocích. Pokles hladiny nám v přehradě sníží spád a tím se sníží možné provozní podmínky každé z vodních elektráren. Snížení hladiny ve vodním díle má také za následek snížení spodní hladiny v okolních obcích a jejich zdrojích pitné vody, negativní dopad se odráží i v rekreaci a čerpání povrchové vody.

Pro další rozvoj vodních elektráren nemá ČR mnoho vhodných lokalit a ideální podmínky jsou pouze na velkých řekách, které mají dostatečný spád a množství vody. Malé vodní elektrárny byli soukromými investory hojně budovány. Teplé a suché počasí jim ale, nedovolilo velkou část roku spuštění provozu a vyvedení výkonu do elektrizační soustavy. Navýšení výkonů ve stávajících provozovaných vodních elektrárnách se nabízí modernizací soustrojí. Staré technologie disponující menší účinností, tak modernizace zlepší výkonnost. Výroba energie ve vodních elektrárnách patří mezi největšího výrobce energie z obnovitelných zdrojů (Mastný a kol., 2011).

Společnost je mnohdy názoru, že i za suchého počasí, kdy je nedostatek vody v toku, se voda využívá k výrobě energie nadměrně. To ale neznají argument, že se v korytě musí i pod přehradou zachovat minimální průtok, který proudí dál a plní přehrady další v kaskádě.

Sucho na naší planetě vždy bylo, bude a nyní hlavně je. Ovlivní nás nástup a délka trvání tohoto jevu. Lidstvo si zvyklo na luxus v podobě bezproblémové dodávky elektřiny a v budoucnu se může stát, že ani vodní elektrárny nebudou mít vodu jako surovinu pro výrobu elektřiny a ostatní elektrárny pro chlazení.

## 7 Závěr

V minulých letech sužovalo Českou republiku nezvyklé sucho. Na důkaz tohoto jevu nám před očima vysychaly rybníky a potoky, vyprazdňovaly se řeky a v některých obcích přestala téct voda z domovního řádu. Změny klimatu jsou aktuálním tématem spousty vědců. Jejich názory jsou, že do roku 2050 již klima neovlivníme a bude se stále oteplovat. Jedním z hydrologických opatření by bylo zvážit výstavbu přehrad. V ČR je vytipováno 65 míst pro tyto stavby. Je to drahé opatření, a aby plnilo funkce zadržování vody, muselo by se budovat na středních tocích dané řeky. Velkým problémem uvažované budoucí výstavby by mohly být majetkoprávní problémy, přes které by výstavba nemusela být schválena. Většinu vodohospodářských staveb vybudovali již naši předkové a nové projekty narážejí na ekologické aspekty a sociální dopady na okolí. V současnosti se řeší významný projekt na vybudování nového vodního díla Nové Heřminovy (Fošumpaur a kol., 2014).

Cílem práce bylo poukázat, že aktuální sucho ve výrobě elektrické energie je omezující a neúmyslně ovlivňuje vyrobené množství energie. Aktuálně je výroba vodní energie oproti výrobě energie za pomoci solárního průmyslu velmi znevýhodněna kvůli změnám klimatu a dlouhotrvajícímu suchu, díky němuž dochází k výraznému úbytku jak povrchových, tak i podzemních vod. Sice nazýváme odtékající vodu z vodní elektrárny jako odpadní, ale je naprosto čistá. Výroba na Vltavské kaskádě pokrývá velkou část spotřeby elektrické energie. Pracuje jako celek a jednotlivé elektrárny jsou na sobě závislé.

## 8 Přehled literatury a použitých zdrojů

### 8.1 Seznam obrázků

Obrázek 1: Průběh Vltavy územím ČR .....	3
Obrázek 2: Dobová fotografie plavců na voru .....	4
Obrázek 3: Schéma Vltavské kaskády .....	6
Obrázek 4: Řez VE Lipno I. ....	9
Obrázek 5: Lokalita VE .....	10
Obrázek 6: Fotky z Podolska – porovnání plný a nízký stav hladiny .....	11
Obrázek 7: Propagace sucha do jednotlivých částí hydrologického cyklu .....	15
Obrázek 8: Prognóza předpovědi sucha na 2 měsíce .....	20
Obrázek 9: Relativní nasycení půdy .....	20
Obrázek 10: Graf porovnání výroby VE .....	24
Obrázek 11: Vodní elektrárny skupiny ČEZ .....	34

### 8.2 Seznam tabulek

Tabulka 1: Vodní díla vltavské kaskády .....	7
Tabulka 2: Hranice sucha podle indexu SPI .....	18
Tabulka 3: Stupnice intenzity sucha a barevná škála .....	19

## 8.3 Seznam literatury

### 8.3.1 Odborné publikace

- Augusta P., David P., Soukup V., 2003: Krajem našich elektráren. Nakladatelství Soukup & David jako účelový náklad pro firmu ČEZ, a.s., S 64-65.
- Bárta B., Boráková J., 2019: Ovlivnění průtoků ve vybraných vodoměrných stanicích ČHMÚ aneb Co (ne)teče ve vodních tocích? ČHMÚ Praha, S 1-3.
- Bartoš M., 2009: Vodstvo a podnebí v České republice, Praha, Consult Praha, ISBN 80-903482-7-0.
- Berkamp G., McCartney M., Dugan P., McNeely J., Acreman M., 2000: Dams, Ecosystem Functions and Environmental Restoration, Thematic Review II.1 prepared as an input to the World Commission on Dams, Cape Town.
- Blinka P., 2005: Klimatologické hodnocení sucha a suchých období na území České republiky v letech 1876 2002. Meteorologické zprávy Meteorological bulletin, ročník 58 1 S 9.
- Bocchiola D., 2014: Long term (1921–2011) hydrological regime of Alpine catchments in Northern Italy, *Advances in Water Resources*, S 51-64.
- Brázdil R., Trnka M., Řezníčková L., Balek J., Bartošová L., Bičík I., Cudlín P., Čermák P., Dobrovolný P., Dubrovský M., Farda A., Hanel M., Hladík J., Hlavinka P., Janský B., Ježík P., Klem K., Kocum J., Kolář T., Kotyza O., Kyncl T., Lorencová E. K., Macků J., Mikšovský J., Možný M., Muzikář R., Novotný I., Pártl A., Pařil P., Pokorný R., Rybníček M., Semerádová D., Soukalová E., Stachoň Z., Štěpánek P., Štych P., Tremel P., Urban O., Vačkář D., Valášek H., Vizina A., Vlnas R., Vopravil J., Zahradníček P., Žalud Z., 2015: Sucho v českých zemích: Minulost, současnost, budoucnost. Historie počasí a podnebí v českých zemích. Centrum výzkumu globální změny Akademie věd České republiky. Brno. 400 s. ISBN 978-80-87902-11-0.
- Broža V., 2017: Sucho, krajina a vodohospodáři. *Vodní hospodářství* č. 1, roč. 67, S 24–25.

- Čáka J., 2002: Zmizelá Vltava. Praha. Nakladatelství Paseka Praha, ISBN 80-7185-491-3.
- Drbohlav J., Sehnal Z., Dočkal J., 1963: Automatizace vodních elektráren. Praha, Nakladatelství SNTL, S 9-12, ISBN 04-550-63.
- Fošumpaur P., Kendík T., Březina K., 2014: Zodpovědný přístup při řešení možných změn strategického řízení nádrží, XXXIV. Priehradné dni 2014.
- Gaudard L., Romerio F., 2014: Reprint of “The future of hydropower in Europe: Interconnecting climate, markets and policies”, Elsevier.
- Hamududu B., Killingtveit A., 2012: Assessing Climate Change Impacts on Global Hydropower, *Energies*, S 305-322.
- Hanel M., Kašpárek L., Boháč M., Kourková H., Kukla P., Kulasová B., 2013: Možné dopady klimatické změny na režim nízkých průtoků. Sborník abstraktů, Sucha a jak mu čelit
- Hubalová P., Janíček T., 2017: Zpráva o stavu vodního hospodářství České republiky v roce 2017, Ministerstvo zemědělství, S. 19, ISBN 978-80-7434-463-3.
- Hušek J., 1963: Přečerpávací vodní elektrárny. Praha, Státní nakladatelství technické literatury, S 53-58, ISBN 04-243-63.
- Joskow P.L., 2006: Competitive Electricity Markets and Investments in New Generating Capacity. MIT Center for Energy and Environmental Policy Research (06-009 WP).
- Kanamura T., Ohashi K., 2007: A structural model for electricity prices with spikes: measurement of spike risk and optimal policies for hydropower plant operation. *Energy Economics* 29, S 1010-1032.
- Karamouz M., Ahmadi A., Akhbari M., 2011: Groundwater hydrology: engineering, planning, and management. CRC Press, Boca Raton, S 635.
- Kopřiva M., Urbášek M., Sklenář P., Ochočný V., Michálek P., Höll Č., Höll J., 1997: Přečerpávací elektrárna Dlouhé Stráně, vydal ČEZ, a.s., S 13.

- Kratochvíl S., 1956: Využití vodní energie. Praha, Nakladatelství československé akademie věd.
- Kukla P., Boháč M., Kourková H., Šercl P., 2018: Zhodnocení vývoje povrchových vod v roce 2018, Sucho 2014–2018, sborník abstraktů, červen 2019, S 3.
- Kumar A., Schei T., Ahenkorah A., Rodriguez R.C., Devernay J.M., Freitas M., Hall D., Killingtveit A., Liu Z., 2011: Hydropower IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Cambridge University Press, Cambridge and New York.
- Lorenzon A. S., Ribeiro C. A. A. S., Santos A. R, \*, Marcatti G. E., Domingues G. F., Soares V. P., Castro N. L. M, Teixeira T. R., Maran S., Volonterio M., Gaudard L., 2013: Climate change impacts on hydropower in an alpine catchment, Environmental science & policy 43 S 15–25.
- Maran E. F., Lopez M. C., Moore N., Müller N., Hyndman D. W., 2018: Sustainable hydropower in the 21st century, PNAS November 20, S 2.
- Mastný P., Drápela J., Mišák S., Macháček J., Ptáček M., Radil L., Bartošík T., Pvelka T., 2011: Obnovitelné zdroje elektrické energie. České vysoké učení technické v Praze, Praha.
- Mishra A. K., Singh V. P., 2010: A review of drought concepts. Journal of Hydrology 391, S 202–216.
- Nalbantis I., Tsakiris G., 2009: Water Resour Manage, Springer Netherlands, S 881–897.
- Petřík P., Akademický bulletin č. 9/2016, Akademie věd České republiky, S 20.
- Podzimek J. a kol., 1970: Povodí Vltavy, Pragopress, Praha.
- Rožnovský J., Kohut M., 2004: Potenciál vláhové bilance v letech 2000 až 2003, Český hydrometeorologický ústav, Brno, S1-3.
- Sheffield J., Wood E. F., 2011: Drought: Past Problems and Future Scenarios. Earthscan, London and Washington DC, S 233-238.



- Střešitík J., Rožnovský J., Štěpánek P., Zahradníček, P.: Hodnocení výskytu sucha v České republice Minářovou vláhovou jistotou za období 1961-2017, Český hydrometeorologický ústav, Brno, S1-13.
- Štoll Č., Kratochvilova S., Holata M., 1977: Využití vodní energie. Praha. Nakladatelství SNTL, ISBN 04-714-77.
- Tremi P., 2012: Největší hydrologická sucha 20. století, seminář Adolfa Patery 2012 — Extrémní hydrologické jevy v povodích. ČVUT a ČVTVHS, Praha, 251–255.
- Wilhite D. A., 2005: Drought and Water Crises: Science, Technology and Management Issues. CRC Press, ISBN 9780429120091.
- Zahradníček P., Štěpánek P., Trnka M., Farda A., 2015: Projevy změny klimatu na území České republiky, CzechGlobe – Ústav výzkumu globální změny AV ČR, S 4.

### 8.3.2 Legislativní zdroje

- ČSN 75 0120 Vodní hospodářství – Terminologie hydrotechniky.
- Mezirezortní komise VODA-SUCHO, 2017: Koncepce ochrany před následky sucha pro území České republiky, Schválena usnesením vlády 24. 7. 2017.
- Směrnice evropského parlamentu a rady 2000/60/ES, ze dne 23. října 2000.
- Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění pozdějších předpisů, ASPI, Wolters Kluwer ČR [cit. 4. 3. 2020].

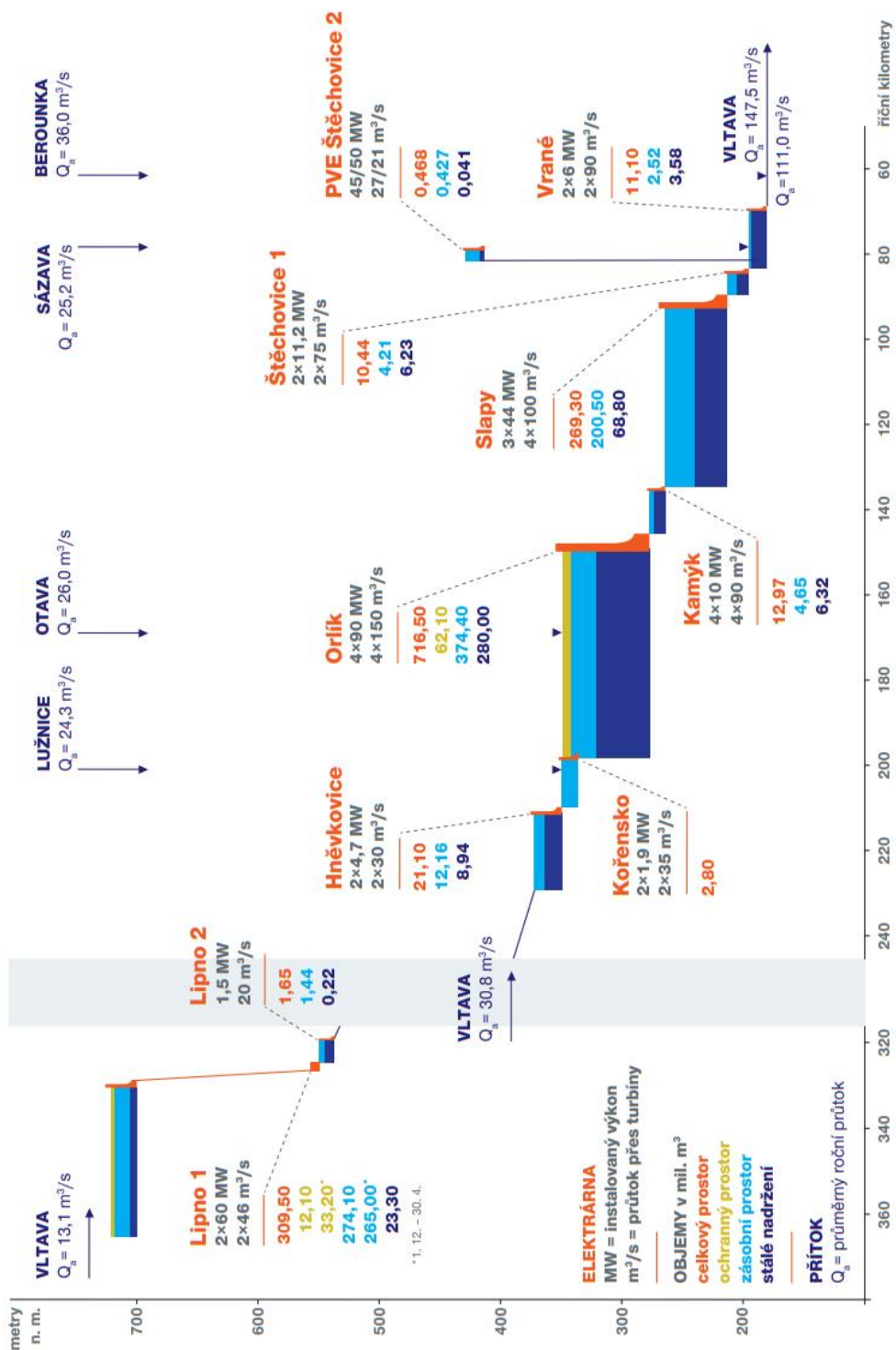
### 8.3.3 Internetové zdroje

- [www.pvl.cz](http://www.pvl.cz)
- [www.mapy.cz](http://www.mapy.cz)
- [www.intersucho.cz](http://www.intersucho.cz)

### 8.3.4 Ostatní zdroje

- Elektrárna Kamýk, 2004, informační brožura, © ČEZ, a.s.
- Informační zpráva č. 75 o situaci na vodních tocích a vodních dílech při výskytu hydrologického sucha v povodí spravovaném státním podnikem Povodí Vltavy, Příloha č. 3 k Příkazu č. 3/2017, Státní podnik Povodí Vltavy.
- Manipulační řád pro vodní dílo Kamýk na Vltavě. Zpracoval: VD TBD, 07/2002, Schválil: OkÚ Příbram. Revize 12/2019.
- Manipulační řád vodní díla Štěchovice na Vltavě, Zpracoval: VD TBD, 05/1996, Schválil: OkÚ Praha-západ. Revize 07/2016.
- Manipulační řád vodního díla Orlický náhon na významném vodním toku Vltava. Zpracoval: Povodí Vltavy, státní podnik, 02/2015, Schválil: Krajský úřad Středočeského kraje.
- Manipulační řád vodního díla Slapy na významném toku Vltava, Zpracoval: Povodí Vltavy, státní podnik – centrální vodohospodářský dispečink, 08/2018, Schválil: Krajský úřad Středočeského kraje.
- Manipulační řád vodního díla Vrané nad Vltavou. Zpracoval: VD TBD, 05/1996, Schválil: OkÚ Praha-západ. Revize 09/2014.
- Manipulační řád vodních děl Hněvkovice a Kořensko na Vltavě. Zpracoval: VD TBD, 01/1995 a 03/1996, Schválil: OkÚ Český Budějovice. Revize 05/2019.
- Manipulační řád vodních děl Lipno I. a Lipno II. na Vltavě. Zpracoval: VD TBD, 01/1995 a 03/1996, Schválil: OkÚ Český Krumlov. Revize 01/2009.
- Komplexní manipulační řád Vltavské kaskády. Povodí Vltavy, státní podnik, 2/2016, Schválil: Krajský úřad Středočeského kraje.
- ČEZ číslo týdne: 258 000, 8. týden 2020, © ČEZ, a.s., 2020.
- Povodí Vltavy, státní podnik, 2013: Vltavská kaskáda.

## 9 Přílohy



Obrázek 11: Vodní elektrárny skupiny ČEZ