ROLE HYDROENERGETIKY V BUDOUCÍM ENERGETICKÉM MIXU ČR

Ing. Radek Veselý

Inženýring vodních elektráren, ČEZ, a.s.

ANNOTATION

The article discusses the importance and future of hydropower in the future energy mix of CEZ and the Czech Republic. On Europe's (i.e. the Czech Republic's) path towards decarbonisation of the energy sector, it is appropriate to look at the modernisation of existing hydropower plants, but also at innovative projects to ensure the stability of the transmission grid. As the share of renewables increases, the need for energy storage will grow. Pumped storage undoubtedly has advantages in this context.

KLÍČOVÁ SLOVA

Hydropotenciál, modernizace VE, hybridizace, variabilní otáčky, hydraulický zkrat, akumulace, PVE

1. ÚVOD

Evropa prochází zásadní transformací energetiky, která se zaměřuje na snížení produkce emisí skleníkových plynů a také na snížení závislosti na dovážených energetických surovinách. Ambiciózní cíle, jako je dosažení klimatické neutrality do roku 2050, představují technickou a ekonomickou výzvu. Klíčovým prvkem pro úspěch této transformace bude flexibilita výrobních zdrojů i spotřeby, modernizace energetických sítí a posílení technologií pro ukládání energie.

Očekává se, že požadavky na flexibilitu se s rostoucím podílem volatilních zdrojů energie v energetice do roku 2030 více než zdvojnásobí a do roku 2050 budou sedmkrát větší (resp. něco přes 2 000 TWh). Není pochyb, že poptávka po různých službách (zejména těch rychlých) flexibility bude v příštích desetiletích výrazně růst.

Dalším očekávaným důsledkem bude snížení setrvačnosti v elektrizační soustavě. Solární a větrné elektrárny jsou totiž do sítě připojeny prostřednictvím měniče výkonu a neexistuje u nich rezerva kinetické energie. Nepodílejí se tady ze své podstaty na stabilizaci soustavy na rozdíl od tradičních synchronních generátorů, jejichž otáčky mají přímou vazbu s frekvencí soustavy.

Tímto příspěvkem by autor rád vyzdvihnul roli vodních elektráren a zejména přečerpávacích elektráren v současném i budoucím energetickém mixu (nejen) ČR. Současně je zmíněno několik inovací, které mohou zefektivnit využívání vodních elektráren.

2. SOUČASNÝ STAV HYDROENERGETIKY V EVROPĚ

Je potřeba brát i lokální energetiky v kontextu celé Evropy, protože energetická infrastruktura je vzájemně propojená; a propojení se stále posiluje, elektřina i služby se obchodují na evropské burze. Budou existovat stále větší přeshraniční přetoky energie v různých směrech dle aktuální potřeby. To znamená že lokální energetické soustavy jednotlivých zemí budou ovlivňovány z vnějšku a budou klást stále větší nároky na flexibilitu, neboli na zajištění výkonové rovnováhy.

V roce 2023 došlo k relativně malému nárůstu instalovaného výkonu v Evropě (+717 MW). Organizace IHA uvádí, že ke konci r. 2023 byl ve vodních elektrárnách instalovaný výkon okolo 259 GW a výroba celkem 637 TWh.

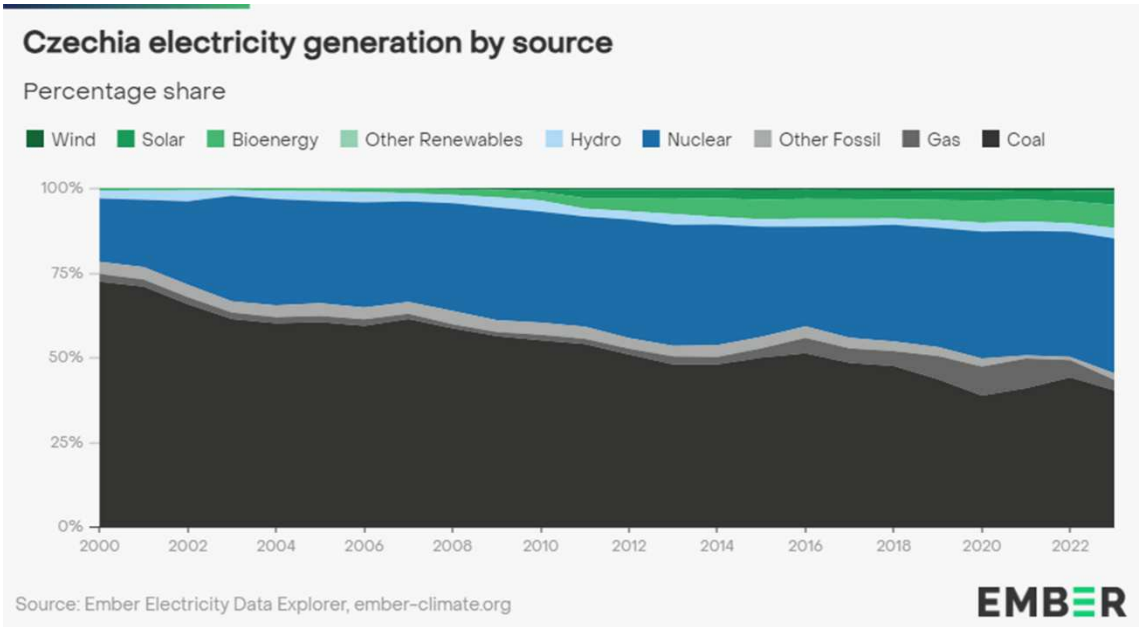
V předchozím roce 2022 byl přírůstek instalovaného výkonu vyšší. Projekty, jako ve Švýcarsku (Nant-de-Drance), Portugalsku (Tâmega giga battery) a Turecku (přehrada Ysufeli) přispěly k navýšení celkového instal. výkonu VE v Evropě o 2 712 MW, z čehož připadá 1 780 MW na PVE.

IHA dále uvádí informaci, že k dosažení uhlíkové neutrality v r. 2050 potřebuje teoreticky výkon ve VE ještě asi o 90 GW vyšší, přičemž z toho už probíhá realizace projektů o výkonu 15 GW. Bude se jednat převážně o PVE.

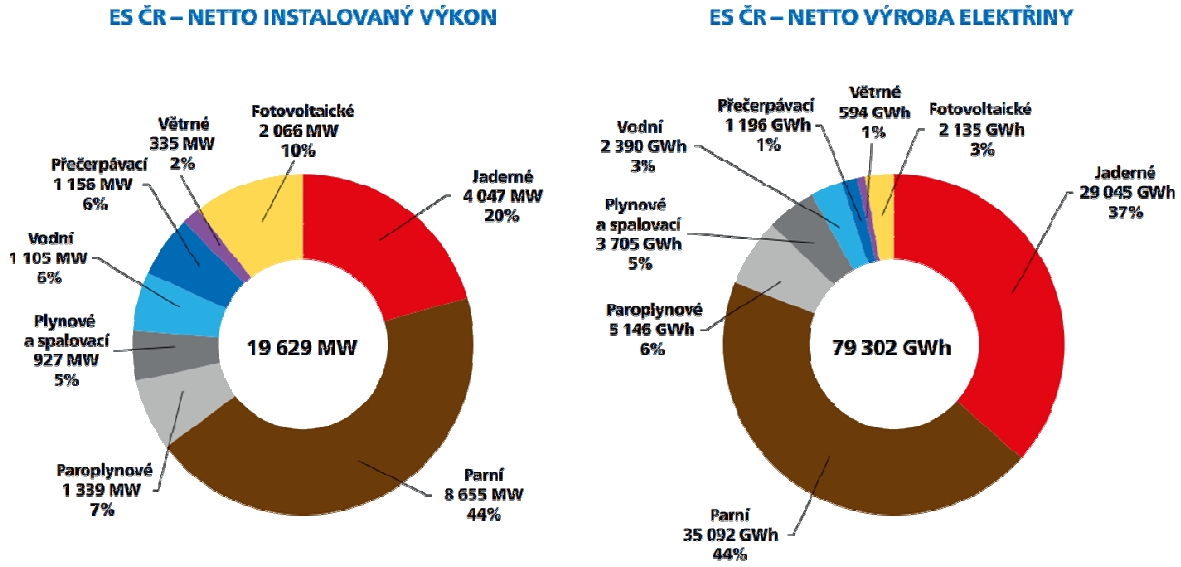
Je zde zároveň zajímavý potenciál pro modernizaci vodních elektráren, protože 70 % elektráren je starších než 30 let. Existují studie, které odhadují, že modernizací by bylo možné navýšit současnou výrobu VE o cca 10 % a další 3 % je možné získat využitím hydropotenciálu bývalých vodních děl (mlýny, pily, hamry, apod.).

3. SOUČASNÝ STAV HYDROENERGETIKY V ČESKÉ REPUBLICE

Vodní elektrárny v Česku tvoří menší část energetického mixu. Dlouhodobě přispívají přibližně 3-4 % do celkové výroby elektřiny v zemi.



Obr.1 Podíl zdrojů (vyjádřený v %) na výrobě elektřiny v ČR (2023)



Zdroj: ČEPS, Hodnocení zdrojové přiměřenosti ES ČR do roku 2040 (MAF CZ 2022) / ERÚ

Obr.2 Podíl zdrojů na výrobě elektřiny v ČR (2022)

ČR – Instalovaný výkon VE + PVE	**≈ 2,26 GW**
Roční produkce elektřiny celkem	**≈ 2,39 GWh**
ČEZ – Instalovaný výkon VE + PVE	**1965 MW** 87 % ČR
ČEZ – výroba z VE	**2194 MWh** 91,8 % ČR
Podíl VE na celkové výrobě v ČEZ	**4,6%**

Pozn.: Uvedené hodnoty jsou vztaženy k 31.12.2023.

ČEZ, jakožto provozovatel největších vodních elektráren, které mají také největší podíl na výrobě z VE v ČR, má snahu své zařízení zodpovědně udržovat a modernizovat. Celkem už bylo modernizováno skoro 40 soustrojí, jen za posledních 13 let za částku přesahující 3,5 mld. Kč. Modernizace byla zaměřena zejména na zvýšení účinnosti, rozšíření provozního pásma a snížení vlastní spotřeby. Další velmi důležitá investice byla do modernizace dispečinku VE i MVE.

4. TECHNOLOGICKÉ INOVACE A MODERNIZACE

Pokud má hydroenergetika v České republice zůstat relevantní i v budoucnu, je nezbytné se zaměřovat zejména na tyto oblasti:

1. Prodloužení životnosti
2. Zvýšení účinnosti a výkonu
3. Rozšíření provozního rozsahu
4. Bezpečnost a ekologie
5. Implementace nových technologií

Poslední bod bude hrát v kontextu zvyšujícího podílu OZE stále větší roli, protože může nabídnout stávajícím elektrárnám nové možnosti v poskytování regulačních služeb energetické soustavě, nebo prodloužení životnosti výrobního zařízení.

Trendem v zavádění nových technologií jsou:

- diagnostické nástroje, které umožňují lepší prediktivní plánování odstávek a údržby,
- nové strojní technologie – nové typy materiálů ložisek, vysokotlaká hydraulická regulace atd.,
- modernizaci ŘS na elektrárnách a dispečinku, inteligentní řízení
- hybridizace soustrojí – doplnění bateriovým úložištěm,
- variabilní otáčky soustrojí TG (u PVE)
- hydraulický zkrat (u PVE)

VE platí za jedny z nejrychlejších a nejflexibilnějších zdrojů v energetice. Přesto jsou zde určitá fyzikální omezení, jako je mechanismus působení setrvačnosti vody v přivaděčích nebo bezpečnost strojů. Jejich podstata omezuje dobu odezvy hydraulického zařízení a ta pak nemohou poskytovat služby vyžadující rychlou odezvu, které jsou v nastupující moderní energetice žádané.

HYBRIDIZACE SOUSTROJÍ TG

Právě **hybridizace soustrojí** doplněním bateriového úložiště a inovativní metody řízení představují způsob, jak díky součinnosti s dalšími systémy poskytovat reakční dobu pro podání výkonu v řádu sekund.

Dalšími benefity hybridizace je navýšení maximálního výkonu, ale také určitý stupeň volnosti v řízení výkonu. To se hodí zejména při poskytování služby primární regulace výkonu (FCR), kdy baterie při korekcích výkonu zastoupí regulaci turbíny a tím šetří hlavně mechanismus ovládání rozváděcích lopatek.

V současnosti už existuje několik realizovaných projektů hybridizace VE. Demonstrativní projekt trvající 4 roky byl proveden na elektrárně Vogelgrun ve Francii pod záštitou XFLEX Hydro.

XFLEX Hydro je výzkumná iniciativa EU – Union Horizon 2020, kterou podpořilo 19 světových společností z oboru hydroenergetiky.

VARIABILNÍ OTÁČKY SOUSTROJÍ TG

Možnost regulovat otáčky soustrojí přináší řadu výhod, a především zvýšení efektivity provozu celé PVE. Ve světě existuje mnoho referenčních soustrojí s regulovatelnými otáčkami. Nejedná se o novinku. Trendem v současnosti je však modernizace stávajících generátorů na generátory s regulovatelnými otáčkami:

- s frekvenčním měničem na plný výkon generátoru – **FSFC** (Full Size Frequency Convertor), méně často CFSM (Convertor Fed Synchronous Motor) nebo CFIG (Converter Fed Induction Generator)

- s frekvenčním měničem na částečný výkon generátoru – **DFIG** (Double Fed Induction GENERATOR).

Např. na PVE Grimsel II byl instalován FSFC pro výkon 100 MVA (v současnosti největší frekvenční měnič instalovaný na PVE na světě). Pro větší výkony se vzhledem k rozměrům frekv. měniče a jeho ceně spíše používá DFIG (např. Frades II 390 MW).

DFIG se nejčastěji realizuje pro regulaci otáček s odchylkou +/-10 od synchronních otáček (může být více v závislosti na velikosti frekvenčního měniče).

Nejzásadnějším přínosem soustrojí s variabilními otáčkami je rozšíření provozní oblasti v čerpadlovém režimu, resp. možnost regulovat příkon. Tím získá provozovatel možnost obchodovat služby FCR nebo a/mFRR i v režimu čerpadla. Stejně tak důležitý přínos je lepší vážená účinnost a rychlejší starty soustrojí.

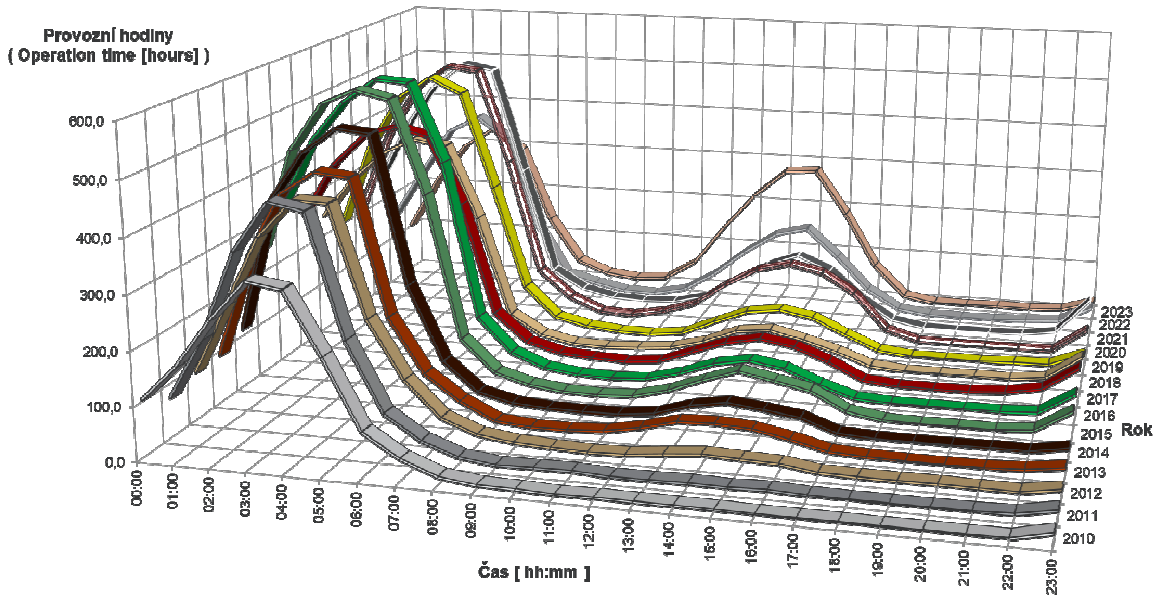
HYDRAULICKÝ ZKRAT

Využití hydraulického zkratu je možné na některých PVE (min. se dvěma TG). Je to nejlevnější možnost rozšíření regulace příkonu dané přečerpávací elektrárny.

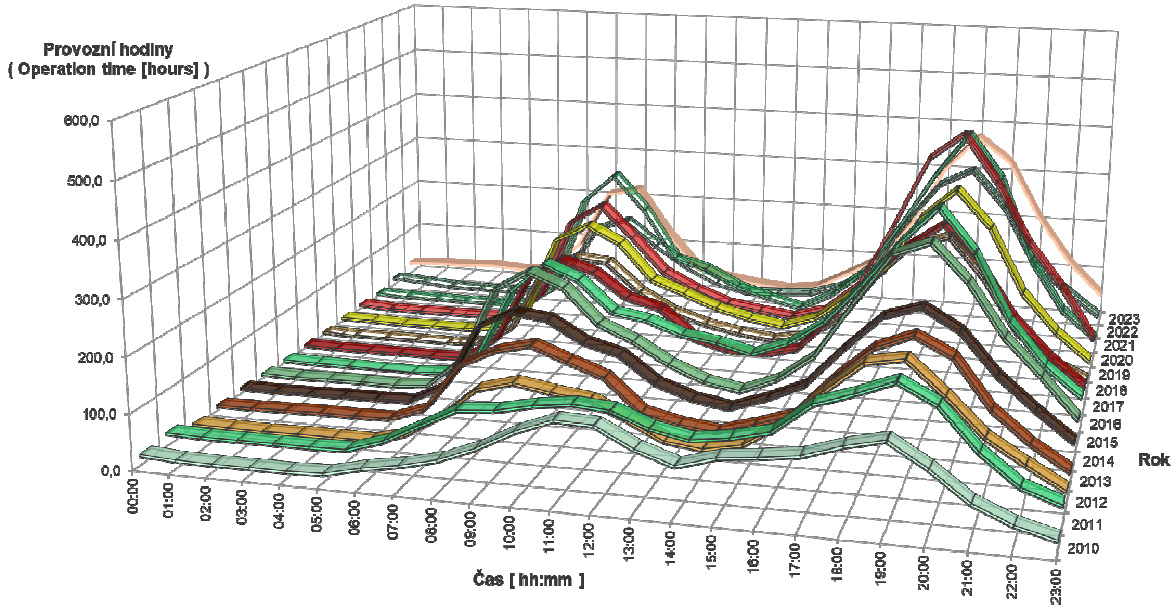
Díky této dodatečné flexibilitě je možné poskytovat služby: FCR, a/mFRR, RR.

Zavedení takového provozního režimu však vyžaduje důsledný hydraulický výzkum specifik dané lokality, aby nebyla ohrožena bezpečnost vodního díla nebo technologie.

MODERNIZACE STÁVAJÍCÍCH PVE



Obr.3 Přehled provozních hodin čerpadlového provozu během dne na PVE ČEZ 1.1.2010 - 31.12.2023



Obr.4 Přehled provozních hodin turbinového provozu během dne na PVE ČEZ 1.1.2010 - 31.12.2023

Na uvedených grafech (Obr. 3 a 4) je patrné, jak se projevuje rostoucí podíl OZE v energetickém mixu Evropy na provozování PVE během dne. Je patrný postupný nárůst počtu provozních hodin v obou provozních režimech (turbínový / čerpadlový). Evidentní je však nárůst počtu hodin v čerpadlovém režimu během dne, kdy je využívána levná energie z fotovoltaických elektráren. Podobné křivky jsou v podstatě charakteristické pro všechny PVE.

Vyšší vytížení zařízení PVE má samozřejmě dopad na životnost výrobního zařízení a je možné z toho vyvozovat zkracování intervalu mezi generálními opravami soustrojí TG.

Pro modernizaci soustrojí TG na PVE je tedy nutné zohlednit až dvojnásobný počet cyklů (najetí – provoz – odstavení) v obou provozních režimech (turbína / čerpadlo).

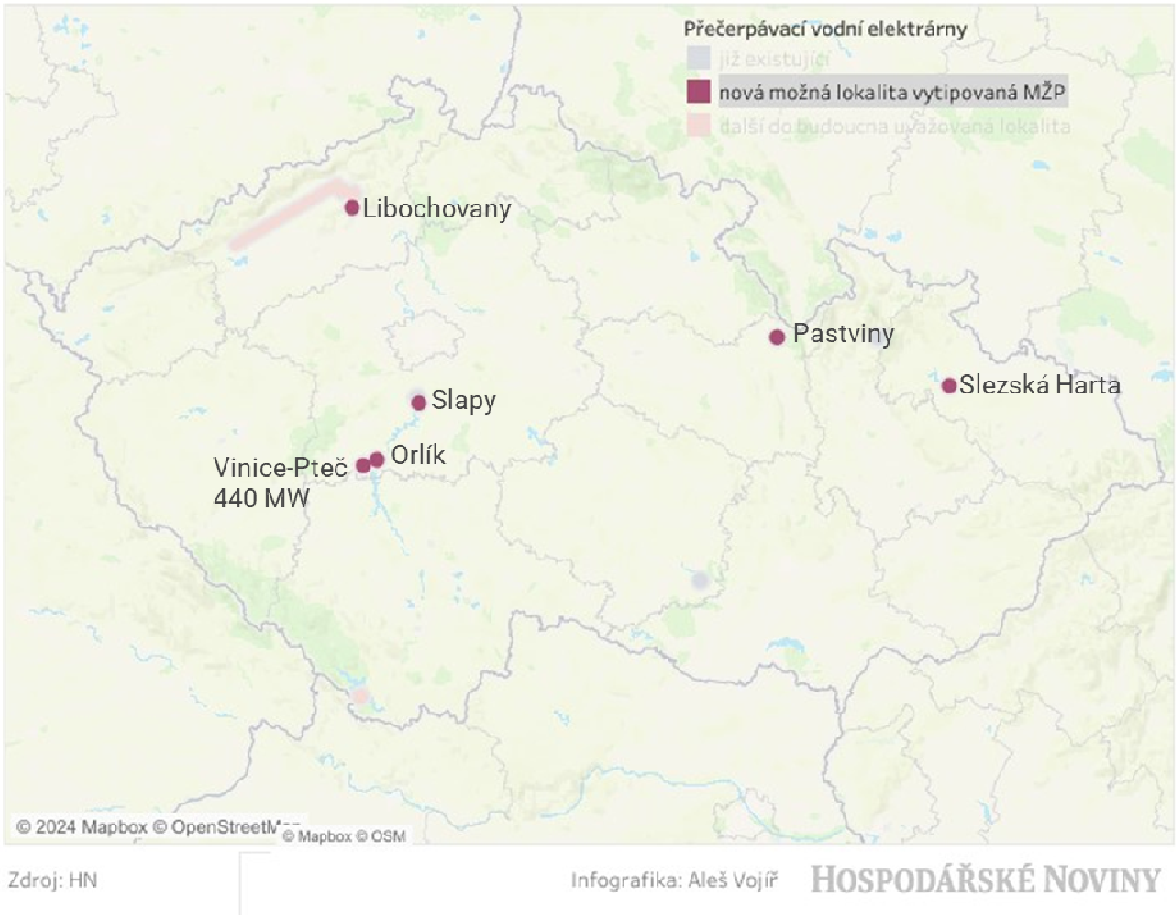
5. VÝZVY A POTENCIÁL HYDROENERGETIKY

Faktem je, že energeticky nejzajímavější hydropotenciál v ČR byl vyčerpán. Nicméně existuje potenciál pro rozvoj, zejména v kontextu flexibility zdrojů (popsáno výše) a akumulace energie.

Už dnes je zřejmé, že Česko se neobejde bez posílení akumulace energie o výkonu několika GW bez ohledu na technologii. Aktuálně probíhá rozvoj mnoha projektů bateriových úložišť. Ani bateriová akumulace ale nemůže nabídnout takovou kapacitu, jakou mají přečerpávací elektrárny.

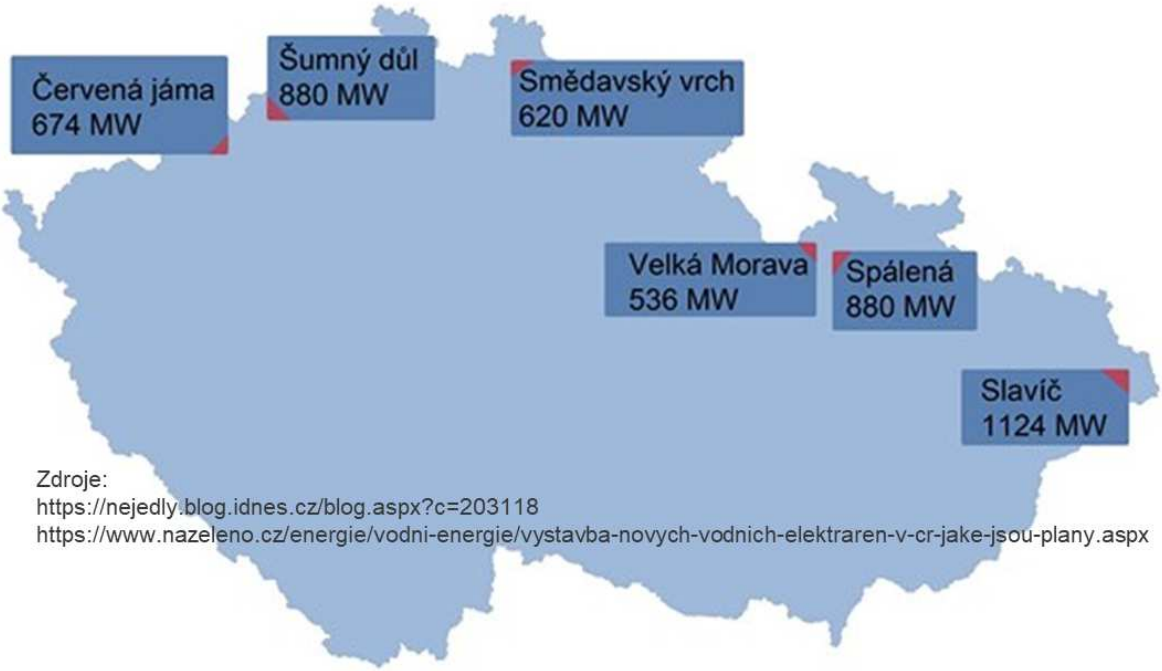
ČEZ – instalovaný výkon v PVE	**1 175 MW**
ČEZ – Celková kapacita akumulace	≈ 6 200 MWh

V ČR je vytipováno několik lokalit pro stavbu nové PVE. Poslední byly zveřejněny Ministerstvem životního prostředí v březnu 2024 (viz následující infografika na Obr. 5).



Obr.5 Lokality vytipované pro stavbu nové PVE (MŽP, 3/2024)

Dřívější vyhledávací studie z roku 2010 zveřejněná Ministerstvem průmyslu a obchodu zvažovala lokality (Obr. 6): Červená jáma, Šumný důl, Smědavský vrch, Velká Morava, Spálená a Slavíč.



Obr.6 Lokality vytipované pro stavbu nové PVE (MPO, 2010)

Zcela jistě vznikla a vzniká řada studií proveditelnosti, ale zatím se pro žádnou z lokalit se nepodařilo najít investora. Je to dáno tím, že projekty PVE jsou rozsáhlé, komplexní projekty s dlouhým obdobím plánování, přičemž je nutné zohlednit množství rizik s velkým dopadem na náklady a čas, což může investory odrazovat.

ČEZ v rámci své doposud platné vize plánuje posílit výkon akumulace ve svém portfoliu o **300 MW** do roku 2030. Není však pevně určeno, o jaké zdroje má jít.

Velkou šanci na realizaci v dohledné době je projekt modernizace VE **Orlík**, kde je zvažována přestavba dvou (ze 4) strojů na reverzibilní. Potenciálně se jedná o výkon 180 MW a kapacitu přibližně 700 MWh. Aktuálně se čeká na podání nabídek dodavatelů v rámci výběrového řízení.

Projekt **PVE Orlík** ekonomicky velmi zvýhodňuje skutečnost, že se jedná o přestavbu říční akumulační elektrárny, kdy se využije existující kompletní infrastruktura, tedy hráz, horní i dolní nádrž a hydraulické cesty. V podstatě stačí pouze vyměnit technologii.

Existují i další záměry, kterými se ČEZ aktivně zabývá, ty jsou ovšem ve fázi studií proveditelnosti, a není možné zveřejňovat žádné podrobnosti. Společným rysem všech projektů je snaha maximálně snížit investiční náklady.

Mezi největší **výhody PVE** patří:

- Velký výkon – např. PVE Dlouhé stráně 650 MW, PVE Dalešice 480 MW
- Velký objem skladované energie (řádově GWh) – např. PVE Dlouhé stráně 3,7 GWh
- Dlouhá životnost – 60 a více let
- Naprosto prověřená a spolehlivá bezemisní technologie (>400 projektů ve světě postavených v 60. - 80. letech; v současnosti představuje 90 % všech akumul. systémů)
- Velmi dobrá účinnost přečerpávacího cyklu – až k 80%
- Rychlost najetí – do 120 s – může být ještě zrychlena implementací moderních technologií

6. ZÁVĚR

Přestože hydroenergetika dnes tvoří relativně malou část energetického mixu, její role bude v budoucnu vzrůstat zejména v kontextu zajišťování flexibility a potřeby akumulace.

Hydroenergetika tedy zůstává důležitou součástí českého energetického sektoru, která může přispět k udržitelnému rozvoji a posílení energetické bezpečnosti země. Výzvy jsou značné, ale také příležitosti pro inovace, a i pro vybudování nových přečerpávacích vodních elektráren. Avšak bez politické podpory a podpory financování se tyto potřebné vysoce efektivní nástroje pro akumulaci, které mohou sloužit několika generacím, možná nepodaří postavit.

Zkratky

CFIG	Converter Fed Induction Generator
CFSM	Convertor Fed Synchronous Motor
ČR	Česká republika
DFIG	Double Fed Induction Generator; Dvojitě napájený asynchronní generátor s frekvenčním měničem
ERÚ	Energetický regulační úřad
ES	Energetická soustava
FSFC	Full Size Frequency Convertor
IHA	International Hydropower Association
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu
MVE	Malá vodní elektrárna
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
OZE	Obnovitelné zdroje energie
PVE	Přečerpávací vodní elektrárna
TG	Soustrojí turbíny a generátoru
VE	Vodní elektrárna

Zdroje informací

[1] *2023 World Hydropower Outlook. Online. Dostupné také z: https://www.hydropower.org/region-profiles/europe.*

[2] *Recommendations towards the deployment of hydropower flexibility technologies. Online. 2024. Dostupné také z: https://www.xflexhydro.com/key-publications.*

[3] *Enabling new pumped storage hydropower A guidance note for key decision makers to de-risk pumped storage investments. Online. 2024. Dostupné také z: https://www.hydropower.org/publications/enabling-new-pumped-storage-hydropower.*

[4] *Hodnocení zdrojové přiměřenosti ES ČR do roku 2040“ (MAF CZ 2022). Online. 2022. Dostupné také z: https://www.ceps.cz/cs/zdrojova-primerenost.*

[5] *Výroční finanční zpráva 2023. Online. 2024. Dostupné také z: Skupina ČEZ, https://www.cez.cz/cs/pro-investory/hospodarske-vysledky/vyrocni-zpravy.*

[6] *SCHREIER, Martin. Modernizace vodních elektráren na Vltavě je za polovinou. Dvanáct obnovených soustrojí vyrábí navíc miliony kWh ročně a šetří vodu. Online. 2022. Dostupné také z: Skupina ČEZ, https://www.cez.cz/cs/pro-media/tiskove-zpravy/modernizace-vodnich-elektraren-na-vltave-je-za-polovinou.-dvanact-obnovenych-soustroji-vyrabi-navic-miliony-kwh-rocne-a-setri-vodu-169585.*