

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ



MALÉ VODNÍ ELEKTRÁRNY V KARLOVARSKÉM KRAJI
JAKO ALTERNATIVNÍ ZDROJ ELEKTRICKÉ ENERGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Radek Roub, Ph.D.

Autor práce: Bc. Dana Bubancová

Praha 2023

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Dana Bubancová

Regionální environmentální správa

Název práce

Malé vodní elektrárny v Karlovarském kraji jako alternativní zdroj elektrické energie

Název anglicky

Small hydropower plants as an alternative source of electricity in the Karlovy Vary region

Cíle práce

Zmapování historie zařízení vyrábějící elektrickou energii v Karlovarském kraji od vodních mlýnů až po moderní malé vodní elektrárny. Shrnutí informací o vodních motorech od nejjednodušších – vodních kol až po ty složitější – moderní vodní turbíny. Další část se věnuje území Karlovarského kraje z hlediska hydrologie – porovnává hydrologická data, jako jsou průměrná měsíční teplota, průměrné měsíční srážky, od roku 2017 do roku 2021. V poslední části bude u tří největších toků vypočítán teoretický hydroenergetický potenciál, který bude porovnán s průměrem využití teoretického hydroenergetického potenciálu v České republice a v zemích Evropské unie.

Metodika

Hodnocení Karlovarského kraje z hlediska hydrologie bylo provedeno na základě informací z Hydrologické bilance množství a jakosti vody České Republiky od roku 2017 do roku 2021 Českého hydrometeorologického ústavu. Porovnávány byly informace o průměrných měsíčních srážkách a průměrné roční teplotě v uvedených letech. V programu ArcGIS Pro byla vytvořena mapa s vodními toky na území Karlovarského kraje, na kterých je umístěna malá vodní elektrárna. Základní údaje o MVE byly čerpány z dat Energetického regulačního úřadu – udělené licence pro výrobu elektrické energie. Na základě informací o celkovém instalovaném výkonu byly MVE rozděleny do tří kategorií a data zpracována do grafů. Pro tři největší toky v Karlovarském kraji (Ohře, Odava, Rolava) byl vypočítán teoretický hydroenergetický potenciál, který byl následně porovnán s velikostí instalovaného výkonu malých vodních elektráren na daném toku. Získané údaje byly porovnány s odhadem využití hydroenergetického potenciálu v České republice. Poslední částí bylo shrnutí využití vodní energie ve státech Evropské unie ve vztahu k ostatním možnostem výroby elektrické energie.

Doporučený rozsah práce

40-60

Klíčová slova

malá vodní elektrárna, hydroenergetický potenciál, turbína, vodní energie

Doporučené zdroje informací

- BARTÁK, J., ETTLER, Z., FREMR, V. Malé vodní elektrárny v západních Čechách. Západočeská energetika, a. s. 2003
- BEDNÁŘ, J. *Malé vodní elektrárny. Díl 2., Turbíny*. Praha: SNTL, 1989.
- DAVIS, S. Microhydro: Clean Power from Water. Gabriola Island, British Columbia: New Society Publishers 2003
- DUŠIČKA, P., ŠULEK P. Energetické využití vodních zdrojů. STU Bratislava, 2012
- HOLATA, M. – GABRIEL, P. *Malé vodní elektrárny : projektování a provoz*. Praha: Academia, 2002. ISBN 80-200-0828-4.
- JÁŠA, L. Mlýny Slavkovského lesa. Nakladatelství Fornica, 2011
- MELIČAR, J. – VOJTEK, J. – BLÁHA, J. *Malé vodní turbíny : konstrukce a provoz*. Praha: ČVUT, 1998. ISBN 80-01-01808-3.
- NOYES, R. Small and micro hydroelectric power plants: technology and feasibility. Park Ridge, N.J.: Noyes Data Corp., 1980
- THAKE, J. *The micro-hydro pelton turbine manual : design, manufacture and installation for small-scale hydropower*. London: ITDG Publishing, 2000. ISBN 1-85339-460-2.

Předběžný termín obhajoby

2022/23 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Radek Roub, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Konzultant

Vladimír Major

Elektronicky schváleno dne 29. 3. 2023

prof. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 29. 3. 2023

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 30. 03. 2023

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou/závěrečnou práci na téma: Malé vodní elektrárny v Karlovarském kraji jako alternativní zdroj energie vypracoval/a samostatně a citoval/a jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil/a a které jsem rovněž uvedl/a na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů. Jsem si vědoma, že na moji diplomovou/závěrečnou 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/a, že odevzdáním diplomové/závěrečné 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 31. 03. 2023

Bc. Dana Bubancová

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala mému vedoucímu práce Ing. Radku Roubovi PhD., Adamu Hromadovi a panu Edvardu Sequensovi za poskytnuté údaje a v neposlední řadě mé rodině.

Abstrakt

Vodní energii využívali lidé jako jeden z prvních zdrojů energie. Jde o zdroj nevyčerpatelný, ekologický a obnovitelný. Tato diplomová práce se zabývá malými vodními elektrárnami v Karlovarském kraji jako alternativními zdroji elektrické energie. Vzhledem k tomu, že jednou z nevýhod malých vodních elektráren je jejich závislost na stabilním průtoku, byla nejdříve porovnána hydrologická data (průměrné roční srážky a průměrné roční teploty) za období let 2017 až 2021. Poté byla na základě licencí udělených Energetickým regulačním úřadem zmapována zařízení v Karlovarském kraji, která vyrábí elektrickou energii pomocí vodní energie. U páteřní řeky Ohře, jejího pravostranného přítoku Odavy a levostranného přítoku Rolavy byl vypočítán teoretický hydroenergetický potenciál toku. Ten byl následně porovnán s instalovaným výkonem všech MVE, které se na daném toku nachází. Stejný postup byl použit pro výpočet teoretického hydroenergetického potenciálu řeky Ohře v Ústeckém kraji. Na závěr bylo porovnáno využití hydroenergetického potenciálu v České republice a v některých zemích Evropské unie.

Klíčová slova: malá vodní elektrárna, hydroenergetický potenciál, turbína, vodní energie

Abstract

Water power was one of the first sources of energy used by humans. It is an inexhaustible, ecological and renewable resource. This thesis deals with small hydroelectric power plants in the Karlovy Vary Region as alternative sources of electricity. Because one of the disadvantages of small hydropower plants is their dependence on stable flow, hydrological data (average annual precipitation and average annual temperatures) for the period 2017 to 2021 were first compared. Then, based on the licenses granted by the Energy Regulatory Office, the facilities in the Karlovy Vary Region that generate electricity using hydropower were mapped.

The theoretical hydropower potential of the river was calculated for the Ohře River, its right-side tributary Odrava and left-side tributary Rolava. This was then compared with the installed capacity of all the hydropower plants located on the stream. The same procedure was used to calculate the theoretical hydropower potential of the Ohře River in the Ústí nad Labem Region. Finally, the hydroelectric potential in the Czech Republic and in some European Union countries was compared.

Keywords: small hydropower plant, hydropower potential, turbine, hydropower

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

| Značka | Název veličiny | Jednotka |
|-------------------------|---|------------------------|
| ET | evapotranspirace | m ³ |
| E_T | teoretický hydroenergetický potenciál | kW |
| g | gravitační konstanta (tíhové gravitační zrychlení) | 9,81 m/s ² |
| H | užitný spád | m |
| H_b | hrubý spád | m |
| H₁ | nadmořská výška prvního místa | m |
| H₂ | nadmořská výška druhého místa | m |
| P | množství vody, které spadne ve srážkách za dané období | m ³ |
| Q | průtok | m ³ /s, l/s |
| Q₁ | průměrný roční průtok prvního místa | m ³ /s, l/s |
| Q₂ | průměrný roční průtok druhého místa | m ³ /s, l/s |
| Q_a | dlouhodobý průměrný průtok | m ³ /s, l/s |
| Q_d | průměrný denní průtok | m ³ /s, l/s |
| Q_c | celkový odtok | m ³ |
| Q_m | měsíční průtok | m ³ /s, l/s |
| Q_r | roční průtok | m ³ /s, l/s |
| Q_{330d} | průtok v daném profilu, který byl dosažen nebo překročen průměrně 330 dní v roce | m ³ /s, l/s |
| Q_{355d} | průtok v daném profilu, který byl dosažen nebo překročen průměrně 355 dní v roce | m ³ /s, l/s |
| Q_{364d} | průtok v daném profilu, který byl dosažen nebo překročen průměrně 364 dní v roce | m ³ /s, l/s |

Obsah

| | |
|---|----|
| 1. Úvod | 1 |
| 2. Cíle práce | 1 |
| 3. Literární rešerše | 1 |
| 3.1 Vodní mlýny | 1 |
| 3.1.1 Historie vodních mlýnů v Čechách | 1 |
| 3.1.2 Dělení vodních mlýnů | 1 |
| 3.1.3 Vodní turbíny ve vodních mlýnech..... | 3 |
| 3.2 Vodní elektrárny..... | 3 |
| 3.2.1 Rozdělení vodních elektráren | 4 |
| 3.2.2 Malé vodní elektrárny..... | 5 |
| 3.2.3 Parametry hydroenergetického zařízení..... | 6 |
| 3.3 Vodní turbíny..... | 6 |
| 3.3.1 Dělení vodních turbín | 6 |
| 3.3.2 Francisova turbína..... | 6 |
| 3.3.3 Kaplanova turbína..... | 7 |
| 3.3.4 Bánkiho turbína | 8 |
| 3.3.5 Semikaplanova turbína | 9 |
| 3.3.6 Peltonova turbína | 10 |
| 3.4 Hydrologie – základní pojmy..... | 10 |
| 3.4.1 Povodí..... | 10 |
| 3.4.2 Dělení vodních toků | 11 |
| 3.4.3 Sklon vodního toku | 11 |
| 3.4.4 Hydrologický režim..... | 11 |
| 3.4.5 Vodní stavy a jejich pozorování | 11 |
| 4.1 Studijní území | 12 |
| 4.1.1 Přírodní charakteristika oblasti..... | 12 |
| 4.1.2 Teplotní a srážkové poměry v České republice..... | 14 |
| 5. Metodika | 15 |
| 6. Současný stav řešené problematiky..... | 16 |
| 6.1 Povodí na území Karlovarského kraje | 16 |
| 6.2 Hydrologická situace 2017 – 2021 | 16 |
| 6.2.1 Hydrologická situace - měsíční data za rok 2017 | 16 |
| 6.2.2 Hydrologická situace - měsíční data za rok 2018 | 17 |

| | |
|--|----|
| 6.2.3 Hydrologická situace - měsíční data za rok 2019 | 18 |
| 6.2.4 Hydrologická situace - měsíční data za rok 2020 | 19 |
| 6.2.5 Hydrologická situace - měsíční data za rok 2021 | 20 |
| 6.3 Hydroenergetický potenciál..... | 22 |
| 6.3.1 Hydroenergetický potenciál Odavy | 23 |
| 6.3.2 Hydroenergetický potenciál Rolavy..... | 25 |
| 6.3.3 Hydroenergetický potenciál řeky Ohře v Karlovarském kraji..... | 27 |
| 6.3.4 Hydroenergetický potenciál Ohře v Ústeckém kraji | 31 |
| 7. Výsledky | 33 |
| 7.1 Zhodnocení hydrologické situace v Karlovarském kraji v letech 2017 – 2021 | 33 |
| 7.2 Zhodnocení hydroenergetického potenciálu vodních toků v Karlovarském kraji a řeky Ohře v Ústeckém kraji..... | 33 |
| 7.3 Zhodnocení hydroenergetického potenciálu České republiky a vybraných zemí EU. . | 35 |
| 7.3.1 Česká republika | 36 |
| 7.3.2 Slovenská republika | 36 |
| 7.3.3 Polsko | 37 |
| 7.3.4 Německo | 38 |
| 7.3.5 Rakousko | 39 |
| 7.3.6 Evropská unie | 40 |
| 8. Diskuze | 42 |
| 9. Závěr a přínosy práce | 43 |
| 10. Přehled literatury a použitých zdrojů..... | 45 |
| 11. SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK | 52 |

1. Úvod

Předložená diplomová práce shrnuje dostupné informace o počátcích využití energie vody na našem území. V první části popisuje zařízení na výrobu elektrické energie od vodních kol po moderní turbíny v malých vodních elektrárnách (MVE) a ve druhé části se zabývá malými vodními elektrárnami v Karlovarském kraji. Rozděluje je podle vodního toku, na kterém se nachází. Pro tři řeky, páteřní řeku Ohři a její přítoky Rolavu a Odruvu, vypočítává teoretický hydroenergetický potenciál vodního toku. Třetí část se snaží zanalyzovat hydrologické poměry vodních toků na území Karlovarského kraje a porovnává využití hydroenergetického potenciálu na řece Ohři v Karlovarském kraji, v porovnání s částí toku v Ústeckém kraji a následně s celou ČR. V závěru je zhodnoceno využití hydroenergetického potenciálu v některých zemích Evropské unie.

2. Cíle práce

Zmapování historie zařízení vyrábějící elektrickou energii v Karlovarském kraji od vodních mlýnů až po moderní malé vodní elektrárny. Shrnutí informací o vodních motorech od nejjednodušších – vodních kol až po ty složitější – moderní vodní turbíny. Další část se věnuje území Karlovarského kraje z hlediska hydrologie – porovnává hydrologická data, jako jsou průměrná měsíční teplota, průměrné srážky, od roku 2017 do roku 2021. V poslední části bude u tří největších toků vypočítán teoretický hydroenergetický potenciál, který bude porovnán s průměrem využití teoretického hydroenergetického potenciálu v České republice a v zemích Evropské unie.

3. Literární rešerše

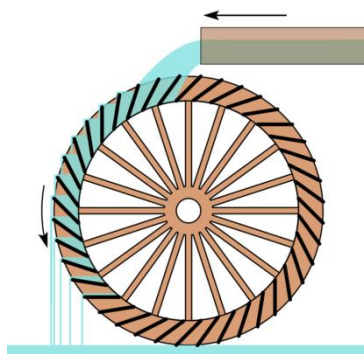
3.1 Vodní mlýny

3.1.1 Historie vodních mlýnů v Čechách

Využití síly vody a vodního toku patří k jednomu z prvních způsobů, který se lidé naučili již od pradávna. První vodní mlýn ve střední Evropě byl postaven v roce 718 u Žatce na řece Ohři. Doložena je také existence Břevnovského mlýnu na řece Vltavě z roku 993. Od 12. století se mlýny již rozšířily po celé Evropě. Mlýn se v té době nazývalo každé zařízení na vodní pohon. (Jaša 2011).

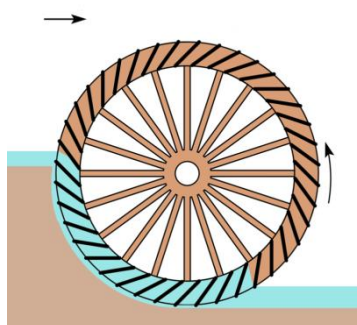
3.1.2 Dělení vodních mlýnů

Horní mlýn: na lopatky nebo korečky dopadá voda svrchu a roztáčí kolo. Voda je přivedena žlabem (vantroky). Tento typ mlýna je nejúčinnější, protože k pohonu je využívána jak síla vody, tak také váha vody, která na lopatky dopadá. Používán mohl být i na menších potocích s nepravidelnou hladinou.



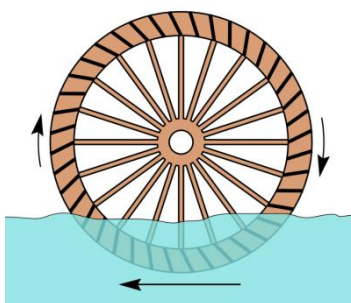
Obrázek 1 Horní mlýn

Střední mlýn: voda, která kolem otáčí, dopadá jen do poloviny jeho výšky. Jeho účinnost je poloviční a byl tak používán vzácně.



Obrázek 2 Střední mlýn

Spodní mlýn: mlýnské kolo je ponořené do plynoucí vody. Výkon je asi o 20 % nižší než u horního mlýna a k pohonu je potřeba velké množství stálé vody (Jaša 2011).



Obrázek 3 Spodní mlýn

Každý vodní mlýn se v principu skládá ze tří částí: motor, převodové ústrojí a pracovní zařízení.

Vodní kola jsou relativně nejjednodušší rotační vodní motory, které využívají převážně polohové měrné energie vody. Voda je přiváděna na vodní kolo, naplňuje korečky, které působí svou hmotností silové zatížení, vodní kolo se jeho účinkem

otáčí a blízko dolní hladiny se pak voda z korečků vylévá (Bednář 1989). Nevýhodou vodního kola bylo, že nedokázalo z vodního proudu získat více než 30 % jeho energie. Jedinou cestou, jak získat více užitečné síly, bylo zvýšit počet kol. I na obyčejných mlýnech byla dvě nebo tři kola, známe ale i mlýny až s 10 koly (Štěpán et al. 2000).

Převodové ústrojí bylo tvořeno nejrůznějšími hřídeli, palcovými převody a palečnými soukolími. Jeho úkolem bylo měnit směr síly a převádět pomalý pohyb otáčení vodního kola na rychlou rotaci běhounu.

| Stav | Horní mlýn | Střední mlýn | Spodní mlýn |
|------------|------------|--------------|-------------|
| Dochovaný | 134 | 7 | 32 |
| Zaniklý | 6167 | 116 | 643 |
| Nezjištěno | 18 | 0 | 2 |

Tabulka 1 Databáze vodních mlýnů v ČR z www.vodnimlyny.cz

3.1.3 Vodní turbíny ve vodních mlýnech

| Turbína | Dochovaná | Zaniklá | Nezjištěno |
|-------------------|-----------|---------|------------|
| Girardova | 11 | 66 | 25 |
| Kaplanova | 106 | 17 | 10 |
| Francisova | 705 | 1025 | 638 |
| Bánki | 45 | 48 | 20 |
| Reiffensteinova | 2 | 0 | 2 |
| Schwamkrugova | 1 | 1 | 0 |
| Násosková - Metaz | 28 | 1 | 1 |

Tabulka 2 Typy používaných turbín ve vodních mlýnech v ČR

3.2 Vodní elektrárny

Vodní elektrárny přeměňují potenciální nebo kinetickou energii uloženou ve vodních tocích v podobě proudění. Velikost získané energie je přímo úměrná spádu toku. Vodní energie je součinem průtoku a spádu daného toku. Průtok je zpravidla dán aktuálním stavem počasí, spád tvarem terénu. Dostatečný spád je určitě snazší získat na vysočině a na horách, kde lze díky tomu využít i toky s menším průtokem k získání slušného výkonu. Naopak v nížinách se setkáváme s velkými průtoky, ale malými spády (Barták et al. 2003).

Výstavba velkých vodních elektráren se ve vztahu k životnímu prostředí nejeví jako moc šetrná. Vyžaduje výrazný zásah do životního prostředí, což nezahrnuje pouze výstavbu přehradních hrází, ale v mnoha případech také zatopení celých oblastí a s tím spojenou změnu vodního režimu.

Naproti tomu výstavba malých vodních elektráren je k životnímu prostředí nejen šetrnější, ale finančně také méně nákladná. Lze je totiž umístit na místa bývalých hamrů, mlýnů a dalších podobných staveb, kde je možné využít zbytky např. odtokových kanálů nebo jezů a snížit tak náklady spojené se stavbou.

Při stavbě nové malé vodní elektrárny musí být brán zřetel na tyto základní a nejdůležitější parametry: vhodné ekologické podmínky, míra zásahu do okolní krajiny, ohrožení živočichů, možnost umístění vhodné technologie, způsob odstraňování naplavenin, dodržování odběru sjednaného množství vody nebo majetkoprávní vztahy k pozemku (Melichar et al. 1998).

3.2.1 Rozdělení vodních elektráren

Vodní elektrárny dělíme podle různých měřítek, např. podle principu akumulace vody, ovlivňování toku, spádu, umístění, nebo podle instalovaného výkonu.

Rozdělení vodních elektráren dle instalovaného výkonu – dělí se v souladu s ČSN 75 0120 na:

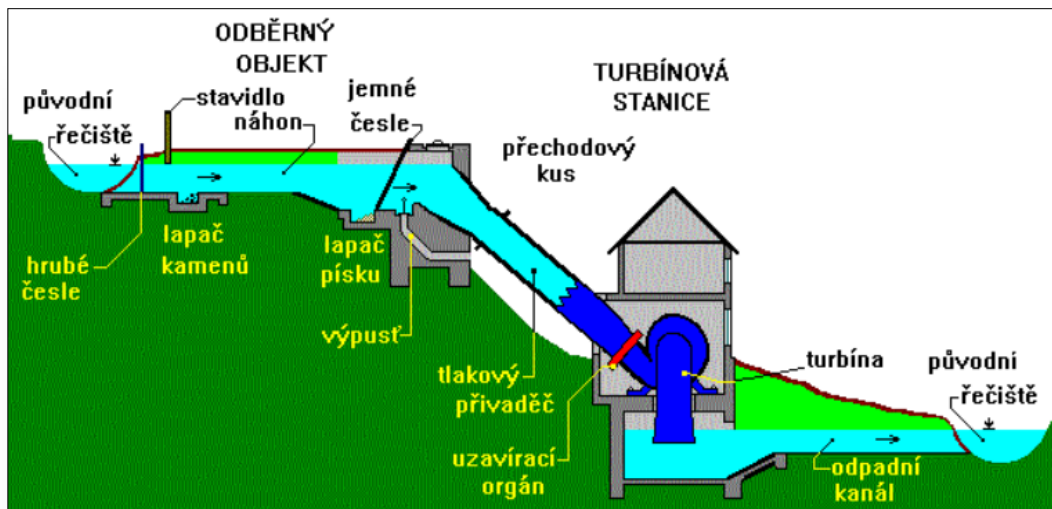
- velké – instalovaný výkon nad 200 MW
- střední – instalovaný výkon od 10 MW do 200 MW
- malé – instalovaný výkon do 10 MW

Malé vodní elektrárny se dále dělí na:

- průmyslové vodní elektrárny – instalovaný výkon od 1 MW do 10 MW
- vodní elektrárny – instalovaný výkon od 100 kW do 1 000 kW
- vodní mikroelektrárny – instalovaný výkon od 35 kW do 100 kW
- domácí vodní elektrárny – instalovaný výkon do 35 kW (Melichar et al. 1998).

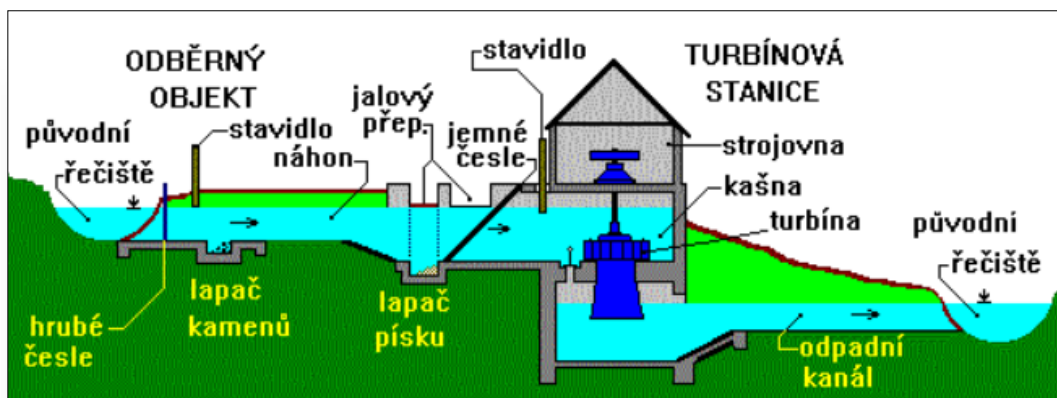
Rozdělení vodních elektráren dle spádu:

- vysokotlaké – spád nad 100 m – s tlakovým derivačním přivaděčem



Obrázek 4 Schéma vysokotlaké vodní elektrárny

- středotlaké – spád 20 až 100 m – břehové vodní elektrárny
- nízkotlaké – spád do 20 m – jezové vodní elektrárny



Obrázek 5 Schéma nízkotlaké vodní elektrárny

3.2.2 Malé vodní elektrárny

MVE jsou zařízení od malých domovních instalací s výkonem několik kW až po zařízení o výkonu 10 MW. Většina provozovatelů MVE jsou členy Cechu provozovatelů MVE, ve kterém bylo ke konci roku 2022 registrováno 292 malých vodních elektráren o celkovém výkonu 74 MW a roční produkci 300 GWh. (Trnavský 2022). Vodní turbína je nejvýznamnější strojní zařízení vodní elektrárny. Malé vodní turbíny jsou hydraulické stroje, které pracují v MVE. Volba provedení a typu turbíny závisí na konkrétní konfiguraci terénu a hydrologických podmínkách v místě instalace vodní turbíny (Melichar et al. 1998).

3.2.3 Parametry hydroenergetického zařízení

- **hltnost turbín** – maximální průtok turbínou při určitém daném spádu [m^3/s]
- **spád** – rozdíl výšky hladiny v místě vstupu a výstupu z vodní elektrárny [m]
- **spád - hrubý H_b** – rozdíl hladin při nulovém průtoku vodní elektrárnou. Celkový (brutto) statistický spád mezi dvěma říčními úseky [m]. Pro orientační hrubý odhad jej lze stanovit z mapy.
- **spád – užitný H** – výškový rozdíl hladin před a za poháněným strojem. Užitný spád je hrubý spád bez hydraulických ztrát [m]. Ty vznikají vlivem poklesu hladiny, vlivem vzduší hladiny spodní vody, objemovými ztrátami a změnami směru vodního toku těsně před vodním motorem a za ním.
- **Průtok** – objem vody, který proteče daným profilem za jednotku času [m^3/s , l/s]

Malé vodní elektrárny se většinou dimenzují na 90ti až 180ti denní průměrný průtok – zejména podle schopnosti turbíny přizpůsobit se regulací změnám průtoku vodního toku. Při vodoprávním řízení bývá předepsáno sanační množství, které obvykle odpovídá Q_{330d} , Q_{355d} nebo Q_{364d} . Takové množství vody je nutno ponechat v řečišti a nelze jej využít pro energetické účely (Beranovský et al. 2000).

3.3 Vodní turbíny

Vodní turbína přeměňuje tlakovou nebo kinetickou energii vody na energii mechanickou. Je spojena s elektrickým generátorem (alternátorem) a spolu tvoří hlavní součást vodních elektráren. Mechanická energie turbíny je generátorem převáděna na energii elektrickou (Holata 2002).

3.3.1 Dělení vodních turbín

Zjednodušeně se vodní turbíny dělí na rovnotlaké a přetlakové.

U turbín rovnotlakých neboli impulsních se tlaková energie se v rozváděcím zařízení přemění na kinetickou energii vody a ta se pak přemění na kinetickou energii oběžného kola turbíny. Patří sem např. turbína Peltonova a Bánkiho.

U turbíny přetlakové neboli reakční se tlaková energie vody přemění na kinetickou energii oběžného kola turbíny. Tlak vody za oběžným kolem klesá. Patří sem například Kaplanova nebo Francisova turbína (Dušička 2003).

3.3.2 Francisova turbína

Francisova turbína je radiálně axiální, přetlaková (během cesty strojem mění pracovní kapalina tlak). Hřídel může být uložena vertikálně nebo horizontálně. Oběžné kolo má pevné oběžné lopatky, které jsou spojeny s nábojem kola a věncem. Regulaci zajišťuje rozvaděč s natáčivými lopatkami s regulačním mechanismem.

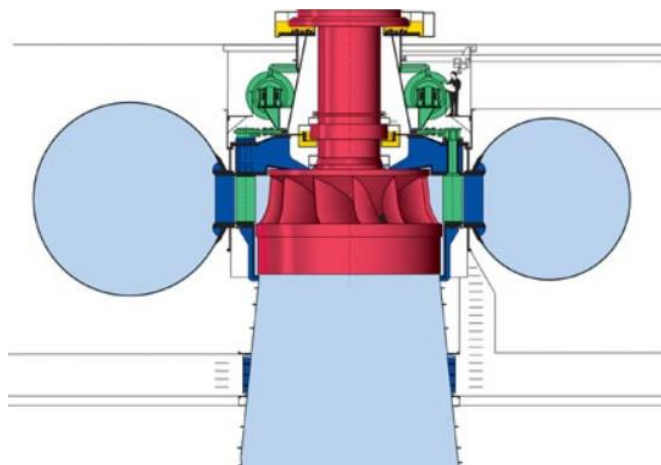
Při změně tlaku odevzdává kapalina svou energii. V patě přehrady se nachází rotor turbíny, umístěný mezi nízkotlakou savkou a vysokotlakým přívodem. Při průchodu rotorem odevzdává voda svou energii rotoru a zároveň se tím snižuje její rotační rychlost. Savka je výstupem z turbíny, má kuželovitě rozšiřující se tvar a díky tomu snižuje rychlost vody za turbínou. Podtlak, který se přenáší na odtokovou stranu oběžného kola, vytváří hmotnost celého vodního sloupce (Melichar 1995).

Kašnová horizontální turbína

Používaná nejčastěji na derivační vodní díla s přivaděčem otevřeným nebo tlakovým, ale s otevřenou kašnou. Používá se nejčastěji pro spády od 2 do 8 metrů a při malých a středních průtocích (100 – 2000 litrů/sec). Oproti vertikální turbíně má nižší účinnosti, ale díky vodorovné hřídeli, která vychází z turbíny přímo do strojovny, jednodušší převody. Často to mohou být jen převody řemenové.

Kašnová vertikální turbína

Používala se na jezová vodní díla nebo vodní díla derivační s otevřeným přivaděčem na větších řekách při spádech od 1,5 do cca 4 až 5 metrů, při středních nebo velkých průtocích (0,6 – 0,8 m³/sec). Oproti horizontální turbíně má vyšší účinnost, kterou ale ztratí v převodu. Za ozubeným převodem totiž na malých spádech následuje ještě převod řemenový.



Obrázek 6 Francisova vertikální turbína

Na dně turbínové kašny je umístěna vlastní turbína, nad kterou je umístěna strojovna, do které vede svisle vzhůru hřídel. Strojovna je dostatečně vysoko nad hladinou spodní vody, aby nedošlo k jejímu zaplavení. Voda se dostává z kašny do regulovatelných rozváděcích obvodových lopatek. Během průtoku nabírá rychlost a směr, který je potřebný pro vstup do oběžného kola. Oběžné kolo má zakřivené mezilopátkové kanály kde voda mění rychlost i směr a dochází k přenosu energie. Z oběžného kola je voda odváděna do odpadního kanálu (Bednář 1989).

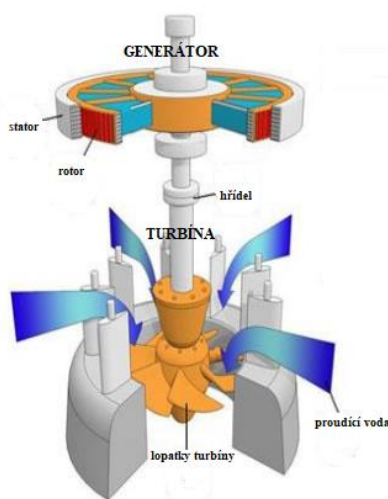
3.3.3 Kaplanova turbína

Byla vyvinuta v roce 1913 jako evoluce Francisovy turbíny. Jedná se o vodní turbínu vrtulového typu s nastavitelnými lopatkami. Umožňuje efektivní výrobu

elektrické energie v místech s nízkým spádem (od 1 do 70,5 m) a vysokým průtokem vodního toku (od 0,15 až několik desítek m^3/s), který není konstantní. Turbíny rotují konstantní rychlostí, která se liší od rychlosti zařízení a pohybuje se od 54,5 ot./min do 450 ot./min (Gordon 2001).

Jedná se o reakční turbínu s vnitřním prouděním, tzn. že pracovní tekutina při svém pohybu turbínou mění tlak a odevzdává svou energii. Ta se získává jak z kinetické energie proudící vody, tak z hydrostatické hlavy. Jde o kombinaci vlastností axiálních a radiálních turbín.

Kolem branky turbíny se ovíjí spirálovitá trubka. Voda je směřována tangenciálně skrz branku a spirálovitě se stáčí na vrtuli ve tvaru běžce, což způsobuje, že se otáčí. Výstupem je speciálně tvarovaná sací trubice, která napomáhá zpomalování vody a rekuperaci kinetické energie. Pokud sací trubka zůstává plná vody, nemusí být turbína v nejnižším bodě průtoku vody. Vyšší umístění ale zvyšuje sání, kterým na lopatky turbíny působí sací trubka. Efektivní provoz pro řadu podmínek proudění je umožněn variabilní geometrií branky a lopatek turbíny. Účinnost Kaplanovy turbíny se pohybuje nad 90 %, snížena může být nižším spádem (Ramos et al. 2000).



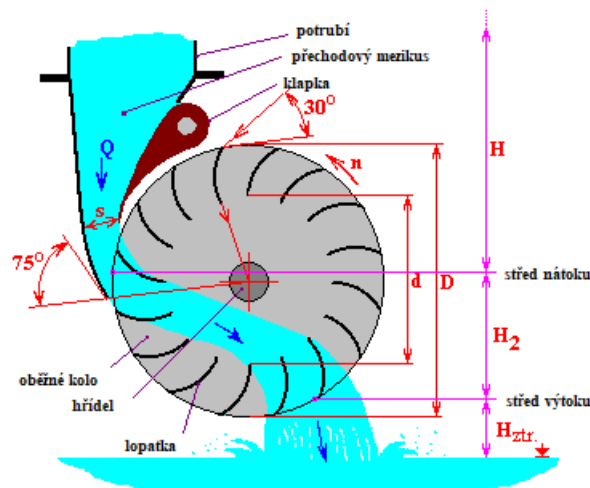
Obrázek 7 Kaplanova turbína

3.3.4 Bánkiho turbína

Turbína s příčným prouděním, kde voda prochází příčně nebo přes lopatky turbíny. Voda je k turbíně přiváděna potrubím s kruhovým průřezem. Před samotnou turbínou je umístěn mezikus, měnící kruhový průřez na obdélný. Na konci je umístěn regulační orgán, nejčastěji se jedná o klapku. Mezi klapkou a zakřivenou stěnou je štěrbin, kde se celý spád vody přetransformuje na pohybovou energii. Voda vstupuje tangenciálně do oběžného kola s hustě osazenými dlouhými lopatkami, které se snaží odklonit směr vody k hřídeli do středu kola. Změnou směru dojde k předání energie oběžnému kolu. Při prvním průtoku lopatkami je turbíně předáno

79 % z celkového výkonu. Vlivem souběhu mezi otáčením kola a rychlostí vody nemíří vytékající paprsek na hřidel turbíny, ale volným zavzdušněným prostorem ji mine. Následně vstoupí do lopatek na protější straně lopatkového věnce. Voda je znovu přinucena změnit směr a předává lopatkám dalších 21 % z celkového výkonu turbíny. Po opuštění lopatkového věnce vytéká volně pod oběžné kolo.

Bánkiho turbína se nehodí do míst, kde hrozí vzestup spodní vody. Je ideální volbou na lokalitách, kde bylo kdysi instalováno horní vodní kolo, nebo kde byla instalována Francisova turbína (jako důsledek módního trendu 20. let 20. století). Osazuje se zejména na malých tocích. Vhodná je pouze tehdy, pokud je její průměr 5 – 10x menší než spád (Bednář 1989).



Obrázek 8 Bánkiho turbína

3.3.5 Semikaplanova turbína

Používá se stejně jako turbína vrtulová na vodních elektrárnách s malým spádem. Používá se také při přestavbě starších vodních děl, ve kterých byla původně osazena vertikální Francisova turbína. Osazuje se zejména na vodní díla jezová a derivační s otevřeným přivaděčem. Má esovitě tvarovanou savku. Je to turbína horizontální, používaná výhradně pro pohon generátorů.

Ve spodní části strojovny je umístěna vlastní turbína, která je přes přírubu spojena s přechodovým kusem, zajišťující přívod vody. Ta vtéká do difuzéru stroje, kuželovitě se zužujícího, čímž se zvyšuje její rychlost. Poté se dostane mezi pevné rozváděcí lopatky tvořící centrační kříž náboje s ložisky. Lopatky upravují rychlost a směr vody pro vstup do oběžného kola. Zakřivení lopatek je poměrně malé, pouze pro přizpůsobení směru vody, ale současně musí dovolit maximální průtok turbínou. V nejužším průřezu je umístěno oběžné kolo a kde je také nejvyšší rychlost proudění vody. Oběžné kolo má sudý počet lopatek, nejčastěji čtyři. U nových rychloběžnějších strojů se můžou ojediněle vyskytovat lopatky tři. Zakřivení lopatek je voleno tak, aby se ve směru proudění mezilopatkové kanály zužovaly. Tvar listu je zvolen tak, aby byla možnost turbínu co nejvíce uzavřít. Voda opouští oběžné kolo

s poměrně značnou zbytkovou energií a často ve šroubovitě rotaci. Tato energie je částečně využívána savkou turbíny, která ji transformuje na zápornou tlakovou energii, podporující průtok vody strojem. Okraj savky musí být pod hladinou (i při zastavené turbíně, může končit ve vývařišti. U větších zařízení přechází savka plynule do obdélného vodorovně orientovaného průřezu, který přechází plynule do odpadního kanálu (Voros et al. 1989).

3.3.6 Peltonova turbína

Peltonova turbína je rovnotlaké zařízení, vhodné pro menší průtoky a vysoké spády vody. K turbíně je voda přiváděna potrubím kruhového průřezu. Potrubí vede k jedné nebo i více dýzám, kde se spád vody přetransformuje na pohybovou energii. Voda vstupuje tangenciálně do oběžného kola se lžícovitými lopatkami. Uprostřed lopatek se nachází břit, který paprsek rozdělí na poloviny a směr tekoucí vody je otočen lžícovitým tvarem lopatky zpět. Při změně směru dochází k předání energie oběžnému kolu. Při vzájemném souběhu rychlosti vody, která teče po lopatce a při současném otáčení oběžného kola, dochází k tomu, že voda při opuštění lopatky na vnější straně má jen minimální zbytkovou rychlost a z oběžného kola volně odchází a padá do odpadu pod turbínou. U malé turbíny je účinnost 80 – 85 %, u velké turbíny 85 – 95 % (Pažout 1987).

3.4 Hydrologie – základní pojmy

3.4.1 Povodí

Území, ze kterého voda z atmosférických srážek nebo voda kumulovaná v ledovcích a ve stálé sněhové pokrývce odtéká podzemní i povrchovou cestou do jediného závěrového profilu. Čára, vymezující geografickou hranici mezi dvěma povodími, se nazývá rozvodnice nebo rozvodní čára a vymezuje geografickou hranici mezi dvěma povodími (Jandora et al. 2011).

Povodí vod povrchových je určeno profilem hlavního toku a vymezeno je rozvodnicí (myšlená čára, jdoucí po nejvyšších místech, sedlech a úbočích terénu). Koloběh vody pro povodí lze vyjádřit tzv. bilanční rovnicí vody, která spočívá ve vyjádření všech výstupů a vstupů vody z povodí a vyjádření změn v zásobách (ΔS):

$$P - ET - Q_c = \Delta S$$

P = množství vody, které spadne ve srážkách za dané období [m^3]

ET = evapotranspirace (celkový výpar ze zemského povrchu na určitém území) [m^3]

Q_c = celkový odtok [m^3]

Je nutné, aby všechny členy rovnice byly za stejné časové období. V hydrologii je základním časovým obdobím hydrologický rok, který začíná 1. listopadu a končí 31. října běžného kalendářního roku. Období je stanoveno tak, aby všechny srážky, které v něm spadnou, v něm také odtekly (Němec 1964).

3.4.2 Dělení vodních toků

Dle obvyklého systému se vodní toky dělí do řádů. Řeky 1. řádu ústí rovnou do moře nebo oceánu bez ohledu na jejich vodnost nebo velikost. Řeky 2. řádu jsou přítoky řek 1. řádu, řeky 3. řádu jsou všechny přítoky řek 2. řádu. Z takto rozříděných vodních toků se sestavuje soupis ploch povodí v hydrologickém pořadí. Klasifikace, vytvořená z hlediska hydrologického popisu, číselně označuje hlavní povodí a jejich dílčí částí v kombinaci čísel a pomlček a je nazýváno číslem hydrologického pořadí. Číslo je osmimístné ve tvaru: A-BB-CC-DDD (např. 1-13-01-001 řeka Ohře) (Vyhláška Mze č. 292/2002 Sb.).

A= příslušnost do povodí hlavního toku 1. řádu

B= příslušnost do dílčího povodí hlavního toku

C= hydrologické pořadí dalšího dělení dílčích povodí

C= hydrologické pořadí detailních plošek povodí v rámci dílčích povodí

3.4.3 Sklon vodního toku

Je vyjadřován jako rozdíl nadmořských výšek dvou bodů na sledovaném úseku vodního toku. Největší spády se nachází v úsecích překonání skalních stupňů, v místech s největším výskytem vodopádů. Podílem sklonu toků vzdáleností mezi určenými body získáme sklon tohoto úseku.

3.4.4 Hydrologický režim

Znamená souhrn charakteristických změn stavu vodních toků v čase. Jako režim řek se označují řady jevů probíhajících na vodních tocích. V jeho rámci se hodnotí dlouhodobé, sezonní, roční a denní výkyvy vodních stavů, ledových jevů, průtoků, teploty vody, změny v druhu a množství rozpuštěných látek, změny průběhu říčního koryta a jeho tvaru apod. Základní indikátory pro popis režimu řek představují měrné jednotky odtoku (Kemel 2000).

3.4.5 Vodní stavy a jejich pozorování

Průtoky v říční síti se neustále mění v důsledku srážkoodtokového procesu v povodí.

Průtok

Vyjadřuje se měrnou jednotkou $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a je množství vody, které protéká příčným řezem koryta (průtočný profil) za jednu vteřinu. Hodnota průtoky se vztahuje vždy k danému místu na řece nebo na určitou dobu na konkrétním úseku. Vodnost řeky se vyjadřuje v následujících ukazatelích:

- okamžitý průtok,

- průměrný denní průtok (Q_d),
- měsíční průtok (Q_m),
- roční průtok (Q_r)
- dlouhodobý průměrný průtok (Q_a) – aritmetický průměr řady ročních průtoků

Objem odtoku

Je vyjadřován v km^3 nebo v m^3 za určitý časový úsek (roční doba, průměrný rok, měsíc, den apod.) jako celkové množství vody, odtékající korytem za vymezený časový úsek. Výpočet se provádí vynásobením průměrného průtoky potřebného časového úseku počtem sekund. Nepřímo může sloužit k porovnání vodnosti mezi řekami (Trizna 2004).

4.1 Studijní území

Česká republika leží na třech hlavních evropských rozvodích. Největší plochu odvodňuje povodí Labe – $102\,054,25 \text{ km}^2$, povodí Dunaje $60\,663,8 \text{ km}^2$, povodí Odry 7217 km^2 .

Studijní území leží v oblasti hlavního povodí Labe, dílčího povodí Ohře na území Karlovarského kraje.



Obrázek 9 Územní rozdělení oblasti správy Povodí Ohře, s.p. na území Karlovarského kraje

4.1.1 Přírodní charakteristika oblasti

Geomorfologie

Území Karlovarského kraje náleží k provincii České vysočiny. Větší část území patří subprovincii Krušnohorské soustavy, na jihovýchodě v povodí Střely do Poberounské soustavy, na jihozápadě v povodí Kosového potoka do Šumavské soustavy. Severní část kraje tvoří Krušnohorská hornatina, rozčleněná na Smrčiny, kde na bavorské straně pramení řeka Ohře a Krušné hory, kde se nachází nejvyšší

vrchol Klínovec v nadmořské výšce 1244 m. n. m. Levostranné přítoky Ohře pramenící v Krušných horách jsou Libocký potok, Chodovský potok, Svatava, Rolava, Bystřice, Vitický potok a další menší toky. Vlastní niva Ohře patří do Podkrušnohorské oblasti k celkům Chebské a Sokolovské pánve. Do Podkrušnohorské oblasti dále patří na východě Doupovské hory (nejvyšší vrchol Hradiště 934 m. n. m.). Jih kraje patří k Českoleské oblasti a Karlovarské vrchovině, do které náleží geomorfologické celky Slavkovský les a Tepelská vrchovina s nejvyšším vrcholem Lesným (983 m. n. m), kde pramení řeka Teplá a Střela. Řeka Ohře opouští Karlovarský kraj nedaleko Stráže nad Ohří s nadmořskou výškou 325 m. n. m. (Olmer et al. 2006).

Hydrologické poměry

Geologické podloží je tvořeno jak horninami metamorfovanými, tak plutonickými, vulkanickými a sedimentárními (Misař et al. 1983). Z hydrologického hlediska leží oblast v hydrogeologických rajonech krystalinika a rajonech sedimentů (Olmer et al., 2006). Ve většině území tvořených horninami krystalinika je dominantní mělká zvrstvení v kvartérních sedimentech a pásnu přípovrchového rozpojení puklin skalních hornin. Významnější jsou pak zdroje podzemních vod terciálních pánví a větších akumulací kvartérních fluvialních sedimentů (Kolářová a Hrkal, 1986). Hydrogeologicky je kraj zajímavý minerálními a proplyněnými vodami hlubšího oběhu, často vázanými na tektonické struktury. Jedná se zejména o oblasti Karlových Varů, Mariánských Lázní, Františkových Lázní a další (Kolářová a Myslík, 1979).

Oblast je z hydrogeologického hlediska ovlivněna také antropogenní činností, zejména těžbou nerostných surovin.

Řeka Ohře je páteřním tokem oblasti a na území České republiky přitéká z Německa, z pohoří Smrčiny (Fichtelgebirge), kde pramení u města Wiesenstadt. Dále směřuje na východ k Litoměřicím, kde se vlévá do Labe. V Karlovarském kraji protéká Chebskou pánví, Sokolovskou pánví a okrajovou částí Doupovských hor. Vyznačuje se velkou rozkolísaností průtoků a její přítoky velkým transportem splavenin. Nejvyšší průtoky přichází v kombinaci dešťových srážek a jarním tání sněhu. Minimální průtoky řeka dosahuje ve druhé polovině léta, kdy jsou zimní zásoby již vyčerpány.

Levostranné přítoky jsou Slatinný potok, Libocký potok, Plesná, Svatava, Chodovský potok, Rolava, Vitický potok, Bystřice. Pravostranné přítoky jsou Odrava, Libava, Lobežský potok, Teplá.

Vrchoviny a hornatiny na severozápadě povodí Ohře tvoří dešťový stín, ovlivňující klima v oblasti podkrušnohorských pánví. Většina přítoků Ohře sice pramení v horských oblastech, ale na území pánví na svých dolních tocích výrazně mění charakter toku a zdroje napájení (Olmer et al., 2006).

Klimatické poměry

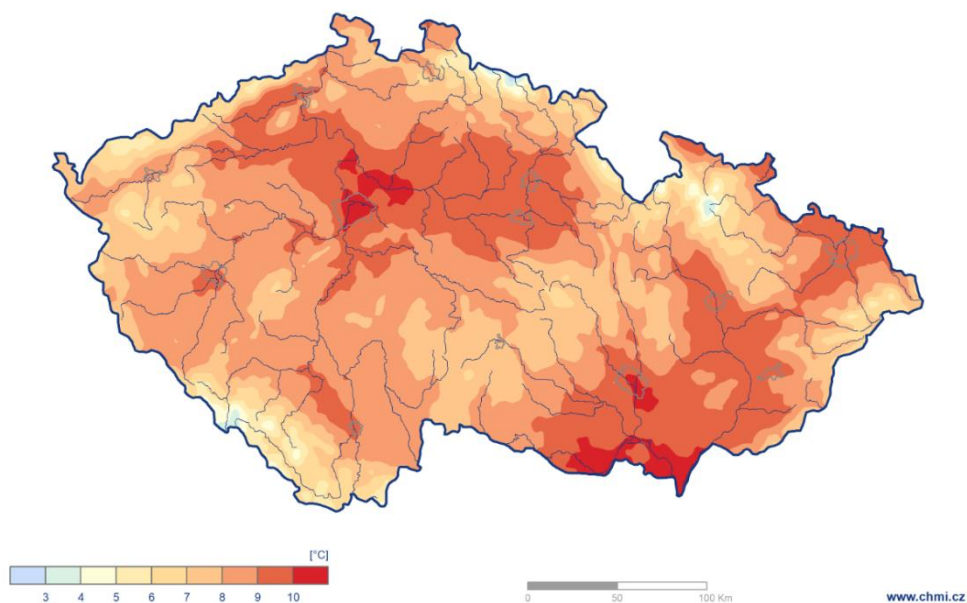
Rozdělení srážkových a teplotních poměrů je velmi nerovnoměrné, z důvodu značného ovlivnění orografickým vlivem pohoří. Nejvyšší roční úhrn srážek je v oblasti Klínovce, který činí i více než 1000 mm, ale v ostatních oblastech převládá roční srážkový úhrn 500 – 700 mm. Většina území Karlovarského kraje patří k mírně teplé klimatické oblasti (až 82 % plochy), 12 % plochy patří do chladné oblasti, zbylých 6 % k teplé oblasti.

Počet dnů s minimálními denními teplotami pod nulou, tedy počet mrazových dnů, leží mezi 180 a 80 dny. Délka vegetačního období, kdy je průměrná denní teplota nad 5°C, je od 160 do 240 dnů (Kemel 2000).

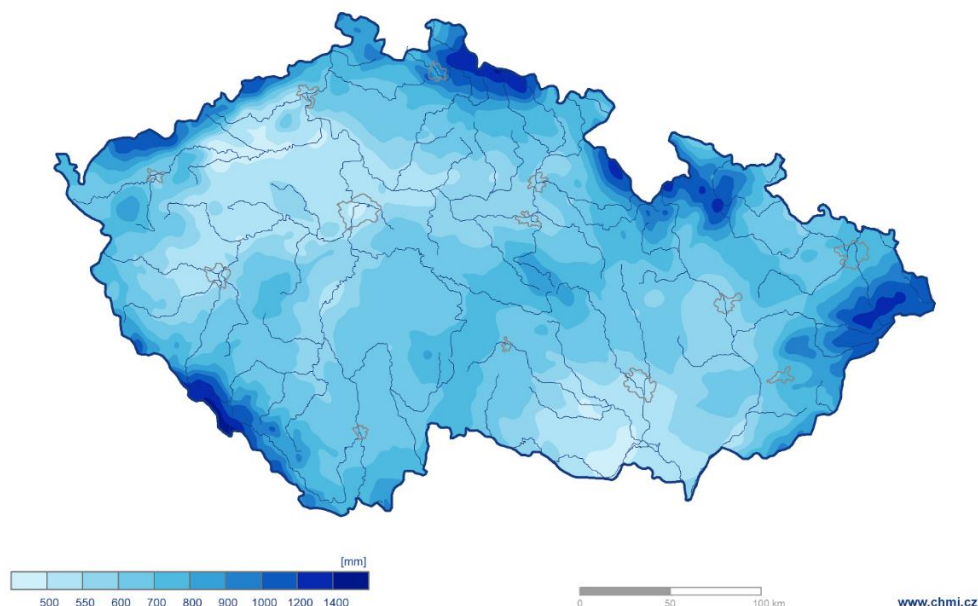
Hydrologické poměry

Odtokové poměry jsou závislé na klimatických poměrech, hydrogeologických podmínkách a geomorfologii území velmi pestré. Rostoucí srážkové úhrny nedokáží vyrovnat nárůst teploty, který je v intervalu od 1,5 do 2 °C a tím narůstající územní výpar, který vzrostl o 10 – 25 %. Poklesy průtoků zatím nejsou tak markantní, nárůst srážek mírní účinek oteplení.

4.1.2 Teplotní a srážkové poměry v České republice



Obrázek 10 Průměrná roční teplota vzduchu 1991 – 2020 v ČR. Zdroj: www.chmi.cz



Obrázek 11 Průměrný roční úhrn srážek 1991 – 2020 v ČR Zdroj: www.chmi.cz

5. Metodika

K nevýhodám malých vodních elektráren patří závislost na stabilním průtoku. Z tohoto důvodu byla z Hydrologických bilancí množství a jakosti vody v České republice, které jsou uveřejněné na stránkách Českého hydrometeorologického ústavu, shrnuta data za každý rok sledovaného období od roku 2017 do roku 2021. Porovnány byly průměrné měsíční srážky, průměrné teploty a odtokové poměry.

Ze stránek Energetického regulačního úřadu – ve vyhledávači licencí byly vyfiltrovány udělené licence na výrobu elektřiny v Karlovarském kraji. V přehledu údajů o licencích udělených ERÚ ve studijním území se nachází 383 záznamů. Z toho se v 82 případech jedná o malé vodní elektrárny. Celkový instalovaný výkon všech těchto MVE je 7,863 MW. Viz tabulka č. 21.

V přehledu licencí udělených ERÚ na výrobu elektřiny v Ústeckém kraji se nachází 1467 záznamů. Z těch byly vybrány malé vodní elektrárny na řece Ohři. Jedná se o 18 MVE s celkovým instalovaným výkonem 6,184 MW.

Pro řeku Rolavu a Odruvu byl vypočítán teoretický hydroenergetický potenciál. Pro účely této práce byl technicky využitelný hydroenergetický potenciál uvažován v hodnotě 50 % teoretického potenciálu. Následně byl celkový instalovaný výkon všech MVE na řece Rolavě přepočítán na procentuální výši využití.

Pro řeku Ohři nejdříve byl vypočítán teoretický hydroenergetický potenciál v Karlovarském kraji a pro porovnání využitelnosti následně i v kraji Ústeckém. Pro účely této práce byl technicky využitelný hydroenergetický potenciál uvažován

v hodnotě 50 % teoretického potenciálu. Následně byl celkový instalovaný výkon všech MVE celém toku řeky Ohře přepočítán na procentuální výši využití.

Vypočítané údaje byly porovnány s procentuální výši technické využitelnosti hydroenergetického potenciálu v České republice.

Na závěr byla porovnána data České republiky ve využívání vodní energie s daty některých zemí Evropské unie. Data byla čerpána zejména z internetových stránek Mezinárodní asociace vodních elektráren IHA (International Hydropower Association) www.hydropower.org a IEA (International Energetic Association) www.iea.org.

6. Současný stav řešené problematiky

6.1 Povodí na území Karlovarského kraje

Dle metodiky Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka – Zajištění dostupnosti vodních zdrojů ve vybraných oblastech Karlovarského kraje byly do níže uvedené tabulky shrnuty informace o názvu dílčího povodí s údaji o čísle hydrologického pořadí a plochou povodí.

| Povodí | Číslo hydr. pořadí | Plocha povodí [km ²] |
|-------------------|--------------------|----------------------------------|
| Ohře Cheb | 1-13-01-0140 | 690 |
| Odrava Jesenice | 1-13-01-0662 | 412 |
| Ohře Citice | 1-13-01-0910 | 678 |
| Teplá Březová | 1-13-02-0212 | 309 |
| Ohře Karlovy Vary | 1-13-02-0340 | 821 |
| Ohře Žatec most | 1-13-03-0280 | 1172 |
| Mže Stříbro | 1-10-01-1280 | 1144 |
| Střela Čichořice | 1-11-02-0330 | 393 |
| Mže Hracholusky | 1-10-01-1742 | 465 |
| Střela Plasy | 1-13-02-0340 | 388 |
| Blšanka Holedeč | 1-13-03-0830 | 374 |

Tabulka 3 Povodí na území Karlovarského kraje (DBČ - databázové číslo, ČHP - číslo hydrologického pořadí)

6.2 Hydrologická situace 2017 – 2021

6.2.1 Hydrologická situace - měsíční data za rok 2017

| Teplota | Měsíc | | | | | | | | | | | | 2017 |
|---------|-------|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|-----|-----|------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Průměr |
| [°C] | -5,8 | 0,6 | 4,8 | 5,6 | 12,6 | 16,7 | 16,9 | 16,7 | 10,1 | 8,8 | 2,8 | -0,2 | 7,5 |

Tabulka 4 Průměrná měsíční teplota 2017 [°C]Zdroj: www.chmi.cz

Průměrná roční teplota vzduchu ve sledovaném území povodí Ohře byla +7,5°C (odchylka od normálu +0,7°C). Z teplotního hlediska je rok hodnocen jako nadnormální. Leden – podnormální -3,2 až -3,5°C, únor – v mezích normálu až nadnormální, březen – silně nadnormální (+2,7 až 3°C), duben – v mezích normálu se zápornou odchylkou, květen – v mezích normálu s kladnou odchylkou, červen – nadnormální až silně nadnormální (+1,9 až +2,4°C), červenec – normální až nadnormální, srpen – nadnormální, září - podnormální, říjen – nadnormální až silně nadnormální (+1,7 až +2,2°C), listopad – normální až nadnormální, prosinec – nadnormální.

| Srážky | Měsíc | | | | | | | | | | | | 2017 |
|--------|-------|----|----|----|----|----|----|-----|----|-----|----|----|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Celkem |
| [mm] | 48 | 27 | 62 | 46 | 40 | 88 | 85 | 102 | 53 | 101 | 71 | 70 | 792 |

Tabulka 5 Průměrné srážky 2017 [mm] Zdroj: www.chmi.cz

Průměrný roční úhrn srážek byl v Karlovarském kraji 792 mm (106 % normálu). Ze srážkového hlediska je rok hodnocen jako normální. Leden – v mezích normálu, únor – podnormální (49 - 67 %), březen, duben – v mezích normálu, květen – podnormální (47 - 65 %), červen, červenec – v mezích normálu, srpen – nadnormální (134 %), září – v mezích normálu, říjen – silně nadnormální (190 až 226 %), listopad, prosinec – v mezích normálu.

Z hlediska odtoku byl rok 2017 celkově podprůměrný. Průtoky se pohybovaly od 65 do 77 % dlouhodobého průměru. Leden – podprůměrný až silně podprůměrný, únor, březen – průměrný, duben, květen – podprůměrný až silně podprůměrný, červen, červenec, srpen – převážně podprůměrný (40 – 60 %), září – průměrný až podprůměrný, říjen – průměrný, listopad – nadprůměrný (127 – 148 %), prosinec – průměrný. Minimální průtoky byly na většině toků naměřeny během měsíce června a byly převážně menší než Q_{364d} .

6.2.2 Hydrologická situace - měsíční data za rok 2018

| Teplota | Měsíc | | | | | | | | | | | | 2018 |
|---------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Průměr |
| [°C] | 1,2 | -4,6 | -0,2 | 10,8 | 14,5 | 15,9 | 18,5 | 18,6 | 12,9 | 8,3 | 2,9 | 1,1 | 8,3 |

Tabulka 6 Průměrná měsíční teplota [°C] Zdroj: www.chmi.cz

Průměrná roční teplota vzduchu byla +8,3°C, což představuje odchylku +1,5°C od normálu. Rok 2018 byl tedy teplotně silně až mimořádně nadnormální. Leden – v mezích normálu, únor – podnormální (-2,6 až -2,9°C), březen – podnormální (-2,1 až -2,7°C), duben – mimořádně nadnormální (+4,3°C), květen – mimořádně nadnormální (+2,8 až +3,1°C), červen – nadnormální, červenec – silně

nadnormální, srpen – silně až mimořádně nadnormální (+2,8 až +3,1°C), září, říjen, listopad, prosinec – nadnormální.

| Srážky | Měsíc | | | | | | | | | | | | 2018 |
|--------|-------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Celkem |
| [mm] | 80 | 8 | 44 | 28 | 84 | 56 | 33 | 29 | 61 | 31 | 18 | 106 | 578 |

Tabulka 7 Průměrné srážky [mm] www.chmi.cz

Průměrný roční úhrn srážek byl 578 mm, což se rovná 77 % normálu (62 až 79 % v jednotlivých povodích). Z hlediska úhrnu byl rok 2018 srážkově podnormální až silně podnormální. Leden - nadnormální, únor – mimořádně podnormální, pouze 6 mm srážek (13 %), březen, duben, květen, červen – normální, červenec – silně podnormální (28 %), srpen – podnormální až silně podnormální (37 %), září, říjen – v mezích normálu, listopad – silně podnormální (30 %), prosinec – nadnormální (155 %).

Po stránce odtoku byl rok 2018 podprůměrný až silně podprůměrný (51 až 77 % Q_a). Leden – průměrný až nadprůměrný, na řece Svatavě silně nadprůměrný (201 – 210 %), únor – průměrný, březen – průtoky nadále klesají, podprůměrné průtoky až do konce roku. Průměrné měsíční průtoky byly nejčastěji podprůměrné až silně podprůměrné (30 – 60 %) a výjimečně průměrné (řeka Ohře – duben a červen). V listopadu byly průtoky na Ohři a na některých přítocích až mimořádně podprůměrné (21 – 24 %). Minimální průtoky byly naměřeny nejčastěji od července do září a rovnaly se většinou Q_{364d} nebo byly ještě nižší. Lomnický potok v profilu Pila u Karlových Varů byl vyschlý 27 dní.

Výraznější povodňové situace se během roku 2018 nevyklytly.

6.2.3 Hydrologická situace - měsíční data za rok 2019

| Teplota | Měsíc | | | | | | | | | | | | 2019 |
|---------|-------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|-----|-----|-----|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Průměr |
| [°C] | -2,2 | 0,9 | 4,2 | 8,0 | 9,2 | 19,4 | 17,8 | 17,2 | 12,0 | 8,4 | 3,7 | 1,3 | 8,3 |

Tabulka 8 Průměrná měsíční teplota [°C] Zdroj: www.chmi.cz

Průměrná roční teplota ve sledovaném území byla +8,3°C, což vykazuje odchylku od normálu +1,5°C. Z toho vyplývá, že rok byl teplotně mimořádně nadnormální. Leden – v mezích normálu, únor – v mezích normálu až nadnormální, březen – nadnormální až silně nadnormální (-2,2 až + 2,6°C), duben – v mezích normálu, květen – podnormální (-2,3 až -2,4°C), červen – mimořádně nadnormální (+4,9 až +5,1°C), červenec – normální až nadnormální, srpen – nadnormální, září – v mezích normálu, říjen – nadnormální, listopad – nadnormální až silně nadnormální (+1,9 až 2,4°C), prosinec – nadnormální.

| Srážky | Měsíc | | | | | | | | | | | | 2019 |
|--------|-------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Celkem |
| [mm] | 78 | 28 | 54 | 25 | 66 | 47 | 44 | 59 | 64 | 44 | 39 | 36 | 584 |

Tabulka 9 Průměrné srážky [mm] www.chmi.cz

Průměrný úhrn srážek v roce 2019 byl 584 mm, což se rovná 88 % normálu (84 – 91 % v jednotlivých povodích). Rok byl tedy z hlediska srážek podnormální až normální. Leden – nadnormální (138 – 166 %), únor – podnormální až normální (63 – 79 %), březen – normální, duben – podnormální až normální, květen – normální, červen – normální až podnormální (56 – 73 %), červenec – podnormální, srpen – podnormální až normální, září – normální až nadnormální (86 – 144 %), říjen – normální, listopad a prosinec – normální.

Z hlediska odtoku byl rok 2019 podprůměrný až silně podprůměrný (53 až 71 % Q_a). V období od ledna do března byly průtoky průměrné. Nejvodnější byl březen (87 – 122 %). Po zbytek roku již převažovaly podprůměrné až silně podprůměrné průtoky (nejčastěji 30 – 70 %). Na většině toků byly nejméně vodné letní měsíce červenec a srpen. Minimální průtoky na úrovni Q_{355d} až Q_{364} se nejčastěji vyskytovaly už v průběhu června, případně na přelomu června a července, a přetrvávaly až do první poloviny září, na některých tocích až do konce roku. Lomnický potok na 6 dnů vyschnul.

Významnější povodňové situace se během roku nevyskytly.

6.2.4 Hydrologická situace - měsíční data za rok 2020

| Teplota | Měsíc | | | | | | | | | | | | 2020 |
|---------|-------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|-----|-----|-----|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Průměr |
| [°C] | 0,4 | 2,6 | 2,7 | 8,4 | 9,9 | 15,1 | 16,5 | 17,6 | 12,6 | 7,7 | 3,0 | 0,6 | 8,1 |

Tabulka 10 Průměrná měsíční teplota [°C] Zdroj: www.chmi.cz

Průměrná roční teplota ve sledovaném území činila 8,1°C, což vykazuje odchylku +1,3°C a rok 2020 tak můžeme charakterizovat jako silně nadnormální. Leden – nadnormální (odchylka +2,2 až +2,4°C), únor – silně nadnormální (+4,2 až 4,4°C), březen – v mezích normálu, duben – nadnormální, květen – podnormální (-1,7 až -2,2°C), červen, červenec – normální, srpen – silně nadnormální (+1,6 až +1,9°C), září – nadnormální (+0,9 až +1,2°C), říjen, listopad – normální, prosinec – nadnormální (+2,1 až +2,6°C).

| Srážky | Měsíc | | | | | | | | | | | | 2020 |
|--------|-------|-----|----|----|----|-----|----|-----|----|----|----|----|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Celkem |
| [mm] | 25 | 111 | 47 | 12 | 51 | 118 | 29 | 120 | 44 | 63 | 13 | 38 | 672 |

Tabulka 11 Průměrné srážky [mm] www.chmi.cz

Průměrný roční úhrn srážek činil 672 mm, což představuje 90 % a rok můžeme z hlediska srážek charakterizovat jako normální. Leden – podnormální (41 – 47 %), únor – silně nadnormální (217 – 238 %), březen – v mezích normálu, duben – silně podnormální (18 – 30 %), květen – v mezích normálu, červen – nadnormální (144 – 164 %), červenec – silně podnormální (35 – 37 %), srpen – normální až nadnormální (115 – 152 %), září – v mezích normálu, říjen – normální až nadnormální (120 – 176 %), listopad – silně podnormální (21 – 25 %), prosinec – normální až podnormální.

Z odtokového hlediska byl rok podprůměrný až silně podprůměrný (51 – 71 % Q_a). Leden – podprůměrný až silně podprůměrný (30 – 45 %), únor – nadprůměrný, březen – průměrný až podprůměrný, duben – silně až mimořádně podprůměrný (25 – 39 %), květen – podprůměrný až silně podprůměrný (30 – 53 %), červen, červenec, srpen – silně podprůměrný, září, říjen – průměrný, listopad – silně podprůměrný (28 %), prosinec – podprůměrný až silně podprůměrný (39 – 56 %). Na některých tocích se již v lednu vyskytovaly minimální průtoky na úrovni Q_{355d} až Q_{364d} , dále pak většinou v květnu nebo červnu, znovu srpnu a v září.

Povodňové situace se příliš nevyskytovaly. Kulminační průtoky na řece Rolavě, Bystřici a Svatavě nepřekročily v březnu Q_2 až Q_5 .

6.2.5 Hydrologická situace - měsíční data za rok 2021

| Teplota | Měsíc | | | | | | | | | | | | 2021 |
|---------|-------|------|-----|-----|-----|------|------|------|------|-----|-----|-----|------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Průměr |
| [°C] | -1,9 | -1,8 | 2,1 | 4,0 | 8,8 | 17,7 | 16,5 | 14,3 | 13,1 | 6,3 | 2,5 | 0,1 | 6,8 |

Tabulka 12 Průměrná měsíční teplota [°C] Zdroj: www.chmi.cz

Průměrná roční teplota vzduchu byla 6,8°C, což představuje odchylku -0,5°C a znamená to, že rok 2021 byl teplotně normální. Leden, únor, březen – v mezích normálu, duben, květen – silně podnormální (odchylka -2,6 až -3,3°C), červen – silně nadnormální (+2,5 až +2,7°C), červenec – v mezích normálu, srpen – podnormální (-1,8 až -1,9°C), září – nadnormální (+1,3 až 1,6°C), říjen, listopad, prosinec – normální.

| Srážky | Měsíc | | | | | | | | | | | | 2021 |
|--------|-------|----|----|----|----|-----|-----|-----|----|----|----|----|------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Celkem |
| [mm] | 81 | 53 | 35 | 27 | 93 | 106 | 116 | 106 | 30 | 24 | 52 | 48 | 772 |

Tabulka 13 Průměrné měsíční srážky [mm] Zdroj: www.chmi.cz

Roční průměrný úhrn srážek činil 772 mm, což představuje 106 % normálu a rok byl srážkově normální. Leden – nadnormální (139 – 150 %), únor – normální až nadnormální, březen, duben – podnormální až normální (54 – 77 %), květen, červen, červenec, srpen – normální až nadnormální (102 – 157 %), září – silně

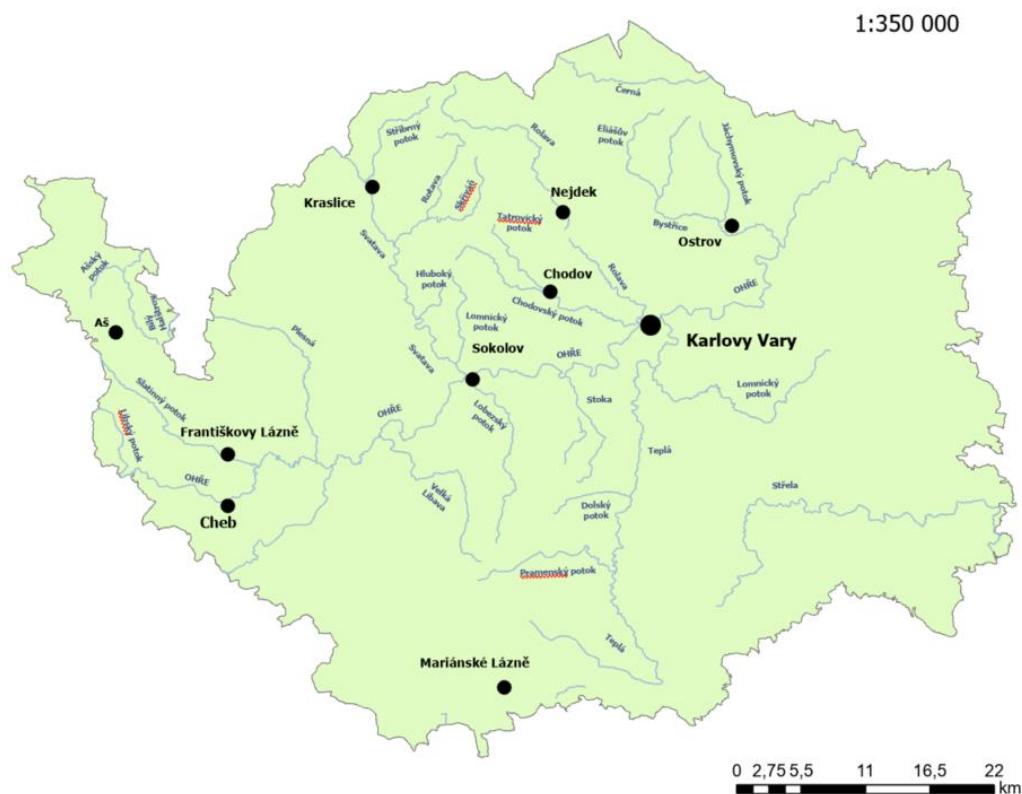
podnormální (30 – 43 %), říjen – silně podnormální až podnormální (30 – 47 %), listopad, prosinec – normální.

Z odtokového hlediska byl rok 2021 převážně průměrný (73 – 100 % Q_a). Leden – podprůměrný až silně podprůměrný (36 – 64 %), únor – silně nadprůměrný (177 %), březen – průměrný, duben – podprůměrný, květen – průměrný až nadprůměrný (105 – 159 %), červen – průměrný, červenec – nadprůměrný až silně nadprůměrný (124 – 272 %), srpen – průměrný až nadprůměrný, září, říjen, listopad, prosinec – průměrný. Minimální průtok na úrovni Q_{355d} se vyskytoval na vodním díle Březová na řece Teplé v měsíci září.

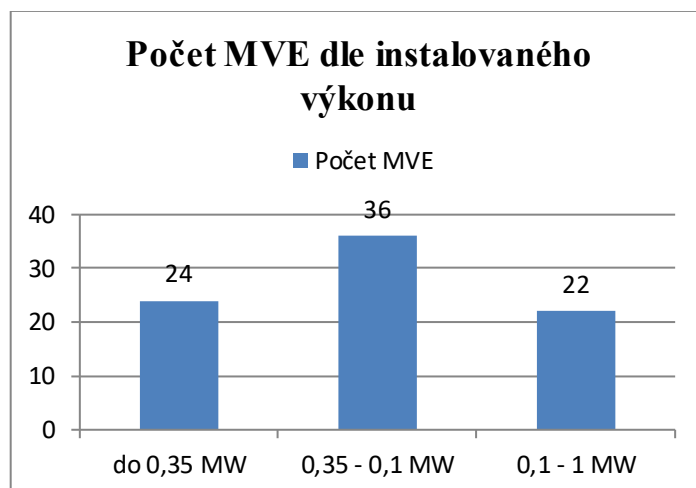
Povodňové situace byly málo významné. Na začátku února kulminovala řeka Teplá v profilech VD Březová a Teplička na Q_5 až Q_{10} , Pramenský potok v Mnichově Q_{10} až Q_{20} .

6.2.6 Vodní toky Karlovarského kraje s umístěnými MVE

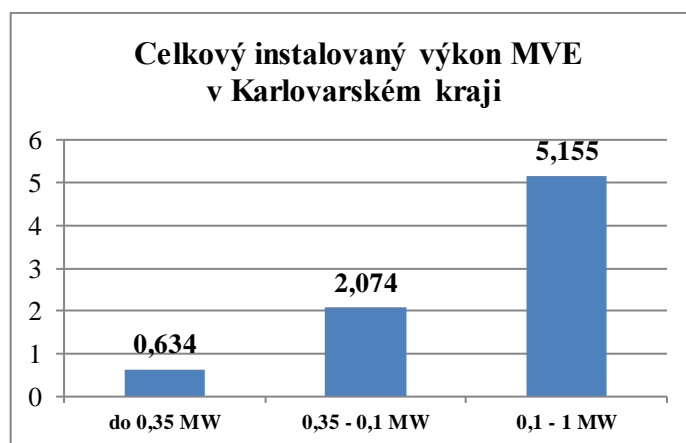
Do programu ArcGIS Pro byly staženy datové sady z Geoportálu ČÚZK – Data50 – vrstva Vodstvo a vrstva Sídla. Data byla upravena na území Karlovarského kraje, vyfiltrovány byly vodní toky, na kterých je umístěna MVE.



Obrázek 12 Vodní toky v Karlovarském kraji, na kterých je umístěna MVE



Obrázek 13 Počet MVE dle instalovaného výkonu. Zdroj: www.eru.cz



Obrázek 14 Celkový instalovaný výkon MVE Zdroj: www.eru.cz

6.3 Hydroenergetický potenciál

Hrubý hydroenergetický potenciál vodního toku slouží k celkovému přehledu o možnostech využití vodních toků, tedy jejich potenciální energie. Určuje se z příslušných průměrných průtoků a z nadmořských výšek v dané oblasti. Je určován k hladině moře, do kterého tok ústí nebo ke kótě hladiny vodního toku na státní hranici. Má pouze evidenční charakter.

Teoretický hydroenergetický potenciál se určuje podle vzorce

$$E_T = g \cdot (Q_1 + Q_2) \cdot \frac{1}{2} \cdot H_{1-2}$$

E_T = teoretický hydroenergetický potenciál [kW]

g = gravitační konstanta

Q_1 = průměrný roční průtok 1. místa [m^3/s]

Q_2 = průměrný roční průtok 2. místa [m^3/s]

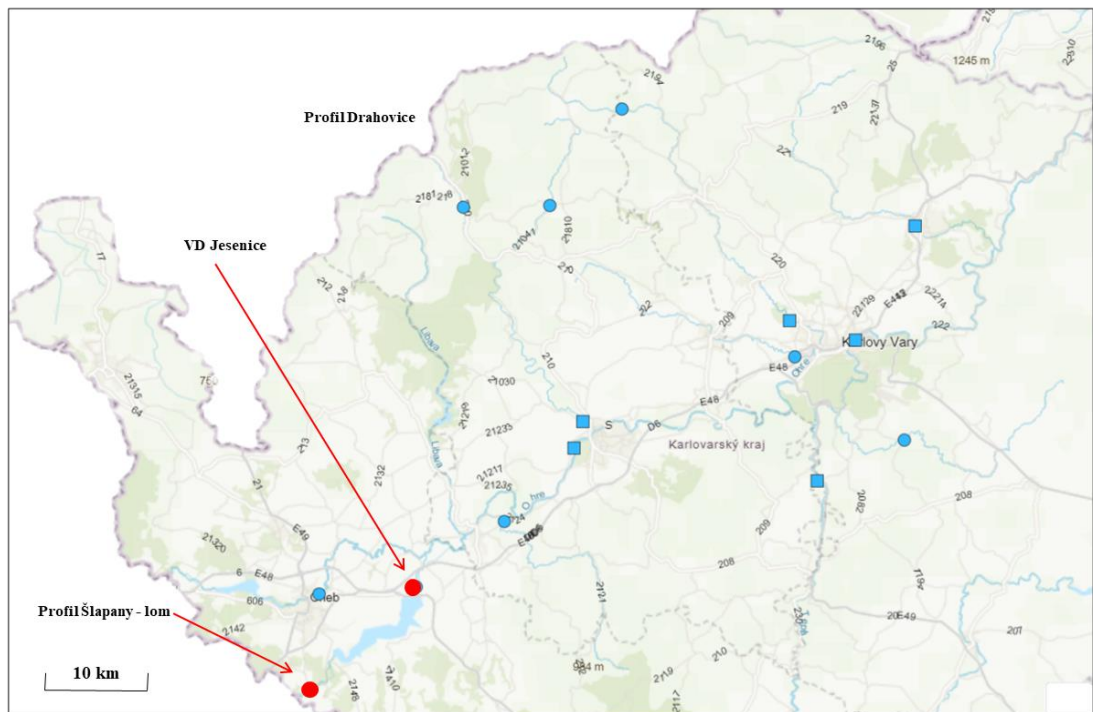
H_{1-2} = rozdíl nadmořských výšek místa 1 a 2 [m]

Nejčastěji se výpočet provádí po jednotlivých úsecích vodního toku, mezi dvěma profily.

Reálně využitelný hydroenergetický potenciál vodního toku je nižší než potenciál teoretický, neboť nelze 100% využít středního průtoku a celkového spádu. Ztráty, které vznikají, jsou ztráty na spádu, ztráty průtočného množství a ztráty v přenosových sítích nebo při převodech potenciální energie vodního toku na mechanickou a elektrickou energii ve vodních zařízeních (Jandora et al. 2011).

Technicky využitelný hydroenergetický potenciál vodního toku je přibližně 40 – 50 % teoretického potenciálu. (Dušička 2003).

6.3.1 Hydroenergetický potenciál Odavy



Obrázek 15 Hlásné profily na řece Odavě

- MVE Slapany – celkový instalovaný výkon 0,09 MW, 1 turbína o výkonu 90 kW, derivační kanál 90 m, vedený z jezové zdrže. Zděný jez s výškou 0,5 a délkou 48 m.
- MVE Podhrad u Chebu - celkový instalovaný výkon 0,045 MW, 1x Francisova turbína o výkonu 45 kW a hltnosti 1400 l/s, náhon 980 m, jez na řece Odavě, v provozu od 1986.

- MVE Jesenice – celkový instalovaný výkon 0,315 MW, 5x čerpadlo Sigma, max. spád 14,5 m, hltnost 0,65 m³/s, max. hltnost 3,25 m³/s, výstavba 1957 – 1961, rok uvedení do provozu 1960.



Obrázek 16 MVE Jesenice. Zdroj: tv-adams.wz.cz

Pro výpočet teoretického hydroenergetického potenciálu byla použita následující rovnice:

$$E_T = g \cdot (Q_1 + Q_2) \cdot \frac{1}{2} \cdot H_{1-2}$$

| | Nadm. výška [m. n. m.] | Průměrný roční průtok [m ³ /s] |
|---------------|------------------------|---|
| Slapany - lom | 470 | 2,08 |
| VD Jesenice | 420,3 | 2,7 |

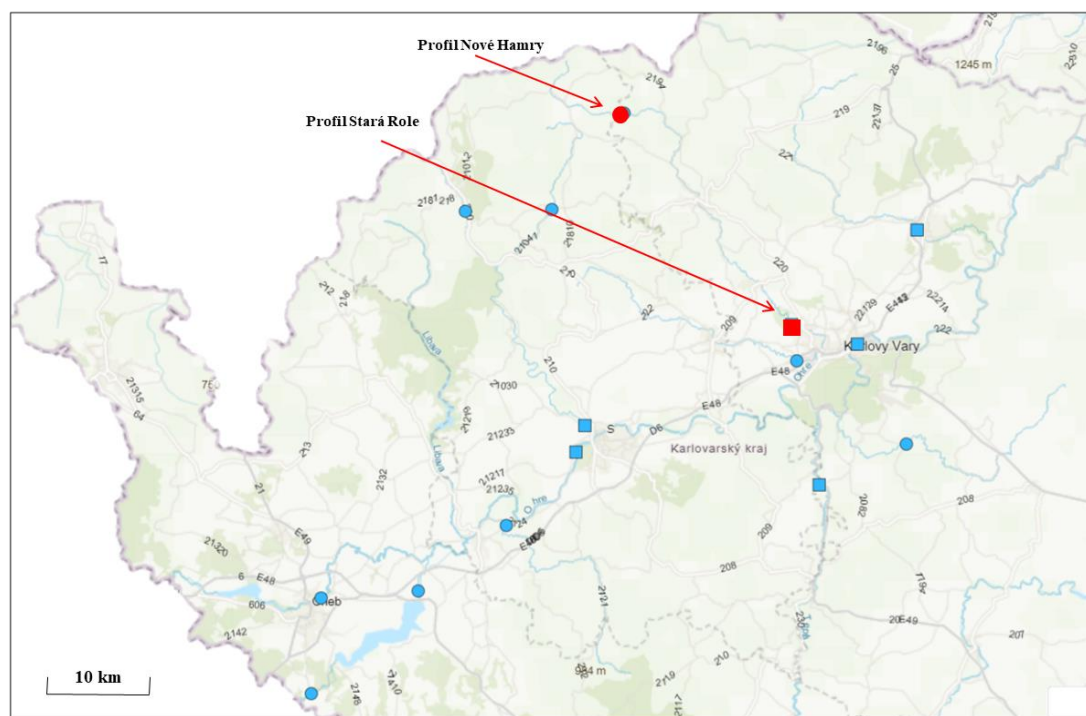
Tabulka 14 Specifikace hlásných profilů na řece Odřavě

$$P_T = 9,81 \cdot (2,08 + 2,7) \cdot \frac{1}{2} \cdot (470 - 420,3)$$

$$P_T = \underline{\underline{1\,165,261\,kW}}$$

V daném úseku jsou umístěny 3 malé vodní elektrárny - MVE Slapany s celkovým instalovaným výkonem 90 kW, MVE Podhrad s celkovým instalovaným výkonem 45 kW a MVE Jesenice s celkovým instalovaným výkonem 315 kW. Celkový instalovaný výkon MVE na daném úseku řeky Ohře činí 450 kW.

6.3.2 Hydroenergetický potenciál Rolavy



Obrázek 17 Hlásné profily na Rolavě

- MVE Nejdek – celkový instalovaný výkon 0,25 MW, 1 zdroj.
- MVE Dolní Suchá u Nejdku – celkový instalovaný výkon 0,11 MW, roční výroba 0,335 GWh, 2 Kaplanovy turbíny, každá o výkonu 55 kW a hltnosti 600 l/s, pevný kamenný jez o délce 12 m a výšce 0,5 m, spád 10,5 m. v provozu od roku 1996.
- MVE Nové Hamry – jezový betonový jez se stavidly, otevřený přivaděč, celkový instalovaný výkon 0,15 MW, 2 vrtulové turbíny, spád 5,8 m, v provozu od 2001.
- MVE Smolné Pece II. – otevřený přivaděč v délce 700 m a tlakový přivaděč s další MVE, celkový instalovaný výkon 0,04 MW, 1x Bánkiho turbína o výkonu 40 kW, spád 10 m, v provozu od 1992.
- MVE Vysoká Pec – jez, otevřený přívodní kanál v délce 80 m, celkový instalovaný výkon 0,032 MW, 2x Bánkiho turbína, každá o výkonu 16 kW a hltnosti 700 l/s, spád 3,8 m, v provozu od 1990.

- MVE Smolné Pece– otevřený přivaděč v délce 700 m, tlakový přivaděč v délce 50 m, celkový instalovaný výkon 0,044 MW, 2x Bánkiho turbína, každá o výkonu 22 kW a hltnosti 360 l/s, spád 10 m, v provozu od 1990.
- MVE Nejdek– celkový instalovaný výkon 0,049 MW, roční výroba 0,133 GWh, 2 zdroje.
- MVE Nejdek – celkový instalovaný výkon 0,039 MW, 2 zdroje.
- MVE Rybáře– celkový instalovaný výkon 0,044 MW, 2 zdroje.
- MVE Smolné Pece I.– celkový instalovaný výkon 0,037 MW, 1 zdroj.
- MVE Smolné Pece III.– celkový instalovaný výkon 0,037 MW, 2 zdroje.
- MVE Vysoká Pec– celkový instalovaný výkon 0,037 MW, 2 zdroje.
- MVE Nejdek– celkový instalovaný výkon 0,037 MW, 1 zdroj.
- MVE Smolné Pece IV.– celkový instalovaný výkon 0,037 MW, 1 zdroj.
- MVE Smolné Pece V.– celkový instalovaný výkon 0,037 MW, 2 zdroje.
- MVE Stará Role– jezový odběr, přivodní krytý kanál, celkový instalovaný výkon 0,03 MW, 1x turbína Bánki-Cink o výkonu 30 kW, hltnost 2300 l/s, spád 2,3 m, v provozu od 1989.

Pro výpočet teoretického hydroenergetického potenciálu byla použita následující rovnice:

$$E_T = g \cdot (Q_1 + Q_2) \cdot \frac{1}{2} \cdot H_{1-2}$$

| | Nadm. výška [m. n. m.] | Průměrný roční průtok [m ³ /s] |
|--------------------------|------------------------|---|
| Profil Nové Hamry | 804,62 | 0,524 |
| Profil Stará Role | 389,38 | 2,26 |

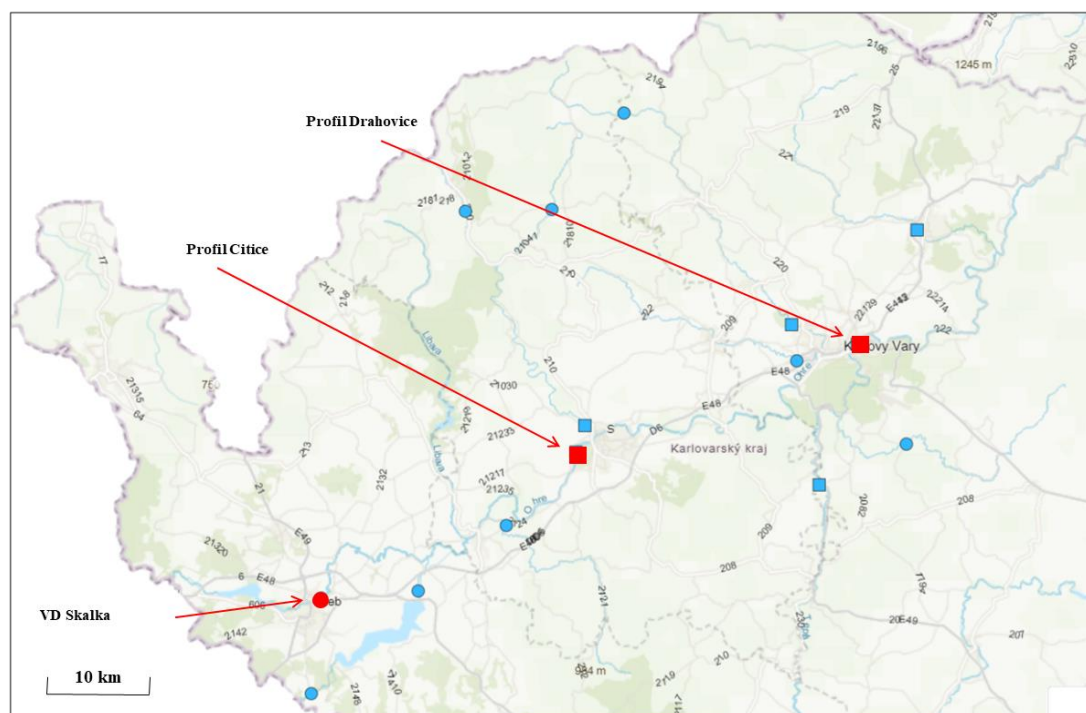
Tabulka 15 Specifikace hlásných profilů na řece Rolavě

$$P_T = 9,81 \cdot (0,524 + 2,26) \cdot \frac{1}{2} \cdot (804,62 - 389,38)$$

$$\underline{P_T = 5\,670,318 \text{ kW}}$$

V daném úseku jsou umístěny 16 malých vodních elektráren – s celkovým instalovaným výkonem 760 kW.

6.3.3 Hydroenergetický potenciál řeky Ohře v Karlovarském kraji



Obrázek 18 Hlásné profily na Ohři v Karlovarském kraji

Pro výpočet teoretického hydroenergetického potenciálu byla použita rovnice:

$$E_T = g \cdot (Q_1 + Q_2) \cdot \frac{1}{2} \cdot H_{1-2}$$

Z evidenčních listů profilů dvou míst na daném vodním toku, kde je uvedena nadmořská výška a průměrný roční průtok, byl vypočítán teoretický hydroenergetický potenciál.

1. Úsek VD Skalka – profil Citice

MVE Skalka – největší malá vodní elektrárna v Karlovarském kraji. Umístěny jsou zde 2 Kaplanovy horizontální turbíny typu S, které mají každá instalovaný výkon 350 kW. Roční výroba je 1,835 GWh. Max. hlnost $2 \times 4,5 \text{ m}^3/\text{s}$. MVE využívá spád od 4,7 do 9,7 m. Výstavba 1962 – 1964, uvedení do provozu 1964.



Obrázek 19 MVE Skalka, foto autor

- MVE Jindřichov u Tršnic – na náhonu z vakového jezu o délce 25 m a výšce 1,6 m, celkový instalovaný výkon 0,144 MW, roční výroba 0,24 GWh, 1x Kaplanova turbína vertikální v kašně s kuželovým převodem na vodorovnou hřídel, synchronní generátor, spád 1,75 m, max. spád 3 m, max. hltnost 5 m³/s, v provozu od 1931.

- MVE Cheb – průtočná, napájená cca 100 m dlouhým náhonem od jezu, pevný, zděný jez o délce 32 m a výšce 0,9 m, celkový instalovaný výkon 0,0115 MW, roční výroba 0,292 GWh, 1. soustrojí - 1x Kaplanova turbína + asynchronní generátor, 2. Soustrojí – Semi-Kaplanova turbína + asynchronní generátor, spád 2,2 m, v provozu od roku 1994.



Obrázek 20 MVE Cheb. Foto: autor

Teoretický hydroenergetický potenciál řeky Ohře od VD Skalka k profilu Citice

Pro výpočet teoretického hydroenergetického potenciálu byla použita následující rovnice:

$$E_T = g \cdot (Q_1 + Q_2) \cdot \frac{1}{2} \cdot H_{1-2}$$

| | Nadm. výška [m. n. m.] | Průměrný roční průtok [m ³ /s] |
|----------------------|------------------------|---|
| VD Skalka | 427,22 | 6,44 |
| Profil Citice | 399,22 | 13,4 |

Tabulka 16 Specifikace hlásných profilů na Ohři

$$P_T = 9,81 \cdot (6,44 + 13,4) \cdot \frac{1}{2} \cdot (427,22 - 399,22)$$

$$\underline{P_T = 2\,724,8256 \text{ kW}}$$

V daném úseku jsou umístěny 3 malé vodní elektrárny - MVE Skalka s celkovým instalovaným výkonem 700 kW, MVE Jindřichov s celkovým instalovaným

výkonem 144 kW a MVE Cheb s celkovým instalovaným výkonem 11,5 kW. Celkový instalovaný výkon MVE na daném úseku řeky Ohře činí 855,5 kW.

2. Úsek profil Citice – profil Karlovy Vary - Drahovice

- MVE Locket na řece Ohři – na náhonu poblíž pevného zděného jezu o délce 80 m a výšce 1,7 m, celkový instalovaný výkon 0,09 MW, roční výroba 0,276 GWh, 1 Kaplanova turbína, hltnost 6 m³/s, 1 asynchronní generátor, spád 1,8 m. V provozu od 1991.



Obrázek 21 MVE Locket. Foto: autor

- MVE Locket na řece Ohři – celkový instalovaný výkon 0,11 MW, roční výroba 0,724 GWh, 2 Francisovy turbíny, pevný betonový jez o délce 101,5 m a výšce 1,5 m. V provozu od 2008.

Pro výpočet teoretického hydroenergetického potenciálu byla použita následující rovnice:

$$E_T = g \cdot (Q_1 + Q_2) \cdot \frac{1}{2} \cdot H_{1-2}$$

| | Nadm. výška [m. n. m.] | Průměrný roční průtok [m ³ /s] |
|-------------------------|------------------------|---|
| Profil Citice | 399,22 | 13,4 |
| Profil Drahovice | 365,89 | 25,5 |

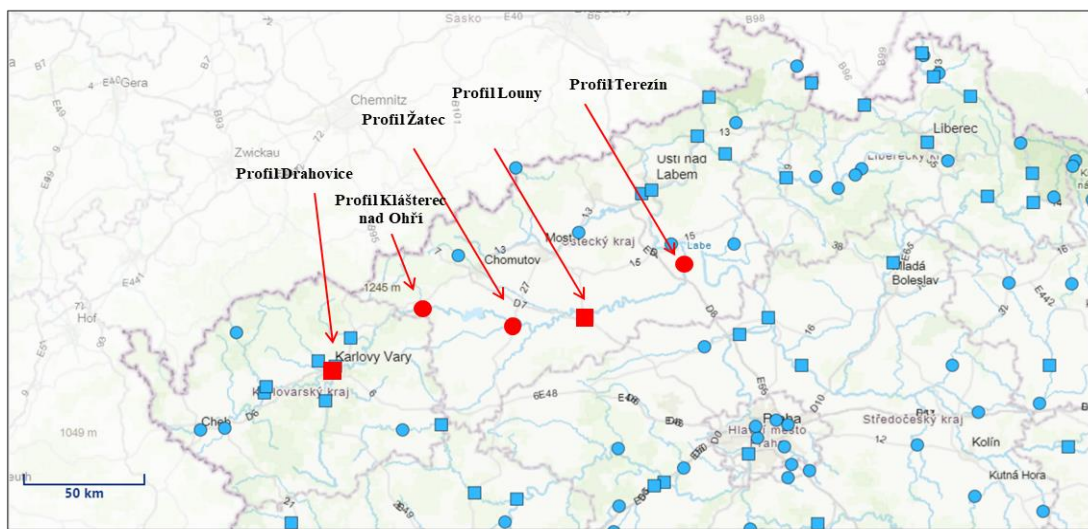
Tabulka 17 Specifikace hlásných profilů na Ohři. 2. úsek

$$P_T = 9,81 * (13,4 + 25,5) * 1/2 * (399,22 - 365,89)$$

$$P_T = \underline{\underline{6\,359,513\,kW}}$$

V daném úseku jsou umístěny 2 malé vodní elektrárny - MVE Loket nad Ohří s celkovým instalovaným výkonem 90 kW, MVE Loket nad Ohří s celkovým instalovaným výkonem 110 kW. Celkový instalovaný výkon MVE na daném úseku řeky Ohře činí 200 kW.

6.3.4 Hydroenergetický potenciál Ohře v Ústeckém kraji



Obrázek 22 Hlásné profily na Ohři

| | Nadmořská výška [m. n. m.] | Průměrný roční průtok [m ³ /s] |
|-------------------------------------|-------------------------------|--|
| 1. Profil Drahovice | 365,89 | 25,5 |
| 2. Profil Klášterec nad Ohří | 320,00 | 29 |
| 3. Profil Žatec | 197,64 | 32,2 |
| 4. Profil Louny | 171,55 | 37,3 |
| 5. Profil Terežín | 146,63 | 37,94 |

Tabulka 18 Specifikace hlásných profilů na Ohři z Karlových Varů k ústí do Labe

1. úsek profil Drahovice – profil Klášterec nad Ohří

Na tomto úseku se nachází:

MVE Klášterec nad Ohří – celkový instalovaný výkon 149 kW

MVE Černýš – celkový instalovaný výkon 410 kW

MVE Jakubov – celkový instalovaný výkon 320 kW

$$E_T = g \cdot (Q_1 + Q_2) \cdot \frac{1}{2} \cdot H_{1-2}$$

$$P_T = 9,81 \cdot (25,5 + 29) \cdot \frac{1}{2} \cdot (365,89 - 320)$$

$$\underline{P_T = 12\,267,429\text{ kW}}$$

Teoretický hydroenergetický potenciál v tomto úseku činí 12 267,429 kW.

2. úsek profil Klášterec nad Ohří – profil Žatec

MVE Kadaň – celkový instalovaný výkon 660 kW

MVE Kadaň Podhradí – celkový instalovaný výkon 95 kW

MVE Rašovice – celkový instalovaný výkon 149 kW

$$E_T = g \cdot (Q_1 + Q_2) \cdot \frac{1}{2} \cdot H_{1-2}$$

$$P_T = 9,81 \cdot (29 + 32,2) \cdot \frac{1}{2} \cdot (320 - 197,64)$$

$$\underline{P_T = 146\,923,035\text{ kW}}$$

Teoretický hydroenergetický potenciál v tomto úseku činí 146 923,035 kW.

3. úsek profil Žatec – profil Louny

MVE Lenešice – celkový instalovaný výkon 700 kW

ME Mradice – celkový instalovaný výkon 240 kW

MVE Žatec – celkový instalovaný výkon 672 kW

$$E_T = g \cdot (Q_1 + Q_2) \cdot \frac{1}{2} \cdot H_{1-2}$$

$$P_T = 9,81 \cdot (32,2 + 37,3) \cdot \frac{1}{2} \cdot (197,64 - 171,55)$$

$$\underline{P_T = 8\,894,015\text{ kW}}$$

Teoretický hydroenergetický potenciál v tomto úseku činí 8 894,015 kW.

4. úsek profil Louny – profil Terezín

MVE Doksany – celkový instalovaný výkon 800 kW

MVE Vršovice u Loun – celkový instalovaný výkon 390 kW

MVE Mlýn Doksany – celkový instalovaný výkon 110 kW

MVE Křesín – celkový instalovaný výkon 170 kW

MVE Pátek u Loun – 500 kW

MVE Koštice – 121 kW

MVE Louny – 160 kW

MVE Libochovice – 500 kW

MVE Brozany – 38 kW

$$E_T = g \cdot (Q_1 + Q_2) \cdot \frac{1}{2} \cdot H_{1-2}$$

$$P_T = 9,81 \cdot (37,3 + 37,94) \cdot \frac{1}{2} \cdot (171,55 - 146,63)$$

$$\underline{P_T = 9\,196,78\text{ kW}}$$

Teoretický hydroenergetický potenciál v tomto úseku činí 9 196,78 kW.

7. Výsledky

7.1 Zhodnocení hydrologické situace v Karlovarském kraji v letech 2017 – 2021

Z hlediska průměrných měsíčních teplot bylo sledované období nadnormální – průměrná odchylka od dlouhodobého průměru činí +0,9°C.

Z hlediska průměrných měsíčních srážek byly pouze roky 2017 a 2021 srážkově normální, roční úhrny představovaly 106 % normálu, nejnižší srážky se vyskytovaly v roce 2018, kdy dosahovaly pouze 77 % normálu. V ostatních letech se roční úhrny držely kolem 90 % normálu.

Z hlediska odtoku byl pouze rok 2021 průměrný (73 – 100 %), rok 2017 byl podprůměrný (65 – 77 %), 2018 byl silně podprůměrný (51 – 77 %), výjimkou byla řeka Svatava v lednu (201 – 210 %), naopak Lomnický potok v profilu Pila vyschnul na 27 dní, 2019 byl podprůměrný až silně podprůměrný (53 – 71 %), Lomnický potok v profilu Pila vyschnul na 6 dní, 2020 byl podprůměrný až silně podprůměrný (51 – 71 %).

Přestože z hlediska průměrných měsíčních srážek se roční úhrny pohybují kolem normálu, stoupající průměrná teplota zhoršuje odtokové poměry vodních toků na území Karlovarského kraje.

7.2 Zhodnocení hydroenergetického potenciálu vodních toků v Karlovarském kraji a řeky Ohře v Ústeckém kraji

Na základě vypočítaného teoretického hydroenergetického potenciálu, byl technicky využitelný hydroenergetický potenciál ponížěn na 50 % a výkon malých vodních elektráren v daném úseku byl přepočítán na procentuelní využití technického potenciálu.

| Úsek toku | Teoretický hydroenergetický potenciál [kW] | Technicky využitelný hydroenergetický potenciál (50 %) [kW] | Celkový instalovaný výkon MVE /kW) | Využití technického hydroen. potenciálu % |
|--------------------------------|--|---|------------------------------------|---|
| Odrava | | | | |
| Slapany lom - VD Jesenice | 12 267,429 | 6133,714 | 450 | 7,33 |
| Rolava | | | | |
| Nové Hamry – Stará Role | 5670,318 | 2835,159 | 760 | 26,8 |
| Ohře | | | | |
| VD Skalka – Cítice | 2724,825 | 1362,412 | 855,5 | 67,78 |
| Cítice - Drahovice | 6359,513 | 3179,756 | 200 | 6,28 |
| Drahovice – Klášterec nad Ohří | 12267,429 | 6133,714 | 879 | 14,33 |
| Klášterec nad Ohří – Žatec | 146923,035 | 73461,5175 | 904 | 1,23 |
| Žatec – Louny | 8 894,015 | 4447,007 | 1612 | 36,24 |

| | | | | |
|-----------------|----------|---------|------|-------|
| Louny - Terezín | 9 196,78 | 4598,39 | 2789 | 60,65 |
|-----------------|----------|---------|------|-------|

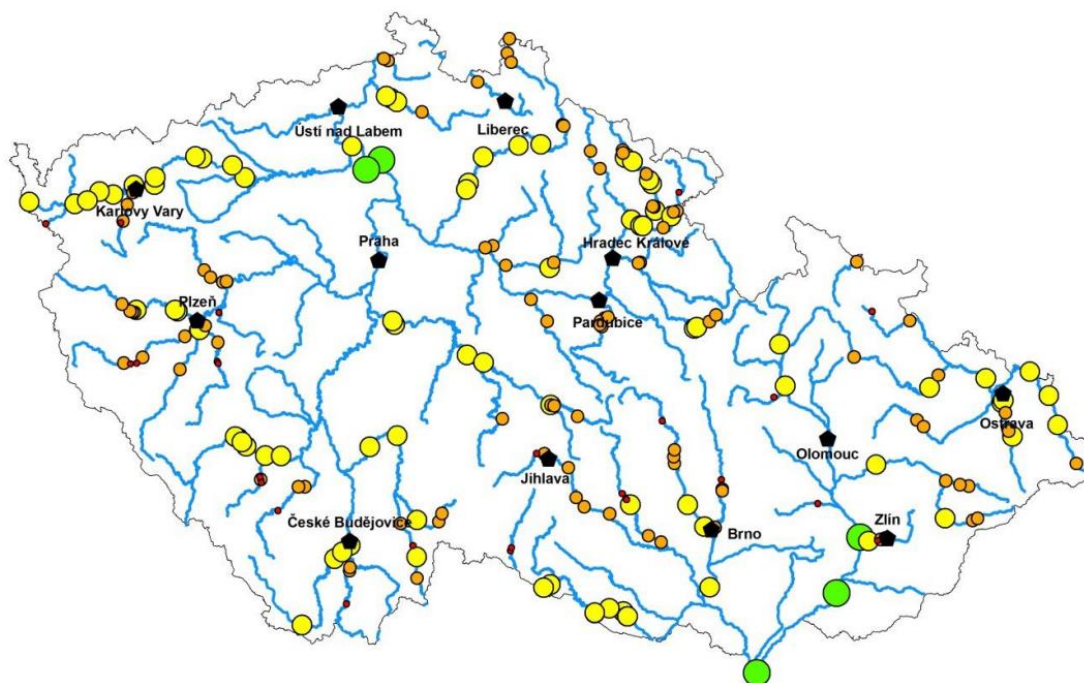
Tabulka 19 Využitelnost technického hydroenergetického. Potenciálu ve sledovaných vodních tocích

Teoretický hydroenergetický potenciál České republiky je uváděn 13,1 TWh za rok. Technicky využitelný hydroenergetický potenciál je přibližně 3,4 TWh za rok. Z toho 53,5 % připadá na vodní elektrárny s výkonem nad 10 MW a 46,5 % na malé vodní elektrárny.

Využití technického potenciálu v České republice je uváděno 56,9 % (Steller et al. 2019). Tuto hodnotu překonal pouze úsek řeky Ohře z vodního díla Skalka k profilu v Citicích u Sokolova. Vysoké využití je způsobeno velkým instalovaným výkonem MVE Skalka, který je 700 kW a tato MVE je největší v Karlovarském kraji.

Pro porovnání údajů byl zjištěn a vypočítán také teoretický hydroenergetický potenciál řeky Ohře v Ústeckém kraji. Zde již řeka Ohře mohutní, průměrný roční průtok na profilu v Kadani je 29 m³/s, při ústí do řeky Labe 37,94 m³/s. V úseku Klášterec nad Ohří – Žatec, kdy řeka klesá z 320 m.n.m v Klášterci na 197,64 m. n. m. v Žatci, je využití technického hydroenergetického potenciálu pouze 1,23 %. Nejvyšší využití technického hydroenergetického potenciálu je v úseku Louny – Terezín, kdy je vyšší než údaj uváděný pro celou Českou republiku.

Nízkou míru využitelnosti hydroenergetického potenciálu v Karlovarském kraji dokládá i závěr z Analýzy efektivního využití MVE z hlediska přírodního potenciálu vodních toků jako energetického zdroje. Na základě té je další potenciální výkon řeky Ohře po celém jejím toku dalších 4550 MW, potenciální výroba 31,7 GWh.



Obrázek 23 Přehled dosud nevyužitého hydroenergetického potenciálu v ČR (zelená - SMALL nad 1 MW, žlutá - MINI do 1 MW, oranžová - MICRO do 100 kW, červená - MICRO do 35 kW)

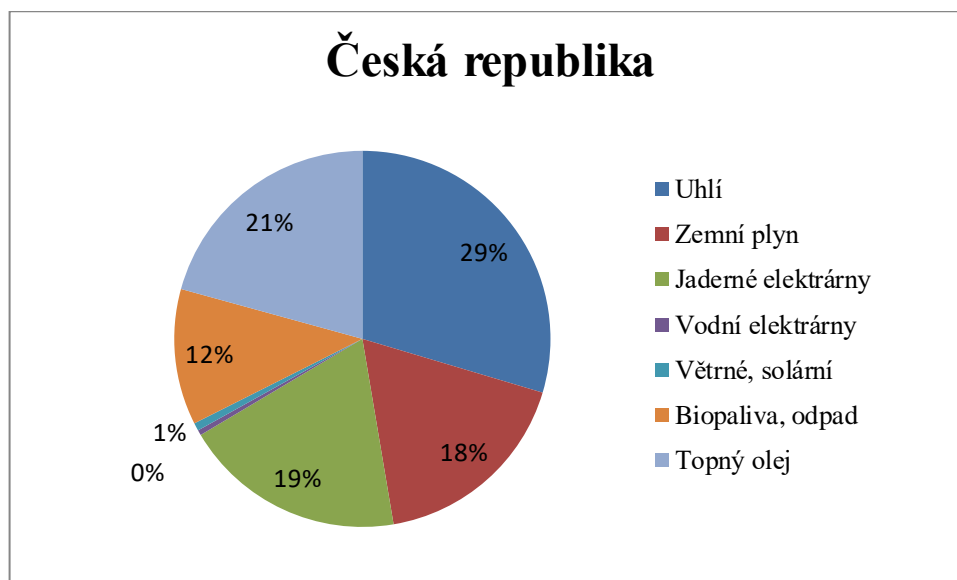
| Typ MVE dle instalovaného výkonu | Počet MVE/% | Instalovaný výkon [MW]/% | Výroba [GW]/% |
|----------------------------------|-------------|--------------------------|---------------|
| MICRO do 35 kW | 26 / 13 % | 0,7 / 2 % | 4,8 / 1 % |
| MICRO od 35 kW do 100 kW | 95 / 46 % | 5,8 / 13 % | 37,4 / 13 % |
| MINI od 100 kW do 1000 kW | 81 / 39 % | 20,4 / 45 % | 135,8 / 47 % |
| SMALL od 1 MW do 10 MW | 5 / 2 % | 18,1 / 40 % | 113,6 / 39 % |
| Celkem MVE | 207 / 100 % | 45 / 100% | 291,6 / 100 % |

Tabulka 20 Nevyužitý hydroenergetický potenciál MVE v ČR

7.3 Zhodnocení hydroenergetického potenciálu České republiky a vybraných zemí EU.

Využití technického hydroenergetického potenciálu v České republice se uvádí 56,9 % až 70,1 % (Soltuniak 2019). Dle V porovnání s ostatními způsoby výroby elektrické energie je využití vodní energie necelé 1 % z celkové výroby energie. Největší část elektrické energie je vyráběna z uhlí a to z 29 %.

7.3.1 Česká republika



Obrázek 24 Podíl výroby elektrické energie v ČR v %. Zdroj: <https://www.iea.org/regions/europe>

5 nejdelších řek v České republice s průměrnými ročními průtoky.

- **Vltava** – průměrný průtok v profilu Vyšší Brod- 13,1 m³/s, Větrná – 15,5 m³/s, Březí – 18,4 m³/s, České Budějovice – 25,6 m³/s, Praha Zbraslav – 98 m³/s

- **Labe** – průměrný průtok v profilu Špindlerův Mlýn – 2,3 m³/s, Přelouč – 53,5 m³/s, Mělník – 233 m³/s, Hřensko – 291 m³/s.

- **Morava** – průměrný průtok v profilu Olomouc – 24,5 m³/s, Lanžhot – 54 m³/s.

- **Ohře** – průměrný průtok v profilu VD Skalka – 6,44 m³/s, Karlovy Vary – Drahovice – 25,5 m³/s, Terezín – 37,94 m³/s.

- **Sázava** – průměrný průtok v profilu Žďár nad Sázavou - 0,902 m³/s, Nespeky – 17,9 m³/s.

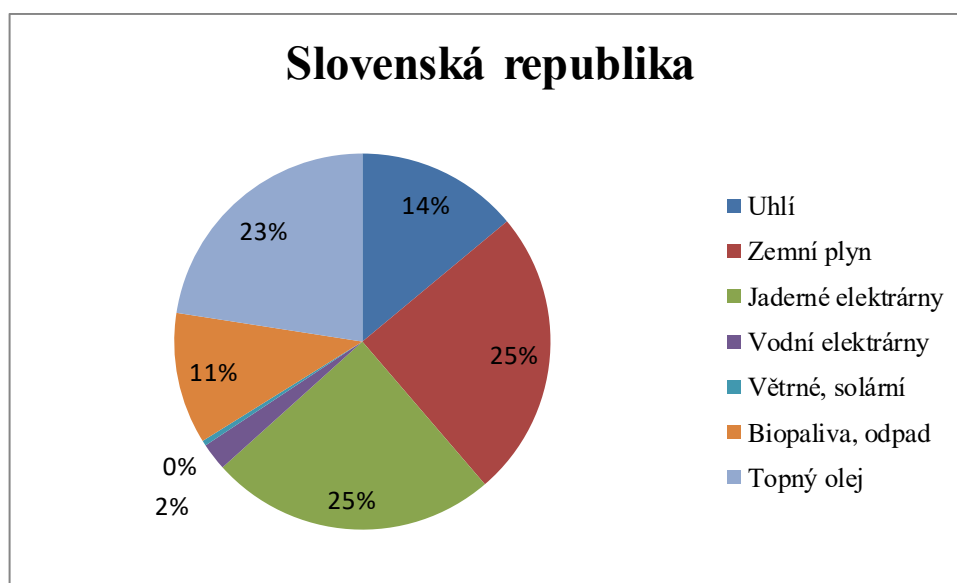
7.3.2 Slovenská republika

Celkový instalovaný výkon vodních elektráren ve správě Slovenských elektrární je 1653 MW, což je přibližně 40 % celkového instalovaného výkonu Slovenských elektrární. Z toho je 736,6 MW v průtočných elektrárnách a 916,4 MW v přečerpávacích.

Skutečně využitý hydroenergetický potenciál Slovenské republiky je na úrovni 64,8 % a je vyšší než v České republice. Ve srovnání s ostatními způsoby výroby elektrické energie tvoří 2 %. Na rozdíl od České republiky zde převažuje výroba elektrické energie ze zemního plynu a jaderná energie.

5 nejdelších slovenských řek s průměrnými ročními průtoky:

- Váh, průměrný roční průtok 152 m³/s
- Hron – průměrný roční průtok 53,7 m³/s
- Ipeľ - průměrný roční průtok – 25 m³/s
- Nitra – průměrný roční průtok – 24,1 m³/s
- Hornád – průměrný roční průtok – 30,9 m³/s



Obrázek 25 Podíl výroby elektrické energie v SR v %. Zdroj: www.iea.org/regions/europe

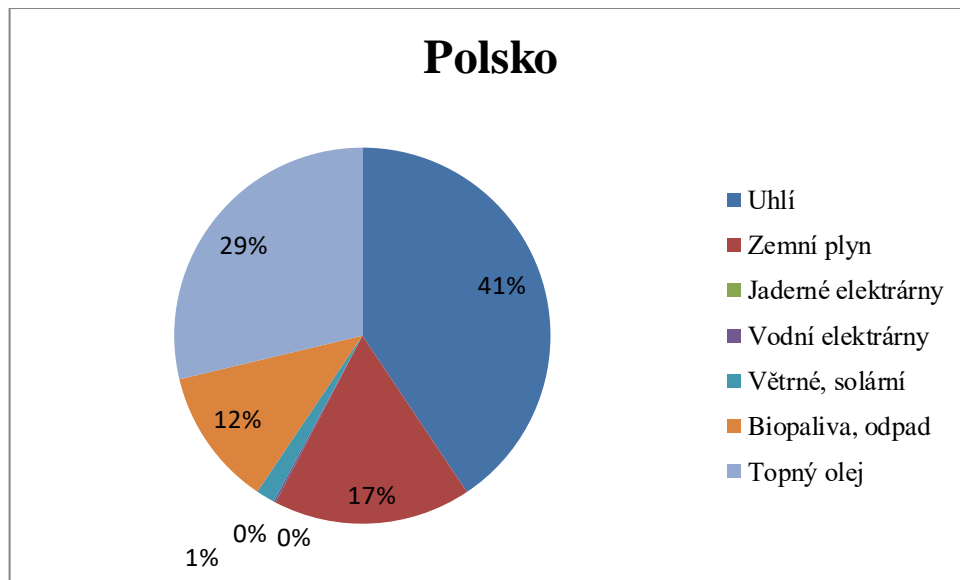
7.3.3 Polsko

Polsko v současnosti využívá cca 19,5 % technického hydroenergetického potenciálu, který je odhadován na 12 000 GWh/rok. Literatura na toto téma uvádí i další potenciální hodnoty, např. teoretický hydroenergetický potenciál vodní energie (s přihlédnutím k přírodním a klimatickým podmínkám) se odhadují na 25 000 GWh/rok, technický potenciál na 14 000 GWh/rok.

5 nejdelších polských řek s průměrnými ročními průtoky:

- Wisla – průměrný roční průtok 1020 m³/s
- Warta – průměrný roční průtok 215 m³/s

- Odra – průměrný roční průtok 560 m³/s
- Bug – průměrný roční průtok 155 m³/s
- Narew – průměrný roční průtok 318 m³/s



Obrázek 26 Podíl výroby elektrické energie v Polsku v %. Zdroj: <https://www.iea.org/regions/europe>

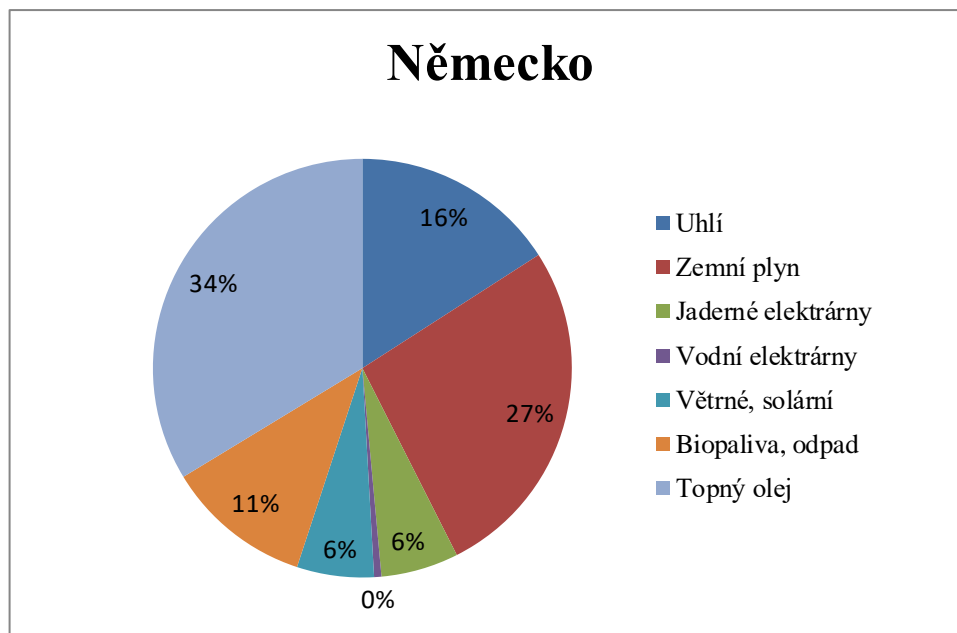
7.3.4 Německo

Celkový instalovaný výkon vodních elektráren 11 022 MW, z toho 6 199 MW z přečerpávacích elektráren. V roce 2021 bylo vyrobeno 27,57 TWh elektrické energie, což představuje asi 3 % celkové výroby elektřiny v zemi.

Většina vodních zdrojů se nachází v horských oblastech, z toho 50 % ve spolkové republice Bavorsko a 20 % v Badensku-Württembersku. Celkem se v těchto státech vyrobí více než 80 % roční výroby elektrické energie. Ke konci roku 2020 bylo v Německu 7 254 vodních elektráren

5 nejdelších německých řek s průměrnými ročními průtoky:

- Rhein – průměrný roční průtok 2290 m³/s
- Wesser – průměrný roční průtok 113 m³/s
- Elbe – průměrný roční průtok 366 m³/s
- Donau – průměrný roční průtok 1430 m³/s
- Main – průměrný roční průtok 109 m³/s



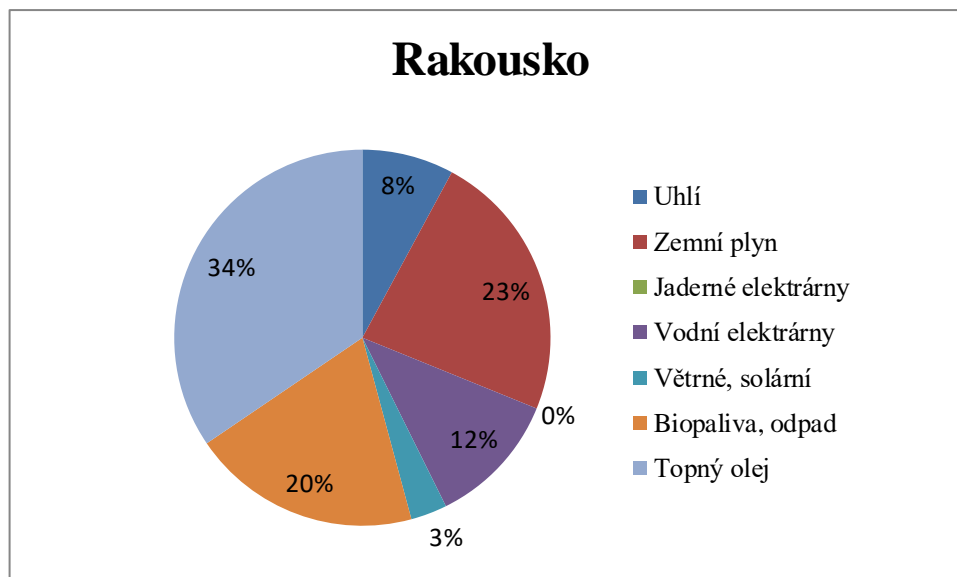
Obrázek 27 Podíl výroby elektrické energie Německu v %. Zdroj: <https://www.iea.org/regions/europe>

7.3.5 Rakousko

Instalovaný výkon v roce 2021 činil 14 747 MW, z toho 5 596 MW náleží přečerpávacím elektrárnám. Výroba elektřiny pomocí vodní energie činila 42,54 TWh. Vodní energie tvoří více než polovinu celkového instalovaného výkonu výroby elektřiny. V Rakousku je přes 3000 vodních elektráren, které jsou připojeny k národní síti a další 2000 MVE, které slouží k místní spotřebě mimo síť. 95 % vodních elektráren v zemi má instalovaný výkon do 10 MW, což zajišťuje cca 14 % výroby vodní energie. Zbýlých 86 % poskytuje asi 158 velkých vodních elektráren. Využito je cca 75 % hydroenergetického potenciálu rakouských vodních toků.

5 nejdelších rakouských řek s průměrnými ročními průtoky:

- Donau – průměrný roční průtok 1910 m³/s
- Mur – průměrný roční průtok 147 m³/s
- Inn – průměrný roční průtok 163 m³/s
- Drau – průměrný roční průtok 670 m³/s
- Enns – průměrný roční průtok 80,3 m³/s



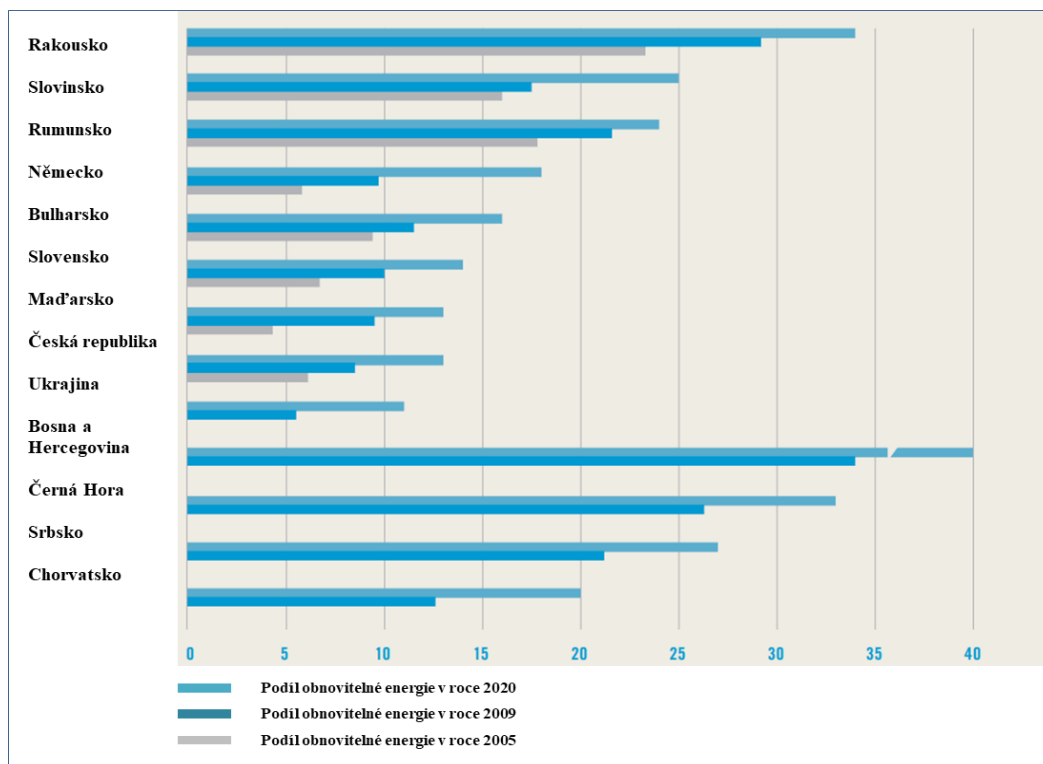
Obrázek 28 Podíl výroby elektrické energie v Rakousku v %. Zdroj: <https://www.iea.org/regions/europe>

7.3.6 Evropská unie

Vodní energie se stále nejvíce podílí na výrobě elektřiny z obnovitelných zdrojů, ale její podíl klesl ze 74 % v roce 2004 na 38 % v roce 2015. Zhruba 70 % veškeré vodní energie v Evropské unii připadá na Švédsko, Španělsko, Francii, Itálii a Rakousko.

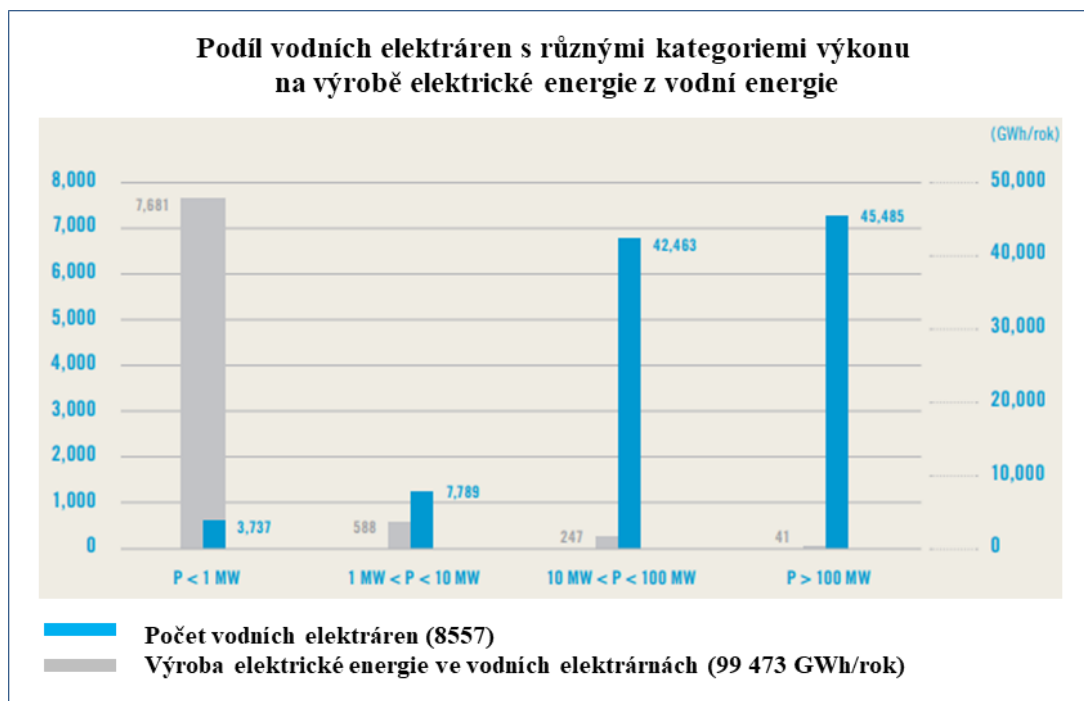
V roce 2020 bylo v zemích EU vyrobeno 374 534,736 GWh ve vodních elektrárnách, z toho 72 440 GWh ve Švédsku a 66 532,417 GWh ve Francii. Kapacita výroby vodní energie se mezi zeměmi Evropské unie značně liší.

V letech 2011 – 2020 vzrostly kapacity vodních elektráren v zemích Evropské unie o celkem 6 548,47 MW, z toho největší nárůst byl zaznamenán v Portugalsku (1705,71 MW), Španělsku (1550,59 MW), v Rakousku (1527,07 MW) a v Itálii (1036,43 MW). Výrobní kapacita se snížila ve čtyřech zemích EU, nejvíce v Německu (610 MW) a Švédsku (168 MW), dále i v Belgii (10,2 MW) a Dánsku (1,74 MW).



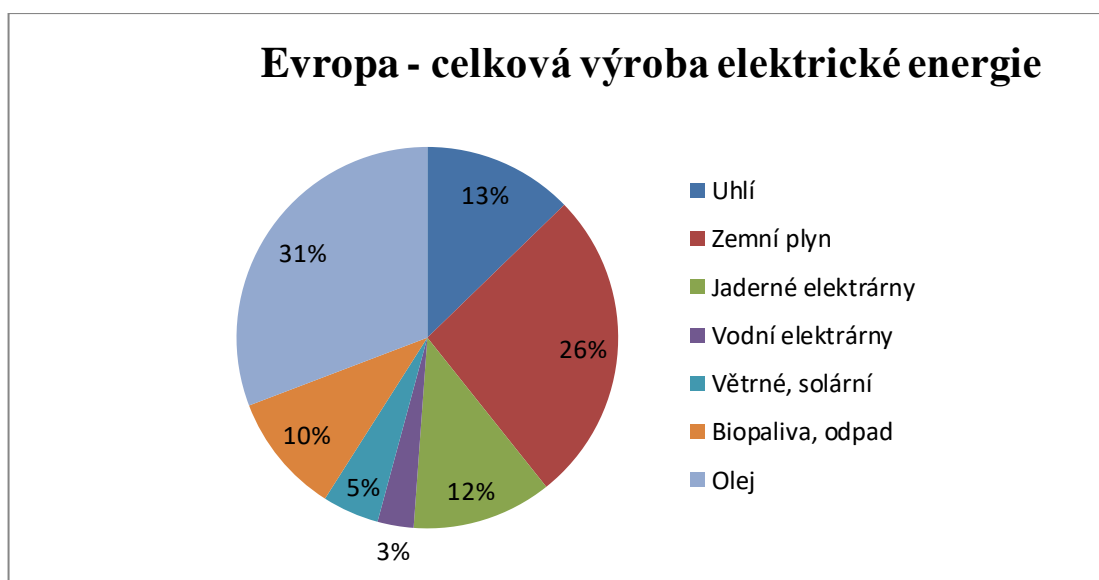
Obrázek 29 Srovnání podílu obnovitelné energie v EU Zdroj: <https://www.iea.org/regions/europe>

Největší nárůst podílu obnovitelné energie mezi lety 2009 až 2020 byl zaznamenán v Německu, které má ze střední Evropy největší podíl výroby elektřiny z vodní energie a to 16 %. Česká republika je ve srovnání s ostatními zeměmi spolu s Maďarskem na předposledním místě. Podíl výroby obnovitelné energie je u nás cca 13 %. Nejvíce obnovitelné energie využívá Bosna a Hercegovina, z našich sousedů je to Rakousko, kde tento podíl činí 35 %.



Obrázek 30 Podíl VE na výrobě elektrické energie z vodní energie v EU.

Zdroj: <https://www.iea.org/regions/europe>



Obrázek 31 Podíl výroby elektrické energie v EU v %.

Zdroj: <https://www.iea.org/regions/europe> <http://www.tew.pl/biblioteka>

8. Diskuze

V hydrologických podmínkách ČR nespočívá význam vodních elektráren v objemu výroby elektrické energie, který produkují například jaderné elektrárny, ale v jejich specifických provozních vlastnostech. Oproti jmenovaným jaderným nebo u

nás velmi rozšířeným tepelným elektrárnám jsou ekologické, nezatěžují životní prostředí. Není třeba budovat úložiště radioaktivního odpadu nebo dobývat fosilní paliva. Vodní elektrárny využívají energii vody, obnovitelného zdroje.

Dle Analýzy efektivního využití MVE z hlediska přírodního potenciálu vodních toků jako energetického zdroje, kterou vypracovala Technologická agentura ČR v roce 2015 je uveden Přehled dosud nevyužitého, nebo jen částečně využitého hydroenergetického potenciálu v lokalitách s již existujícím soustředěným spádem. Závěrem bylo zkonstatováno, že na dalších 207 lokalitách na území České republiky by bylo možné využít hydroenergetický potenciál. Jde o lokality s již existujícím soustředěným spádem, při zachování ekologické stability a minimálních zůstatkových průtoků. Instalovaný výkon byl vypočítán 35,1 MW a výroba 226,9 GWh za rok. Podle instalovaného výkonu by se jednalo o 5 MVE do 10 MW, 64 MVE do 1 MW a 138 micro elektráren do 100 kW.

Jak již bylo zmíněno v Analýze efektivního využití MVE z hlediska přírodního potenciálu vodních toků jako energetického zdroje. Má Česká republika na vodních tocích další potenciál k využití vodní energie. Celkovou výrobu elektrické energie by tak bylo možné navýšit o dalších 291,6 GW.

Velkým potenciálem do budoucna jsou také domácí vodní elektrárny, které vyrobí elektřinu pro vlastní domácnost a přebytky je možno dodávat do sítě.

9. Závěr a přínosy práce

Tato diplomová práce se zabývala malými vodními elektrárnami v Karlovarském kraji jako zdrojem elektrické energie. Nejdříve byla statisticky zhodnocena hydrologická data studijního území za období 2017 – 2021. Poté byly ze seznamu licencí Energetického regulačního úřadu vybrány zařízení s udělenou licencí na výrobu elektřiny v Karlovarském kraji. Pro porovnání využití hydroenergetického potenciálu řeky Ohře po celé délce, byla přidána také data o zařízeních v Ústeckém kraji. Byl vypočítán teoretický hydroenergetický potenciál řeky Odavy, Rolavy a Ohře. Procentuelní data o využití hydroenergetického potenciálu byla porovnána s celorepublikovým údajem. Ten v Karlovarském kraji překročen nebyl, u řeky Ohře v Ústeckém kraji pouze na posledním úseku z Loun do Terezína. Na závěr této práce byla shrnuta data o využití hydroenergetického potenciálu některých zemí EU a byly srovnány podíly výroby elektrické energie z vodní v poměru k ostatním druhům energií.

Ačkoliv potenciál velkých vodních elektráren v ČR je již vyčerpán, malé vodní elektrárny do 1 MW zde mají velký potenciál rozvoje. Nevyžadují zaplavení velké vodní plochy, mohou fungovat s již existujícím vodním tokem, jejich provoz a realizace nejsou finančně náročné. Co však problémem je, je oteplování, menší množství srážek a tím pádem možný nedostatek průtokové vody. S tím jsem se osobně setkala při návštěvě již zaniklých vodních elektráren v Žirovicích

u Františkových Lázní a v Hněvíně. Obě MVE zanikly z důvodu nedostatku průtokové vody. V době fungování byly v provozu pouze od září do dubna.

10. Přehled literatury a použitých zdrojů

1. ALVARADO-ANCIETA C. A., 2009: Estimating E&M powerhouse costi, Water Power and Dam Construction V. 61.
2. ANDAROODI M., 2006: Standardization of civil engineering works of small high-head hydropower plants and development of an optimization tool – Laboratoire de Constructions Hydrauliques Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.
3. BARTÁK J., ETTLER Z., FREMR V., 2003: Malé vodní elektrárny v západních Čechách, Západočeská energetika a. s., 107 s.
4. BARTŮNĚK L., 2013: Potenciál návratnosti malé vodní elektrárny na řece Dyji. Vysoká škola báňská, Ostrava. (bakalářská práce) „nepublikováno“. Dep. VŠB v Ostravě.
5. BEDNÁŘ J., 1989: Malé vodní elektrárny 2: Turbíny. SNTL – nakladatelství technické literatury, 237 s.
6. BOLLAERT E., 2004: Standarization of civil engineering works of small hydropower plants, lessons in Porto.
7. BRAUNER J., ŠINDLER Z., 1987: Elektrická část elektráren. I. vydání. Vysoká škola báňská v Ostravě, 243 s.
8. DAVIS S., 2003: Microhydro: Clean Power from Water. Gabriola Island, British Columbia: New Society Publishers.
9. DE BLIJ, H., J., MULLER, P., WILLIAMS, R., 2004: Physicalgeography. New York: Oxford university Press, 702 s.
10. DOMENICO P., SCHWARTZ F., 1997: Physical and chemici hydrogeology. New York: John Wiley&Sons.
11. DUŠEK J., 2017: Potenciál rozvoje MVE na drobných vodních tocích. Lesy České republiky s.p., Hradec Králové. [online] Dostupné z: https://lesy-cr.cz/wp-content/uploads/2018/04/ZZ_MVE_drobne_vodni_toky.pdf. cit. 17. 2. 2023
12. DUŠIČKA P., ŠULEK, P., 2012: Energetické využívanie vodných zdrojov. Bratislava: STU Bratislava, 90 s.
13. DUŠIČKA P., 2003: Malé vodní elektrárny. 1. vyd. Bratislava: Jaga group, v. o. s., 175 s.

14. EGRÉ D., MILEWSKI J., 2002: The diversity of hydropower projects. Energy Policy. 30 (14): 1225 – 1230 s.
15. HLAVICA T., 2013: Návrh malé vodní elektrárny. Vysoké učení technické Brno. (bakalářská práce). „nepublikováno“. Dep. Vysoké učení technické v Brně.
16. HOLATA M., 2002: Malé vodní elektrárny. Česká matice technická, 267 s.
17. GABRIEL P., ČIHÁK F., KALANDRA P., 1998: Malé vodní elektrárny. Vydavatelství ČVUT, 321 s.
18. GABRIEL P., 1992: Malé vodní elektrárny. ČVUT Praha, 178 s.
19. GORDON J. L., 2001: Hydraulic turbine efficiency – Can. J. Civ. Eng. 28.
20. GORDON J. L., NOEL C. R., 1986: The economic limit of small and low-head hydro – Water Power and Dam Construction V. 38.
21. JANDORA J., STARA V., STARÝ M., 2011: Hydraulika a hydrologie. Akademické nakladatelství CERM[®], Brno, 186 s.
22. JAŠA L. 2011: Mlýny Slavkovského lesa. Nakladatelství Fornica, 253 s.
23. KAMARYTOVÁ M., 2016: Vodní mikroelektrárny a možnosti jejich využití. Univerzita T. Bati Zlín. (bakalářská práce). „nepublikováno“. Dep. Univerzita T. Bati Zlín.
24. KAYGUSUZ K., 2016: Hydropower as clean and renewable energy source for electricity production. Journal of Engineering Research and Applied Science. 5 (1): 359–369 s.
25. KELLER R., 1962: GewaesserundWasserhaushalt des Festlandes. TVG Leipzig, 250 s.
26. KEMEL M., 2000: Klimatologie, meteorologie, hydrologie. Skriptum, ČVUT Praha, 28 s.
27. KOLÁŘOVÁ M., MYSLIL V., 1979: Minerální vody Západočeského kraje. Ústřední ústav geologický, Praha 1979, 140 s.
28. MACEK L., nepublikováno: Návrh vodní mikroelektrárny pro malé spády a malé průtoky. (diplomová práce) „nepublikováno“. Dep. Vysoké učení technické v Brně, 2016.
29. MASTNÝ P. a kol., 2011: Obnovitelné zdroje energie. ČVUT, Praha.
30. MELICHAR J., VOJTEK J., BLÁHA J., 1998: Malé vodní turbíny: Konstrukce a provoz, vydavatelství ČVUT, 299 s.
31. MELICHAR J., 1995: Malé vodní turbíny. ČVUT Praha.

32. MÍSAŘ Z., DUDEK A., HAVLENA V., WEISS J.: Geologie ČSSR I Český masiv. Státní pedagogické nakladatelství v Praze, 1983, 333 s.
33. NETOPIĽ, R. a kol., 1984: Fyzická geografie, 1. vydání. Praha: SPN, 272 s.
34. NĚMEC J., 1964: Inženýrská hydrologie. Státní nakladatelství technické literatury, n. p., 235 s.
35. NĚMEC J., KOPP J. 2009: Vodstvo a podnebí v České republice. Conculst Praha, 255 s.
36. NOYES R., 1980: Small and micro hydroelectric power plants: technology and feasibility. Park Ridge, N.J.: Noyes Data Corp., 457 s.
37. OLMER M et al. 2006: Hydrogeologická rajonizace České republiky. Sborník geologických věd 23. Česká geologická služba Praha, 32 s.
38. PAŽOUT F., 1987: Malé vodní elektrárny 1, SNTL – nakladatelství technické literatury, 501 s.
39. PIWOWAR A., DZIKUĆ M., 2022: Water Energy in Poland in the Context of Sustainable Development. *Energies* 2022, 15, 7840. Dostupné z <https://doi.org/10.3390/en15217840>
40. POLÁK M., 2013: Bezlopatková miniturbína: cesta k energetickému využití nejmenších vodních zdrojů. ČVUT Praha.
41. PUNYS P., DUMBRAUSKAS A., KVARACIEUS A., VYCIENE G., 2011: Tools for Small Hydropower Plant Resource Planning and Development: A Review of Technology and Applications *Energies*
42. RAMOS H., ALMEIDA A. B., PORTELA M. M., ALMEIDA H. P., 2000: Guideline for Design of Small Hydropower Plants, WREAN and DED, Belfast, North Ireland.
43. SALÁŠEK P., nepublikováno: Návrh malé vodní elektrárny. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, 2008.
44. SLOVÁČEK A., 2022: Zhodnocení energetického potenciálu vodního toku. ZČU Plzeň (diplomová práce) „nepublikováno“. Západočeská univerzita Plzeň, 2022.
45. SOŁTUNIAK J., 2016: Wpływ suszy hydrologicznej na inwestycje w energetyce wodnej. *Mozliwości zapobiegania skutkom suszy.* ` Gospod. Prakt. Teor. 2016, 44, 77–91.
46. STELLER J., 2013: Z dziejów energetyki wodnej na ziemiach polskich. *Energetyka Wodna* 2013, 4, 27-31.

47. STRAHLER, A., STRAHLER, A. *Introducing Physical Geography*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2006. 684 s.
48. SVOBODA Z., nepublikováno: *Nevyužitý hydropotenciál v ČR a energetické využití vodních zdymadel*. ČVUT Praha, 2020.
49. ŠKORPIL J., KASÁRNÍK M., 2000: *Obnovitelné zdroje energie I: Vodní elektrárny*. Západočeská univerzita Plzeň.
50. ŠTĚPÁN L., KŘIVANOVÁ M., 2000: *Dílo a život mlynářů a sekerníků v Čechách*, nakladatelství Argo, 307 s.
51. ŠTOLL Č., KRATOCHVÍL S., HOLATA M., 1977: *Využití vodní energie*. SNTL Praha, 614 s.
52. TRIZNA M., 2004: *Klimageografia a hydrogeografia*, 1. vydání. Bratislava: Geo-grafika. 154 s.
53. TRNAVSKÝ J., 2022: *Malé vodní elektrárny jsou ve hře*. *Energie* 21 č. 3/2022.
54. ŘEDINOVÁ, J., PAVLÁSEK, J., MÁCA, P. *Hydrologie – Návody ke cvičením*. Praha: ČZÚ, 2009. 79 s.
55. ULRYCH E., 2001: *Hydromechanika*. ČZU Praha, 146 s.
56. VOROS N. G., KIRANOUDIS C. T., MAROULIS Z. B., 1999: *Short-cut design of small hydroelectric plants – Renewable Energy*.
57. VYSOUDIL M., nepublikováno: *Návrh malé vodní elektrárny*. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, 2009.
58. WAGNER H., MATHUR J., 2011: *Introduction to hydro energy systems basics, technology and operation*. Berlin: Springer.

Internetové reference

1. Anonymus, 2009, [online] Dostupné z <http://www.tv-adams.wz.cz/mve.html>. cit. 30.11.2022
2. Anonymus, [online] Dostupné z <http://www.vodnimlyny.cz>. cit. 10.11.2022
3. BERANOVSKÝ J., 2000. *Metody hodnocení vhodnosti a výtěžnosti obnovitelných zdrojů energie*. <https://old.ekowatt.cz/cz3/datum-publikace.cit> 12.1.2023
4. DHI. [online] Dostupné z <http://www.app.hydrographie.steiermark.at>. Cit 11.12.2022
5. HES S., 2008: *Hydroenergetické využití velmi malých spádů v závislosti na ekonomické efektivitě*. [online] Dostupné z

- <https://www.cez.cz/edee/content/file/vzdelavani/soutez/hes.pdf>.cit 11.12.2022
6. ČEA Sborník technických řešení malých vodních elektráren. [online] Dostupné z <https://www.mpo-efekt.cz/dokument/008092.pdf>
 7. Český hydrometeorologický ústav, [online] <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty>. cit 12.1.2023
 8. Český hydrometeorologický ústav, [online] <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-srazky>. cit 13.1.2023
 9. ČEZ a. s., [online] Svět energie, <https://www.svetenergie.cz/data/web/vzdelavaci-program-cez/tiskoviny/encyklopedie-obnovitelne-zdroje-e.pdf>. cit. 2. 2. 2023
 10. Energetický regulační úřad. Roční zpráva o provozu elektrizační soustavy České republiky za rok 2021. [online] Dostupné z <file:///C:/Users/ondra/Downloads/eruelektro2021.pdf> cit. 6.2.2003
 11. IEA International Energy Association, [online] <https://www.iea.org/regions/europe> 2.3.2023
 12. IHA International Hydropower Association, [online] www.hydropower.org
 13. JOSEF V., Vodní turbíny. <http://vodniturbiny.cz/> cit 7.12.2022
 14. KUKLA J., 2012: Malé vodní elektrárny na řece Mži, dostupné z https://kke.zcu.cz/export/sites/kke/old_web/files/projekty/enazp/20/IUT/128_Male_vodni_elektrarny_na_Mzi_-_P0.pdf
 15. KUKLA P., 2022: Porovnání hydrologických charakteristik M-denních průtoků referenčního období 1981 – 2010 a uvažovaného referenčního období 1991 – 2020. Dostupné z: <https://www.vtei.cz/2022/04/porovnani-hydrologickych-charakteristik-m-dennich-prutok-referencniho-obdobi-1981-2010-a-uvazovaneho-referencniho-obdobi-1991-2020/>
 16. LAIKA V., Malá voda. <http://mve.energetika.cz/> cit. 30.11.2022
 17. Povodí Ohře. www.poh.cz
 18. RUDA A., Klimatologie a hydrogeografie pro učitele, Masarykova univerzita dostupné z: https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/ps14/fyz_geogr/web/pages/08-hydrografie.html
 19. SEQUENS E., Atlas zařízení využívajících obnovitelné zdroje energie, <http://calla.ecn.cz/atlas/list.php?type=1>. cit 3.2.2023
 20. Stadt Wien. www.wien.gv.at/statistik/lebensraum
 21. STELLER J., KREMER E., LEWANDOVSKI S., POPA B., MALICKA E., PUNYS P., 2019: Hydropower in the East European region – challenges and opportunities. Dostupné z <http://www.tew.pl/biblioteka>
 22. STUDENÍK J., SVITAVSKÝ M., 2016: Energie větru, vody, biomasy. <https://publi.cz/books/90/UvodVoda.html>. cit. 16. 11. 2022
 23. Wikipedia, <https://en.wikipedia.org/wiki/Hydroelectricity>. cit. 14. 12. 2022
 24. Wikipedia.org. <https://de.wikipedia.org/wiki/Wikipedia>
 25. Výskumný ústav vodného hospodárstva: Aktualizácia koncepcie využitia hydroenergetického potenciálu vodných tokov SR. Dostupné z:

- https://www.vuvh.sk/download/RSV/Koncepcia_2_2_2015_FINciste.pdf cit. 11.3.2023
26. Slovenské elektrárne. Dostupné z: <https://www.seas.sk/o-nas/nase-elektrarne/vodne-elektrarne/>
 27. Statista.com. Dostupné z <https://www.statista.com/topics/6308/hydropower-in-france/#topicOverview>
 28. ICPDR International Commission for the Protection of the Danube Rivier. Hlavné zásady udržateľného rozvoja hydroenergetiky v povodí Dunaja. https://www.icpdr.org/main/sites/default/files/nodes/documents/icpdr_guiding_principles_hydropower_slowakisch.pdf
 29. EUR-Lex Prístup k právu Európskej unie. Zpráva komise Európskeho parlamentu, radě, evropskému hospodářskému a sociálnímu výboru a výboru regionů. Zpráva o pokroku v oblasti energie z obnovitelných zdrojů. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A52017DC0057>
-
1. Český hydrometeorologický ústav: Hydrologická bilance množství a jakosti vody České republiky 2017
 2. Český hydrometeorologický ústav: Hydrologická bilance množství a jakosti vody České republiky 2018
 3. Český hydrometeorologický ústav: Hydrologická bilance množství a jakosti vody České republiky 2019
 4. Český hydrometeorologický ústav: Hydrologická bilance množství a jakosti vody České republiky 2020
 5. Český hydrometeorologický ústav: Hydrologická bilance množství a jakosti vody České republiky 2021
 6. Český hydrometeorologický ústav: Evidenční list hlásného profilu č. 1. Dostupné z <https://hydro.chmi.cz/hppsevlist/download?seq=307053>
 7. Český hydrometeorologický ústav: Evidenční list hlásného profilu č. 43. Dostupné z <https://hydro.chmi.cz/hppsevlist/download?seq=307011>
 8. Český hydrometeorologický ústav: Evidenční list hlásného profilu č. 137a. Dostupné z <https://hydro.chmi.cz/hppsevlist/download?seq=2505258>
 9. Český hydrometeorologický ústav: Evidenční list hlásného profilu č. 159. Dostupné z <https://hydro.chmi.cz/hppsevlist/download?seq=307068>
 10. Český hydrometeorologický ústav: Evidenční list hlásného profilu č. 215. Dostupné z <https://hydro.chmi.cz/hppsevlist/download?seq=307081>.
 11. Český hydrometeorologický ústav: Evidenční list hlásného profilu č. 218a. Dostupné z <https://hydro.chmi.cz/hppsevlist/download?seq=25089890>
 12. Český hydrometeorologický ústav: Evidenční list hlásného profilu č. 218. Dostupné z <https://hydro.chmi.cz/hppsevlist/download?seq=307291>
 13. Český hydrometeorologický ústav: Evidenční list hlásného profilu č. 219. Dostupné z: <https://hydro.chmi.cz/hppsevlist/download?seq=41063442>

14. Český hydrometeorologický ústav: Evidenční list hlásného profilu č. 221.
Dostupné z: <https://hydro.chmi.cz/hppsevlist/download?seq=307134>
15. Český hydrometeorologický ústav: Evidenční list operativního profilu Chaloupky. Dostupné z
<https://hydro.chmi.cz/hppsevlist/download?seq=20745439>
16. Český hydrometeorologický ústav: Evidenční list hlásného profilu č. 229.
Dostupné z <https://hydro.chmi.cz/hppsevlist/download?seq=307297>
17. Český hydrometeorologický ústav: Evidenční list hlásného profilu č. 233.
Dostupné z <https://hydro.chmi.cz/hppsevlist/download?seq=2506442>
18. Český hydrometeorologický ústav: Evidenční list hlásného profilu č. 233.
Dostupné z <https://hydro.chmi.cz/hppsevlist/download?seq=2506442>
19. Český hydrometeorologický ústav: Evidenční list hlásného profilu č. 235.
Dostupné z <https://hydro.chmi.cz/hppsevlist/download?seq=307300>
20. Český hydrometeorologický ústav: Evidenční list hlásného profilu č. 225.
Dostupné z <https://hydro.chmi.cz/hppsevlist/download?seq=307294>
21. Český hydrometeorologický ústav: Evidenční list hlásného profilu č. 79.
Dostupné z <https://hydro.chmi.cz/hppsevlist/download?seq=307036>
22. Český hydrometeorologický ústav: Evidenční list hlásného profilu č. 80.
Dostupné z <https://hydro.chmi.cz/hppsevlist/download?seq=307038>
23. Český hydrometeorologický ústav: Evidenční list hlásného profilu č. 85.
Dostupné z <https://hydro.chmi.cz/hppsevlist/download?seq=307156>
24. Český hydrometeorologický ústav: Evidenční list hlásného profilu č. 94.
Dostupné z <https://hydro.chmi.cz/hppsevlist/download?seq=307049>
25. Český hydrometeorologický ústav: Evidenční list operativního profilu Zbraslav. Dostupné z
<https://hydro.chmi.cz/hppsevlist/download?seq=10045024>
26. Český hydrometeorologický ústav: Evidenční list hlásného profilu č. 317.
Dostupné z <https://hydro.chmi.cz/hppsevlist/download?seq=2505266>
27. Český hydrometeorologický ústav: Evidenční list hlásného profilu č. 352.
Dostupné z <https://hydro.chmi.cz/hppsevlist/download?seq=307372>
28. Český hydrometeorologický ústav: Evidenční list operativního profilu Terezín. Dostupné z
<https://hydro.chmi.cz/hppsevlist/download?seq=20085037>
29. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka: Zajištění dostupnosti vodních zdrojů ve vybraných oblastech Karlovarského kraje. Pilotní řešení zájmových oblastí. Beran A., Vyskoč P., Filippi R., Vizina A., Hlušíčková E. a kol., 2019
https://heis.vuv.cz/data/webmap/datovesady/projekty/vodnizdrojev/docvystupy/Zaverecna_zprava_QJ1520318.pdf. Cit. 20.1.2023
30. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka: Charakteristiky toků a povodí ČR.
<https://www.dibavod.cz/24/charakteristiky-toku-a-povodi-cr.html>.
cit 1. 3.2023

31. Ministerstvo průmyslu a obchodu. Sborník technických řešení malých vodních elektráren.
<https://www.mpo-efekt.cz/dokument/008092.pdf>. cit 14.3.2023
32. Slovenská inovačná a energetická agentura. Využívanie vodnej energie 2021.
https://www.siea.sk/wp-content/uploads/odborne_o_energii/Dokumenty/Vyuzivanie-vodnej-energie.pdf. cit. 15.3.2023
33. International hydropower association. <https://www.hydropower.org/country-profiles/germany>
34. Analýza efektívneho využiti MVE z hľadiska prírodného potenciálu vodních toků jako energetického zdroje. Dostupná z:
[https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/vodni_elektramy_vyuziti_analyza/\\$FILE/OOV_priloha_1_20171004.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/vodni_elektramy_vyuziti_analyza/$FILE/OOV_priloha_1_20171004.pdf)

Právní předpisy

1. Vyhláška Mze č. 292/2002 Sb.
2. Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)
3. Vyhláška 178/2012 Sb., kterou se stanoví seznam významných vodních toků a způsob provádění činností souvisejících se správou vodních toků

11. SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

- Obrázek č. 1 – Horní mlýn
- Obrázek č. 2 – Střední mlýn
- Obrázek č. 3 – Spodní mlýn
- Obrázek č. 4 – Schéma vysokotlaké vodní elektrárny
- Obrázek č. 5 – Schéma nízkotlaké vodní elektrárny
- Obrázek č. 6 – Francisova turbína
- Obrázek č. 7 – Kaplanova turbína
- Obrázek č. 8 – Bánkiho turbína
- Obrázek č. 9 – Územní rozdělení oblasti správy Povodí Ohře s.p. na území KK
- Obrázek č. 10 – Průměrná roční teplota vzduchu 1991 – 2020 v ČR
- Obrázek č. 11 – Průměrný roční úhrn srážek 1991 – 2020 v ČR
- Obrázek č. 12 – Vodní toky v Karlovarském kraji, na kterých je umístěna MVE
- Obrázek č. 13 – Počet MVE dle instalovaného výkonu
- Obrázek č. 14 – Celkový instalovaný výkon MVE v Karlovarském kraji
- Obrázek č. 15 – Hlásné profily na řece Odřavě
- Obrázek č. 16 – MVE Jesenice
- Obrázek č. 17 – Hlásné profily na řece Rolavě
- Obrázek č. 18 – Hlásné profily na řece Ohři v Karlovarském kraji
- Obrázek č. 19 – MVE Skalka
- Obrázek č. 20 – MVE Cheb
- Obrázek č. 21 – MVE Loket
- Obrázek č. 22 – Hlásné profily na Ohři – celý tok
- Obrázek č. 23 – Přehled dosud nevyužitého hydroenerg. potenciálu v ČR

- Obrázek č. 24 – Podíl výroby elektrické energie v ČR
 Obrázek č. 25 – Podíl výroby elektrické energie na Slovensku
 Obrázek č. 26 – Podíl výroby elektrické energie v Polsku
 Obrázek č. 27 – Podíl výroby elektrické energie v Německu
 Obrázek č. 28 – Podíl výroby elektrické energie v Rakousku
 Obrázek č. 29 – Srovnání podílu obnovitelné energie v EU
 Obrázek č. 30 – Podíl VE na výrobě el. energie z vodní energie v EU
 Obrázek č. 31 – Podíl výroby elektrické energie v EU
 Obrázek č. 32 – Kapacita výroby elektřiny ve vodních elektrárnách v EU

- Tabulka č. 1 – Databáze vodních mlýnů v ČR
 Tabulka č. 2 – Typy používaných turbín ve vodních mlýnech v ČR
 Tabulka č. 3 – Povodí na území Karlovarského kraje
 Tabulka č. 4 – Průměrná měsíční teplota v Karlovarském kraji v 2017
 Tabulka č. 5 – Průměrné měsíční srážky v Karlovarském kraji v 2017
 Tabulka č. 6 – Průměrná měsíční teplota v Karlovarském kraji v 2018
 Tabulka č. 7 – Průměrné měsíční srážky v Karlovarském kraji v 2018
 Tabulka č. 8 – Průměrná měsíční teplota v Karlovarském kraji v 2019
 Tabulka č. 9 – Průměrné měsíční srážky v Karlovarském kraji v 2019
 Tabulka č. 10 – Průměrná měsíční teplota v Karlovarském kraji v 2020
 Tabulka č. 11 – Průměrné měsíční srážky v Karlovarském kraji v 2020
 Tabulka č. 12 – Průměrná měsíční teplota v Karlovarském kraji v 2021
 Tabulka č. 13 – Průměrné měsíční srážky v Karlovarském kraji v 2021
 Tabulka č. 14 – Specifikace hlásných profilů na řece Odřavě
 Tabulka č. 15 - Specifikace hlásných profilů na řece Rolavě
 Tabulka č. 16 - Specifikace hlásných profilů na řece Ohři 1. úsek
 Tabulka č. 17 - Specifikace hlásných profilů na řece Ohři 2. Úsek
 Tabulka č. 18 - Specifikace hlásných profilů na řece Ohři 3. Úsek
 Tabulka č. 19 – Využitelnost technického hydroenerg. potenciálu
 Tabulka č. 20 – Nevyužitý hydroenerg. potenciál MVE v ČR
 Tabulka č. 21 – Seznam MVE dle celkového instalovaného výkonu

Tabulka 21 Seznam MVE dle celkového instalovaného výkonu (www. eru.cz)

| | 0,1 – 1 MW | Vodní tok | Celk. inst. výkon | Počet zařízení | Číslo licence/rok udělení |
|----|--------------------|------------------|--------------------------|-----------------------|----------------------------------|
| 1. | MVE Vítkov | Lobezský potok | 0,192 | 3 | 110604971/2006 |
| 2. | MVE Boučí | Svatava | 0,105 | 2 | 110101218/2002 |
| 3. | MVE Suchá u Nejdku | Rolava | 0,11 | 2 | 110101683/2002 |
| 4. | MVE Potůčky | Černá | 0,23 | 2 | 110101771/2002 |
| 5. | Nové Hamry | Rolava | 0,15 | 2 | 110101771/2002 |
| 6. | Pstruží u Merklína | Bystřice | 0,25 | 2 | 110303858/2003 |
| 7. | MVE Březová | Teplá | 0,29 | 3 | 110100176/2002 |
| 8. | MVE Jesenice | Odrava | 0,315 | 5 | 110100176/2002 |

| | | | | | |
|-----|---------------------------|------------------------|-------|---|----------------|
| 9. | MVE Jindřichov u Tršnic | Ohře | 0,144 | 1 | 110100176/2002 |
| 10. | MVE Skalka | Ohře | 0,7 | 2 | 110100176/2002 |
| 11. | MVE Horka | Liboc | 0,179 | 3 | 110100176/2002 |
| 12. | MVE Cheb | Ohře | 0,115 | 2 | 110100176/2002 |
| 13. | MVE Horka – nová | Liboc | 0,25 | 1 | 110100176/2002 |
| 14. | MVE Potůčky | Černá | 0,22 | 2 | 110100521/2002 |
| 15. | MVE Pstruží u Merklín | Bystřice | 0,26 | 1 | 110101772/2002 |
| 16. | MVE Merklín | Bystřice | 0,48 | 1 | 110202183/2002 |
| 17. | MVE Nejdek | Rolava | 0,25 | 1 | 110705205/2007 |
| 18. | MVE Loket | Ohře | 0,11 | 2 | 110806846/2008 |
| 19. | MVE Hory u Oloví | Svatava | 0,1 | 2 | 111221646/2012 |
| 20. | MVE Jakubov | Ohře | 0,32 | 2 | 111432808/2014 |
| 21. | MVE Merklín | Bystřice | 0,185 | 2 | 111634153/2016 |
| 22. | MVE Mořičov | Bystřice | 0,2 | 1 | 111634238/2016 |
| | 0,035 – 0,1 MW | | | | |
| 23. | MVE Stará Chodovská 1 | | 0,037 | 1 | 110100723/2002 |
| 24. | MVE Stará Chodovská 2 | | 0,037 | 1 | 110100723/2002 |
| 25. | MVE Rybáře | Rolava | 0,044 | 2 | 110100723/2002 |
| 26. | MVE Bystřice | Bystřice | 0,055 | 2 | 110100901/2002 |
| 27. | MVE Pomezňá u Chebu | | 0,055 | 1 | 110101268/2002 |
| 28. | MVE Šindelová – Obora | Rotava | 0,090 | 2 | 110101434/2002 |
| 29. | MVE Tatrovice | Tatrovická přehrada | 0,060 | 2 | 110101512/2002 |
| 30. | MVE Vřesová I | Chodovský potok | 0,050 | 2 | 110101512/2002 |
| 31. | MVE Smolné Pece II | Rolava | 0,040 | 1 | 110101577/2002 |
| 32. | MVE Pstruží u Merklína | Bystřice | 0,036 | 1 | 110101771/2002 |
| 33. | MVE Pstruží u Merklína | Bystřice | 0,045 | 1 | 110101832/2002 |
| 34. | MVE Merklín | Bystřice | 0,045 | 3 | 110101834/2002 |
| 35. | MVE Smolné Pece | Rolava | 0,037 | 1 | 110202128/2002 |
| 36. | MVE Smolné Pece | Rolava | 0,037 | 1 | 110202129/2002 |
| 37. | MVE Smolné Pece | Rolava | 0,037 | 1 | 110202130/2002 |
| | MVE Libavské Údolí | Libava | 0,041 | 2 | 110202666/2002 |
| | MVE Bouči – Dolní Nivy | Hluboký potok | 0,090 | 1 | 110303858/2003 |
| 38. | MVE Smolné Pece | Rolava | 0,037 | 1 | 110404280/2004 |
| 39. | MVE Jenišov | Chodovský potok | 0,042 | 1 | 110605083/2007 |
| 40. | MVE Pstruží u Merklína | Bystřice | 0,080 | 4 | 110705156/2007 |
| 41. | MVE Nejdek | Rolava | 0,039 | 2 | 110705213/2007 |
| 42. | MVE Horní Slavkov | Stoka | 0,044 | 2 | 110907684/2009 |
| 43. | MVE Tisová u Otročina | Teplá | 0,096 | 3 | 110909273/2009 |
| 44. | MVE Nejdek | Rolava | 0,049 | 2 | 110910105/2009 |
| 45. | MVE Medvědí mlýn | Lobezský potok | 0,066 | 3 | 111016953/2010 |
| 46. | MVE Šindelová | Skřiván | 0,097 | 2 | 111118686/2011 |
| 47. | MVE Hluboká | Dolský potok | 0,044 | 2 | 111734541/2017 |
| 48. | MVE Smolné Pece | Rolava | 0,044 | 2 | 111734668/2017 |
| 49. | MVE Unger – Rotava | Skřiván | 0,037 | 1 | 112136770/2021 |
| 50. | MVE Louka u ML | Pramenský potok | 0,037 | 2 | 112136770/2021 |
| 51. | MVE Ostroh | Slatinný potok | 0,044 | 2 | 112238481/2023 |
| 52. | MVE Loket | Ohře | 0,090 | 1 | 110100176/2002 |
| 53. | MVE Stanovice | Lomnický potok | 0,083 | 2 | 110100176/2002 |
| 54. | MVE Vysoká Pec | Rolava | 0,037 | 1 | 111734350/2017 |
| 55. | MVE Ostrov | Bystřice | 0,090 | 1 | 111935381/2019 |
| 56. | MVE Šlapany – Háje | Odrava | 0,090 | 1 | 111935831/2019 |
| 57. | MVE Nejdek | Rolava | 0,037 | 2 | 112036235/2020 |
| | do 0,035 MW | | | | |

| | | | | | |
|-----|----------------------------|-----------------------|-------|---|----------------|
| 58. | MVE Stará Role | Rolava | 0,030 | 1 | 110100069/2001 |
| 59. | MVE Podhradí u Aše | Ašský potok | 0,008 | 1 | 110100183/2001 |
| 60. | MVE Stará Chodovská 3 | | 0,025 | 1 | 110100723/2002 |
| 61. | MVE Lipová cesta | Stříbrný potok | 0,033 | 2 | 110101022/2002 |
| 62. | MVE Lipová cesta | Stříbrný potok | 0,022 | 1 | 110101024/2002 |
| 63. | MVE Potůčky | Černá | 0,033 | 3 | 110101237/2002 |
| 64. | MVE Loket – Údolí 1 | Stoka | 0,022 | 2 | 110101432/2002 |
| 65. | MVE Šindelová – Obora IIIb | Rotava | 0,033 | 2 | 110101434/2002 |
| 66. | MVE Šindelová – Obora | Rotava | 0,028 | 2 | 110101434/2002 |
| 67. | MVE Dolní Paseky | Bílý Halštrov | 0,006 | 1 | 110101910/2002 |
| 68. | MVE Jáchymov | Elišášův potok | 0,029 | 2 | 110202635/2002 |
| 69. | MVE Chylice u Útviny | Střela | 0,015 | 2 | 110202687/2002 |
| 70. | MVE Podhradí u Aše | Bílý Halštrov – nádrž | 0,015 | 2 | 110303909/2003 |
| 71. | MVE Jenišov | Chodovský potok | 0,033 | 1 | 110605083/2007 |
| 72. | MVE Ostrov nad Ohří | Bystřice | 0,011 | 1 | 110605083/2007 |
| 73. | MVE Podhrad u Chebu | Odrava | 0,080 | 1 | 110907276/2009 |
| 74. | MVE Údolí u Lokte | Stříbrný potok | 0,030 | 2 | 110907684/2009 |
| 75. | MVE Doubrava u Aše | Bílý Halštrov | 0,011 | 1 | 110907760/2009 |
| 76. | MVE Bystřina | Velká Libava | 0,023 | 2 | 110909273/2009 |
| 77. | MVE Hájský mlýn | Plesná | 0,015 | 1 | 111218934/2012 |
| 78. | MVE Libá u Chebu | Libský potok | 0,011 | 1 | 111935461/2019 |
| 79. | MVE Podhora | Teplá | 0,022 | 1 | 110100176/2002 |
| 80. | MVE Svatava | Svatava | 0,018 | 2 | 110909854/2009 |
| 81. | MVE Hamr pod Jáchymovem | Jáchymovský potok | 0,030 | 1 | 111330543/2013 |
| 82. | MVE Vysoká Pec | Rolava | 0,032 | 2 | 112036235/2020 |

| Průměrná měsíční teplota 2017 – 2021 [°C] | | | | | | | | | | | |
|---|------|-----|-----|----|------|------|------|------|-----|-----|-----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| -1,7 | -0,5 | 2,7 | 7,4 | 11 | 16,9 | 17,2 | 16,9 | 12,1 | 7,9 | 2,9 | 0,6 |

Tabulka 22 Průměrná měsíční teplota v Karlovarském kraji

| Průměrné měsíční srážky 2017 – 2021 [mm] | | | | | | | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|------|----|------|------|------|------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 65,4 | 45,6 | 52,6 | 28,2 | 65,4 | 83,4 | 60,8 | 85 | 53,8 | 53,6 | 38,6 | 61,4 |

Tabulka 23 Průměrné měsíční srážky v Karlovarském kraji

| TJ | Celkem | Fosilní paliva | Zemní plyn | Jaderné elektrárny | Vodní elektrárny | Větrné, solární | Biopaliva, odpad | Topný olej |
|----------------|------------|----------------|------------|--------------------|------------------|-----------------|------------------|------------|
| Evropa | 76 877 341 | 9 784 726 | 20 401 656 | 9 113 088 | 2 351 418 | 3 689 213 | 7 836 242 | 23 655 375 |
| Německo | 11 654 314 | 1 864 960 | 3 123 351 | 702 349 | 65 959 | 697 172 | 1 320 038 | 3 948 990 |
| Francie | 9 138 974 | 221 854 | 1 460 981 | 3 859 995 | 223 423 | 221 343 | 706 402 | 2 606 192 |
| Velká Británie | 6 444 334 | 230 522 | 2 591 817 | 548 491 | 24 314 | 321 009 | 599 237 | 2 064 468 |
| Turecko | 6 151 444 | 1 673 881 | 1 662 755 | | 281 140 | 633 140 | 158 349 | 1 744 318 |
| Itálie | 5 756 349 | 213 369 | 2 440 311 | | 171 186 | 390 925 | 612 685 | 1 811 951 |
| Španělsko | 4 567 702 | 123 352 | 1 169 273 | 635 989 | 109 825 | 355 529 | 316 474 | 1 845 455 |
| Polsko | 4 260 205 | 1 711 033 | 716 234 | | 7 626 | 68 358 | 498 522 | 1 210 212 |
| Ukrajina | 3 615 846 | 956 561 | 998 296 | 837 111 | 27 230 | 33 264 | 177 631 | 592 119 |
| Nizozemí | 2 902 833 | 172 086 | 1 316 248 | 44 589 | 166 | 95 982 | 209 336 | 1 061 414 |
| Belgie | 2 106 854 | 99 999 | 633 396 | 375 651 | 961 | 65 610 | 159 957 | 762 509 |

| | | | | | | | | |
|---------------------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Švédsko | 1 877 231 | 64 488 | 52 459 | 536 705 | 260 600 | 123 667 | 575 337 | 343 943 |
| Česká republika | 1 682 356 | 508 872 | 304 636 | 328 531 | 7 718 | 11 539 | 200 888 | 356 107 |
| Rumunsko | 1 346 203 | 146 512 | 401 310 | 125 088 | 55 372 | 32 170 | 175 006 | 400 693 |
| Finsko | 1 328 539 | 120 469 | 88 402 | 254 084 | 57 179 | 29 463 | 405 046 | 312 968 |
| Rakousko | 1 319 517 | 103 477 | 304 907 | | 151 193 | 40 950 | 258 401 | 452 319 |
| Norsko | 1 149 606 | 34 488 | 190 204 | | 507 336 | 35 774 | 81 545 | 369 416 |
| Maďarsko | 1 099 168 | 70 490 | 366 947 | 175 649 | 878 | 21 252 | 113 255 | 308 659 |
| Bělorusko | 1 050 080 | 35 862 | 631 512 | 3 687 | 1 436 | 1 332 | 73 153 | 304 897 |
| Švýcarsko | 971 707 | 3 664 | 119 331 | 263 506 | 136 331 | 12 555 | 118 474 | 337 863 |
| Izrael | 883 313 | 188 854 | 342 325 | | | 36 764 | 6 194 | 331 652 |
| Portugalsko | 843 361 | 23 781 | 216 499 | | 43 497 | 63 006 | 137 924 | 353 412 |
| Řecko | 824 415 | 76 666 | 206 346 | | 12 037 | 62 032 | 49 294 | 386 129 |
| Bulharsko | 731 055 | 174 633 | 105 304 | 182 030 | 10 153 | 13 291 | 81 418 | 174 068 |
| Slovenská republika | 692 812 | 96 547 | 171 165 | 170 328 | 16 261 | 3 131 | 78 172 | 155 988 |
| Srbsko | 662 045 | 329 756 | 83 295 | | 32 524 | 3 772 | 68 490 | 146 387 |
| Dánsko | 638 061 | 29 752 | 88 435 | | 61 | 66 361 | 197 777 | 229 761 |
| Irsko | 553 034 | 42 909 | 190 695 | | 3 358 | 42 398 | 31 956 | 242 265 |
| Chorvatsko | 344 942 | 15 122 | 105 725 | | 20 385 | 9 674 | 62 761 | 114 574 |
| Litva | 312 344 | 6 394 | 82 553 | | 1 082 | 6 050 | 63 377 | 116 256 |
| Bosna a Hercegovina | 297 372 | 167 877 | 7 179 | | 16 488 | 1 105 | 54 900 | 64 407 |
| Slovinsko | 269 327 | 42 776 | 30 795 | 69 303 | 17 763 | 2 256 | 29 644 | 84 002 |
| Island | 247 316 | 3 889 | | | 47 365 | 172 993 | 909 | 22 160 |
| Estonsko | 187 143 | 104 821 | 14 576 | | 108 | 3 480 | 52 703 | -1 663 |
| Lotyšsko | 179 117 | 985 | 38 111 | | 9 371 | 694 | 67 837 | 56 267 |
| Moldavsko | 163 473 | 3 246 | 91 620 | | 994 | 198 | 27 616 | 39 198 |
| Lucembursko | 143 394 | 1 610 | 26 011 | | 330 | 1 952 | 16 095 | 77 723 |
| Kosovo | 111 473 | 64 629 | | | 946 | 378 | 15 566 | 31 096 |
| Severní Makedonie | 108 273 | 31 614 | 11 671 | | 4 598 | 704 | 9 927 | 41 383 |
| Albánie | 90 533 | 6 308 | 1 725 | | 19 011 | 680 | 10 985 | 43 631 |
| Kypr | 89 340 | 586 | | | | 5 043 | 6 030 | 77 680 |
| Černá Hora | 42 654 | 16 033 | | | 5 212 | 1 152 | 6 207 | 13 766 |
| Malta | 28 860 | | 13 324 | | | 1 067 | 724 | 12 248 |

Tabulka 24 Energie vyrobená v EU Zdroj: <http://www.tew.pl/biblioteka>

| Specification | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
|------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| European Union—27 countries | 142,433,708 | 143,073,780 | 144,156,131 | 144,329,264 | 146,291,976 | 147,816,738 | 148,584,348 | 148,613,314 | 148,996,193 | 148,982,176 |
| Euro area—19 countries (from 2015) | 109,781,708 | 110,455,780 | 111,299,131 | 111,931,164 | 113,438,998 | 114,784,371 | 115,393,459 | 115,471,281 | 115,831,376 | 115,891,468 |
| Belgium | 1426.000 | 1427.000 | 1429.000 | 1431.000 | 1422.000 | 1419.100 | 1417.100 | 1417.800 | 1414.100 | 1415.800 |
| Bulgaria | 3108.000 | 3181.000 | 3203.000 | 3219.000 | 3219.000 | 3223.000 | 3371.550 | 3379.000 | 3378.350 | 3376.456 |
| Czechia | 2023.000 | 2029.000 | 2064.000 | 2062.000 | 2069.000 | 2071.000 | 2080.890 | 2080.598 | 2080.955 | 2081.012 |
| Denmark | 9.000 | 9.000 | 9.000 | 9.000 | 6.878 | 9.267 | 7.153 | 7.153 | 7.263 | 7.263 |
| Germany | 11,367.000 | 11,185.000 | 11,197.000 | 11,190.000 | 11,212.000 | 11,164.000 | 11,078.000 | 10,652.000 | 10,698.000 | 10,757.000 |
| Estonia | 5.000 | 8.000 | 8.000 | 5.000 | 6.000 | 6.000 | 7.300 | 7.300 | 6.000 | 8.000 |
| Ireland | 237.000 | 529.000 | 529.000 | 529.000 | 529.000 | 529.000 | 529.000 | 529.000 | 529.000 | 529.000 |
| Greece | 3224.000 | 3236.000 | 3238.000 | 3389.000 | 3392.000 | 3392.000 | 3392.000 | 3409.000 | 3412.000 | 3417.000 |
| Spain | 18,197.000 | 18,207.000 | 18,818.000 | 18,856.000 | 19,686.000 | 19,711.000 | 19,710.000 | 19,710.572 | 19,744.667 | 19,747.592 |
| France | 25,454.181 | 25,469.754 | 25,458.073 | 25,396.027 | 25,368.096 | 25,435.177 | 25,517.417 | 25,542.147 | 25,674.256 | 25,496.113 |
| Croatia | 2127.000 | 2127.000 | 2176.000 | 2178.100 | 2192.100 | 2189.100 | 2190.300 | 2196.800 | 2197.000 | 2197.200 |
| Italy | 21,568.000 | 21,752.000 | 21,890.000 | 21,979.000 | 22,099.000 | 22,181.000 | 22,307.160 | 22,393.119 | 22,434.666 | 22,604.426 |
| Cyprus | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Latvia | 1571.000 | 1573.000 | 1585.525 | 1586.748 | 1586.693 | 1563.196 | 1563.260 | 1563.339 | 1585.204 | 1584.755 |
| Lithuania | 876.000 | 876.000 | 876.000 | 877.000 | 877.000 | 877.000 | 877.000 | 877.000 | 877.000 | 877.000 |
| Luxembourg | 1132.300 | 1132.300 | 1132.300 | 1328.300 | 1328.300 | 1328.300 | 1328.580 | 1328.508 | 1328.508 | 1328.508 |
| Hungary | 55.000 | 56.000 | 57.000 | 57.000 | 57.000 | 57.000 | 57.000 | 57.000 | 58.000 | 58.000 |
| Malta | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Netherlands | 37.000 | 37.000 | 37.000 | 37.000 | 37.000 | 37.000 | 37.000 | 37.000 | 37.000 | 37.000 |
| Austria | 12,642.227 | 12,773.726 | 12,848.233 | 12,997.089 | 13,112.909 | 13,570.998 | 13,717.985 | 14,088.138 | 14,162.000 | 14,169.295 |
| Poland | 2345.000 | 2350.000 | 2354.000 | 2363.000 | 2369.000 | 2385.000 | 2389.559 | 2390.768 | 2396.512 | 2399.102 |
| Portugal | 5529.000 | 5706.000 | 5655.000 | 5709.000 | 6162.000 | 6954.000 | 7219.731 | 7229.642 | 7255.885 | 7234.706 |
| Romania | 6411.000 | 6455.000 | 6509.000 | 6523.000 | 6619.000 | 6644.000 | 6610.437 | 6617.714 | 6602.737 | 6565.675 |
| Slovenia | 1137.000 | 1138.000 | 1183.000 | 1180.000 | 1179.000 | 1177.000 | 1230.926 | 1227.716 | 1230.090 | 1230.273 |
| Slovakia | 2494.000 | 2493.000 | 2493.000 | 2493.000 | 2495.000 | 2493.000 | 2493.000 | 2496.000 | 2494.000 | 2496.000 |
| Finland | 2885.000 | 2913.000 | 2922.000 | 2946.000 | 2947.000 | 2947.000 | 2968.000 | 2963.000 | 2949.000 | 2959.000 |
| Sweden | 16,574.000 | 16,411.000 | 16,485.000 | 15,987.000 | 16,321.000 | 16,454.000 | 16,484.000 | 16,413.000 | 16,444.000 | 16,406.000 |

Obrázek 32 Kapacita výroby elektřiny ve vodních elektrárnách v EU (MW) Zdroj: Eurostat Databáze ec.europa.eu/eurostat

