



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

ENERGETICKÁ NEUTRALITA KOMUNÁLNÍCH ČISTÍREN ODPADNÍCH VOD NAD 10 000 EO

ENERGY NEUTRALITY OF MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT PLANTS ABOVE 10,000 EO

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Lukáš Maxa

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA

BRNO 2025

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav vodního hospodářství obcí
Student: **Bc. Lukáš Maxa**
Vedoucí práce: **prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA**
Akademický rok: 2024/25
Studijní program: N0732A260025 Stavební inženýrství – vodní hospodářství a vodní stavby

Děkan Fakulty Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Energetická neutralita komunálních čistíren odpadních vod nad 10 000 EO

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V první části práce bude zpracována rešerše problematiky energeticky soběstačných ČOV ve vztahu k nové Směrnici EU O čištění odpadních vod. Budou definovány technologie a postupy směřující k energeticky soběstačné čistírně odpadních vod (tedy využití tepelné energie, fotovoltaických systémů, zelená infrastruktura apod.). V druhé části práce bude zpracována technicko-ekonomická studie implementace těchto technologií a postupů tj. implementace využití energie odpadní vody, tepelných čerpadel, využití energie vyčištěné odpadní vody na odtoku pro konkrétní komunální čistírnu odpadních vod (Hodonín).

Cíle a výstupy diplomové práce:

Cílem diplomové práce je řešení problematiky energeticky soběstačných ČOV ve vztahu k nové Směrnici EU O čištění odpadních vod. Bude zpracována rešerše technologií a postupů směřující k energeticky soběstačné čistírně odpadních vod. Dalším cílem práce je zpracování technicko-ekonomické studie implementace těchto technologií a postupů pro konkrétní komunální čistírnu odpadních vod.

Seznam doporučené literatury a podklady:

- [1] Metcalf + Eddy: Wastewater Engineering, Treatment, Disposal and Reuse, McGRAW-HILL, New York 1985
- [2] Hlavínek P. a kol. Hospodaření s dešťovými vodami v urbanizovaném území, ARDEC, ISBN 80-86020-55-X.
- [3] Hlavínek P., Mičín J., Prax P.: Příručka stokování a čištění, ISBN 80-86020-30-4, NOEL 2000, Brno 2001.
- [4] Krejčí a kol.: Odvodnění urbanizovaných území - koncepční přístup, ISBN 80-86020-39-8, NOEL 2000, Brno 2002.

[4] Krejčí a kol.: Odvodnění urbanizovaných území - koncepční přístup, ISBN 80-86020-39-8, NOEL 2000, Brno 2002.

[5] Sborníky Water Science and Technology, IWA Publishing.

[6] Časopisy SOVAK, VODNÍ HOSPODÁŘSTVÍ.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku.

V Brně, dne 12. 3. 2024

L. S.

doc. Ing. Tomáš Kučera, Ph.D.
vedoucí ústavu

prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA
vedoucí práce

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA, dr. h. c.
děkan

ABSTRAKT

Diplomová práce se věnuje energetické neutralitě městských čistíren odpadních vod s kapacitou nad 10 000 ekvivalentních obyvatel v kontextu nové směrnice EU o čištění městských odpadních vod. Hlavním cílem je zpracování přehledu technologií a postupů k dosažení energetické soběstačnosti z obnovitelných zdrojů a vypracování technicko-ekonomické studie vybraných technologií na čistírně odpadních vod v Hodoníně. V první části je vypracována rešerše technologií využívajících obnovitelné zdroje energie s příklady jejich využití. Druhá část se věnuje aplikaci těchto technologií a analýze technicko-ekonomických aspektů implementace na čistírně v Hodoníně. Cíl práce byl splněn, ale provozovatel musí najít další způsoby, které by energeticky pokryly i zbylé čistírny zahrnuté směrnicí.

KLÍČOVÁ SLOVA

čistírna odpadních vod, energetická soběstačnost, obnovitelné zdroje energie, směrnice EU o čištění městských odpadních vod, technicko-ekonomická studie

ABSTRACT

The diploma thesis focuses on energy neutrality in urban wastewater treatment plants with capacity over 10 000 PE in the context of the new EU urban wastewater treatment directive. The main objective is to develop technologies and processes for achieving energy self-sufficiency from renewable sources and to conduct a techno-economic study of selected technologies at the wastewater treatment plant in Hodonín. The first part presents a review of technologies using renewable energy sources with examples. The second part focuses on the application of these technologies and analysis of techno-economic aspects of implementation at the wastewater treatment plant in Hodonín. While the objective was achieved, the operator needs to identify additional methods to ensure energy coverage for the remaining wastewater treatment plants included in the directive.

KEYWORDS

wastewater treatment plant, energy self-sufficiency, renewable energy sources, EU urban wastewater treatment directive, techno-economic study

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MAXA, Lukáš. *Energetická neutralita komunálních čistíren odpadních vod nad 10 000 EO*. Brno, 2024. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA.

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Energetická neutralita komunálních čistíren odpadních vod nad 10 000 EO* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 17. 1. 2025

Bc. Lukáš Maxa

autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval svému vedoucímu práce panu prof. Ing. Petru Hlavínkovi, CSc., MBA za jeho odborné vedení, cenné rady a podporu při zpracování této práce. Mé poděkování patří také technologovi čistírny odpadních vod v Hodoníně Ing. Richardu Bábíčkoví za jeho ochotu a významnou pomoc při praktické části práce. Závěrem bych rád poděkoval doc. Ing. Jakubu Račkovi, Ph.D. a Ing. Michalu Úterskému, Ph.D. za cenné informace týkající se využití obnovitelných zdrojů energie v praxi.

1	ÚVOD	10
2	KLIMATICKÉ ZÁVAZKY	11
2.1	Evropská unie	11
2.2	Česká republika.....	13
3	NÁVRH SMĚRNICE EU O ČIŠTĚNÍ MĚSTSKÝCH ODPADNÍCH VOD ..	16
3.1	Článek 11 – Energetická neutralita	17
3.2	Dopady	23
3.3	Články ovlivňující spotřebu energie.....	23
3.4	Současný stav.....	27
4	OBNOVITELNÉ ZDROJE V ČR	29
4.1	Větrná energie	30
4.2	Sluneční energie.....	35
4.3	Vodní energie	40
4.4	Geotermální energie a energie z okolí.....	46
4.5	Energie kalového plynu z čistíren odpadních vod.....	51
5	ZELENÁ INFRASTRUKTURA	68
6	NAKLÁDÁNÍ S ENERGIÍ	71
7	PRAKTICKÁ ČÁST	73
7.1	Popis	73
7.2	Vývoj soběstačnosti.....	74
7.3	Větrná energie	80
7.4	Sluneční energie.....	96
7.5	Vodní energie	103
7.6	Geotermální energie.....	106
7.7	Energie kalového plynu z čistíren odpadních vod.....	113
7.8	Návrh energetické soběstačnosti v návaznosti na článek 11	123

8	ZÁVĚR	127
9	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	129
10	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	137
11	SEZNAM TABULEK	140
12	SEZNAM OBRÁZKŮ	142

1 ÚVOD

Čistírny odpadních vod jsou nenahraditelnou infrastrukturou v moderní společnosti. Jejich hlavním úkolem je odstranění znečištění přitékajících odpadních vod s ochranou životního prostředí a zdraví člověka. S tím, jak přichází nové výzvy v podobě mikropolutantů se implementují nové technologie čištění, které již tak vysokou energetickou náročnost dále zvyšují, přičemž v roce 2020 čistírny odpadních vod spotřebovaly přibližně 0,8 % veškeré elektrické energie v zemích EU-28. V České republice bylo toto číslo nižší, dosahovaly 0,74 % celkové spotřeby elektrické energie a vyrobily 23,4 % své spotřeby. Tento stav zvyšování energetické spotřeby zvedá ekonomické náklady a nutí vyrábět více energie z neobnovitelných zdrojů jako jsou fosilní paliva, což přispívá k rostoucí produkci skleníkových plynů. Evropská unie se svou environmentální politikou klade velký důraz na udržitelnost a efektivní využívání zdrojů obnovitelné energie, která by měla soustavně vést ke snižování uhlíkové stopy.

Návrh nové Směrnice EU o čištění odpadních vod stanovuje zásadní požadavek na energetickou neutralitu čistíren odpadních vod nad 10 000 ekvivalentních obyvatel. Do roku 2045 musí podle návrhu všechny čistírny dosahovat 100% energetické soběstačnosti, a to tepelné i elektrické. Čistírny odpadních vod disponují značným potenciálem pro využití alternativních zdrojů energie, jako je využití energie sluneční, větrné, vodní, geotermální a energie z kalového plynu.

První část práce poskytuje teoretický základ problematiky založený na rešerši odborné literatury, legislativních dokumentů a vědeckých článků. Praktická část využívá metody technické a ekonomické analýzy pro zpracování studie ČOV Hodonín. Výsledky této práce mohou sloužit jako podklad pro implementaci technologií pro modernizaci podobných čistíren odpadních vod v České republice a přispět k jejich přechodu směrem k energetické neutralitě.

Hlavním cílem této diplomové práce je navrhnout optimální řešení pro dosažení energetické neutrality na ČOV Hodonín s ohledem na technickou proveditelnost a ekonomickou návratnost.

2 KLIMATICKÉ ZÁVAZKY

Evropská unie zastává vedoucí úlohu v globálním úsilí o transformaci energetického sektoru směrem k udržitelnosti a klimatické neutralitě. Prostřednictvím komplexního systému strategických dokumentů, směrnic a nařízení vytváří závazný rámec pro členské státy, který určuje směřování energetické politiky v následujících desetiletích. [1]

Legislativní rámec v oblasti energetiky a klimatu tvoří komplexní hierarchický systém dokumentů na evropské i národní úrovni. Základním strategickým dokumentem je Zelená dohoda pro Evropu, která stanovuje hlavní směřování EU v oblasti klimatické politiky. Na ni navazují implementační balíčky a konkrétní legislativní předpisy. Česká republika pak tyto evropské cíle přenáší do národní legislativy prostřednictvím vlastních strategických a implementačních dokumentů. [2]

2.1 Evropská unie

2.1.1. Strategické dokumenty

Zelená dohoda pro Evropu

Dohoda byla přijata v prosinci 2019 jako stěžejní strategický dokument EU. Stanovuje ambiciózní cíl dosažení klimatické neutrality do roku 2050 a představuje komplexní plán transformace evropské ekonomiky. Dokument definuje klíčové oblasti transformace, které zahrnují dekarbonizaci energetického sektoru, zvyšování energetické účinnosti budov a podporu čisté mobility. Pro čistírny odpadních vod znamená tento dokument zásadní změny v jejich provozu. Musí se zaměřit na zvyšování energetické účinnosti všech procesů, implementaci obnovitelných zdrojů energie a systematické snižování své uhlíkové stopy. Významný důraz je kladen také na maximální využití energetického potenciálu odpadních vod a kalů. [1][3]

Fit for 55

Evropská komise uvedla v červenci 2021 legislativní balíček Fit for 55, který představuje konkrétní nástroje pro dosažení cílů Zelené dohody pro Evropu. Balíček stanovuje závazný cíl snížení emisí skleníkových plynů o 55 % do roku 2030 oproti roku 1990 a kombinuje úpravy stávajících předpisů s novými návrhy zákonů. V oblasti energetiky upravuje směrnice o obnovitelných zdrojích, přičemž původní cíl 40 % byl v roce 2022 v

rámci REPowerEU navýšen na 45 % podílu obnovitelných zdrojů do roku 2030. Revidovaná směrnice o energetické účinnosti z roku 2023 stanovuje snížení spotřeby energie o 11,7 % v konečné spotřebě a 13 % v primární spotřebě energie do roku 2030. Balíček také zahrnuje revizi snižování emisí metanu a nařízení o vnitřním trhu s plynem. Pro provozovatele ČOV to znamená nutnost urychlené modernizace zařízení, implementace energeticky účinných technologií a zvýšení podílu obnovitelných zdrojů energie v jejich energetickém mixu. [4][5]

RePowerEU

Strategický plán představený Evropskou komisí v květnu 2022, prezentuje významnou reakci EU na geopolitickou situaci a potřebu snížit závislost na ruských fosilních palivech. Tento plán, ačkoliv není závazný, významně upravuje směrnici o obnovitelných zdrojích energie a směrnici o energetické účinnosti, čímž posiluje již existující klimatické ambice EU. Plán se opírá o tři pilíře. Prvním je diverzifikace dodávek energií, kde se v krátkodobém horizontu počítá s modernizací přepravních a skladovacích kapacit pro zkapalněný plyn. Druhým pilířem je zvýšení energetické účinnosti prostřednictvím systémových řešení a legislativního ukotvení ambicióznějších cílů v oblasti energetických úspor. Třetí pilíř představuje akcelerovaný rozvoj obnovitelných zdrojů energie napříč všemi sektory. V rámci REPowerEU došlo k významnému navýšení původních cílů. V oblasti obnovitelných zdrojů energie byl původní cíl 40 % navýšen na 45 % podílu do roku 2030. V oblasti energetických úspor plán stanovuje cíle snížení spotřeby energie o 11,7 % v konečné spotřebě a 13 % v primární spotřebě energie do roku 2030. Pro sektor čistíren odpadních vod je zvláště významné posílení důrazu na využití bioplynu a biometanu, což podporuje jejich potenciál v oblasti energetické soběstačnosti a produkce obnovitelné energie. Plán počítá s instalací inovativních technologií včetně tepelných čerpadel, systémů pro ukládání energie a rozvojem vodíkových a biometanových technologií. [6][7]

Směrnice o energetické účinnosti (EED)

Směrnice EU 2023/1791 ze dne 13. září 2023, která novelizuje původní směrnici 2012/27/EU (tato nová verze implementuje stanovené cíle v balíčku Fit for 55 a plánu REPowerEU), stanovuje základní rámec opatření na podporu energetické účinnosti v EU. Jejím hlavním cílem je zajistit efektivnější využívání energie ve všech fázích

energetického řetězce od výroby až po konečnou spotřebu. Směrnice zavádí povinné mechanismy úspor energie, pravidla pro energetické audity a požadavky na energetický management. Pro provozovatele ČOV je důležitá zejména v oblasti požadavků na energetickou účinnost technologických procesů a systémů energetického managementu. [8]

Směrnice o obnovitelné energii (RED III)

Směrnice EU 2023/2413 ze dne 21. října 2023 (RED III), která aktualizuje směrnici 2018/2001/EU (tato nová verze implementuje stanovené cíle v balíčku Fit for 55 a plánu RePowerEU), o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů stanovuje právní rámec pro rozvoj obnovitelných zdrojů energie v EU. Směrnice stanovuje závazný cíl minimálně 42,5 % podílu energie z obnovitelných zdrojů na hrubé konečné spotřebě energie EU do roku 2030, s ambicí dosáhnout až 45 %. Definiuje kritéria udržitelnosti pro biopaliva a způsoby výpočtu podílu energie z obnovitelných zdrojů. Pro ČOV je významná především v oblasti využití bioplynu a biometanu, které jsou považovány za obnovitelné zdroje energie. Směrnice také podporuje využití odpadního tepla a integraci obnovitelných zdrojů do energetických systémů. [9]

2.2 Česká republika

2.2.1. Strategické dokumenty

Státní energetická koncepce

Aktualizovaná státní energetická koncepce z roku 2015 představuje hlavní strategický dokument pro energetický sektor ČR s výhledem do roku 2040. Definiuje priority v oblasti energetické bezpečnosti, konkurenceschopnosti a udržitelnosti. Pro sektor ČOV je významná zejména v oblasti podpory využití druhotných zdrojů energie, kam spadá bioplyn a biometan z čistírenských kalů. Koncepce také podporuje zvyšování energetické účinnosti a využití obnovitelných zdrojů energie. [10]

Základem proměny energetiky je výrazný rozvoj výroby z obnovitelných zdrojů energie, přechodný mírný růst využívání plynu, postupný útlum výroby z uhlí a stabilní role jádra. [10]

Tab. 1 Cíl hrubé výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů [10]

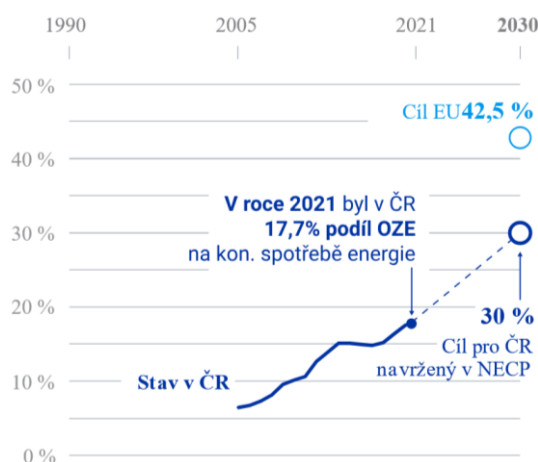
V poměru k objemu celkové roční výroby		Cíl [%]	
		Minimum	Maximum
2030	OZE	37	-
2040		33	47
2050		43	56

Vnitrostátní plán v oblasti energetiky a klimatu (NECP)

Tento dokument z roku 2019 představuje implementační nástroj evropské klimaticko-energetické politiky v ČR do roku 2030. Stanovuje národní příspěvky k evropským cílům v oblasti snižování emisí, energetické účinnosti a obnovitelných zdrojů. Pro ČOV je klíčové zejména zaměření na energetické využití odpadů a podporu biometanu. Plán počítá s rozvojem decentrální energetiky a podporou kombinované výroby elektřiny a tepla. [11]

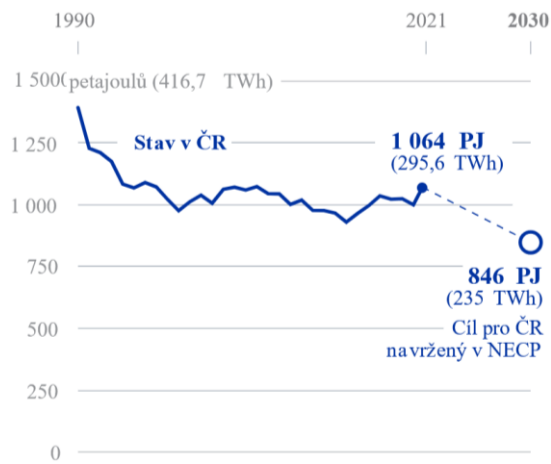
Česká republika v současnosti prochází významnou revizí svého Vnitrostátního plánu v oblasti energetiky a klimatu. Původní verze dokumentu stanovovala relativně konzervativní cíle, které výrazně zaostávaly za požadavky Evropské unie. Nový návrh NECP proto přináší ambicióznější závazky, i když stále nedosahují úrovně požadované EU. [11]

V oblasti obnovitelných zdrojů energie dochází k významnému posunu. Zatímco původní český cíl počítal s 22% podílem OZE do roku 2030, nový návrh tento podíl navyšuje na 30%. Přesto však toto číslo zůstává výrazně pod požadavkem EU, která stanovila cíl 42,5% s ambicí dosáhnout až 45%. [11]



Obr. 1 Podíl obnovitelných zdrojů na konečné spotřebě energie (vyšší=lepší) [2]

Významnější pokrok lze pozorovat v oblasti energetické účinnosti. Původní plán počítal se snížením spotřeby o 8–10 %, nový návrh je konkrétnější a ambicióznější. Předpokládá snížení konečné spotřeby energie ze současných 1064 PJ (údaj z roku 2021) na 846 PJ v roce 2030. [11]



Obr. 2 Energetická účinnost ČR (nižší=lepší) [2]

3 NÁVRH SMĚRNICE EU O ČIŠTĚNÍ MĚSTSKÝCH ODPADNÍCH VOD

Směrnice o čištění městských odpadních vod byla přijata v roce 1991. Směrnice má chránit životní prostředí před nepříznivými účinky vypouštění odpadních vod z městských zdrojů a z určitých průmyslových odvětví. Její aktualizace proběhla v roce 1998, 2003, 2008 a naposledy v roce 2013. V roce 2019 byl vyhodnocen stav životního prostředí v rámci programu REFIT. Z přibližně 22 000 měst v Evropské Unii a 520 milionů ekvivalentních obyvatel je 98 % odpadních vod odváděno a 92 % je odpovídajícím způsobem čištěno. Státům, které tuto směrnici nesplňují, jsou každý rok vypláceny dotace 2 miliardy eur. [12]

Na základě hodnocení došlo k určení přetrvávajících výzev:

- zaměření se na zdroje znečištění z menších měst s EO nižším než 2 000, decentralizovaná zařízení a znečištění z dešťových vod. Odstraňování nových znečišťujících látek jako jsou mikroplasty a další mikropolutanty;
- soulad se Zelenou dohodou pro Evropu, která se snaží o změnu klimatu. Dosáhnout toho chce snížením skleníkových plynů, snížením spotřeby energie, zlepšením nakládání s kaly a zvýšení využití odpadního kalu;
- zlepšení monitorování a podávání zpráv provozovaných čistíren odpadních vod. [12]

Sektor čištění odpadních vod skýtá významný potenciál, zejména v oblasti obnovitelných zdrojů energie. Pro podporu klimatické neutrality je zásadní realizovat konkrétní kroky směřující k energetické soběstačnosti čistíren. Analýza odhalila, že v sektoru čištění odpadních vod existuje značný potenciál pro snížení energetické spotřeby a navýšení produkce obnovitelné energie. Toho lze dosáhnout například efektivnějším využitím dostupných prostor čistíren pro solární panely, výrobu bioplynu z kalů nebo získáváním energie z tepla či pohybu vody a dalších obnovitelných zdrojů. [13]

Pro řešení těchto výzev je nezbytné provést legislativní změny, na kterých aktuálně pracuje Evropská komise. Ta v říjnu 2022 předložila návrh na aktualizaci směrnice o čištění městských odpadních vod ([COM\(2022\)0541](#)). V říjnu 2023 proběhlo první čtení v Parlamentu ([T9-0355/2023](#)), po přezkoumání se návrh vrátil zpět ke Komisi. V dubnu 2024 se návrh opět přezkoumal v Parlamentu ([T9-0222/2024](#)). Po úpravách byl přijat

prostou většinou hlasů (při prosté většině musí hlasovat minimálně 14 z 27 členských států). 11. listopadu byla směrnice přijata Radou v Parlamentu. Podpis směrnice proběhl 27. listopadu a v Úředním věstníku byla směrnice zveřejněna 12. prosince (Úř. věst. L, 2024/3019, 12.12.2024). **SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) 2024/3019 ze dne 27. listopadu 2024 o čištění městských odpadních vod.** [14][15]

Tab. 2 Výsledek hlasování Radou v parlamentu 10.04.2024 [16]

Výsledek	Pro	Proti	Zdrželi se
Přijato	481	79	26

Od zveřejnění ve věstníku mají státy 30 měsíců na implementaci do národních plánů. Na implementaci směrnice se podílí Ministerstvo zemědělství, životního prostředí a průmyslu a obchodu, které spolupracuje se SOVAK ČR a dalšími partnery. [17]

Směrnice je právní akt Evropské unie, který slouží ke splnění politických cílů. Směrnice stanovuje cíle pro členské státy, ukládá závazné výsledky, kterých je potřeba dosáhnout, ale na rozdíl od nařízení nestanovuje výběr prostředků a metod, kterým k dosažení cílů použít. [15]

Směrnice o čištění městských odpadních vod musí být v souladu s platnými předpisy v oblastech politiky EU a ČR. [12]

3.1 Článek 11 – Energetická neutralita

Článek se zaměřuje na podporu udržitelnosti a energetické efektivity v provozu čistíren odpadních vod. Stanovuje cíl, aby se čistírny městských odpadních vod staly energeticky neutrální. Podporuje využívání obnovitelných zdrojů energie. Cílem je přispět ke snížení uhlíkové stopy čistíren odpadních vod a podpořit udržitelné praktiky v oblasti vodního hospodářství. [13]

3.1.1. Energetický audit

K hodnocení energetické účinnosti slouží energetické audity. Energetické audity by měly být povinné pro velké podniky, kde se předpokládají značné úspory energií, ale měly by být podporovány audity i u malých a středních podniků. [18]

Velký podnik je ten, který nespadá do kategorie středního a malého podniku. Střední podnik má maximálně 250 zaměstnanců, roční obrat nepřesahuje 50 mil. eur a rozvaha nepřekračuje 43 mil. eur. Malý podnik dosahuje maximálně 50 zaměstnanců a roční obrat a rozvaha nepřekračuje 10 mil. eur. [19]

Audity se řídí platnými normami (ČSN EN ISO 50001 – Systémy managementu hospodaření s energií, EN 16247 – Energetické audity, ČSN EN ISO – 14001 Systémy environmentálního managementu), zákonem č. 406/2000 Sb., Zákon o hospodaření energií a vyhláškou č. 140/2021 Sb. Vyhláška o energetickém auditu. [18]

Energetický audit představuje systematický proces, který analyzuje energetickou spotřebu budovy, identifikuje možnosti úspor energie a jejich nákladovou efektivitu, a hodnotí potenciál využití či výroby energie z obnovitelných zdrojů. Audit by měl také zahrnovat posouzení možností snížení spotřeby energie, efektivního využití odpadního tepla (ať už přímo v místě nebo prostřednictvím oblastního energetického systému) a možností nákladově efektivní výroby energie z obnovitelných zdrojů. [13][18]

Povinnost provést audit je rozdělena podle velikosti zatížení odpovídající populačnímu ekvivalentu na audity **nad 100 000 EO** a pro zatížení **od 10 000 do 100 000 EO**. Audit v první kategorii nad 100 000 EO musí proběhnout do 31. prosince **2028** a ve druhé kategorii do 31. prosince **2032**. [13]

Audity budou probíhat každé čtyři roky a budou se týkat čistíren odpadních vod a stokových soustav, které jsou v provozu ve smyslu čl. 2 bodu 32 směrnice (EU) 2023/1791. [13]

V případě energetického auditu každých 5 let jsou odhadnuty náklady za každý audit 4 000 eur. Do roku 2030 v čistírnách odpadních vod nad 100 000 EO by byly celkové náklady na audit 0,74 mil. eur ročně. Průměrné roční náklady na monitoring se odhadují mezi 8,3 a 15,8 mil. eur. Pro dosažení cíle, u kterého je energetický audit u čistíren od 10 000 do 100 000 EO do roku 2035 by bylo potřeba provést audity u dalších 7527 zařízení. Celkové náklady do roku 2035 by vyšly na 6 mil. eur ročně pro audity a dalších 67,5 až 130 mil. eur pro monitorování. [20][21]

Tato studie hodnocení dopadů Směrnice o čištění městských odpadních vod byla provedena před úpravou Evropského parlamentu, proto jsou v předchozím odstavci uvedeny rozdílné časové úseky oproti současnému návrhu změny směrnice.

3.1.2. Energetická neutralita

Členské státy na vnitrostátní úrovni musí zajistit, aby roční objem energie vyrobené z obnovitelných zdrojů v areálech čistíren (bez možnosti nákupu energie včetně energie z obnovitelných zdrojů), které zpracovávají zatížení odpovídající populačnímu ekvivalentu 10 000 EO a více, dosahoval minimálně:

- **20 % celkové roční spotřeby energie do 31. prosince 2030;**
- **40 % celkové roční spotřeby energie v těchto zařízeních do 31. prosince 2035;**
- **70 % celkové roční spotřeby energie v těchto zařízeních do 31. prosince 2040;**
- **100 % celkové roční spotřeby energie v těchto zařízeních do 31. prosince 2045.** [13]

Energii lze podle směrnice vyrábět jak v prostorách čistírny, tak i mimo ně. Vyrobenou energii je možné využít přímo v objektu čistírny nebo ji distribuovat k externímu použití. Tato flexibilita vytváří významný prostor pro vlastníky více čistíren odpadních vod, zejména těch, které nedosahují energetické soběstačnosti na 100 % kvůli absenci anaerobního vyhnívání. Provozovatelé tak mohou efektivně přerozdělovat energii z obnovitelných zdrojů mezi jednotlivými čistírnami a optimalizovat celkovou energetickou bilanci. Menší čistírny, které nemají technologické vybavení pro výrobu bioplynu, mohou využívat přebytky energie z větších zařízení. Tento systém umožňuje dosáhnout lepší celkové energetické efektivity a snížit závislost na externích zdrojích energie. Zároveň tento přístup podporuje využívání obnovitelných zdrojů energie a přispívá k udržitelnému provozu vodohospodářské infrastruktury. Dosažení této energetické neutrality přispěje ke značnému snížení emisí skleníkových plynů z tohoto odvětví a zároveň podpoří dosažení cílů klimatické neutrality do roku 2050 a souvisejících vnitrostátních a unijních cílů, jako jsou cíle stanovené v nařízení Evropského parlamentu a Rady EU. [13]

Státy by měly být povinny zajistit, aby celková roční energetická spotřeba všech čistíren s kapacitou nad 10 000 EO nepřevyšovala množství obnovitelné energie, kterou tyto čistírny vyprodukují. Pro maximální efektivitu a flexibilitu by tento cíl energetické neutrality měl být sledován na **celostátní úrovni**, nikoli pro každou čistírnu zvlášť. [13]

Snahy o dosažení energetické soběstačnosti nesmí mít za následek nárůst emisí metanu a oxidu dusného. V souladu se směrnicemi 2018/844 a 2018/2001, které označují čistírny

odpadních vod jako vhodné lokality pro obnovitelné zdroje energie, by měly členské státy zjednodušit schvalovací procesy pro projekty obnovitelné energie směřující k energetické neutralitě. [13]

Implementace této směrnice bude primárně v kompetenci jednotlivých členských států EU. Každý stát má možnost přizpůsobit konkrétní požadavky svým specifickým podmínkám. Pro provozovatele a vlastníky čistíren to znamená, že finální podoba požadavků bude záviset na tom, jak jejich národní zákonodárci směrnici převedou do místní legislativy. [22]

Energie z obnovitelných zdrojů je energie z nefosilních zdrojů. Do celkového množství vyrobené obnovitelné energie se započítává veškerá energie z větrné energie, slunečního záření (solární a fotovoltaická energie), geotermální energie, energie okolního prostředí, vodní energie, energie biomasy, energie kalového plynu z čistíren odpadních vod, kterou provozovatelé nebo vlastníci čistíren vyprodukují, bez ohledu na to, zda vzniká přímo v areálu čistírny nebo mimo něj. [13][23]

3.1.3. Výjimky

Pokud členský stát nedosáhne stanoveného cíle „*100 % celkové roční spotřeby energie v zařízeních do 31. prosince 2045*“ i přes veškerá opatření, může dostat povolení k nákupu nefosilních paliv. Maximální nákup energie může být 35 % ze 100% podílu. [13]

Pokud členský stát nedosáhne stanoveného cíle „*70 % celkové roční spotřeby energie v těchto zařízeních do 31. prosince 2040*“ i přes veškerá opatření, může dostat povolení k nákupu nefosilních paliv. Maximální nákup energie může být 5 % ze 70% podílu. Tato výjimka platí pro státy, které do stejného data prokážou, že se na ně bude vztahovat i první výjimka. [13]

3.1.4. Kritéria hodnocení spotřeby a výroby energie

Podle průzkumu na 241 italských ČOV s 9 000 000 EO je nejvíce odpovídající ukazatel spotřeby elektrické energie $\text{kWh}\cdot\text{EO}_{120}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$, jeho výhoda je větší stabilita v porovnávání mezi různými čistírnami i v rámci mezinárodního srovnání. Jeden EO_{120} je producent znečištění, který denně vyprodukuje 120 g CHSK. Při použití ukazatele $\text{kWh}\cdot\text{m}^{-3}$ jsou výsledné hodnoty ovlivněny dešťovou vodou a infiltrací. [24]

Tab. 3 Navržené cílové hodnoty spotřeby [24]

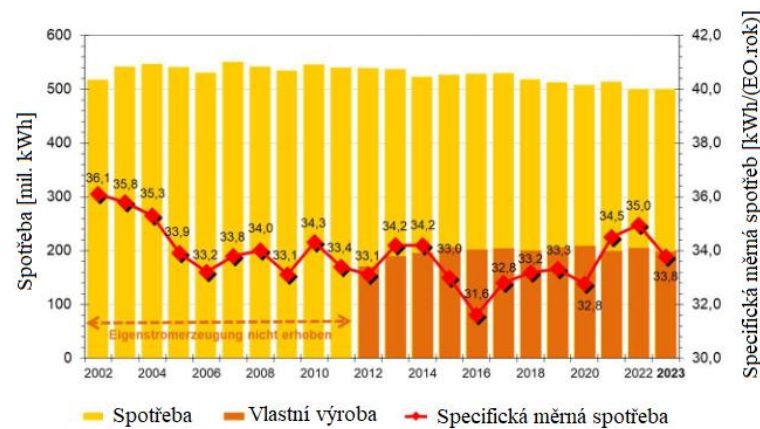
Specifická Spotřeba	Cílová BAT hodnota [kWh·EO ₁₂₀ ⁻¹ ·rok ⁻¹]	Medián 2017–2018
> 10 000 EO	20	32,1

Tab. 4 Navržené cílové hodnoty výroby [24]

Specifická Spotřeba	Cílová BAT hodnota [kWh·EO ₁₂₀ ⁻¹ ·rok ⁻¹]	Medián 2017–2018
> 10 000 EO	17	11,0

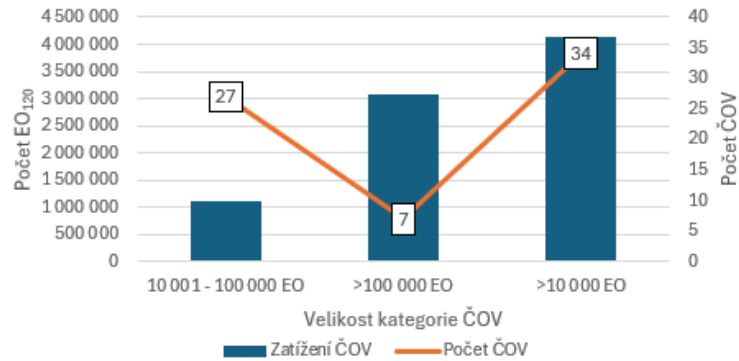
V Rakousku pravidelně hodnotí stav spotřeby ČOV organizace ÖWAV. Hodnocení je rozděleno do kategorie 5 000 až 50 000 EO₁₂₀ se spotřebou 40 kWh·EO₁₂₀⁻¹·rok⁻¹ a kategorie nad 50 000 EO₁₂₀ se spotřebou 27 kWh·EO₁₂₀⁻¹·rok⁻¹. [24]

V sousedním Německu se provádí každoroční hodnocení energetické spotřeby a produkce, hodnocení má na starost Asociace pro vodu DWA. Kategorii je celkově pět, v rámci této práce jsou zajímavé kategorie GK4 (10 000 až 100 000 EO₁₂₀) s průměrnou roční spotřebovanou elektřinou 33,6 kWh·EO₁₂₀⁻¹ a kategorie GK5 (nad 100 000 EO₁₂₀) se spotřebou 31,9 kWh·EO₁₂₀⁻¹. [24]



Obr. 3 Energetická bilance německých ČOV [25]

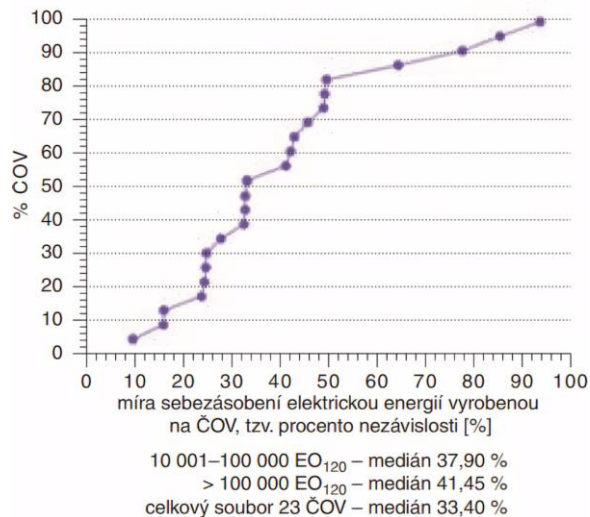
V České republice byly zhodnoceny čistírny v rámci řešení projektu Centrum kompetence Smart Regions číslo TE02000077. Hodnocení proběhlo mezi lety 2017 až 2018 a zahrnovalo i dodatečné hodnocení v roce 2019. Vzorek obsahoval 34 čistíren (sedm nad 100 000 EO₁₂₀) s celkovou kapacitou zatížení 4,22 mil. EO₁₂₀. [24]



Obr. 4 Hodnocené čistírny odpadních vod [24]

Průměrná spotřeba byla v rámci kategorie 10 000 až 100 000 E₁₂₀ 34,25 kWh·EO₁₂₀⁻¹·rok⁻¹ a nad 100 000 byla spotřeba 28,68 kWh·EO₁₂₀⁻¹·rok⁻¹. [24]

Vyhodnocení vyrobené elektrické energie proběhlo včetně čistíren, které nevyužívají kal jako zdroj elektrické energie. Ve skupině 10 000 až 100 000 EO₁₂₀ byla produkce 10,02 kWh·EO₁₂₀⁻¹·rok⁻¹ a v druhé kategorii se zvýšila produkce na 15,81 kWh·EO₁₂₀⁻¹·rok⁻¹. V rámci spotřeby i produkce byla velká rozkolísanost mezi jednotlivými čistírnami, zejména v objektech s menší kapacitou, kde dosahovala spotřeba až 60 kWh·EO₁₂₀⁻¹·rok⁻¹. S větší kapacitou roste stabilita a klesá spotřeba energie, to je zapříčiněno různou úrovní technického vybavení zařízení, například nejvyšší část spotřeby tvoří aerace, při výměně za nová dmychadla lze dosáhnout významných úspor. [24]



Obr. 5 Elektrická soběstačnost ČOV v ČR

3.2 Dopady

Tab. 5 Srovnání nákladů a přínosů do roku 2040 [20]

Stav	Náklady	Úspory	Snížení emisí GHG		Finanční přínosy
	[mil. eur·rok ⁻¹]		[tun CO ₂ ·rok ⁻¹]	[%]	[mil. eur·rok ⁻¹]
Současný stav	410	510	1188,48	11,85	118,9
Ener. neutralita	1560	2000	4660,70	45,46	466,1
Srovnání stavů	1150	1490	3472,22	33,61	347,2

Náklady byly extrapolovány z výsledků Dánska, kde činil roční náklad investic 22,65 mil. eur. Z investic bylo 85 % využito pro výrobu bioplynu z čistírenských kalů. Zbylá část byla investována do inteligentní kontroly a řízení, obnovu tepelných čerpadel a provzdušňování. Po přepočtu na celou EU vyšly náklady na 1 560 mil. eur. Toto číslo může být pro celou EU nadhodnoceno, protože v Dánsku nemohly být pro nízkou výrobu využity všechny zdroje obnovitelné energie jako je energie ze slunce. Na druhé straně byly úspory ve výši 2 000 mil. eur odhadnuty před událostmi na Ukrajině, které vedly k výraznému zvýšení cen energií. Proto i celkové finanční přínosy mohou být větší. Z dánského příkladu lze vypočítat, že by se v EU mohlo vyrobit přibližně 16 000 GWh bioplynu. Podle cílů v plánu REPower EU je potřeba snížit dovoz zemního plynu a jedním z možných zdrojů je právě bioplyn. [20]

3.3 Články ovlivňující spotřebu energie

Na spotřebu energie budou mít dopad také další články. Článek 7 o terciárním čištění, článek 8 o kvartérním čištění a článek 20, který pojednává o využití kalu a jeho prioritách. Ze strany změny směrnice tak došlo k protichůdnosti některých návrhů, kdy se má postupně dosáhnout 100 % energetická soběstačnost, ale na druhé straně mají narůst energetické nároky na přísnější čištění vypouštěných odpadních vod z čistíren. [13]

3.3.1 Článek 7 – Terciární čištění

Terciární čištění je čištění městských odpadních vod postupem, při němž se v městských odpadních vodách snižuje objem dusíku nebo fosforu. [13]

Kategorie nad 150 000 EO

Členské státy zajistí, aby vypouštění z aglomerací s populačním ekvivalentem nad 150 000 EO splňovalo před vypouštěním do recipientů požadavky na terciární čištění do dne:

- 31. prosince 2033, 30 % čistíren městských odpadních vod;
- 31. prosince 2036, 70 % čistíren městských odpadních vod. [13]

Kategorie nad 10 000 EO

Členské státy zajistí, aby vypouštění z aglomerací s populačním ekvivalentem nad 10 000 EO před vypuštěním do citlivých oblastí splňovalo požadavky na terciární čištění, a to ke dni:

- 31. prosince 2033 pro 20 % těchto aglomerací;
- 31. prosince 2036 pro 40 % těchto aglomerací;
- 31. prosince 2039 pro 60 % těchto aglomerací;
- 31. prosince 2045 pro všechny tyto aglomerace. [13]

Citlivé oblasti

Členské státy do 31. prosince 2027 sestaví a zveřejní seznam citlivých oblastí podléhajících eutrofizaci nacházejících se na jejich území a dodají informaci, zda se jedná o oblasti citlivé na fosfor anebo dusík. Seznam se bude aktualizovat každých šest let od 31. prosince 2033. [13]

Podle Směrnice Rady ze dne 21. května 1991 o čištění městských odpadních vod patří celá Česká republika do citlivé oblasti (Čl. 5 odst. 2–3: čištění podle přísnějších požadavků v aglomeracích s populačním ekvivalentem vyšším než 10 000 EO a Čl. 5 odst. 8: čištění podle přísnějších požadavků se vztahuje na celou zemi). [26]

Požadavky na terciární čištění

Tab. 6 Požadavky na terciární čištění [13]

Ukazatel	Počet EO	Koncentrace	Min. % úbytku
Celkový fosfor	>10 000	0,7	87,5
	>150 000	0,5	90,0
Celkový dusík	>10 000	10	80,0
	>150 000	8	

Aby nedocházelo ke zhoršování kvality povrchových recipientů, je nutné při čištění odpadních vod dosahovat vyšších účinností odstranění organických látek a především sloučenin dusíku a fosforu. Mechanicko-biologické čištění OV má však v tomto směru jen omezené možnosti. [27]

Odstranění dusíku:

Dusík se chemicky srážet nedá, může být odstraněn pouze biologicky (procesy nitrifikace a denitrifikace). V odpadních vodách se anorganický dusík vyskytuje nejčastěji v amoniakální formě. Jednou z nejužívanějších cest snížení koncentrace anorganického dusíku ve vodě je jeho biologické odstranění, které spočívá v biochemické oxidaci amoniakálního dusíku na dusitany a dusičnany (nitrifikace) a v jejich následující biochemické redukci na plynný dusík (denitrifikace), který unikne do atmosféry, a je tak odstraněn z vodního prostředí. [27]

Odstranění fosforu

Pro odstranění fosforu z odpadních vod se používají postupy chemické, biologické nebo kombinované. Chemickými postupy se fosforečnany srážejí dávkováním iontů Fe^{3+} , Al^{3+} nebo Ca^{2+} . Srážení se provádí v přítoku na čistírnu, v aktivační nádrži nebo ve vyčištěné vodě. Aplikací FeCl_3 , $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ nebo $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ se daří eliminovat přes 80 % fosforu. Biologické odstraňování fosforu vychází z poznání ekologie fosfáty akumulujících bakterií (poly-P bakterie), které jsou schopné v aerobních podmínkách akumulovat sloučeniny fosforu, z nichž vytvářejí zásobu energie pro anaerobní podmínky. V současné době mezi nejpropracovanější systémy biologického odstraňování fosforu patří EBPR systém, který se skládá z anaerobního a aerobního tanku. [28]

Specifická spotřeba energie při terciárním čištění se liší podle použité technologie a požadované účinnosti. Nitrifikace jako jeden z hlavních procesů spotřebuje 0,4–0,5 $\text{kWh}\cdot\text{m}^{-3}$ čištěné odpadní vody. Odstranění fosforu je energeticky méně náročné a vyžaduje přibližně 0,14 $\text{kWh}\cdot\text{m}^{-3}$. Při mezinárodním srovnání spotřeby energie na odstranění nutrientů se ukazují významné rozdíly. Světový průměr se pohybuje kolem 0,4 $\text{kWh}\cdot\text{m}^{-3}$, v Číně je spotřeba nižší (0,25 $\text{kWh}\cdot\text{m}^{-3}$), zatímco v Německu vyšší (0,67 $\text{kWh}\cdot\text{m}^{-3}$). Zajímavý pohled poskytuje studie 243 čistíren odpadních vod v Řecku. Ta ukázala, že terciární stupeň čištění představuje pouze 6 % z celkové energetické spotřeby čistírny. Je třeba zdůraznit, že uvedené hodnoty se mohou významně lišit v závislosti na použité technologii, velikosti ČOV, místních podmínkách a požadované účinnosti čištění. Kromě analýzy spotřeby energie v různých procesech čištění odpadních vod je také důležité vzít v úvahu spotřebu energie související s přepravou vody a konečným použitím. [27][29][30]

3.3.2. Článek 8 – Kvartérní čištění

Kvartérní čištění představuje specifický proces úpravy městských odpadních vod, který je zaměřen na snižování objemu širokého spektra mikropolutantů. Ačkoliv určité množství mikropolutantů je již odstraňováno během primárního, sekundárního a terciárního čištění, je nezbytné zavést další stupeň čištění – kvartérní čištění. Tento dodatečný stupeň má zajistit odstranění rozsáhlého spektra zbývajících mikropolutantů z městských odpadních vod, přičemž by se měl v první fázi soustředit především na organické mikropolutanty. [13]

Kategorie nad 150 000 EO

Členské státy zajistí, aby vypouštění z aglomerací s populačním ekvivalentem nad 150 000 EO splňovalo před vypouštěním do recipientů požadavky na kvartérní čištění do dne:

- 31. prosince 2033, 20 % čistíren městských odpadních vod;
- 31. prosince 2039, 60 % čistíren městských odpadních vod;
- 31. prosince 2045, 100 % čistíren městských odpadních vod. [13]

Kategorie nad 10 000 EO

Členské státy zajistí, aby vypouštění z aglomerací s populačním ekvivalentem nad 10 000 EO splňovalo před vypouštěním do oblastí zahrnutých na seznam požadavky na kvartérní čištění do dne:

- 31. prosince 2033, 10 % čistíren městských odpadních vod;
- 31. prosince 2036, 30 % čistíren městských odpadních vod;
- 31. prosince 2039, 60 % čistíren městských odpadních vod;
- 31. prosince 2045, 100 % čistíren městských odpadních vod. [13]

Do 31. prosince 2030 musí každý členský stát vytvořit seznam rizikových oblastí na svém území. Rizikové oblasti zahrnují místa, kde se koncentrují nebo akumulují mikropolutanty pocházející z čistíren městských odpadních vod s potenciálním rizikem pro lidské zdraví nebo životní prostředí. [13]

Tab. 7 Požadavky na kvartérní čištění [13]

Sledované látky	Min. % úbytku
Kategorie 1 a 2	80 %

3.3.3. Článek 20 – Využití kalů a zdrojů

Kaly musí být vždy, pokud je to vhodné, vyčištěny, recyklovány a využity v souladu s hierarchií způsobů nakládání s odpady definovanou v rámcové směrnici o odpadech a s požadavky směrnice o kalcích a zneškodněny v souladu s požadavky rámcové směrnice o odpadech. [13]

Způsoby využití v souladu s hierarchií způsobů nakládání s odpady:

- maximalizace prevence;
- příprava na opětovné využití, recyklaci a jiné využití zdrojů (fosfor a dusík);
- minimalizace nepříznivých účinků na životní prostředí a lidské zdraví. [13]

Hierarchie způsobu využití:

- předcházení vzniku,
- příprava k opětovnému využití;
- recyklace;
- jiné využití, například energetické využití;
- odstranění. [31]

Přestože je energetické využití kalů podle hierarchie nakládání s odpady až na čtvrtém místě, hraje klíčovou roli v dosahování energetické neutrality čistíren odpadních vod.

3.4 Současný stav

V Evropě je spotřeba elektrické energie v čistírnách odpadních vod nad 2000 EO přibližně 24 747 GWh·rok⁻¹. Čistírny spotřebují 0,8 % elektrické energie v EU-28. Čistírny do 50 000 EO jsou v Evropě zastoupeny 90 %, spotřebují 42 % celkové spotřeby a vyčistí 31 % znečištěných odpadních vod. V porovnání s čistírnami nad 50 000 EO, kterých je pouze 10 % ale vyčistí 70 % znečištění a spotřebují 58 % elektrické energie. [24]

V ČR je evidováno 3 491 čistíren odpadních vod, z toho slouží 2 959 pro veřejnou potřebu. Výstavbou a rekonstrukcemi vzrostl počet ČOV s terciárním čištěním, které odstraňují dusík anebo fosfor na 1 745. Pouze mechanický stupeň čištění zůstal na 21 čistírnách. [32]

Tuzemské ČOV nad 10 000 EO za rok spotřebují okolo 450 GWh, což představuje 0,74 % z celkové spotřeby České republiky. Produkce elektrické energie z kalového plynu pokrývá zhruba 23,4 % spotřeby na ČOV. [24]

Ke snížení elektrické a tepelné energie pro dosažení 100% soběstatečnosti je potřeba zkombinovat několik opatření:

- Provádění energetických auditů,
- zlepšení řízení provozu,
- použití energeticky účinnějších zařízení a zvýšení výroby energie,
- pravidelná údržba a sledování přístrojů. [33]

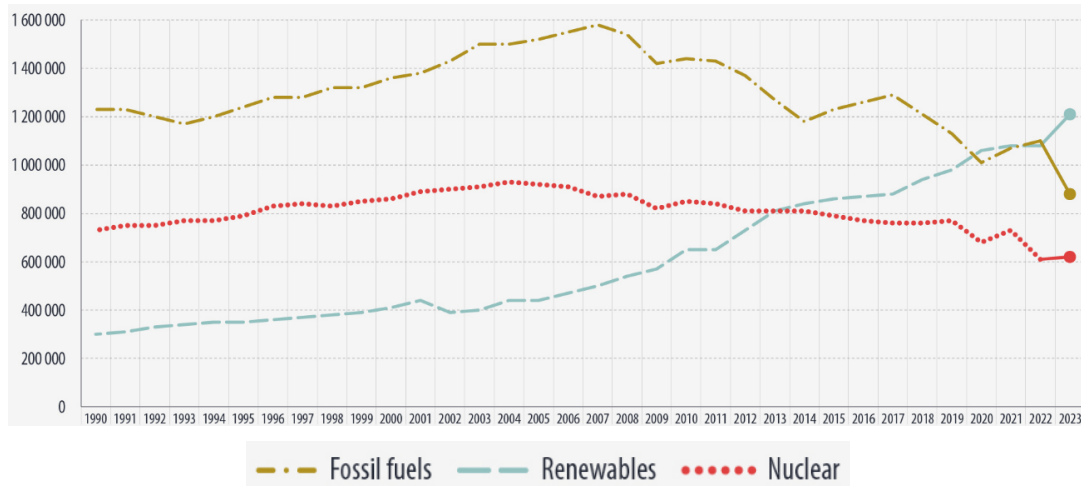
4 OBNOVITELNÉ ZDROJE V ČR

Energie představuje klíčový faktor pro rozvoj a fungování moderní společnosti. Je nezbytná pro provoz průmyslových zařízení, infrastruktury a komunálních služeb, mezi které patří i čistírny odpadních vod. S rostoucími nároky na kvalitu čištění a zpřísnujícími se limity pro vypouštěné vody rostou i energetické nároky těchto zařízení. Dostupnost a úroveň spotřeby energie jsou hlavními indikátory ekonomického růstu každého národa. Efektivní využívání energie vede k efektivnějšímu využití přírodních zdrojů a vytváří nové pracovní příležitosti v průmyslovém sektoru. [34]

Obnovitelné zdroje energie představují nejrychleji rostoucí segment v energetickém mixu. Jejich hlavními výhodami jsou nevyčerpatelnost, stabilní ceny a minimální environmentální dopady. V kontextu ČOV je využití obnovitelných zdrojů a dosažení energetické soběstačnosti klíčovým trendem, který může významně snížit provozní náklady a environmentální stopu těchto zařízení. Významnou výhodou obnovitelných zdrojů je jejich schopnost snižovat emise skleníkových plynů, včetně oxidu uhličitého (CO₂), metanu (CH₄) a oxidu dusného (N₂O), což přispívá k udržitelnému rozvoji a ochraně životního prostředí. [34]

Výroba elektřiny z obnovitelných zdrojů zaznamenala v roce 2023 pozitivní vývoj s celkovým meziročním nárůstem o 511 GWh, což představuje navýšení o 4,8 %. Z celkové vyrobené elektřiny 76,9 TWh tvořily obnovitelné zdroje 11,7 TWh, tedy 15,2 % celkové produkce. Nejvýraznější růst byl zaznamenán u fotovoltaických elektráren, které zvýšily svou produkci o 403 GWh (+16,2 %). Nárůst nastal také u vodních elektráren, které posílily o 262 GWh (+25,1 %). Pozitivní trend byl patrný i u dalších obnovitelných zdrojů. Větrné elektrárny navýšily svou produkci o 9,4 % a zařízení zpracovávající biologicky rozložitelný komunální odpad zaznamenalo růst o 15,8 %. Naopak některé sektory obnovitelné energetiky zaznamenaly pokles. Výroba elektřiny z biomasy se snížila o 221 GWh (-8,3 %) a mírný pokles (-0,5 %) byl zaznamenán také u bioplynu a skládkového plynu. [35]

Podle směrnice o obnovitelných zdrojích energie jsou členské státy do roku 2030 zavázány dosáhnout podílu vyrobené elektrické energie z obnovitelných zdrojů 42,5 %. [9]



Obr. 6 Produkce elektrické energie v EU, 1990–2023 [GWh][36]

Roční pokles nastal u zemního plynu o 16 %, hnědého uhlí o 19 %, černého uhlí o 20,9 % a ropy o 1,5 %. [35]

4.1 Větrná energie

Větrná energie má svůj původ ve sluneční aktivitě. Sluneční záření nerovnoměrně ohřívá zemský povrch a okolní atmosférické vrstvy, což vytváří rozdíly v atmosférickém tlaku. Proudění vzduchu (vítr) vzniká jako přirozený proces vyrovnávání těchto tlakových rozdílů. Větrné elektrárny jsou technologická zařízení, která tento přírodní proces využívají k výrobě elektrické energie. Jejich princip spočívá v přeměně kinetické energie pohybujícího se vzduchu na energii elektrickou prostřednictvím větrných turbín. [37]

Z energetického hlediska jsou nejvýznamnější rozsáhlé vzdušné proudy, které vznikají díky teplotním rozdílům mezi rovníkovými a polárními oblastmi, stejně jako mezi kontinenty a oceány. Tyto proudění představují hlavní zdroj větrné energie v globálním měřítku. V mírných zeměpisných šířkách hraje klíčovou roli všeobecná cirkulace atmosféry, která je způsobena plošným rozložením tlakových útvarů – cyklón (níží) a anticyklón (výší). Naproti tomu atmosférické jevy menšího rozsahu, jako jsou konvekční proudění, mají z energetického hlediska pouze okrajový význam. [37]

4.1.1. Účinnost

Albert Betz dokázal, že výkon větrného stroje nezávisí na čelní ploše lopatek, ale na ploše kruhu, kterou pokrývá rotor při svém otáčení. Ve své práci také matematicky vypočítal teoretickou maximální účinnost větrného stroje, která činí 59,3 % z dostupné energie

větru. Tato hodnota je známá jako Betzovo pravidlo a představuje fundamentální limit pro všechny typy větrných turbín, kterého nelze v praxi překročit. [38]

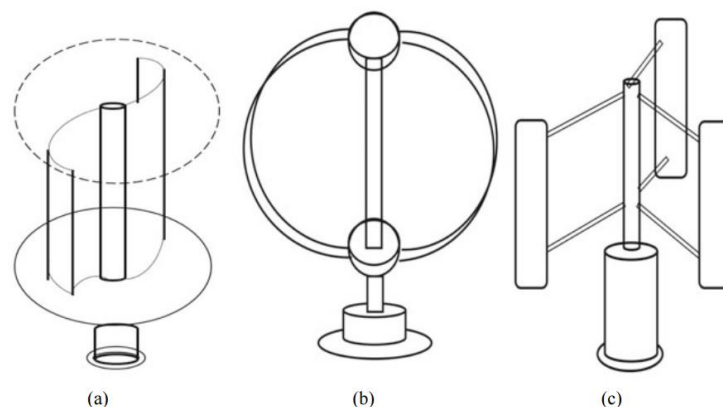
4.1.2. Rozdělení

Podle velikosti:

- velké větrné elektrárny mají lopatky rotoru průměr nad 45 m a instalovaný výkon začíná od 750 kW;
- střední větrné elektrárny dosahují výkonu 60 až 750 kW;
- malé větrné elektrárny jsou s rotorem do 16 m a výkonem do 60 kW. [37]

Podle konstrukce:

Vertikální větrné turbíny mají rotační osu kolmou k zemskému povrchu. Jejich hlavní výhodou je, že nepotřebují systém natáčení do směru větru. Ačkoliv dosahují nižší účinnosti než horizontální turbíny (přibližně 35 %), vykazují lepší odolnost vůči turbulentnímu proudění. Vertikální turbíny se nejčastěji instalují v městském prostředí a v kategorii malých výkonů. Jejich předností je tišší chod a menší nároky na údržbu. [39]



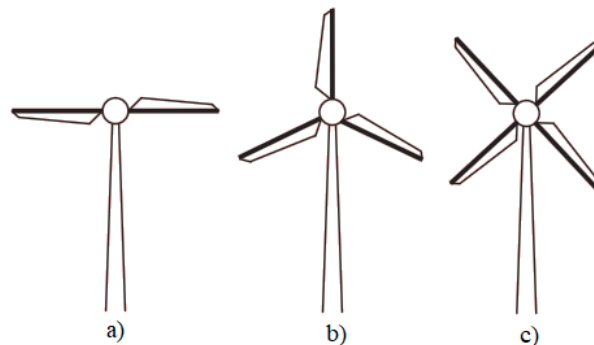
Obr. 7 Vertikální turbíny [39]

- Savoniova turbína je odporová turbína, která využívá odpor větru, který tlačí na její lopatky. Má levné rotory a jednoduchou konstrukci, ale její efektivnost je maximálně 23 %. Náběhová rychlost je $2\text{--}3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Obvykle má dvě až tři lopatky. Její hlavní využití je při náběhu Darrieovy turbíny;
- Darrieova turbína je vztlková turbína, díky čemu mají vyšší účinnost max. 48 %. Náběhová rychlost je $3\text{--}6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Nejčastěji má dvě až tři aerodynamické lopatky, které využívají aerodynamický vztlak. Lopatky mají tvar šlehače vajec. Jejich věže jsou

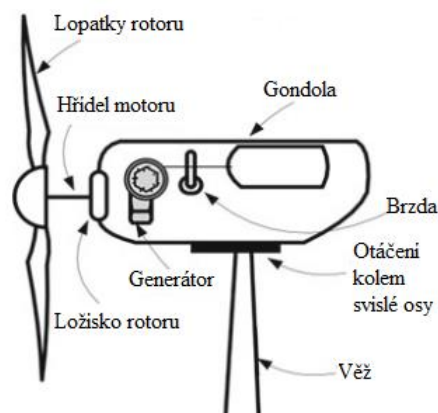
namáhány cyklickým namáháním kmitavým momentem a odstředivými silami, což ovlivňuje spolehlivost. Pro náběh potřebuje dodatečnou energii, kterou může získat ze sítě nebo použitím přídavného Savoniova rotoru;

- H–Darrieova turbína je vztlaková turbína, která má základ v Darrieově turbíně. Rozdíl je ve tvaru lopatek, které jsou rovnoběžné s osou otáčení. Používá se se dvěma nebo třemi lopatkami. Dosahovaná účinnost je okolo 40 %. [39]

Horizontální větrné turbíny jsou v současnosti nejrozšířenějším typem větrných elektráren. Jejich rotační osa je umístěna rovnoběžně se směrem větru, což vyžaduje instalaci systému natáčení do směru proudění. Tyto turbíny dosahují vysoké účinnosti až 45 %. Horizontální turbíny nacházejí uplatnění ve všech výkonových kategoriích a jednoznačně dominují v oblasti komerční výroby elektřiny. Počet lopatek u horizontálních turbín ovlivňuje hlučnost a náklady. Při použití dvou lopatek jsou nižší náklady, ale nevýhodné jsou díky své vyšší hlučnosti. Čtyři lopatky mají dobré vyvážení rotoru a netvoří tak výrazný hluk. Nevýhoda je ve vyšších pořizovacích nákladech. Proto je nejčastější použití tří lopatek, které vyvažují výhody i nevýhody. [39]

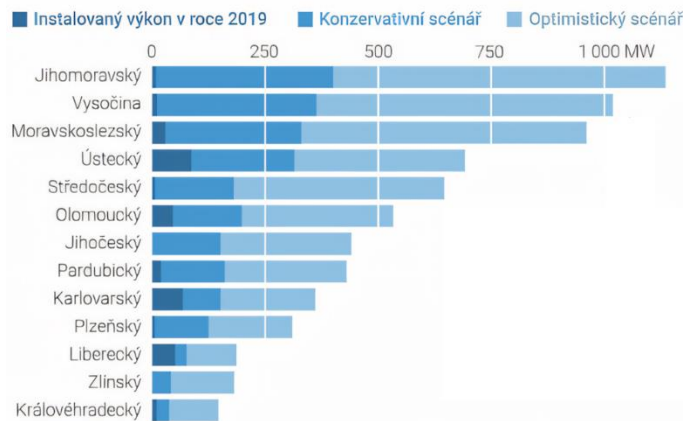


Obr. 8 Horizontální turbíny, a) dvě lopatky, b) tři lopatky, c) čtyři lopatky [39]



Obr. 9 Popis součástí větrné elektrárny [39]

Denní a sezonní výkyvy: rychlost větru se v dané lokalitě mění i v průběhu dne podle slunečního svitu, který ohřívá vzduch a tím ho uvádí do pohybu, proto k večeru vítr často ustává a dopoledne naopak zesiluje (viz záznamy denní rychlostí větrů z meteorologických stanic) – to samozřejmě platí pro případy, kdy výrazně nepřevažuje vliv kontinentálních tlakových níží a výší. Obecně je více kinetické energie ve větru v létě než v zimě, přibližně dvojnásobně. [39]



Obr. 10 Potenciál větrné energie [40]

Z ekonomického hlediska jsou náklady na 1 kW 1 473 dolarů, roční náklady na kW jsou 40 dolarů. Předpokládaná životnost větrného generátoru je 25 let. [41]

4.1.3. Postup výpočtu výroby elektrické energie

Změna rychlosti větru s rostoucí výškou $v(z_2)$ [m]

$$v(z_2) = v(z_1) \frac{\text{LN}((z_2-d)/z_0)}{\text{LN}((z_1-d)/z_0)} \quad (1)$$

Kde: $v(z_1)$ = rychlost větru ve známé výšce [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

z_0 = výška drsnosti (zohledňuje drsnost povrchu na proudění větru) [m]

z_1 = základní výška [m]

z_2 = výška, pro kterou hledáme rychlost větru [m]

d = posun v nulové rovině, ve které je dosaženo nulové střední rychlosti větru v důsledku překážek proudění. $d = 2/3$ až $3/4$ průměrné výšky překážek d_p [m]

d_p = výška překážek [m]

Četnost výskytu rychlosti větru v_t [%]

$$v_t = \frac{v}{\sigma^2} \cdot EXP\left(-\frac{v^2}{(2 \cdot v_{z2}^2)}\right) \cdot 100 \quad (2)$$

Kde: v = průřez rychlostí [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$];

σ = rozptyl hodnot kolem střední rychlosti [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]; $\sigma = v_{z2}/\sqrt{(\pi/2)}$

v_{z2} = průměrná rychlost větru v návrhové výšce [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$].

Výkon proudu vzduchu P_v [kW]

$$P_v = \frac{1}{2} \cdot \rho_{vz} \cdot v_{z2}^3 \cdot A \cdot C_p \quad (3)$$

Kde: ρ_{vz} = hustota vzduchu [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$];

v_{z2} = průměrná rychlost větru v návrhové výšce [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$];

A = plocha rotoru [m^2];

C_p = výkonový součinitel [-].

Výrobená energie E_v [kWh]

$$E_v = v_t \cdot P_v \quad (4)$$

Kde: v_t = četnost výskytu rychlosti větru [%];

P_v = výkon proudu vzduchu [kW].

4.1.4. Příklady využití sluneční energie

ČOV Hamburk

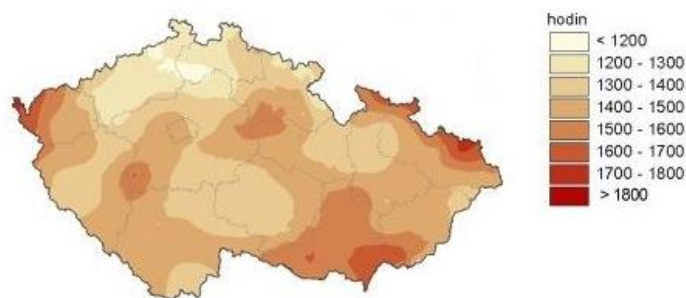
Větrná turbína byla instalována na čistírně odpadních vod Dradenau v Hamburku. Geografická poloha Hamburku nedaleko Severního moře poskytuje značný potenciál pro využití větrné energie. Osa turbíny je ve výšce 180 metrů a její výkon je 3,6 MW. Očekává se roční produkce až 9000 MWh. Na čistírně odpadních vod jsou nainstalované fotovoltaické panely a vyhnívání. Čistírna je z 80 % soběstačná. [42]



Obr. 11 ČOV Hamburg [43]

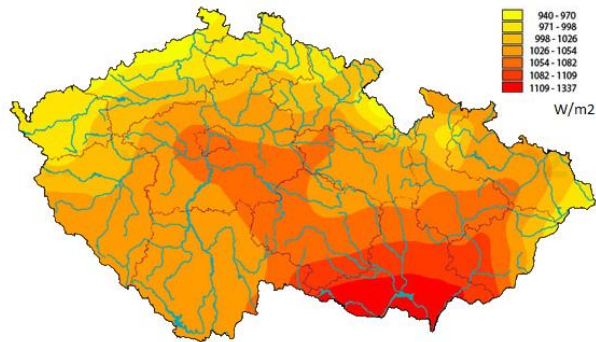
4.2 Sluneční energie

Sluneční energie vzniká v nitru Slunce prostřednictvím jaderné syntézy, při níž dochází k přeměně vodíku na helium. Během této reakce vzniká rozdíl mezi hmotností jádra vzniklého atomu helia a hmotností čtyř protonů z jader vodíku vstupujících do reakce, přičemž tento hmotnostní rozdíl se přeměňuje na energii vyzařovanou do kosmického prostoru. Při průchodu atmosférou se sluneční záření rozptyluje na částicích prachu, krystalcích ledu nebo kapičkách vody, následkem čehož přichází část energie ve formě difúzního záření a část jako přímé záření, přičemž svou roli může hrát i odražené sluneční záření. Poměr jednotlivých složek slunečního záření je určován čistotou atmosféry a oblačností, zatímco celkový úhrn dopadající sluneční energie závisí na několika faktorech – zeměpisné poloze, úhlu dopadajících paprsků, celkové době slunečního svitu, nadmořské výšce a čistotě ovzduší. [37]



Obr. 12 Trvání slunečního svitu [h] [44]

Průměrný počet slunečních hodin se v ČR pohybuje mezi 1330 až 1800 ročně.



Obr. 13 Roční úhrn slunečního záření [$kWh \cdot m^{-2}$] [44]

V ročním průměru dopadne na 1 m² mezi 950 až 1340 KWh. Tento údaj je důležitý pro výpočet energetické bilance a návratnosti. Dnešní fotovoltaické panely mají účinnost přeměny sluneční energie na solární lehce přes 20 %. Výkon závisí na ročním období, od jara do podzimu se vyrobí přibližně tři čtvrtiny, v zimě jedna čtvrtina. V zimě jsou kratší dny a je nižší intenzita slunečního záření, ale panely mají při nižších teplotách vyšší účinnost. Při každém poklesu o teplotní stupeň roste účinnost o 0,4 %. Dalším faktorem, který ovlivňuje účinnost panelů, je sklon a orientace samotných panelů. Nejvhodnější je orientace k jihu, dále je vhodný západ a méně vhodný východ z důvodu vyšší oblačnosti. Sklonem se účinnost také výrazně mění. Ideální sklon se mění podle natočení na světové strany. Přibližná 100% účinnost je dosažena při natočení na jih a sklonu 30 až 40°. Optimální sklony se mění v průběhu roku, tak jak se mění vzdálenost slunce od obzoru. [45][46]

	VERTIK.	80	70	60	50	40	30	20	10	HORIZ.
VÝCHOD	58	65	70	76	80	84	86	88	90	90
JIHOVÝCHOD	69	77	84	89	93	96	96	96	94	90
JIH	71	80	87	93	97	100	100	98	96	90
JIHOZÁPAD	67	75	82	87	92	95	96	96	94	90
ZÁPAD	56	63	69	74	78	82	86	87	89	90

Obr. 14 Vliv orientace a sklonu na výkon panelů [%] [46]

Z ekonomického hlediska jsou náklady na 1 kW 995 dolarů, roční náklady na kW jsou 10 dolarů. Předpokládaná životnost solárních panelů je 25 let. [41]

4.2.1. Rozdělení

Podle druhu přeměny energie:

- fotovoltaické panely představují technologii umožňující přímou přeměnu sluneční energie na energii elektrickou. Celý fotovoltaický systém se skládá z několika

klíčových komponentů: základem je fotovoltaický článek, který je propojen do většího celku tvořícího modul (panel), jenž je upevněn na speciální konstrukci. Součástí systému je také zařízení pro uskladnění vyrobené elektrické energie, komponenty pro připojení do rozvodné sítě a měniče, které zajišťují přeměnu střídavého proudu na stejnosměrný;

- solární panely fungují na principu přeměny slunečního záření na tepelnou energii prostřednictvím fototermální přeměny. Tento proces je založen na absorpci záření povrchem tuhých látek a kapalin, během kterého dochází k přeměně energie fotonů na teplo. V centru celého systému se nachází tmavá absorpční plocha, označovaná jako kolektor, která se zahřívá zachycováním slunečního záření. Tepelná energie, která je takto získána, je následně odváděna z absorpčního povrchu pomocí teplotnosných látek, kterými mohou být buď kapaliny, nebo vzduch. [37]

Podle materiálu fotovoltaické panely:

- polykrystalické fotovoltaické panely jsou tvořeny mnohakrystalovými články. Povrch těchto panelů je třpytící se modř krystalické struktury. Náklady na polykrystalické solární panely jsou obecně nižší než náklady na monokrystalické solární panely. Důvodem je skutečnost, že polykrystalické články se vyrábějí z úlomků křemíku namísto z jednoho čistého krystalu křemíku. Výrobní proces těchto článků je tak pro výrobce jednodušší a levnější, což v konečném důsledku vede ke snížení nákladů. Mají o něco menší účinnost (12 až 17 %), ale zato rovnoměrný výkon. Solární elektrárna z těchto panelů má rovnoměrnější výkon a hodí se tam, kde je určitá odchylka od ideální orientace;
- monokrystalické fotovoltaické panely se skládají z jediného krystalu. Díky homogenitě článku je jeho povrch tmavomodrý až černý. Jedná se o jednu z nejdražších voleb. Je to dáno především výrobním procesem, který je spojen s jejich výrobou. Jelikož jsou tyto články vytvářeny ze solitérního krystalu křemíku, musí výrobci vynaložit náklady na vytvoření těchto krystalů. Tento proces se nazývá Czochralského proces, který je jednak energeticky náročný, jednak při něm vzniká přebytečný křemík, který lze později použít k výrobě polykrystalických solárních článků. Mají vysokou účinnost až 21 % (průměrnou 14 až 18 %) při ideálních podmínkách (sklon a orientace ke slunci). Výroba energie se sice pomaleji rozbíhá, ale poté dodává energii efektivněji;

- tenkovrstvé/amorfnní panely jsou tvořeny z tenké křemíkové vrstvy napařované na sklo nebo fólii. Účinnost amorfnních panelů se pohybuje v rozmezí 7–9 % a pro dosažení stejného výkonu jako u předchozích panelů proto potřebujete 2,5× větší plochu. Celoroční výnos je však až o 10 % vyšší. Důvodem je vyšší citlivost amorfnních panelů na rozptýlené sluneční záření. Napětí na člancích se proto udrží i při nižší intenzitě svitu. Amorfnní křemík má ještě jednu výhodu. Jeho účinnost s rostoucí teplotou klesá podstatně pomaleji a nedochází tak snadno k přehřívání jako u krystalického křemíku. V letních měsících je tak z amorfnních modulů lepší výtěžnost. [47]

Podle materiálu solární panely:

- plochý nekrytý kolektor je jednoduchý systém tvořený plastovou rohoží, která není chráněna zasklením. Vzhledem k této základní konstrukci vykazuje vysoké tepelné ztráty, což omezuje jeho využití především na sezonní ohřev bazénové vody, pro který je díky své jednoduchosti a nízké ceně velmi vhodný;
- plochý atmosférický selektivní kolektor představuje nejrozšířenější typ solárního kolektoru na trhu. Jedná se o zasklený deskový kolektor v těsném provedení, který je vybaven kovovým absorbérem se speciálním spektrálně selektivním povlakem a účinnou tepelnou izolací. Díky této konstrukci dosahuje nízkých tepelných ztrát, což umožňuje jeho celoroční využití pro ohřev vody;
- plochý vakuový kolektor je typ zaskleného deskového kolektoru, který se vyznačuje těsným provedením a kovovým absorbérem opatřeným spektrálně selektivním povlakem. Jeho klíčovou charakteristikou je snížený tlak uvnitř kolektoru, který je nižší než okolní atmosférický tlak, což zajišťuje minimální tepelné ztráty. Díky těmto vlastnostem je tento typ kolektoru vhodný pro celoroční ohřev vody;
- trubkový vakuový kolektor využívá plochý spektrálně selektivní absorbér umístěný ve vakuované skleněné trubce. Trubkové provedení zajišťuje efektivní přenos tepla z absorbéru do teplotnosné kapaliny, což vede k vysoké účinnosti celého kolektoru. Vzhledem ke své složité konstrukci je tento systém cenově nejnáročnější ze všech typů kolektorů, proto nachází uplatnění v kombinovaných systémech vytápění, kde se jeho vyšší pořizovací náklady mohou lépe zhodnotit;
- koncentranční kolektor, u kterého jsou použity prvky (zrcadla nebo čočky) k usměrnění a soustředění přímého slunečního záření do absorbéru. [37]

4.2.2. Postup výpočtu výroby elektrické energie

Vyrobená energie E_s [kWh] (výpočet při známé výrobě z již instalované FVE)

$$E_s = H_s \cdot P_{inst} \quad (5)$$

Kde: H_s = horizontální sluneční záření [$\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}$];

$P_{inst.}$ = instalovaný výkon [kWp].

4.2.3. Příklady využití sluneční energie

ČOV Kapské Město

Na čistírně odpadních vod v Kapském Městě (Jižní Afrika) proběhlo porovnání výroby elektrické energie z fotovoltaické elektrárny (FVE) umístěné na plovoucím systému v nádrži s panely instalovanými na zemi. Na nádrži o průměru 20 m bylo umístěno 9 fotovoltaických panelů o výkonu 360 kWp se sklonem 12° . Současně se porovnávalo odpařování mezi nádrží s plovoucím systémem FVE a kontrolní nádrží bez instalace. Fotovoltaické panely umístěné na vodní hladině by měly být schopny produkovat více energie, protože odpařování vody pomáhá snižovat okolní teplotu, což zvyšuje účinnost panelů. [48]



Obr. 15 Testování plovoucích FP na nádrži [48]

V Čínském městě Čeng-čou byla v roce 2019 zprovozněna fotovoltaická elektrárna s kapacitou 5 MW. FVE zakrývá většinu areálu čistírny včetně nádrží a přilehlých ploch. [49]



Obr. 16 FVE na ČOV Čeng-čou [50]

4.3 Vodní energie

Vodní energie představuje jeden z nejstarších způsobů získávání energie, který se realizuje prostřednictvím vodních elektráren. Míra využití hydroenergetického potenciálu závisí na místních přírodních podmínkách a je úzce spjata s úrovní hospodářského, technického a společenského rozvoje dané oblasti. K dosažení efektivního využití vodní energie je zapotřebí vhodné soustředění spádu a průtoku v místě vodní elektrárny, což zajišťují stavební úpravy, přičemž samotná transformace energie probíhá v turbíně, kde dochází k přenosu kinetické nebo kombinace kinetické a tlakové energie na mechanickou energii hřídele. [37]

4.3.1. Rozdělení

Podle velikosti instalovaného výkonu:

- malé VE s výkonem do 10 MW;
- střední VE s výkonem od 10 do 200 MW;
- velké VE s výkonem nad 200 MW. [37]

Podle velikosti spádu:

- nízkotlaké turbíny se spádem do 20 m;
- středotlaké turbíny se spádem od 20 do 100 m;
- vysokotlaké se spádem nad 100 m. [37]

Podle způsobu přenosu energie vody na oběžné kolo:

- a) Rovnotlaké (akční) turbíny mají konstantní tlak na vstupu i výstupu oběžného kola. Tlaková energie se mění v dýzách, ve kterých dojde ke zrychlení a tím dojde

k přeměně převážné části energie na kinetickou energii, která poté naráží na lopatky rotoru. Zbytková kinetická energie slouží k odvedení vody od výstupní hrany lopatek oběžného kola. [51]

Peltonova turbína je vhodná pro vysoké spády nad 100 m a malé průtoky. Voda je u této turbíny přiváděna tryskami tangenciálně na lopatky oběžného kola, přičemž využívá pouze kinetickou energii vodního paprsku. Vyznačuje se vysokou účinností i při částečném zatížení a regulace výkonu je zajištěna pomocí změny průtoku dýzou nebo odkloněním paprsku. Své uplatnění nachází především ve vysokohorských oblastech a malých vodních elektrárnách. [51]

Bánkiho turbína je určena pro střední a nízké spády v rozmezí 2 až 30 m. Charakteristický je pro ni dvojnásobný průtok vody přes lopatky (vstup – výstup) a jednoduchá konstrukce umožňující snadnou údržbu. Dosahuje nižší účinnosti 70–85 % a je vhodná pro malé vodní elektrárny jako cenově dostupné řešení. [51]

b) Přetlakové (reakční) turbíny využívají tlakovou a kinetickou energii vody, která je přiváděna do vstupního profilu spirály. Spirála zajišťuje rovnoměrnou distribuci této energie po obvodu rozvaděče turbíny a následně po obvodu vstupních hran lopatek oběžného kola. V oběžném kole turbíny dochází k přeměně převážné části energie vody na mechanickou energii rotující hřídele. Zbytková energie vody je z oběžného kola odváděna do savky turbíny, kde dochází k další přeměně části této energie na mechanickou energii. Z výstupního profilu savky odchází pouze minimální zbytková energie vody, která je nezbytná pro zajištění odtoku vody ze savky. [51]

Kaplanova turbína je přetlaková turbína navržená pro nízké spády do 70 m a velké průtoky. Disponuje nastavitelnými lopatkami oběžného kola i rozvaděcího kola a vykazuje vysokou účinnost i při kolísavém průtoku. Její konstrukce je složitější a pořizovací náklady jsou vyšší, přičemž nachází využití především na nížinných tocích a přehradních elektrárnách. [51]

Francisova turbína funguje nejlépe pro střední spády 40–200 m. Je vybavena pevnými lopatkami oběžného kola a nastavitelnými rozvaděcími lopatkami, přičemž dosahuje vysoké účinnosti až 90 % při optimálním provozu. Vykazuje citlivost na kolísání průtoku a spádu a představuje nejrozšířenější typ vodní turbíny, který se využívá zejména v přečerpávacích elektrárnách a na středních spádech. [51]

c) Pro využití nízkých spádů

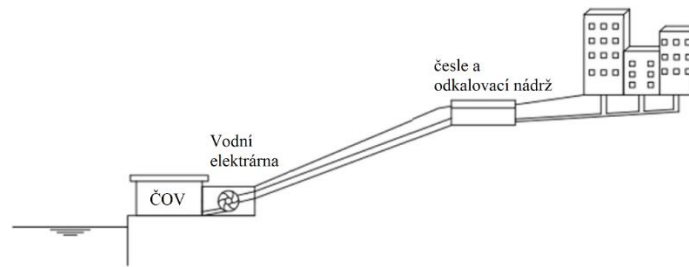
Šnekové turbíny pracují na principu podobném šnekovému kalovému čerpadlu, přičemž pracují na principu reverzní funkce jako vodní motor. Své uplatnění nacházejí především v lokalitách s malým spádem 1–7,5 m a s výrazně rozkolísanými průtoky. Mezi hlavní výhody šnekové turbíny patří její jednoduchá konstrukce a nízké pořizovací náklady ve srovnání s tradičními turbínami. Významnou předností je také možnost jejího použití pro znečištěné vody, přičemž nevyžaduje instalaci jemných česlí a je tedy vhodná i pro znečištěné vody. Turbína si zachovává vysokou účinnost i při částečném zatížení. Turbína nachází uplatnění především při rekonstrukcích malých vodních elektráren a ve výpustích vody z čistíren odpadních vod. [37]

Vírová turbína funguje na principu přívodu vody do kruhové nádrže, odkud voda odtéká otvorem umístěným uprostřed dna. Při tomto procesu se vytváří vír, který následně roztáčí lopatky oběžného kola turbíny. Tento typ turbíny je vhodný především pro lokality s nízkým spádem v rozmezí 0,5–2,5 m a průtokem od 0,05 do 20 m³·s⁻¹. Zařízení dosahuje účinnosti přesahující 70 % a vyznačuje se jednoduchým konstrukčním řešením. Díky své konstrukci má turbína nízké provozní náklady a vysokou spolehlivost provozu s minimální poruchovostí. [37]

Využití vodní elektrárny v rámci čistírny odpadní vody lze dvěma způsoby:

a) Vodní elektrárna umístěná před čistírnou odpadních vod

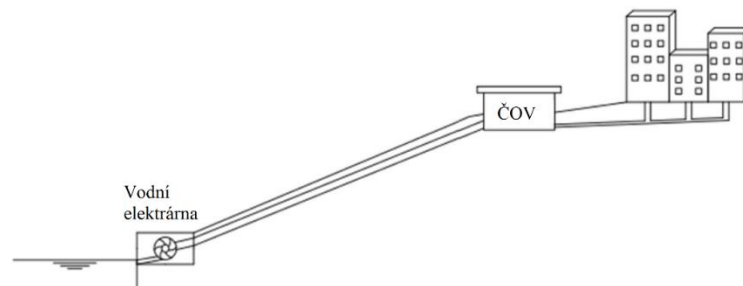
Toto uspořádání je složeno ze dvou částí, mechanického předčištění a samostatné vodní elektrárny. Mechanické předčištění je složeno z česlí a odkalovací nádrže. Z městských odpadních vod je nejprve potřeba odstranit hrubé nečistoty a látky, které by mohly vést k poničení a zanášení zařízení umístěných ve vodní elektrárně. Předčištění se umísťuje co nejvýše, kde je veškerý odběr odpadních vod, aby měla vyčištěná voda co největší možný spád k turbíně. Při umístění nad čistírnou je dosaženo vyššího energetického potenciálu (vyšší průtok a tlak), ale s vyššími náklady na pořízení a údržbu (nový objekt předčištění, zanášení nečistotami a nutná odolnost zařízení elektrárny na agresivní a korozivní prostředí). Stabilita průtoku je ovlivněna efektivitou předčištění. [52]



Obr. 17 Vodní elektrárna umístěná před čistírnou odpadních vod [52]

b) Vodní elektrárna umístěná za čistírnou odpadních vod

U tohoto řešení není nutné budovat předčištění, stačí tedy samotná elektrárna, což vede ke snížení pořizovacích nákladů a taky méně náročné údržbě. Je dosaženo stabilnějšího provozu. [52]



Obr. 18 Vodní elektrárna umístěná za čistírnou odpadních vod [52]

V obou případech je nutné, aby výroba energie neovlivnila hlavní účely čistírny odpadních vod jako je čištění městských odpadních vod a následné vypouštění do recipientu. K ovlivnění může dojít při zanesení česlí nebo při zastavení turbíny. [52]

4.3.2. Postup výpočtu výroby elektrické energie

Hydroenergetický potenciál E_{ve}

$$E_{ve} = \eta \cdot \rho \cdot g \cdot H \cdot V \quad (6)$$

Kde: η je celková účinnost zařízení [-];

ρ_v je hustota vody [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$];

g je gravitační zrychlení [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$];

H je čistý spád [m];

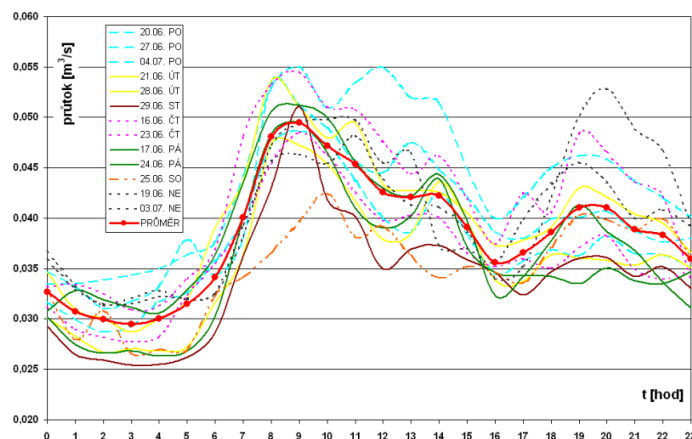
V je objem před/vyčištěné odpadní vody [$\text{m}^3 \cdot \text{rok}^{-1}$].

Celková účinnost zařízení je pro zjednodušení předpokládána 0,7, jedná se o průměrnou hodnotu. [53]

Čistý spád je hrubý spád bez hydraulických ztrát, které vznikají v přivaděči a odpadu. Pro zjednodušení je počítáno s hodnotou 0,9 z hrubého spádu. Ztráty 10 % jsou maximální akceptovatelné hydraulické ztráty v malých vodních elektrárnách. [53]

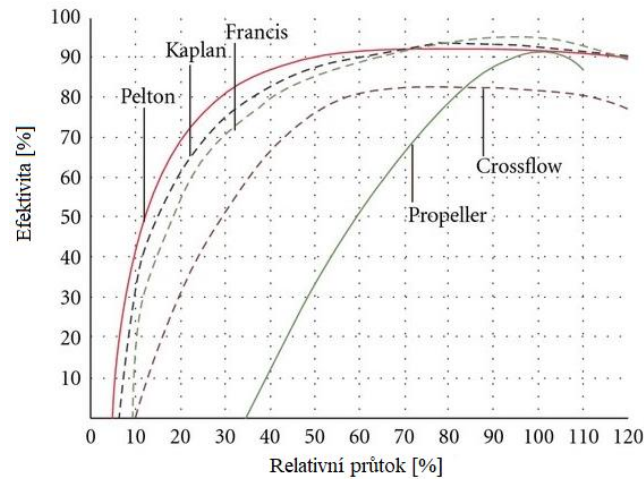
Hrubý spád závisí na uspořádání (před nebo za ČOV). V případě umístění elektrárny před ČOV je spád tvořen přítokem odpadní vody z obce a čistírnou. U stávajících čistíren je místo, které odvádí veškeré odpadní vody dané, u nově budovaných čistíren lze s hrubým spádem pohybovat nahoru i dolů. V těchto případech je potřeba provést porovnání. Pokud snížíme sběrný bod, abychom docílili většího průtoku, dojde ke snížení hrubého spádu. Naopak pokud do sběrného bodu nebude zahrnuta celá obec, ale je sběr z vyšších míst dojde ke zvýšení spádu, ale sníží se průtok. Při umístění elektrárny za čistírnu je hrubý spád tvořen rozdílem mezi čistírnou a nejnižším místě (odtokem do recipientu). [52]

Další veličina, která se mění je průtok odpadní vody, který je závislý především na denní a hodinové nerovnoměrnosti. [54]



Obr. 19 Denní nerovnoměrnost produkce odpadních vod (cca 6000 EO) [54]

Účinnost turbíny závisí na zvoleném typu vodní elektrárny. Pro pokrytí běžných spádů a průtoků, které se na malých vodních elektrárnách vyskytují byly zvoleny jako nevhodnější turbíny (Peltonova a Kaplanova) a čerpadla (odstředivé čerpadlo využitě jako turbína a Archimédův šroub). [52]



Obr. 20 Křivky účinnost pro vybrané typy vodních turbín [55]

Účinnost generátoru a transformátoru jsou konstantní hodnoty. Účinnost generátoru je od 0,84 do 0,93. Účinnost transformátoru se pohybuje od 0,92 do 0,98. [52]

4.3.3. Příklady využití vodní energie

Nejvíce vodních elektráren na čistírnách odpadních vod je ve Švýcarsku. Nejčastěji se používá Peltonova turbína. Rozsah spádů hladin se pohybuje od 4 do 545 m, přičemž průtok dosahuje hodnot 0,1 do 26 m³·s⁻¹. [52]

Tab. 8 Příklady využití MVE před nebo za ČOV [52]

Název	Umístění vůči ČOV	Turbína	Instalovaný výkon [kW]	Rozdíl hladin [m]	Návrhový průtok [m ³ ·s ⁻¹]
Aïre	za	Kaplanova	200	5	3,2
Deer Island	za	Kaplanova	2x1000	8,8	2x13,1
Emmerich	za	Archimédův šr.	13	3,8	0,4
As Samra	před	Petonova	2x800	104	3,2
La Douve I	za	Petonova	430	545	0,08

Čistírna odpadních vod Blansko

ČOV Blansko je jako jediná čistírna odpadních vod v České republice postavena na kopci. Sběrná stoka odpadních vod je v čerpací stanici Kamenolom čerpána k čistírně odpadních vod potrubím DN500. Po terciárním stupni čištění je vyčištěná odpadní voda přes žlab svedena do vyrovnávací nádrže, která vyrovnává rozdíl mezi přítokem a odtokem na MVE. Odtok z vyrovnávací nádrže je zajištěn potrubím DN300. V šachtě před MVE je z potrubí odbočka na obtok DN150, který slouží k odtoku vody z ČOV, v případě, kdy

jsou obě turbíny mimo provoz. Za šachtou je potrubí DN300 rozděleno na dvě větve DN200, které vedou vodu na turbosoustrojí, které se nachází ve strojovně. Turbosoustrojí je tvořeno dvěma stejnými čerpadly, která se používají v turbínovém režimu. Energie z čerpadel se převádí na elektrickou energii přímým napojením na asynchronní generátory. Každé čerpadlo je navrženo s rezervou na průměrný průtok z čistírny. Druhé čerpadlo slouží k pokrytí špiček (dvojnásobné průtoky) a v případě oprav nebo výpadku prvního čerpadla. Následuje savka s obtokovou šachtou. [56][57]

Parametry MVE:

- návrhový čistý spád: $H_n = 26,3$ m
- návrhový průtok: $Q_n = 50$ l·s⁻¹
- výkon při H_n, Q_n : $P_n = 10,3$ kW
- roční výroba elektrické energie činí 55 MWh. To odpovídá 18% spotřeby energie na čerpání odpadních vod do čistírny. [56][57]



Obr. 21 MVE na ČOV Blansko [56]

4.4 Geotermální energie a energie z okolí

Geotermální energie je kdekoliv dostupná, stálá a dobře regulovatelná. Přímým využitím ve formě tepla nebo převodem na elektrickou energii tak může výrazně přispět k regionální energetické nezávislosti. Základním zdrojem je kosmické teplo, které působí od vzniku planety, teplo vystupuje z jádra k povrchu. Vysoká teplota zemského jádra je způsobena teplem uvolňovaným při formování Země, kdy kinetická energie srážek materiálů byla přeměněna v teplo. Zemská kůra je ohřívána také kontinuálně

uvolňovaným teplem z rozpadajících se radioaktivních izotopů s dlouhým poločasem rozpadu (největší podíl mají ^{40}K , ^{232}Th , ^{235}U a ^{238}U). Slunce dodává na Zemi energii, která se akumuluje v atmosféře a povrchových vrstvách zemské kůry. Geotermální energii lze využívat také díky rotaci Země a teple vznikající při geochemických procesech. [37]

Zatímco zisk tepelné energie je zajištěn za pomoci výměníků, o zpracování a dodání tepelné energie do samotného objektu má ve většině případů na starost tepelné čerpadlo. [37]

4.4.1. Rozdělení

Podle teploty:

- Nízkoteplotní zdroje do $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ jsou využitelné tepelnými čerpadly nebo přímo jako zdroj tepla;
- Středně teplotní zdroje od 100 do $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ jsou využitelné přímo jako zdroj tepla nebo pro výrobu elektrické energie;
- Vysokoteplotní zdroj tepla je nad $150\text{ }^{\circ}\text{C}$, využívá se pro výrobu elektrické energie turbínovým soustrojím. [37]

Tepelné čerpadlo slouží pro získávání přírodní obnovitelné energie z vnějšího prostředí jako je vzduch, podzemní a povrchová voda, zeminy, horniny. Čerpadlo převádí tepelnou energii na využitelnou úroveň. Tepelné čerpadlo funguje na principu kompresorového okruhu. Kompresor, výparník, expanzní ventil a kondenzátor jsou čtyři základní části systému. Dále jej tvoří dva okruhy: primární a sekundární. [58]

Obecně lze činnost tepelného čerpadla rozdělit do čtyř dějů:

- vypařování – chladivo cirkulující v systému odebírá teplo z okolního prostředí (vzduch, voda, země). Následně dochází k jeho přeměně na plyn;
- komprese – plynné chladivo je stlačeno v kompresoru, tímto procesem se jeho teplota zvýší na přibližně $80\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- kondenzace – ve výměníku tepla předává stlačené ohřáté médium tepelnou energii vodě. Během tohoto procesu chladivo kondenzuje;
- expanze – médium prochází expanzním ventilem. Následně se vrací k primárnímu výměníku, čímž se cyklus uzavírá. [58]

Tepelné čerpadlo je charakterizováno základním parametrem – topným faktorem COP. Tento bezrozměrný ukazatel vyjadřuje účinnost tepelného čerpadla. Topný faktor představuje teoretický poměr mezi vyprodukovaným teplem a spotřebovanou elektrickou energií. Vyšší hodnota topného faktoru znamená lepší a ekonomičtější provoz tepelného čerpadla. Hodnota topného faktoru se mění v závislosti na provozních podmínkách tepelného čerpadla. [58]

Tepelné čerpadla se dělí podle primárního zdroje:

a) Systém vzduch – voda

Tepelné čerpadlo vzduch – voda využívá teplo z atmosféry a vyznačuje se snadnou instalací i vysokou univerzálností. Systém je ideální pro instalace na pozemcích s omezenou plochou nebo v lokalitách, kde není možné využít jiné zdroje geotermální energie. Absence nutnosti zemních prací spolu s minimálními požadavky na montážní práce výrazně snižuje pořizovací a instalační náklady. Výkon tepelného čerpadla je přímo úměrný teplotě venkovního vzduchu – s rostoucí teplotou vzduchu se zvyšuje i výkon zařízení. Nejvyšší účinnost dosahuje v jižní části Evropy, kde teploty vzduchu zůstávají nad bodem mrazu i během zimního období. Je však třeba počítat i s určitými omezeními, především s kolísavým topným faktorem v závislosti na venkovní teplotě a hlukem produkovaným venkovním ventilátorem. [37] [58]



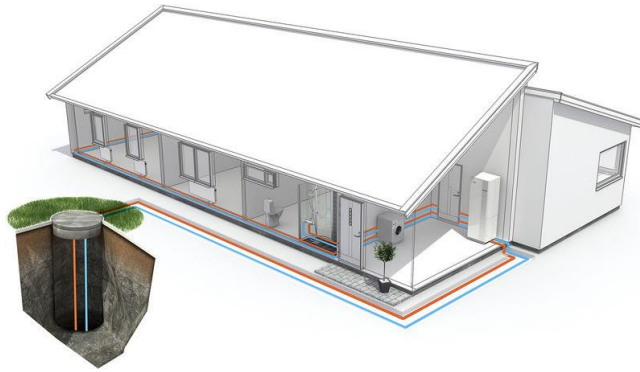
Obr. 22 Systém vzduch – vzduch [59]

b) Systém země – voda

Tepelné čerpadlo země – voda funguje na principu odebírání tepla z půdy nebo hornin pomocí cirkulující nemrznoucí směsi ve svislém vrtném nebo vodorovném podzemním kolektoru. Tento systém vyniká nejvyšší stabilitou provozu bez ohledu na venkovní klimatické podmínky a poskytuje spolehlivý výkon s úsporami dosahujícími až 80 % provozních nákladů oproti tradičním topným systémům. Stabilita provozu se pozitivně

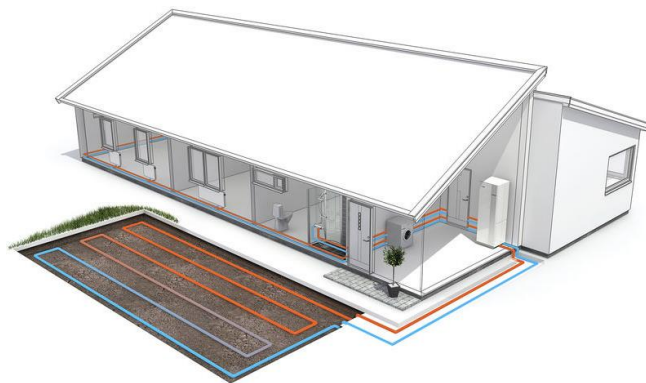
odráží i ve velmi dlouhé životnosti celého zařízení. Hlavní nevýhodou systému je však nutnost rozsáhlých zemních prací při instalaci. [37] [58]

Svislé vrty jsou prováděny do hloubky nad 150 m v ojedinělých případech až 300 metrů (Skandinávie a Západní Evropa). Používá se u větších stavebních objektů, kde ostatní systémy mají omezení, které je nedovoluje instalovat. [37]



Obr. 23 systém země – voda, svislý výměník [59]

Vodorovné výměníky se instalují na pozemcích s dostatečnou rozlohou pozemku. Omezující je také umístění vegetace, která do systému může prorůst a omezit budoucí stavební záměry. [37]



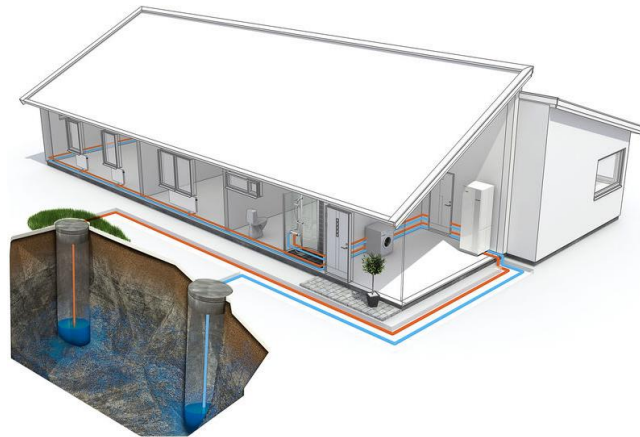
Obr. 24 Systém země – voda, vodorovný výměník [59]

c) Systém voda – voda

Tepelné čerpadlo voda – voda využívá nízkopotenciální tepelné zdroje vyskytující se v podzemní, povrchové nebo odpadní vodě a dosahuje nejvyššího topného faktoru ze všech typů tepelných čerpadel. Při přímém odběru vody do výparníku je nutné provést chemický atest vody, přičemž po odebrání tepelné energie je voda navrácena zpět do zdroje. V případě využití odpadní vody systém pracuje přes výměník, kde dochází k ohřevu čisté vody, která následně přenáší tepelnou energii do tepelného čerpadla. Díky

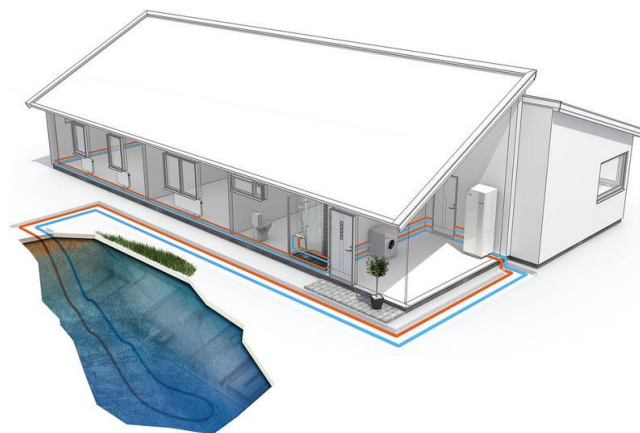
své mimořádné účinnosti jsou systémy voda – voda preferovanou volbou všude tam, kde je jejich instalace možná. [37] [58]

Princip systému s podzemní vodou spočívá v odebírání tepla čerpadlem z jímacího vrtu nebo studny. Po využití tepla se ochlazená voda vrací do podzemního oběhu v podobě vrtu nebo drénu. Zdrojem podzemní vody bývají kopané nebo vrtané studny. Systém se uplatňuje v oblastech s vhodnými hydrogeologickými podmínkami. [37]



Obr. 25 Systém voda – voda, podzemní [59]

U povrchových vod se využívají vodní toky, přírodní a umělé vodní nádrže a kanály. [37]



Obr. 26 Systém voda – voda, povrchová [59]

4.4.2. Příklady využití geotermální energie

Čistírna odpadních vod Witzenhausen v Německu řešila problém s nedostatečným zásobováním teplem v zimním období. Původní systém blokové teplárny a elektrárny na splaškový plyn nedokázal pokrýt veškerou potřebu energie, což vedlo k nutnosti dodatečného využívání zemního plynu. Pro řešení této situace byl instalován nový systém využívající teplo z odpadních vod. Tento systém kombinuje výměník tepla s tepelným

čerpadlem. Získaná energie se využívá pro tři hlavní účely: ohřev fermentoru, ohřev komorového kalolisu a vytápění provozní budovy. [60]



Obr. 27 ČOV Witzzenhausen [60]

4.5 Energie kalového plynu z čistíren odpadních vod

Čistírenské kaly jsou považovány za obnovitelný zdroj energie, protože obsahují organické látky s energetickým potenciálem, který lze využít. Ve správně navrženém a řízeném prostředí je energetické využití kalů považováno za jednu z nejlepších možností jejich zpracování, zejména vzhledem k rostoucím cenám energie a potřebě získávání obnovitelné energie. [61]

4.5.1. Kalové hospodářství

Kalové hospodářství představuje jeden z důležitých prvků v systému čistírny odpadních vod. Jeho efektivní provoz je zásadní pro dosažení požadované účinnosti čištění a dodržení všech legislativních norem. V současné době musí moderní systémy zpracování kalů splňovat několik požadavků: zajistit kontinuální provoz bez významných odstávek, optimalizovat provozní náklady a respektovat přísné environmentální standardy. Úspěšný provoz kalového hospodářství je podmíněn vyváženou kombinací technické spolehlivosti, ekonomické efektivity a environmentální odpovědnosti. Správně navržené kalové hospodářství navíc umožňuje maximálně využít energetický potenciál kalů a optimalizovat jejich další zpracování. [62]

4.5.2. Čistírenské kaly

Čistírenský kal představuje komplexní disperzní systém, který je charakteristický přítomností rozpuštěných, koloidních a suspendovaných látek. Dominantní složku tvoří suspendované látky, přičemž vodní podíl zpravidla převyšuje obsah pevných látek. Z chemického hlediska jsou významně zastoupeny sloučeniny dusíku a fosforu. V kalech se mohou vyskytovat toxické komponenty, především organické látky zahrnující halogenované organické sloučeniny, polychlorované bifenylly a nepolární extrahovatelné látky. Významnou skupinu kontaminantů představují také těžké kovy, zejména kadmium, chrom, měď, rtuť, olovo a zinek. Z mikrobiologického hlediska mohou kaly obsahovat patogenní organismy, především viry (např. virus hepatitidy A) a bakterie (zejména rody *Salmonella* a *Escherichia coli*). [63]

Jedna z nejzákladnějších charakteristik kalu je obsah sušiny v kalu a představuje klíčový faktor ovlivňující jak manipulační vlastnosti kalu, tak i volbu následných technologických procesů jeho zpracování. [63]

Produkce čistírenských kalů v roce 2023

Produkcí čistírenských kalů zveřejňuje Český statistický úřad ve Statistické ročence.

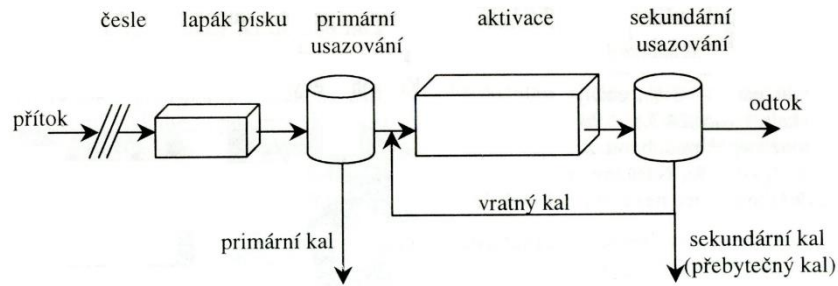
Tab. 9 Produkce a nakládání čistírenských kalů v roce 2023 [64]

Způsob nakládání	Produkce [t·rok ⁻¹]
Přímá aplikace a rekultivace	63 266
Kompostování	80 961
Skládání	16 591
Spalování	19 270
Jinak	9 151
Produkce celkem	189 239

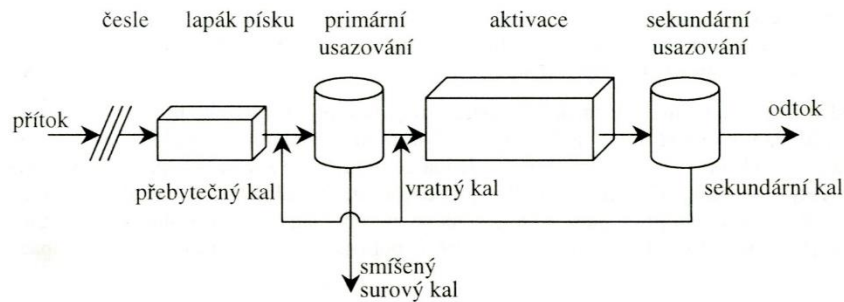
Typy čistírenských kalů

Čistírna odpadních vod zajišťuje účinné odstranění znečišťujících látek z přitékající odpadní vody. Během čistírenského procesu dochází ke koncentraci těchto látek do čistírenských kalů. Čistírenské kaly, ačkoliv představují pouze 1–2 % z celkového objemu zpracovávaných odpadních vod, obsahují velkou část původního znečištění 50–80 %. [63]

- primární kal vzniká v usazovacích nádržích, kde se mechanicky odděluje ze surové odpadní vody pomocí procesu sedimentace. Jeho charakter je především biologický, přičemž konkrétní složení se mění v závislosti na vlastnostech přitékající odpadní vody. Významnou roli v jeho složení hrají také podmínky ve stokové síti. V primárním kalu najdeme hlavně usaditelné a plovoucí látky, které lze díky působení gravitace efektivně separovat z odpadní vody;
- sekundární (přebytečný) kal je produktem biologického stupně čištění a jeho separace probíhá v dosazovacích nádržích. Hlavní složku tohoto kalu tvoří přebytečná aktivovaná biomasa, která se skládá především z mikroorganismů, spolu s nerozloženými zbytky organických látek. Na výsledné složení sekundárního kalu má vliv charakter přitékající odpadní vody, ale důležitější roli hrají technologické parametry biologického čištění. Mezi klíčové parametry patří stáří kalu a zatížení aktivace;
- aktivovaný kal je specifická směsná kultura mikroorganismů, která se vytváří během procesu biologického čištění odpadních vod v aktivačních nádržích. Tyto mikroorganismy hrají klíčovou roli při rozkladu organických látek přítomných v odpadní vodě;
- vratný kal prošel procesem separace od vyčištěné odpadní vody. Tento kal se následně recirkuluje zpět do aktivačního stupně čistírny odpadních vod. Proces vracení kalu je klíčový pro udržení potřebné koncentrace biomasy v aktivačním systému;
- přebytečný kal je aktivovaný kal, který se buď po zahuštění a separaci dále zpracovává nebo se vrací před do usazovacích nádrží mechanického stupně;
- smíšený surový kal vzniká během primárního čištění odpadních vod. Jeho charakteristickým rysem je, že kromě běžného primárního kalu obsahuje také další druhy kalů. Nejčastěji se v něm vyskytuje přebytečný aktivovaný kal. Tato kombinace různých typů kalů vzniká při společném zpracování kalů z různých částí čistírenského procesu;
- vyhnílý kal je kal, který prošel vyhníváním a je stabilizován. [63]



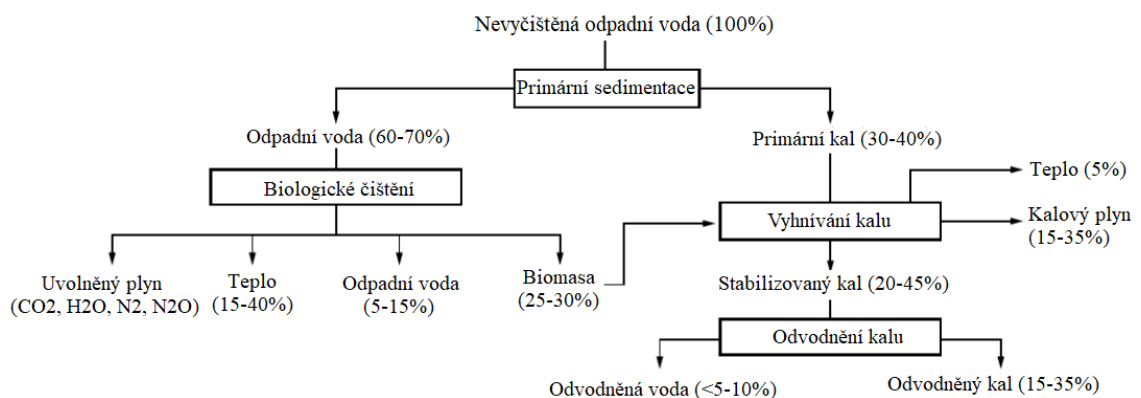
Obr. 28 Schéma odděleného odebrání kalu ze systému [63]



Obr. 29 Schéma společného odebrání kalu ze systému [63]

V odpadní vodě se nachází podíl organických a anorganických molekul, které při exotermické reakci uvolňují chemickou energii. Větší část energie je v organických sloučeninách měřených jako chemická spotřeba kyslíku. Z anorganických složek se energie vyskytuje například v amoniaku. [65]

V úseku předčištění a primárního čištění je energie odstraněna spolu se shrabky. Při sekundárním čištění je část chemické energie přeměněna na biomasu a reakční produkty v podobě oxidu uhličitého nebo metanu, nebo je energie uvolněna jako teplo díky metabolismu organismů. [65]



Obr. 30 Průběh chemické energie v procesu čištění [65]

Velikost chemické energie v organických složkách odpadní vody a čistírenského kalu lze zjistit pomocí několika metod:

- využitím plnohodnotného kotle jako kalorimetru – většinou se nevyužívá z důvodu náročného přístrojového vybavení;
- pomocí bombového kalorimetru – testovaný vzorek se umístí do tlakové nádoby, vzorek je následně výbušně zapálen a měří se změna teploty vody, která je v nádržece okolo kalorimetru;
- výpočtem z prvkové analýzy – k výpočtu složí empirický vzorec vyvinutý Channiwalou. [65]

$$HHV = 34,91C + 117,83H - 1,51N + 10,05S - 2,11A \quad (7)$$

Kde: HHV je spalné teplo (Higher Heating Value);

C je hmotnostní podíl uhlíku;

H je hmotnostní podíl vodíku;

N je hmotnostní podíl dusíku;

S je hmotnostní podíl síry;

A je hmotnostní podíl popela. [65]

Spalné teplo označuje množství tepla uvolněného při úplném spálení látky za standardních podmínek. Při vyšších teplotách než 100 °C voda zkondenzuje a tím uvolní výparné teplo. Pokud voda zůstane ve formě páry, jedná se o výhřevnost (LHV – Lower Heating Value). Díky teplu, které je uchováno v páře je uvolněná energie nižší než HHV, zpravidla o 6 až 10 %. [65]

U jednodušších molekul jako je například již zmiňovaný metan lze použít pro odhad stanovení energie entalpickou bilance, která je definována Hesovým zákonem. [65]

$$H_{reakce} = H_{f, produkt}^0 - \sum H_{f, reaktant}^0 \quad (8)$$

Kde: H_{reakce} je reakční entalpie (celková změna entalpie během reakce);

$H_{f, produkt}^0$ je slučovací entalpie produktů;

$H_{f, reaktant}^0$ je entalpie reaktantů. [65]

Technologie zpracování kalů

Technologický proces úpravy kalů sestává z několika klíčových kroků: nejprve dochází k zahušťování, následuje stabilizace, odvodnění a závěrečná fáze spočívající ve finálním

využití nebo likvidaci. Hlavními cíli této posloupnosti úprav je minimalizace objemu kalu, eliminace nežádoucího zápachu a dosažení takových vlastností, které umožní jeho další využití. Během stabilizace kalu dochází k významné transformaci chemické spotřeby kyslíku. Tento proces je zásadní pro úpravu vlastností kalu, přičemž jeho hlavním účelem je potlačení biologických procesů, které by jinak mohly způsobovat hygienická rizika a senzorické problémy. [63]

Výsledkem stabilizačního procesu je kal, který vykazuje:

- minimální zápach;
- výrazně sníženou hygienickou závadnost;
- zlepšené odvodňovací vlastnosti. [63]

4.5.3. Anaerobní stabilizace kalu

Proces anaerobní stabilizace se uskutečňuje v prostředí bez přístupu kyslíku, kde specifické mikroorganismy rozkládají biologicky odbouratelné organické složky obsažené v surovém kalu. Přitom je uvolňován bioplyn a kalová voda se průběžně odebírá. Charakteristický je také výrazný posun v poměru organických a anorganických látek – zatímco v surovém kalu převažují organické látky v poměru zhruba 2:1 vůči anorganickým, po dokončení stabilizačního procesu se tento poměr vyrovnává. [63]

Anaerobní rozklad organických látek je několikastupňový proces, na kterém se podílí mnoho skupin anaerobních mikroorganismu vzájemně se ovlivňujících. [66]

Reakce postupného rozkladu org. látek:

- hydrolýza představuje první fázi rozkladu, při které extracelulární enzymy rozkládají komplexní organické látky. Konkrétně se jedná o proteiny, polysacharidy a lipidy, které jsou štěpeny na jednodušší rozpustné molekuly jako aminokyseliny, monosacharidy a mastné kyseliny. Tento enzymatický proces probíhá vně bakteriálních buněk;
- acidogenezi dochází k dalšímu rozkladu produktů hydrolýzy. Směr tohoto procesu je významně ovlivněn parciálním tlakem vodíku v systému. Při vyšším parciálním tlaku vodíku vznikají především etanol a vyšší mastné kyseliny (octová, mléčná). Při nižším parciálním tlaku vodíku vznikají jednodušší produkty jako kyselina octová, vodík a oxid uhličitý;

- acetogeneze je třetí fází, během které probíhá oxidace produktů acidogeneze. Pro správný průběh této fáze je nezbytný nízký parciální tlak vodíku. Za těchto podmínek vzniká kyselina octová, vodík a oxid uhličitý;
- metanogeneze představuje závěrečnou fázi procesu a probíhá dvěma hlavními cestami. První je acetotrofní, při které dochází k přeměně kyseliny octové na metan a oxid uhličitý. Druhá cesta je hydrogenotrofní, kdy metanogenní mikroorganismy využívají vodík k redukci oxidu uhličitého na metan. [66][67]

Podmínky pro metanové bakterie:

- vlhkost prostředí hraje klíčovou roli pro správné fungování a množení metanových bakterií. Obsah vody v substrátu musí dosahovat minimálně 50 %;
- metanové bakterie jsou striktně anaerobní;
- při světle je produkce bioplynu zpomalena;
- bakterie nejlépe pracují při stálé teplotě, nejvhodnější teplota pro bakterie je 0–70 °C. Při vyšších teplotách hynou a při záporných teplotách přestávají pracovat;
- bakterie potřebují ze substrátu přijímat dusíkaté sloučeniny, minerální látky a stopové prvky. [67][66]

Anaerobní vyhnívání se uskutečňuje ve speciálních metanizačních nádržích, které nazývají fermentory. Tyto nádrže musí být dokonale vodotěsné a plynotěsné, aby byl proces efektivní a bezpečný. Pro jejich konstrukci se používají dva základní materiály – ocel nebo železobeton. Nádrže mají nejčastěji tvar válce s kuželovou střechou a dnem, případně mohou být vejčitého tvaru. Při navrhování se upřednostňují nádrže s větším objemem. Důvodem je, že s rostoucím objemem se snižuje poměr povrchu nádrže k jejímu objemu. Menší povrch nádrže znamená nižší tepelné ztráty a lepší energetickou účinnost celého procesu. V případě větších čistírenských zařízení se obvykle buduje více nádrží současně. Tyto nádrže pak pracují paralelně. Paralelní systém umožňuje větší flexibilitu provozu a zajišťuje možnost údržby jednotlivých nádrží bez přerušení celého procesu. [63]

Míchání a teplota patří k nejdůležitějším faktorům ovlivňující průběh vyhnívání.

Míchání v metanizačních nádržích je klíčovým faktorem pro efektivní průběh anaerobního vyhnívání. Zajišťuje rovnoměrnou teplotu v celé nádrži, podporuje lepší

kontakt mezi mikroorganismy a substrátem. Zabraňuje také usazování těžších částic na dně nádrže a předchází tvorbě plovoucí krusty na hladině. [63]

Anaerobní stabilizace je velmi citlivý proces, který vyžaduje přesnou regulaci teploty. Vytápění fermentorů lze zajistit několika způsoby – buď pomocí topných těles umístěných uvnitř nebo vně nádrže, nebo přímým vstříkáváním páry do nádrže. Mikroorganismy zapojené do procesu mají různé teplotní nároky. Tyto nároky můžeme rozdělit do tří základních rozmezí (široké, úzké a optimální). Každé rozmezí odpovídá specifickým podmínkám, ve kterých mohou mikroorganismy efektivně fungovat. Pro úspěšný průběh anaerobní fermentace je nezbytné udržovat teplotu v rozmezí odpovídajícím požadavkům přítomných mikroorganismů. Stabilní teplotní podmínky zajišťují optimální růst a metabolickou aktivitu mikroorganismů podílejících se na procesu. [63]

Tab. 10 Mikroorganismy podle nároků na teplotu [63]

Mikroorganismus	Teplotní rozmezí [°C]		
	Široké	Úzké	Optimální
Psychrofilní	<0;30>	<0;27>	<15
Mezofilní	<5;50>	<27;45>	<45
Termofilní	<25;0>	<45;60>	>45

Pro anaerobní vyhnívání se využívají dva hlavní teplotní režimy – mezofilní a termofilní. Termofilní proces, který probíhá při vyšších teplotách, přináší několik významných výhod díky rychlejšímu průběhu biochemických reakcí. Termofilní proces umožňuje dosáhnout vyššího stupně stabilizace substrátu. Dochází při něm k účinnějšímu odstranění organických látek z materiálu. Významnou výhodou je také kratší doba zdržení materiálu v reaktoru. [63]

Produkce bioplynu závisí na složení přiváděného kalu. Z čistírenských kalů obsahuje 60–70 % metanu, 30–35 % oxidu uhličitého, 3–4 % vody, sulfan, dusík, vodík, amoniak. Z 1 kg přiváděné organické hmoty lze získat 400–500 m³ bioplynu. Výhřevnost bioplynu činí 13,7–27,4 kJ·m⁻³ a je ovlivněna obsahem metanu, který má vyšší výhřevnost 34,3 kJ·m⁻³. [66]

Bioplyn vyrobený v čistírnách odpadních vod slouží k:

- kombinované výrobě elektrické energie a tepla kogenerační jednotkou;

- kombinované výrobě elektrické energie a využití tepla nebo chladu třígenerační jednotkou;
- pohonu spalovacích motorů s vnitřním i vnějším spalováním;
- spalování za účelem topení nebo chlazení;
- spalováním v kotlích s ohřevem teplotnosného média;
- výrobě biometanu pro vtláčování do rozvodné sítě zemního plynu;
- výrobě vodíku a oxidu uhličitého pro palivové články;
- zdroji chemických surovin. [37]

Zvýšení produkce bioplynu

Zlepšení výkonnosti bioplynové stanice lze dosáhnout především optimalizací provozu stanice. To znamená zabezpečení optimálních podmínek pro využití stávajících technologických komponent BPS a optimalizací podmínek procesu vhodným dávkováním substrátu, dostatečným mícháním reaktorů, dodržováním technologických parametrů – správného zatížení a doby zdržení, zabezpečení konstantní teploty. Další možností zvýšení výkonnosti bioplynové stanice je volba skladby substrátu ve prospěch lépe rozložitelných substrátů s vyšší výtěžností bioplynu nebo s nižším obsahem organického dusíku. [66]

Kofermentace znamená fermentování vybraných vstupních materiálů. Díky správné kombinaci substrátů můžeme docílit lepšího vlivu na průběh procesu výroby bioplynu, a to jak kvalitou, tak množstvím. Při tomto procesu může dojít i k nežádoucímu zatížení biologických procesů na ČOV. [67][68]

Problémem u kofermentace představují samotné bioplynové stanice. Ty se rozdělují na:

- čistírenské BPS, které jsou součástí ČOV a podle Ministerstva životního prostředí mohou zpracovávat pouze kaly z čistíren odpadních vod;
- zemědělské BPS zpracovávají zemědělské plodiny (kukuřice, traviny), živočišný odpad (keřda, hnůj) a rostlinné zbytky;
- ostatní BPS veškeré ostatní odpady podle zákona o odpadech. Patří sem například gastroodpady, průmyslové bioodpady, odpady z potravinářství. [69]

Pro využití materiálů ve vyhnívání mimo čistírenské kaly, je potřeba transformovat čistírenské BPS na ostatní. K tomu se váží požadavky na ostatní BPS. Jednou z podmínek

je dostatečná kapacita zásobních nádrží na vyhnitý kal na dobu minimálně čtyř měsíců, ty u čistírenských BPS nejsou vyžadovány. Tato podmínka plyne z potřeby u ostatních BPS skladovat zpracovaný digestát, který se u ČOV průběžně zpracovává. [69]

Biomasa

Biomasa je veškerá hmota biologického původu. Jedná se o největší zdroj obnovitelné energie v České republice. Biomasa se dělí na zemědělskou, lesní a zbytkovou. [37]

Zemědělská biomasa se cíleně pěstuje. Mezi zástupce patří byliny, trvalé travní porosty, biomasa ze zahrad, chmelnic, vinic a rychlerostoucí dřeviny. Z konkrétních zemědělských plodin se využívá kukuřice v siláži, která se sklízí v mléčně voskové zralosti, cukrová řepa a trvalé travní porosty, které se využívají v čerstvém stavu. Z cíleně pěstovaných plodin a dřevin se pro bioplyn využívají Chrastice rákosovitá, Čirok, Kostřava rákosovitá atd. [37]

Zbytková biomasa vzniká druhotně při zpracování rostlinné a živočišné biomasy. Patří sem zbytky při rostlinné výrobě, při zpracování dřeva, odpady ze živočišné výroby (zbytky krmiv, exkrementy), organický podíl komunálních odpadů, organické zbytky z údržby zeleně, odpady z potravinářské a lihovarské výroby a kaly z čistírenských vod. [37]

Tab. 11 Výtěžnost bioplynu z jednotlivých druhů odpadů [70]

Název odpadu	Výtěžnost [$\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$]
Lihovarské výpalky	60
Bramborové slupky	74
Cukrová řepa	90
Odpad ze zeleniny	90
Mlato	120
Tráva a listí (siláž)	168
Zelená řezanka	175
Kukuřičná siláž	190
Žitná siláž	195
Pšeničné odpady	360
Řepkové pokrutiny	600
Pekárenský odpad	714
Tuky	826–1200
Potravinový odpad	110
Kaly z ČOV	47

Gastroodpad

Je biologicky rozložitelný odpad živočišného nebo rostlinného původu z kuchyní a stravoven, do této skupiny jdou zařadit i prošlé potraviny z velkoobchodů. Tyto odpady nesmí mít hygienické dopady na zdraví lidí ani zvířat. Odpadní vody ze specifických potravinářských výroby (mlékárenské flotační kaly, pivovarské mláto, odpadní vody z výroby vína apod.) mohou dosahovat až desetinásobného vývinu bioplynu oproti čistírenským kalům a tím negativně ovlivnit vyhnívání. [69][68]

Odpady z údržby zelených ploch

Využití posečené trávy závisí na době sklizně a obsahu vlhkosti. Pro anaerobní fermentaci je optimální sklizeň ve fázi sloupkování, kdy tráva obsahuje 15–25 % sušiny. Naopak pro spalování je třeba trávu vysušit pod 20 % vlhkosti. Nejlepších výsledků při produkci bioplynu dosahuje travní hmota z rané fáze růstu, zejména po desintegraci čerstvé fytomasy. Se sklizní provedenou během kvetení klesá jak výtěžnost bioplynu, tak obsah metanu. [71]

Menší čistírny odpadních vod

Z menších ČOV lze kal odvodnit a převést k čistírnám s anaerobním vyhníváním. Tím se při snížené produkci doplní kal.

Celulóza

Primární kal obsahuje velké množství biologicky rozložitelných organických látek, mezi které patří proteiny, sacharidy a celulóza. Celulóza představuje asi 30–50 % suspendovaných částic, které jsou přiváděny do čistíren odpadních vod. Hlavním zdrojem celulózy v městských odpadních vodách je toaletní papír. Klíčovou podmínkou pro využití tohoto potenciálu je instalace jemných sít s velikostí ok 80 až 850 mikronů. Preferují se oka nad 350 mikronů. Menší oka se volí, pokud odpadní voda obsahuje málo velkých částic a je potřeba iniciovat tvorbu filtrační vrstvy. Zachycená celulóza je v podobě kalu odvodněna pomocí šnekových lisů. Odvodněný kal se smíchává se surovým kalem a je připraven na vyhnívání. [72][73]

Fyzikálně chemické metody dezintegrace kalu

Zvýšení biologické rozložitelnosti substrátu je založeno na zpřístupnění substrátu enzymovému rozkladu.

Způsoby dezintergrace kalu:

- mechanické metody dezintegrace tuhých látek v substrátu zahrnují různé způsoby zpracování jako mletí, drcení a další podobné procesy. Zmenšením objemu tuhých částic dochází ke zvětšení jejich celkového povrchu, což významně zlepšuje přístupnost organických látek pro enzymatický rozklad. Tento proces umožňuje efektivnější zpracování substrátu a optimalizuje podmínky pro následnou biodegradaci materiálu;
- chemické metody jsou založeny na rozkladu složitých organických látek pomocí hydrolýzy. Tento proces využívá působení minerálních kyselin, alkálií nebo oxidačních činidel, jako je například ozon. Tyto chemické látky způsobují destrukci komplexních organických struktur a jejich přeměnu na jednodušší sloučeniny, které jsou lépe zpracovatelné v dalších fázích procesu;
- využívají především termickou hydrolýzu, která převádí významnou část pevné fáze substrátu na jednodušší organické sloučeniny. Kromě termické hydrolýzy zahrnuje dezintegrace i ionizující záření a působení ultrazvuku, přičemž všechny tyto metody vedou k destrukci složitých organických látek. Legislativou požadovaná termická předúprava může mít formu buď pasterizace nebo hygienizace;
- Enzymová nebo mikrobiální předúprava využívá buď čisté vyráběné enzymy nebo přímé působení mikroorganismů s vysokou celulázovou aktivitou, jako jsou bachorové kultury či anaerobní houby. V případě průmyslových jednodruhových substrátů lze proces významně zlepšit dotováním fermentační směsi mikronutrienty. Tato biologická metoda předúpravy představuje efektivní způsob rozkladu komplexních organických struktur. [66][74]

4.5.4. Termické zpracování kalu

Tento způsob zpracování kalů přináší řadu významných výhod. Mezi nejvýznamnější patří výrazná redukce objemu kalu, která může dosahovat až 90 %. Proces zajišťuje kompletní hygienizaci materiálu a nabízí možnost energetického využití ve formě výroby tepla a elektřiny. Na druhé straně existují i významné nevýhody tohoto procesu, především vysoké investiční náklady na výstavbu zařízení a následné vysoké provozní náklady, zejména na kontinuální měření emisí. Proces vyžaduje předúpravu kalu včetně nutnosti odvodnění a sušení, což zvyšuje energetickou náročnost. [65]

Tab. 12 Charakteristika metod termického zpracování [65]

Metoda	Spalování	Zplyňování	Pyrolýza
Teplota [°C]	900–1000	590–980	200–590
O ₂	Přebytek O ₂	Omezené O ₂	Bez O ₂
Vedlejší produkt	Spaliny (CO ₂ , H ₂ O) a popílek	Syntézní plyn (CO, H ₂) a popílek	Pyrolyzní plyn, oleje, dehty a koks

Přímé spalování a spoluspalování

Termické zpracování čistírenských kalů nabízí dvě hlavní metody využití. První výrazně preferovanější metodou je monospalování, tedy samostatné spalování čistírenských kalů. Přímé spalování přináší kromě produkce tepla a elektrické energie i další významnou výhodu. Touto výhodou je získání neznehodnoceného popela. Popel obsahuje cenné živiny, které lze dále využít, například jako přísadu do hnojiv. Druhou metodou je spoluspalování kalů jako příměsí k ostatním odpadům. Spalování odpadů vyžaduje nepřetržité monitorování emisí, což významně zvyšuje jak provozní, tak investiční náklady. Existuje však možnost optimalizace nákladů v případě spaloven umístěných přímo na čistírnách odpadních vod. V těchto případech lze efektivně využít teplo vznikající při spalování k sušení čistírenských kalů. Toto řešení umožňuje částečnou kompenzaci vysokých provozních nákladů a zvyšuje celkovou energetickou účinnost procesu. [61]

Zplyňování

Zplyňování je řízený rozklad organických materiálů na plynné palivo označované jako syntetický plyn nebo syngas. Syngas se skládá především z CO, CO₂, H₂ a CH₄ a má nízkou výhřevnost 4500–5500 kJ·m⁻³, což představuje přibližně 25 % výhřevnosti bioplynu vznikajícího při anaerobní digesti. [65]

Pyrolýza

Při pyrolýze dochází k termochemickému rozkladu organických látek v anaerobních podmínkách. Pyrolýza při vysokých teplotách produkuje spalitelný plyn tzv. pyrolyzní plyn s nízkou výhřevností, avšak může být také využita k výrobě zuhelnatělého zbytku a oleje. Pyrolýza vyžaduje vysoké investiční náklady a spotřebuje velké množství chladicí vody. [65]

4.5.5. Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie

Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie (kogenerace) představuje společnou produkci konečných forem energií, které jsou přeměněny z primární formy. V praxi se nejčastěji setkáváme s výrobou elektrické a tepelné energie. Kogenerační systém je zařízení, které zajišťuje výrobu a distribuci elektrické a tepelné energie podle požadovaných parametrů spotřeby. Elektrická energie má tu výhodu, že ji lze snadno přeměňovat na jiné druhy energie. Tepelná energie se řídí druhým termodynamickým zákonem a její přeměna je závislá především na teplotě. Tato přeměna probíhá v kogeneračních jednotkách. [75]

Kombinovaná výroba má oproti oddělenému systému tyto výhody:

- nejvýznamnějším přínosem je integrace výroby tepelné a elektrické energie do jediného systému, což výrazně zvyšuje účinnost využití primárního paliva;
- strategické umístění výrobních jednotek v blízkosti spotřeby, to vede k nižším ztrátám přenosu a distribucí elektrické energie;
- Z environmentálního hlediska kombinovaná výroba přispívá k ochraně životního prostředí, protože efektivnější využití paliva vede ke snížení celkových emisí škodlivých látek do ovzduší. [75]

Kogenerační jednotky zajišťují přeměnu primární energie obsažené v palivu na elektrickou energii. Součástí tohoto procesu je i využití zbytkové tepelné energie. Tepelná energie, kterou není možné transformovat na elektrickou energii, nachází efektivní využití v systému dodávek tepla. [75]

Transformace energie z paliva lze rozdělit podle fyzikálního hlediska na:

- nepřímý způsob transformace je prostřednictvím vícero transformací (uvolnění tepla z primárního zdroje – získání technické práce – využití práce pro mechanický pohon spotřebičů);
- přímý způsob přeměny převádí energii paliva přímo na elektrickou. [75]

Zařízení KGJ

Zařízení pro úpravu primárního zdroje energie

Slouží k úpravě parametrů vstupní formy energie na hodnoty, se kterými pracuje primární jednotka. Zařízení může homogenizovat palivo nebo zvyšovat energetické využití paliva. [75]

Primární jednotka

V jednotce dochází k přeměně energie obsažené v palivu na elektrickou nebo tepelnou energii. V jednotce vzniká také uvolněné nebo zbytkové teplo, které lze dále využívat. Jednotka může být tvořena tepelným motorem nebo palivovým článkem. [75]

Zařízení pro výrobu a úpravu elektrické energie

Primární zařízením je elektrický generátor, který přeměňuje mechanickou energii vyrobenou v primární jednotce na elektrickou. Generátory se používají střídavé nebo stejnoměrné. U malých jednotek se používá asynchronní generátor. V případech, kdy je potřeba upravit frekvenci nebo transformaci stejnoměrného proudu na střídavý použije se místo generátoru elektrický měnič. [75]

Zařízení pro rekuperaci tepelné energie

Zařízení slouží k odvedení tepelného výkonu z jednotky na požadované parametry a formu (nízkoteplotní voda do 100 °C, vysokoteplotní od 150 do 200 °C, vodní pára nebo teplý vzduch). [75]

Rozdělení

Podle zdroje primárního paliva:

- obnovitelný zdroj – sluneční energie, energie okolního prostředí, geotermální energie a biomasa;
- neobnovitelný zdroj – fosilní paliva. [75]

Podle výkonu:

- mikro do 50 kW_E;
- mini do 500 kW_E;
- malého výkonu do 1 MW_E;

- středního výkonu do 50 MW_E;
- velkého výkonu nad 50 MW_E. [75]

4.5.6. Využití tepelné energie

Z motorů kogeneračních jednotek vzniká odpadní teplo. Hlavně v létě vzniká tepla nadbytek a je potřeba teplo odvádět. K tomu slouží chladicí okruhy, které odvádí teplo do ovzduší. Chladič odvádí teplo ventilátorem mimo strojovnu KGJ. Využit teplo lze prostřednictvím dvou kroků. První stupně lze provést přes výměník tepla odpadních plynů motoru a druhý krok přes vodou obtékanou tvarovku. [67]

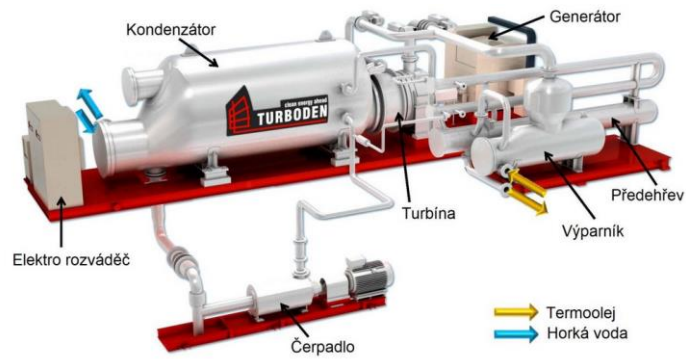
4.5.7. Přeměna tepelné energie na elektrickou

Organický Rankinův cyklus

Organický Rankinův cyklus je uzavřený termodynamický cyklus využívající jako pracovní médium organickou látku s nižším bodem varu než voda. Pracovní látka je v uzavřeném okruhu postupně čerpána do výparníku, kde se díky přívodu tepla vypařuje, následně expanduje v turbíně, kde předává svou energii pro výrobu elektřiny, a poté kondenzuje v kondenzátoru zpět do kapalného stavu. Tento systém je zvláště vhodný pro využití nízkopotenciálního tepla, protože pracovní látky se odpařují při nižších teplotách než voda, což umožňuje efektivní využití odpadního tepla nebo geotermální energie pro výrobu elektrické energie. Celý proces probíhá v hermeticky uzavřeném systému, čímž se minimalizují ztráty a zajišťuje vysokou účinnost přeměny tepelné energie na elektrickou. [76] [77]

Organický Rankinův cyklus se dělí podle typu zpracovávaného tepla na:

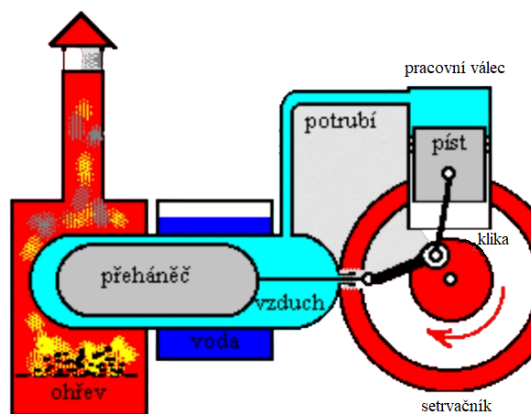
- Spalinové ORC využívá výhradně spaliny z motoru kogenerační jednotky. Přibližně 50 % tepelné produkce motoru kogenerační jednotky je obsaženo ve spalinách. Toto teplo lze efektivně přeměnit na elektrickou energii pomocí přímého napojení na spalinové ORC;
- Horkovodní ORC systém maximalizuje využití zbytkového tepla z kogenerační jednotky. Systém není napojen přímo na spaliny, ale na horkovodní okruh motoru. [78]



Obr. 31 Organický Rankinův cyklus [76]

Stirlingův motor

Stirlingův motor funguje na základě uzavřeného termodynamického cyklu, kde pracovní médium (nejčastěji plyn) cirkuluje mezi pracovním a výtlačným pístem. Plyn je cyklicky přemísťován mezi ohřivačem (horkou zónou) a chladičem (studenou zónou), přičemž při ohřátí dochází k jeho rozpínání a při ochlazení ke smršťování. Tyto tlakové změny působí prostřednictvím pracovního pístu na klikový mechanismus, a mechanická energie generovaná tímto procesem je následně pomocí generátoru transformována na energii elektrickou. Účinnost Stirlingova motoru se významně odvíjí od teplotního rozdílu mezi teplou a studenou stranou pracovního plynu. Pro efektivní funkci Stirlingův motor vyžaduje teploty nad 300 °C. [79] [77]



Obr. 32 Stirlingův motor [80]

5 ZELENÁ INFRASTRUKTURA

Zelenou infrastrukturou jsou pojmenovány prvky zeleně, v případě použití vodních prvků se hovoří o zeleno-modré infrastruktuře. Podle zákona č. 283/2021 Sb. (Stavební zákon) patří zelená infrastruktura mezi veřejnou infrastrukturu, která je tvořena z ploch, vegetačních a vodních prvků přírodního a polopřírodního charakteru, která podporuje funkce ekosystému. Podporou zelené infrastruktury se zlepšuje kvalita lidského života. [81]

Funkce mohou být:

- environmentální – zadržování a čištění vody, regulace teploty, podpora biodiverzity, zlepšení kvality ovzduší, absorpce oxidu uhličitého, ochrana před erozí,
- sociální – zlepšení fyzického a duševního zdraví obyvatel, zvýšení estetické hodnoty,
- ekonomické – snížení nákladů na šedou infrastrukturu, zvyšování hodnoty nemovitostí, podpora místní ekonomiky a zaměstnanosti. [81]

5.1.1. Zelené střechy

Zelená střecha je střecha částečně nebo zcela pokrytá vegetací a půdou, nebo pěstebním substrátem vysazovaným nad hydroizolační membránu. Konstrukce střechy je od konstrukce zatravnění střechy oddělená dělicí, dilatační a ochrannou vrstvou proti prorůstání kořinek. Vlastní vegetační vrstvu tvoří drenážní vrstva (keramzit, kuličky z polystyrenu), filtrační vrstva (syntetická textilie, minerální nebo skleněné rohože), hydroakumulační vrstva (rašelina nebo tuhé minerální desky) a vrchní vegetační vrstva. [82]

Extenzivní střechy jsou nepochozí zelené střechy s maximální mírou autoregulace, která se vyznačuje nízkou tloušťkou vegetačního souvrství, obvykle 5–20 cm. Při mocnosti 10 cm může střecha absorbovat až 50 % spadené dešťové vody. Je vhodná pro střešní konstrukce s nižší únosností, jelikož hmotnost vegetačního souvrství se pohybuje od 80 do 300 kg·m⁻². Vegetaci tvoří především nízké a suchomilné rostliny s vysokou regenerační schopností jako jsou rozchodníky, trvalky, skalničky, nižší suchomilné byliny a traviny. Tyto rostliny jsou schopné se přizpůsobit extrémním podmínkám stanoviště, včetně střídání tepla, sucha a mrazu. Údržba je minimální, vyžaduje pouze jednu až dvě kontroly ročně, které zahrnují vypletí, kontrolu odtoků a případné přihnojení. Plní

především okrasnou, retenční a izolační funkci, má však své omezení v podobě snížené funkční diverzity vzhledem k možnosti výsadby pouze odolných rostlin. [83]

Intenzivní střechy se vyznačují vyšší vrstvou, která se pohybuje od 20 do 150 cm a je přizpůsobena potřebám zvolených rostlin. Díky této mocné vrstvě substrátu dokáže systém velmi účinně zadržovat dešťovou vodu. Vzhledem k vyššímu zatížení, které se může pohybovat od 300 až po 2 000 kg·m⁻², je vhodná především pro střešní konstrukce s vysokou únosností. Vegetace může být velmi různorodá – od trávníků přes náročnější trvalky, růže a keře až po nízké stromy. Tyto střechy jsou koncipovány jako pobytové a umožňují častější pohyb osob. Vzhledem k náročnosti použité vegetace vyžadují intenzivní střechy pravidelnou a intenzivní údržbu včetně závlahy, což je činí náročnějšími na péči. [83]

5.1.2. Biosolární střecha

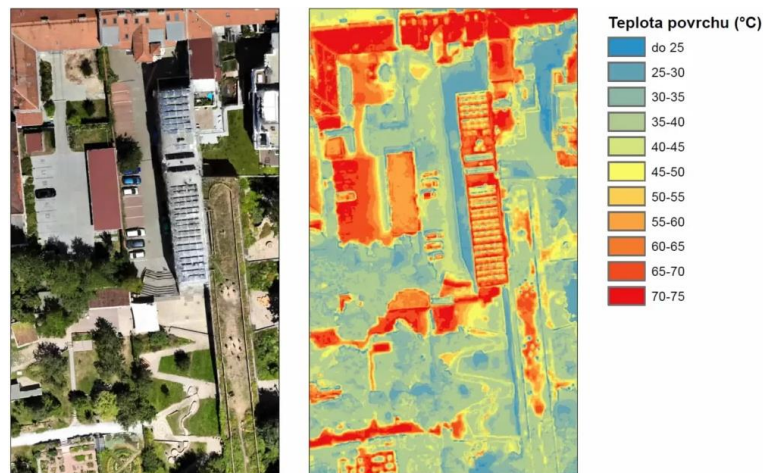
Střechy lze využít také kombinací zelené střechy a fotovoltaickými panely. Tyto dva systémy se navzájem doplňují. Z půdy a vodní akumulace dochází k evaporaci a z rostlin transpiraci, díky těmto dvěma vlivům dochází k ochlazení střechy a okolního prostředí. Tím je lépe chráněna hydroizolační vrstva střechy a pro solární panely zvyšuje výkon díky lepší účinnosti. Panely pak pomáhají vrháním stínu na vegetaci, čímž je zajištěna vyšší biodiverzita, dále pak brání nadměrnému vysušování střechy. [84]



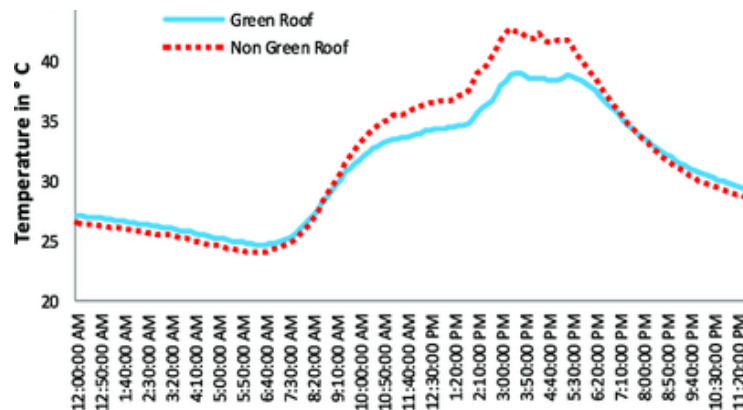
Obr. 33 Biosolární střecha [85]

V Austrálii byl zkoumán vliv extenzivní zelené střechy na úsporu energie v budově během typického letního dne. Výsledky ukázaly zajímavou dynamiku teplot. V nočních hodinách (20:00 až 8:00) byla teplota zelené střechy mírně vyšší než u konvenční střechy, s rozdílem 0,5 až 0,8 °C. Situace se výrazně změnila během dne, kdy vlivem slunečního

záření začala teplota rychleji stoupat u konvenční střechy. Zatímco nejvyšší zaznamenaná teplota venkovního vzduchu dosáhla 31,7 °C, povrchová teplota konvenční střechy vystoupala až na 42,75 °C. Nejvýraznější rozdíl mezi střechami byl zaznamenan v 15:00, kdy byla zelená střecha o 4 °C chladnější než konvenční střecha, což demonstruje významný chladičí efekt vegetace. Na základě studie provedené v subtropickém klimatu Austrálie bylo zjištěno, že instalace extenzivní zelené střechy může vést k významné úspoře energie v budově. Konkrétně bylo dosaženo snížení spotřeby energie o 11,7 % ve srovnání s konvenční střechou. Tento výsledek demonstruje potenciál zelených střech jako účinného nástroje pro zvýšení energetické účinnosti budov. [33]



Obr. 34 Termosnímky Otevřené zahrady 24.7.2019 13:00 [84]



Obr. 35 Teplotní rozdíl v průběhu dne bez klimatizace [33]

6 NAKLÁDÁNÍ S ENERGIÍ

6.1.1. Ukládání energie

Akumulace elektrické energie z obnovitelných zdrojů představuje klíčové řešení pro vyrovnávání nepravidelné produkce těchto zdrojů. K zajištění požadované potřeby energie při nepravidelné dodávce může akumulace sloužit jako alternativní řešení k náhradnímu zdroji energie. Systém funguje nezávisle na rozvodné síti. Vhodné pro odlehle objekty bez možnosti připojení k distribuční síti. Součástí akumulace je zdroj obnovitelné energie, regulátor nabíjení, zařízení na akumulaci a měnič napětí. Akumulace je zdatně dražší než systémy připojené k síti. Pro dimenzování je nutné zohlednit období s nejnižší produkcí energie (nejčastěji v zimních měsících) a dále spolehlivost s jakou musí být energie dostatek, pro důležité provozy je nutné zajistit záložní systém. [37][86]

Existuje několik hlavních způsobů ukládání energie:

- a) Akumulátory pracují na principu uchování elektrické energie přeměnou na energii chemickou. Jsou dnes nejběžnějším typem autonomních systémů. Úskalí je v životnosti baterií a omezený počet nabíjecích cyklů. Akumulátory mají životnost pouze 5–10 let, v porovnání se zdroji obnovitelné energie je jejich životnost zhruba poloviční. [38][86]

Využívá se více typů akumulátorů:

Olověné akumulátory patří mezi nejčastěji používané. Životnost těchto akumulátorů je 200 až 300 cyklů s účinností přeměny energie až 80 %. Kapacita je $35 \text{ Wh}\cdot\text{kg}^{-1}$. [38]

Alkalické akumulátory mohou být nikl-kadmiové (Ni-Cd) životnost 2000 cyklů, účinnost až 80 % a kapacita $26\text{--}35 \text{ Wh}\cdot\text{kg}^{-1}$ a nikl-ocelové (Ni-Fe), které jsou málo účinné. [38]

Lithium-iontové baterie jsou až o 20 % lehčí než olověné baterie. Díky vysoké reaktivitě lithia poskytuje baterie relativně vysoké napětí článku. Mají také zanedbatelné vybíjení a netrpí paměťovým efektem (pokles kapacity, pokud se nevybijí zcela do prázdna). Nevýhoda je životnost, která je u běžných malých baterií pouze 2–3 roky, tím je tento typ akumulace nákladný. [38]

- b) Setrvačníky fungují díky přeměně elektrické energie na kinetickou energii rotujícího tělesa. Elektromotor roztáčí setrvačnick na vysoké otáčky, přičemž elektrická energie

se ukládá ve formě kinetické energie. Při potřebě elektřiny funguje motor jako generátor a kinetická energie se přeměňuje zpět na elektrickou. Moderní setrvačníky využívají magnetická ložiska a vakuové pouzdro pro minimalizaci tření a ztrát. Výhodou je rychlá odezva, vysoká účinnost a dlouhá životnost. Vhodné jsou spíše pro krátkodobé uchování energie; [86]

- c) Systémy stlačeného vzduchu fungují na principu stlačování vzduchu pomocí kompresorů v době nadbytku energie. Když je potřeba elektřinu vyrábět, stlačený vzduch je uvolněn a pohání turbínu spojenou s generátorem. Moderní systémy navíc využívají teplo vznikající při kompresi, které je skladováno a později využito pro zvýšení účinnosti celého procesu. Vhodné jsou spíše pro krátkodobé uchování energie; [86]
- d) Ukládání ve formě vodíku. Elektrolýzou vody se dá získat vodík, který lze v době energetického nedostatku využít prostřednictvím palivových článků. Systém se skládá z elektrolyzéry, zásobníku vodíku a palivového článku (plynojem). Výhodná je u nich velikost akumulované energie, která závisí na velikosti vodíkové nádrže, systém taky netrpí ztrátou energie samovybíjením. Nevýhodou je nízká účinnost procesu (pod 50 %) a vysoké náklady. [37]

6.1.2. Připojení na rozvodnou síť

Systém připojený na rozvodnou síť představuje moderní způsob využití obnovitelných zdrojů energie. Jeho základní charakteristikou je trvalé propojení s distribuční elektrickou sítí, které umožňuje tok energie v obou směrech. Tento systém je ideální pro objekty s přístupem k rozvodné síti a vyžaduje nižší počáteční investice ve srovnání s autonomním systémem. Přebytky vyrobené energie jsou dodávány do distribuční sítě, zatímco v době nedostatku vlastní produkce je energie ze sítě odebírána. Distribuční síť tak v podstatě slouží jako neomezený akumulátor energie, protože přebytky lze do sítě ukládat a v době potřeby je zpětně odebírat. Majitel systému má navíc možnost výhodně prodávat přebytky energie distributorovi. Systém vyžaduje nižší náklady na údržbu a má menší nároky na kapacitu akumulace. Součástí systému je zdroj obnovitelné energie, měnič napětí, elektroměr, ochranné prvky pro připojení k síti a volitelná menší akumulace pro optimalizaci spotřeby. Majitelé mohou čerpat různé podpory a dotace, přičemž návratnost investice závisí především na výkupních cenách energie. [37]

7 PRAKTICKÁ ČÁST

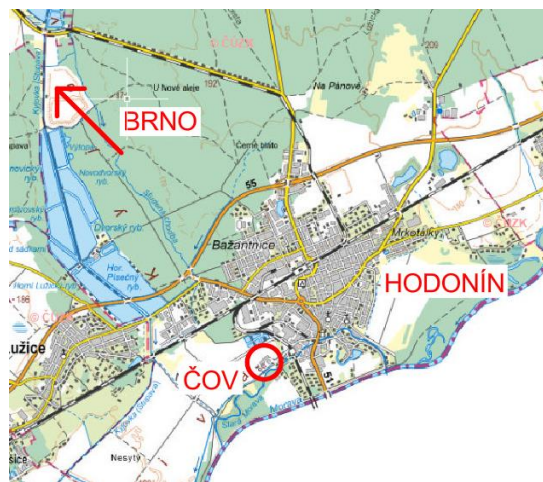
7.1 Popis

Hodonín se nachází 54 km jihovýchodně od Brna na hranici Moravy a Slovenska. Ve městě žije přibližně 23 805 obyvatel.

Okres: Hodonín

Kraj: Jihomoravský

Katastrální území: Hodonín



Obr. 36 Situační umístění ČOV Hodonín [87]

Čistírnu odpadních vod provozuje společnost Vodovody a kanalizace Hodonín, která provozuje také vodovody a kanalizace Veselí nad Moravou, Kyjov a Moravská Nová Ves. Předmětem společnosti je výroba, dodávka pitné vody a odvádění a čištění odpadních vod. VaK Hodonín působí v okrese Hodonín a části okresů Břeclav, Vyškov a Kroměříž. Společnost využívá obnovitelné zdroje energie ve formě fotovoltaických panelů s bateriovým úložištěm a tepelnými čerpadly na budově ředitelství a dalších objektech a výrobu energie z bioplynu na kogeneračních jednotkách. [88]

Provozovaná délka kanalizační sítě je celkem 629 km. Objem vyčištěných odpadních vod byl v roce 2023 9 219 tis. m³. Společnost provozuje 26 čistíren odpadních vod, z nichž vlastní 14. Pro tuto práci jsou důležité zejména čtyři čistírny, které mají projektovou kapacitu připojených více než 10 000 ekvivalentních obyvatel. Jedná se o ČOV Hodonín (49 112 EO), ČOV Bzenec (9 462 EO (v roce 2020 12 623 EO)) a ČOV Veselí nad Moravou (7 628 EO). ČOV VnM byla dříve klasifikována v kategorii nad 10 000 EO,

nicméně zatížení této čistírny se snížilo pod tuto hranici po několik posledních let. Proto by bylo vhodné přehodnotit její kategorizaci a zařadit ji mimo platnost návrhu směrnice. Tímto krokem se uspoří velké množství elektrické energie ($309,2 \text{ MWh} \cdot \text{rok}^{-1}$) na pokrytí soběstačnosti. [88]



Obr. 37 Čistírna odpadních vod Hodonín [89]

7.2 Vývoj soběstačnosti

7.2.1. 2016

V roce 2016 proběhl certifikační audit, při kterém byla ve VaK Hodonín certifikována norma ISO 50001 Systém managementu hospodaření s energií. Norma byla platná na období tří let a její prodloužení zajišťují dozorové audity. [88]

7.2.2. 2020

V roce 2020 byly na čistírně odpadních vod Hodonín realizovány významné investiční akce. Jednalo se především o rekonstrukci plynového hospodářství v hodnotě 4,2 mil. Kč a opravu dosazovacích nádrží DN 1 a DN 2 v celkové výši 8,5 mil. Kč. [90]

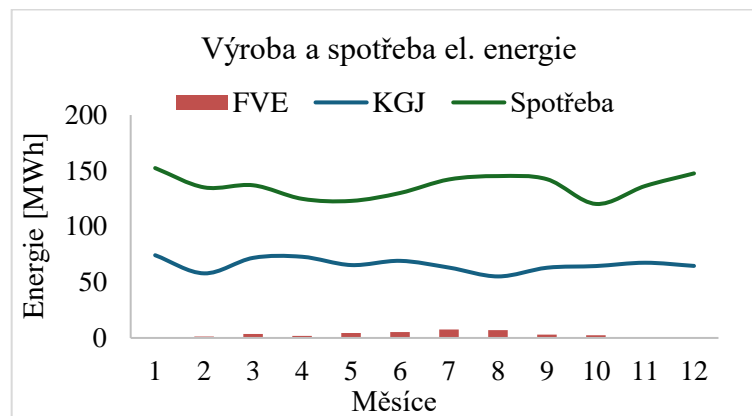
Z hlediska energetického hospodářství byly na ČOV v provozu dvě kogenerační jednotky s výkony 125 kW a 21 kW. Tyto jednotky za sledovaný rok vyprodukovaly celkem 703 MWh elektrické energie. Fotovoltaické panely instalované na ČOV Hodonín s výkonem 30 kW vyprodukovaly 24 MWh elektrické energie. Ve srovnání s ostatními objekty vodárenské infrastruktury (úpravna vody Moravská Nová Ves, Bzenec–Přívoz a ČOV Bzenec) byla produkce elektrické energie z fotovoltaických panelů na ČOV Hodonín o 17

až 25 % nižší. Celková produkce elektrické energie na ČOV Hodonín dosáhla v roce 2020 hodnoty 724 MWh, přičemž 97 % bylo vyrobeno kogeneračními jednotkami a zbývající 3 % fotovoltaickými panely. [90][91]

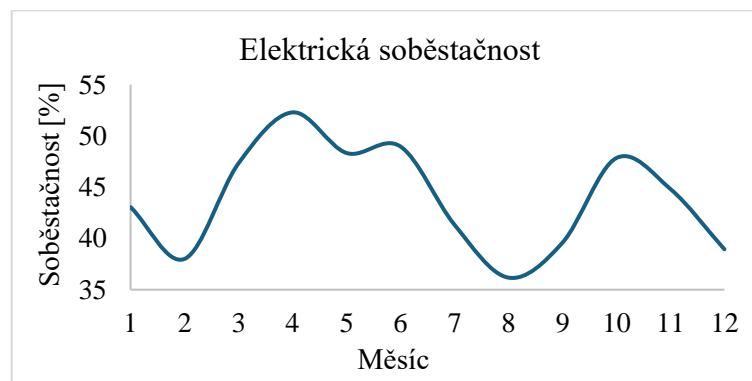
7.2.3. 2021

V rámci modernizace zařízení byla realizována rekonstrukce kotelny v hodnotě 12 tis. Kč. Významnou změnou byla výměna menší kogenerační jednotky o výkonu 21 kW za novou jednotku s výkonem 80 kW. Nová kogenerační jednotka byla nejprve testována v únoru a do plného provozu uvedena v listopadu téhož roku. [92]

Kogenerační jednotky byly v provozu celkem 8 765 hodin a vyprodukovaly 789 MWh elektrické energie. Fotovoltaické panely přispěly výrobou 19 MWh. Celková produkce elektrické energie tedy činila 808 MWh. Při průměrné ceně 2,67 Kč·kWh⁻¹ představovala vlastní výroba úsporu nákladů na nákup energie od společnosti E.ON ve výši 2 186 tis. Kč. Při celkové spotřebě elektrické energie 1 636 MWh dosáhla průměrná roční energetická soběstačnost ČOV 44 % (97,6 % KGJ a 2,4 % FVE). [93]



Obr. 38 Výroba a spotřeba el. energie (FVE 2x zvětšeno)

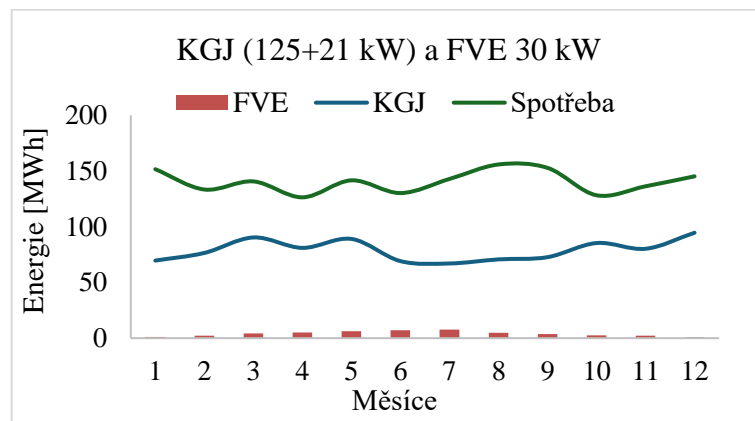


Obr. 39 Elektrická soběstačnost

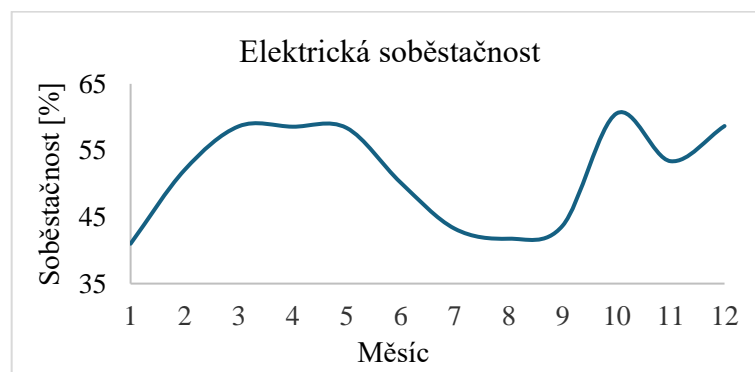
7.2.4. 2022

V roce 2022 byla dokončena rekonstrukce plynového hospodářství a odvodnění a zahuštění kalu 19 mil. Kč. To přispělo ke zvýšení energetické soběstačnosti ČOV. [94]

Z hlediska provozních hodin byly kogenerační jednotky využívány po dobu 15 222 hodin, během kterých vyprodukovaly 946 MWh elektrické energie. Instalované fotovoltaické panely se na celkové produkci podílely výrobou 23,9 MWh. Vlastní výroba elektrické energie v součtu dosáhla 969,9 MWh, což při průměrné ceně $2,72 \text{ Kč} \cdot \text{kWh}^{-1}$ znamenalo úsporu v nákladech na elektrickou energii 2 674 tis. Kč. Vzhledem k celkové roční spotřebě 1 685 MWh byla ČOV z 51 % energeticky soběstačná, přičemž dominantním zdrojem byly kogenerační jednotky (97,5 %) doplněné fotovoltaickými panely (2,5 %). V průběhu roku se míra energetické soběstačnosti pohybovala mezi 41 % v lednu a maximální hodnotou 61 % dosaženou v říjnu. [95]



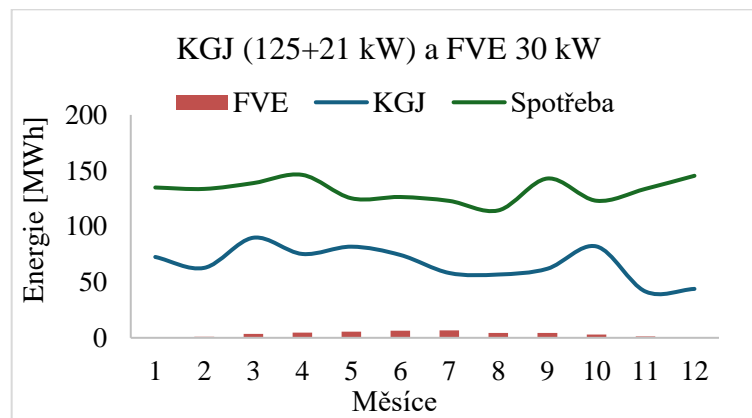
Obr. 40 Výroba a spotřeba el. energie (FVE 2x zvětšeno)



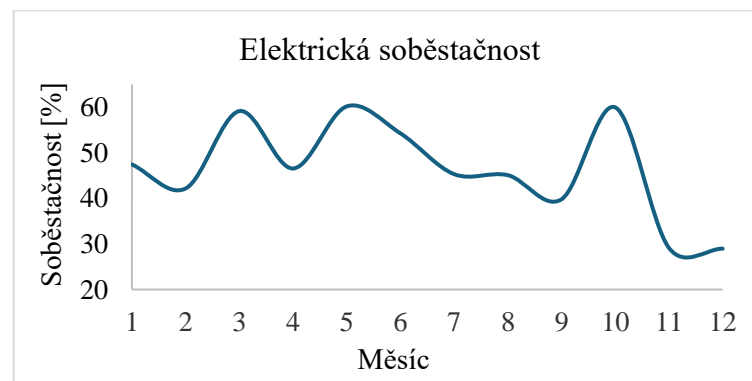
Obr. 41 Elektrická soběstačnost

7.2.5. 2023

Z pohledu energetického hospodaření v roce 2022 bylo zaznamenáno 13 466 provozních hodin kogeneračních jednotek, které vyrobily 800,8 MWh elektrické energie. K této produkci se připojily fotovoltaické panely s výrobou 20,7 MWh. Součtem obou zdrojů byla dosažena celková produkce 821,5 MWh elektrické energie. S ohledem na průměrnou cenu 3,69 Kč·kWh⁻¹ dosáhla úspora na nákupu energie od dodavatele E.ON částky 3 112 tis. Kč. Energetická soběstačnost ČOV činila 46 % z celkové roční spotřeby 1 587 MWh, kde dominantní podíl na výrobě měly kogenerační jednotky (97,5 %) a menší část připadla na fotovoltaické panely (2,5 %). Menší míra soběstačnosti vychází i ze skutečnosti, že menší 83 kW KGJ vyrobila o 10 % více než výkonnější 125 kW. Nejvyšší míra energetické soběstačnosti, dosahující 60 %, byla zaznamenána v květnu a říjnu. Naopak nejnižší hodnoty 29 % byly zaznamenány v listopadu a prosinci. Spotřeba energie se snížila díky instalaci nového dmychadla. Průměr energetické soběstačnosti poklesl, což bylo zapříčiněno omezením provozu KGJ v listopadu a prosinci. Provoz byl omezen z důvodu rekonstrukce. [96]



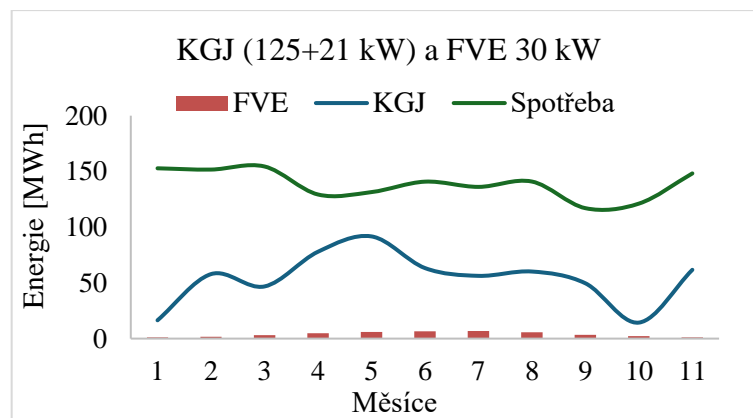
Obr. 42 Výroba a spotřeba el. energie (FVE 2x zvětšeno)



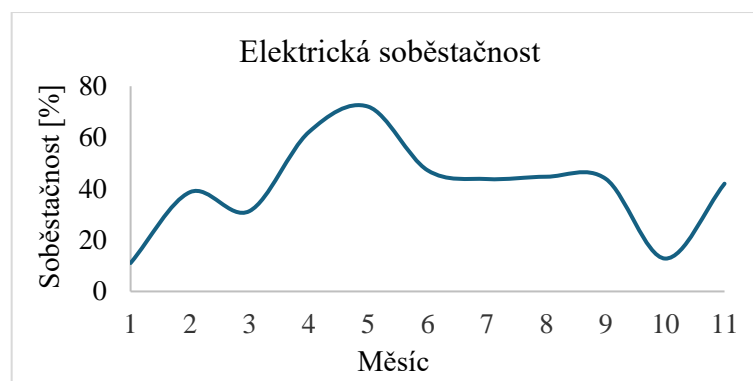
Obr. 43 Elektrická soběstačnost

7.2.6. 2024

Z pohledu energetického hospodaření za období leden až listopad 2024 (prosinec nebyl v době zpracování diplomové práce vyhodnocen) bylo zaznamenáno 9 440 provozních hodin kogeneračních jednotek, které vyrobily 596,1 MWh elektrické energie. K této produkci se připojily fotovoltaické panely s výrobou 21,2 MWh. Součtem obou zdrojů byla dosažena celková produkce 617,3 MWh elektrické energie. Energetická soběstačnost čistírny odpadních vod činila 40,9 % z celkové spotřeby 1 524 MWh za sledované období, kde dominantní podíl na výrobě měly kogenerační jednotky (96,6 %) a menší část připadla na fotovoltaické panely (3,4 %). Nejvyšší míry energetické soběstačnosti, která dosáhla 72 %, bylo dosaženo v květnu. Naopak nejnižší hodnoty 11,1 % byly zaznamenány v lednu a říjnu (12,8 %). Průměr energetické soběstačnosti poklesl oproti roku 2023 o 9,7 %, což bylo zapříčiněno rekonstrukcí v lednu a říjnovým propadem ve výrobě energie po povodních. Nicméně při testování druhé fáze se došlo ke stabilní soběstačnosti 62 %, to je pozitivní výsledek směrem ke 100 % soběstačnosti. [97]



Obr. 44 Výroba a spotřeba el. energie (FVE 2x zvětšeno)



Obr. 45 Elektrická soběstačnost

7.2.7. Zhodnocení soběstačnosti

Celková specifická spotřeba elektrické energie na 1 EO₁₂₀ za rok 2023 byla 31,4 kWh V rámci tuzemského průměru v kategorii nad 10 000 EO, který činí 34,1 byla v Hodoníně spotřeba nižší o 7,9 %. Do požadované BAT hodnoty (20 kWh·EO₁₂₀⁻¹·rok⁻¹) je potřeba spotřebu snížit o 36,3 %. [88]

Svorková výroba elektřiny v roce 2023 činila 16,3 kWh·EO₁₂₀⁻¹·rok⁻¹. V Česku je medián 11,0. Z testovaných čistíren je Hodonín v horních 40 %. BAT hodnota je 17 kWh·EO₁₂₀⁻¹·rok⁻¹, k této hodnotě je již čistírna velmi blízko. [88]

Soběstačnost v průběhu roku kolísá. Kolísání může být způsobeno rekonstrukcí některé z klíčových infrastruktur. Při rekonstrukci se musí navýšit kal v aktivaci, a proto lze méně využívat CHSK. V letních měsících soběstačnost klesá z důvodu vyšší spotřeby elektrické energie v aktivační části čištění. Přes léto klesá množství rozpuštěného kyslíku v aktivaci vlivem zvýšené teploty. Pokud hladina kyslíku klesne pod stanovenou úroveň, dmychadla přestanou být řízena regulací a pracují na vyšší výkon. Dalším faktorem jsou chlorid železitý a hlinitý, které mohou působit jako inhibitory biologických procesů. V létě při vyšších teplotách se zvyšuje reaktivita chemických látek a může být ovlivněna mikrobiální populace. [62][98]

Míru soběstačnosti nelze nikdy brát se 100% jistotou. Na to myslí i návrh směrnice, který při nedodržení stanovené soběstačnosti povoluje odkup až 35 % energií z neobnovitelných zdrojů. Výkyvy mohou být sezónní, plánované nebo zcela nahodilé. Sezónní výkyv může nastat v létě při vyšší spotřebě kyslíku během aktivačního procesu čištění. Při plánované rekonstrukci, revizi nebo opravách jsou omezovány některé procesy na čistírně, což vede ke snížené výrobě elektrické a tepelné energie. Nahodilé výkyvy mohou být způsobeny přírodními jevy.

To se ukázalo v září 2024 při povodních. Byl dosažen třetí stupeň povodňové aktivity – stav ohrožení. Na čistírnu odpadních vod díky jednotnému kanalizačnímu systému přitékalo obrovské množství městských odpadních vod promíchaných s dešťovými srážkami z kanalizačních vpustí. Snížená koncentrace CHSK negativně ovlivňuje účinnost čištění. Usazovací nádrže jsou hydraulicky přetíženy, což vede k vyplavování aktivovaného kalu. Často dochází k poruchám technologických zařízení vlivem zatopení nebo přetížení. Nižší koncentrace CHSK způsobuje snížení produkce bioplynu. Při

čerpání většího množství vody je zvýšena spotřeba energie. Proces anaerobní stabilizace je narušen změněnými podmínkami. Spotřeba energie na aeraci se zvyšuje kvůli větším objemům vody. Výroba elektrické energie se stává nestabilní. Vliv povodně na soběstačnost se projevil až v říjnu, přestože povodeň v Hodoníně udeřila ve druhé třetině září. Pokles soběstačnosti byl oproti předchozímu měsíci 29 %.

Tab. 13 Výkyv v soběstačnosti po povodních

Měsíc	Soběs. [%]
srpen	44,7
září	43,9
říjen	12,8
listopad	42,0

7.3 Větrná energie

7.3.1. Analýza větrných podmínek

Průměrná rychlost a převažující směr větru

V okolí čistírny se nachází tři poměrně blízké meteorologické stanice:

- a) Meteorologická stanice Strážnice (B1STRZ01) je vzdálená 17,6 km. Stanice měří rychlost větru. Měření se provádí automaticky s intervalem záznamu 10 minut. Stanice se nachází v nadmořské výšce 176 m n. m. Výška měření je 10 m nad zemí. Stanice je vybavena ultrasonickým snímačem. Měření probíhá od roku 1961. [99]

Tab. 14 Průměrné roční rychlosti větru stanice Strážnice [99]

N [let]	10	5	1
v [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]	1,74	1,68	1,73

- b) Meteorologická stanice Lednice (B2LEDN01) je vzdálená 23,8 km. Stanice měří rychlost větru. Měření se provádí automaticky s intervalem záznamu 10 minut. Stanice se nachází v nadmořské výšce 177 m n. m. Výška měření je 10 m nad zemí. Stanice je vybavena Anemovým čidlem. Měření probíhá od roku 1981. [99]

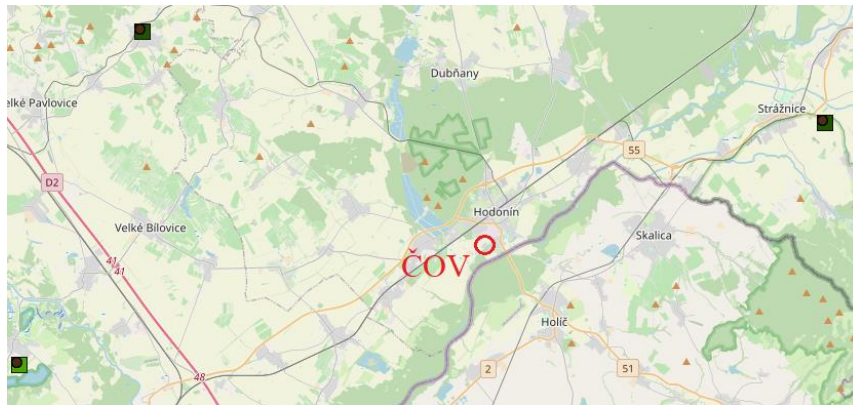
Tab. 15 Průměrné roční rychlosti větru stanice Lednice [99]

N [let]	10	5	1
v [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]	2,25	2,45	2,50

- c) Meteorologická stanice Kobylí (B2KOBY01) je vzdálená 20,3 km. Stanice měří rychlost větru. Měření se provádí automaticky s intervalem záznamu 10 minut. Stanice se nachází v nadmořské výšce 175 m n. m. Výška měření je 10 m nad zemí. Stanice je vybavena Anemovým čidlem. Měření probíhá od roku 2008. [99]

Tab. 16 Průměrné roční rychlosti větru stanice Kobylí [99]

N [let]	10	5	1
v [m·s ⁻¹]	2,00	2,07	2,20

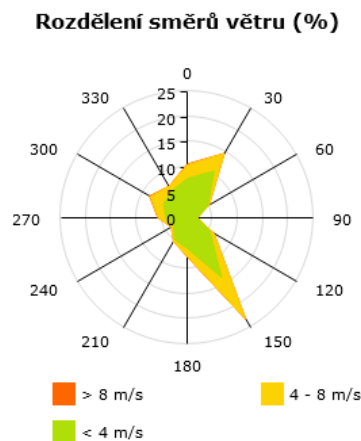


Obr. 46 Nejbližší meteorologické stanice s měřením větru [100]

Pro určení rychlosti větru, jeho četnosti, směrových charakteristik a hustoty pravděpodobnosti rychlosti větru lze použít větrná mapu AV ČR. Mapa byla vytvořena z numerického předpovědního modelu WRF s přibližným rozlišením 3 km. Mapa ukazuje rychlosti pro výšky 10 a 100 m. V našem případě budou důležité hodnoty pro stanovení rychlosti ve výšce 10 m. [101]

směr větru [°]	relativní četnost			prům. rychlost [m/s]	
	vše	0-4 m/s	4-8 m/s		> 8 m/s
0	10.6%	7.71%	2.71%	0.18%	3.05
30	14.7%	10.64%	4.00%	0.06%	3.14
60	5.0%	4.68%	0.31%	0.00%	1.94
90	2.0%	1.98%	0.02%	0.00%	1.28
120	6.1%	5.12%	0.97%	0.00%	2.71
150	23.2%	13.59%	9.45%	0.15%	3.73
180	7.7%	6.04%	1.57%	0.09%	2.73
210	5.4%	4.90%	0.49%	0.01%	1.97
240	3.6%	3.06%	0.51%	0.03%	2.28
270	5.8%	4.12%	1.60%	0.09%	3.16
300	8.6%	5.41%	2.96%	0.23%	3.57
330	7.2%	6.08%	1.10%	0.02%	2.48
celkem	100%	73.35%	25.70%	0.85%	3.01

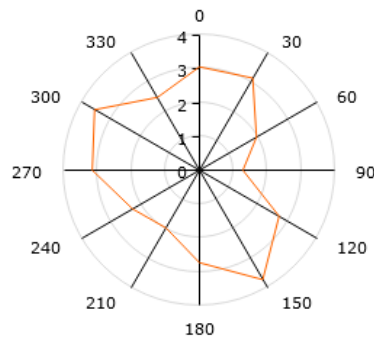
Obr. 47 Vyhodnocení větrných podmínek podle AV ČR [101]



Obr. 48 Větrná růžice rozdělení směru větru [101]

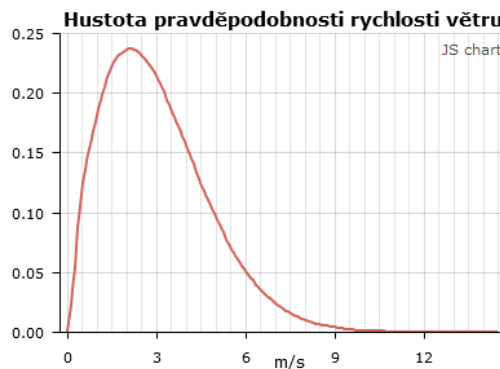
Rozdělení směrů větru je zobrazeno pomocí kruhového diagramu (větrné růžice), kde obvod kruhu představuje 360° azimutu. Četnost výskytu jednotlivých směrů je znázorněna pomocí soustředných kružnic, které se od středu směrem k okraji zvětšují v 5% intervalech. Délka úsečky od středu k okraji v daném směru tedy odpovídá procentuálnímu zastoupení větru v tomto směru. Dominantní jihovýchodní směr (150°) dosahuje 25% četnosti, zatímco severovýchodní směr (30°) představuje 15 % všech měření.

Průměrná rychlost větru (m/s)



Obr. 49 Větrná růžice průměrné rychlosti větru [99]

Nejvyšší průměrná rychlost větru je v jihovýchodním směru (150°) a dosahuje $3,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, následuje severozápadní směr (300°) s $3,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a severovýchodní směr (30°) s hodnotou $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

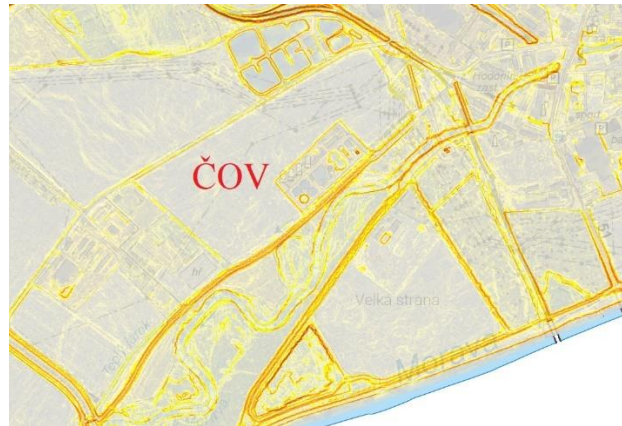


Obr. 50 Hustota pravděpodobnosti rychlosti větru [99]

Hustota pravděpodobnosti rychlosti větru ukazuje, jak často se vyskytují různé rychlosti větru během měřeného období. Hodnoty jsou znázorněny pomocí Weibullova rozdělení, které je charakteristické svým nesymetrickým tvarem s výrazným vrcholem a pozvolným klesáním směrem k vyšším rychlostem. Maximum křivky odpovídá rychlosti větru $2,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ s pravděpodobností výskytu 23,7 %. Tato hodnota představuje nejčastěji se vyskytující rychlost větru v měřeném období.

Překážky v okolí

Terén – areál se nachází v nadmořské výšce 162,52 m n. m. Zájmové území se nachází v provincii Západopanonská pánev, soustavě Vídeňská pánev, podsoustavě Vídeňská pánev, celku Dolnomoravský úval. V okolí je plochý reliéf s minimálními výškovými rozdíly. Oblast je součástí říční nivy řeky Moravy. Podle sklonitosti svahů jsou přilehlé oblasti rovinnaté. [102]

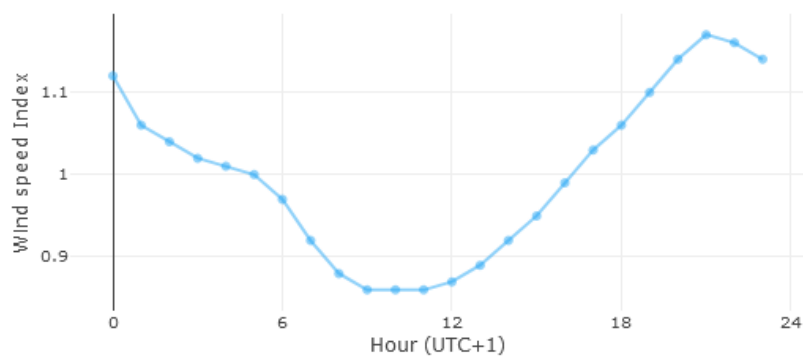


Obr. 51 Sklonitost území [103]

Vegetace – celá jihovýchodní strana je za areálem čistírny kryta vysokými listnatými stromy s výškou přibližně 10–15 m. Severní a západní strana areálu je obklopena zemědělskou půdou.

Zástavba – za ornou půdou je hustě zastavěný intravilán. Nachází se zde nízko podlažní domy i několika patrové bytové domy.

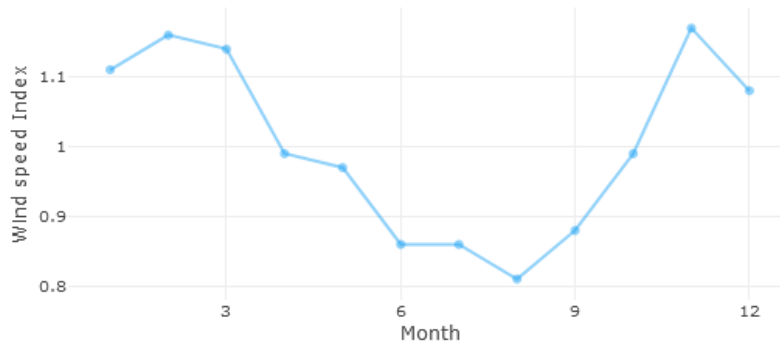
Ranní a večerní maxima vznikají kvůli teplotním rozdílům mezi vrstvami vzduchu. Chladnější vzduch u země a teplejší ve výškách vytváří stabilnější proudění. Menší turbulence umožňují lepší přenos hybnosti mezi vrstvami atmosféry. V těchto obdobích je také menší vertikální promíchávání vzduchu. Polední minimum díky silnému slunečnímu záření způsobuje intenzivní ohřev povrchu. Vzniká výrazné vertikální promíchávání vzduchu (termika). Turbulentní proudění snižuje horizontální přenos hybnosti. Destabilizace atmosféry vede k nepravidelnému proudění. [104]



Obr. 52 Denní nerovnoměrnost rychlosti větru [105]

Jarní a podzimní maxima jsou způsobeny většími teplotními rozdíly mezi různými zeměpisnými šířkami zesilují proudění. Častější průchody atmosférických front přinášejí silnější větry. Přechná období mezi teplou a studenou částí roku vytváří výraznější

tlakové gradienty. Letní minimum je způsobeno menšími teplotními rozdíly mezi zeměpisnými šířkami, které oslabují proudění. Převládá lokální cirkulace způsobená termickými vlivy. Stabilnější tlakové útvary přinášejí slabší větry. Častější výskyt tlakových výší s klidnějším počasím. [104]



Obr. 53 Měsíční nerovnoměrnost rychlosti větru [105]

Porovnání rychlosti z meteorologických stanice a numerického modelu

Z Tab. 17 je patrné, že numerický model nadhodnocuje rychlosti větru. Nejvyšší rozdíl je u stanice Strážnice (41,6 %) naopak nejnižší u stanice Lednice (18,8 %). Model může mít vyšší rychlosti z několika důvodů: terénní vlivy, které nemusí přesně odpovídat skutečné situaci v místě měření, v modelu není přítomné snížení rychlosti díky překážkám (vegetace nebo zástavba) i drsnost terénu může ovlivnit rychlost. Prostorové rozlišení modelu 3 km nemusí zachytávat lokální jevy. Chyba může být i modelu samotném.

V areálu ČOV byla stanovena návrhová rychlost větru ve výšce 10 m podle porovnání překážek s okolními stanicemi. S nejbližšími větrnými podmínkami byla vybrána stanice Kobylí. Stanice je ze dvou stran obklopena zástavbou s nižší hustotou a nižšími budovami a z jedné strany je obklopena lesem. U této stanice činí rozdíl mezi měřením a modelem 29 %. Podle Obr. 47 je v areálu čistírny průměrná rychlost $3,01 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Při snížení o 29 % by rychlost větru dosahovala **$2,14 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$** . Tato hodnota je pouze hrubý odhad, pro přesné stanovení by bylo potřeba provést lokální měření. Lokální měření je možno zřídit dočasnou meteorologickou stanicí, vhodné by bylo měřit ve více výškách pro nalezení neoptimalnějšího poměru mezi výškou a rychlostí.

Tab. 17 Porovnání rychlostí větru

Místo	Kobylí	Strážnice	Lednice
Stanice	2,20	1,74	2,50
Model	3,10	2,98	3,08
$\Delta_{\text{mod.-stan.}}$	0,90	1,24	0,58

Změna rychlosti větru s rostoucí výškou

Při předpokladu, že je dané území rovinné, lze použít pro výpočet změny rychlosti větru s výškou teoretické profily větru. Pro malé výšky může být nejpřesnější logaritmický profil větru. Tento profil lze použít do výšky 100 m. [106]

$$u(z_2) = u(z_1) \frac{\text{LN}((z_2-d)/z_0)}{\text{LN}((z_1-d)/z_0)} \quad (9)$$

Kde:

$$u(z_1) = 2,14 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$z_0 = 0,3$$

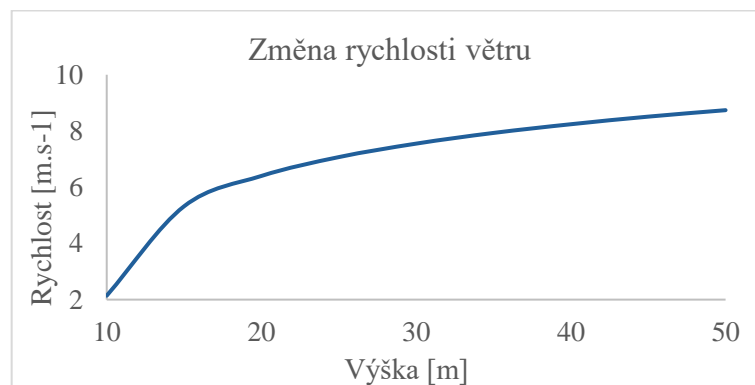
$$z_1 = 10 \text{ m}$$

$$z_2 = 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 \text{ m}$$

$$d_p = 13,5 \text{ m}$$

$$d = 2/3 \cdot d_p = 2/3 \times 13,5 = 9 \text{ m}$$

$$u(z_2) = 5,32; 6,40; 7,07; 7,55; 7,93; 8,24; 8,51; 8,74 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$



Obr. 54 Změna rychlosti větru s výškou

7.3.2. Technické parametry a výběr turbíny

Návrhová výška turbíny

Při umístění na střechu lze využít velín. Velín se nachází u vstupu do areálu. Budova má čtyři nadzemní patra. Čtvrté patro je v půdním prostoru s vikýři. Střecha je sedlového typu. Hřeben střechy může být odhadem podle počtu pater ve výšce 15 m. Výška turbíny bude tedy 15 m k tomu se výška zvýší přidáním stožáru. Pro maximální výšku stožáru bylo potřeba provést statický posudek budovy, výpočet zatížení větrem podle ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem. Předpokládaná výška stožáru je 2 m.



Obr. 55 Velín [107]

Další možné umístění je na objektech, kde je plochá střecha. Na ploché střeše je možné zajistit vyšší zajištění stožáru a tím lze umístit vyšší stožár. Ostatní budovy jsou přibližně vysoké 4 m. Celková výška i se stožárem by byla níže než v případě umístění na velínu.

V areálu nebo jeho blízkosti by mohl vzniknout i stožár, který by byl ukotvený v betonové patce. Stožár může být tubusový nebo příhradový.

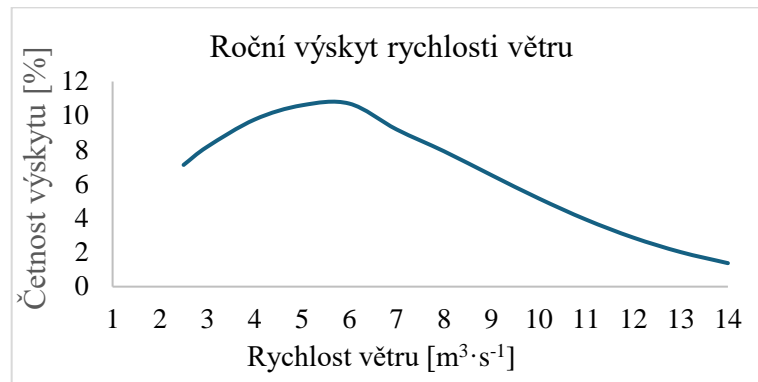
$$H_N = 25 \text{ m}$$

Návrhová rychlost větru

V návrhové výšce 20 m dosahuje vítr průměrné rychlosti podle Obr. 54 $7,07 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

$$v_N = 7,07 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Návrh malé větrné elektrárny



Obr. 56 Roční výskyt rychlosti větru

Tab. 18 Potenciál větrné turbíny

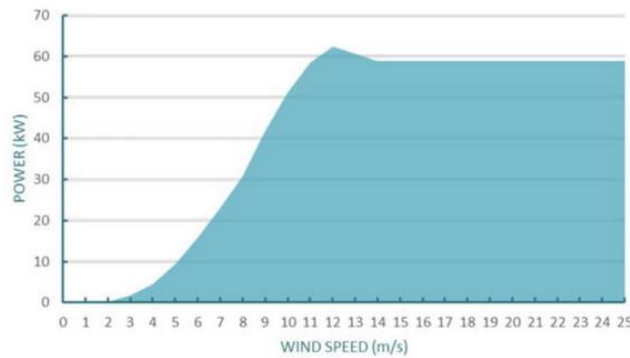
Měřené rychlosti [m·s ⁻¹]	Četnost výskytu rychlostí větru [%]	Výkon proudu vzduchu P _v [kW·m ⁻²]	Vyrobená energie E _v [kW·m ⁻²]
2,5	7,1	0,01	0,007
3	8,2	0,02	0,13
4	9,8	0,04	0,38
5	10,6	0,08	0,80
6	10,7	0,13	1,39
7	10,2	0,21	2,10
8	9,2	0,31	2,83
9	7,9	0,44	3,46
10	6,5	0,60	3,92
11	5,2	0,80	4,12
12	3,9	1,04	4,07
13	2,9	1,32	2,67
14	1,4	1,65	2,26
		ΣE _v [kW·m ⁻²]	24,08
		E _{pr} [MWh·rok ⁻¹]	2,11

Byly vybrány dva modely větrné turbíny od společnosti RyseEnergy. Jedna turbíny s nižším výkonem 20 kW a druhá s výkonem 60 kW. V české republice je distributorem například firma Plugeon. Turbíny disponují aktivním natáčením podle aktuálního směru větru.

SWP RE E-60

Tab. 19 Charakteristika turbíny SWP RE E-60 [108]

Maximální výkon [kW]	70
Nominální výkon [kW]	60
Konfigurace	Horizontální
Počet vrtulí	3
Délka vrtule [m]	7,4
Průměr rotoru [m]	15,8
Celková plocha [m ²]	196
Nominální rychlost rotoru [ot·min ⁻¹]	60
Minimální rychlost větru [m·s ⁻¹]	2
Nominální rychlost větru [m·s ⁻¹]	11
Maximální rychlost větru [m·s ⁻¹]	30
Přežitelná rychlost [m·s ⁻¹]	59,5

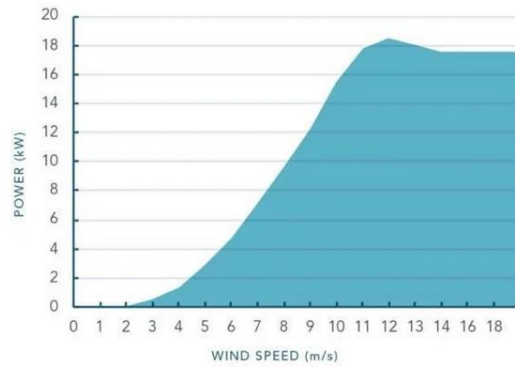


Obr. 57 Výkonnostní charakteristika SWP RE E-60 [108]

SWP RE E-20

Tab. 20 Charakteristika turbíny SWP RE E-20 [108]

Maximální výkon [kW]	20
Nominální výkon [kW]	18
Konfigurace	Horizontální
Počet vrtulí	3
Délka vrtule [m]	4,5
Průměr rotoru [m]	9,8
Celková plocha [m ²]	75,4
Nominální rychlost rotoru [ot·min ⁻¹]	120
Minimální rychlost větru [m·s ⁻¹]	2
Nominální rychlost větru [m·s ⁻¹]	9
Maximální rychlost větru [m·s ⁻¹]	30
Přežitelná rychlost [m·s ⁻¹]	70



Obr. 58 Výkonnostní charakteristika turbíny SWP RE E-20 [108]

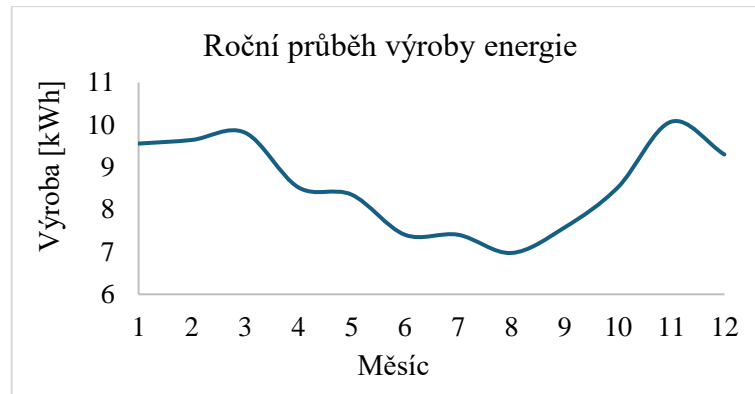
Očekávaná roční produkce energie



Obr. 59 Větrná turbína SWP RE E-60 [108]

Tab. 21 Roční výroba elektrické energie $C_p = 0,25$

Měřené rychlosti $[m \cdot s^{-1}]$	Četnost výskytu rychlostí větru [%]	Výkon proudu vzduchu P_v [kW]	Vyrobená energie E_v [kW]
2,5	7,1	0,5	3,3
3	8,2	0,8	6,5
4	9,8	1,9	18,4
5	10,6	3,7	39,0
6	10,7	6,4	68,0
7	9,2	10,1	92,7
8	7,9	15,1	119,2
9	6,5	21,4	139,9
10	5,2	29,4	151,8
11	3,9	39,1	153,6
12	2,9	50,8	145,8
13	2,0	64,6	130,6
14	1,4	80,7	110,8
		ΣE_v [kW]	1179,8
		E_{pr} [MWh·rok ⁻¹]	103,4



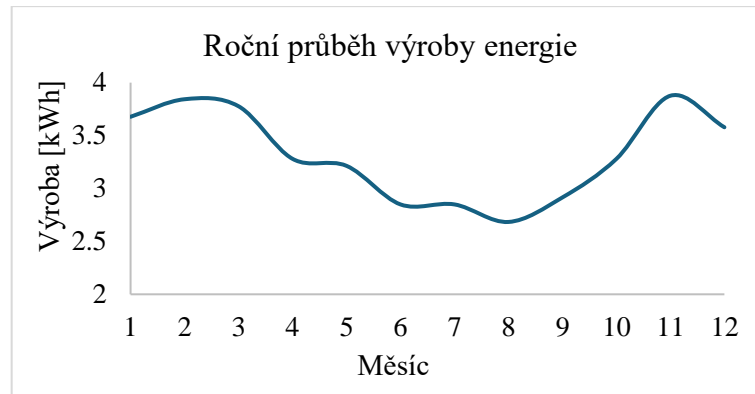
Obr. 60 Roční průběh výroby elektrické energie



Obr. 61 Větrná turbína SWP RE E-20 [108]

Tab. 22 Roční výroba elektrické energie $C_p = 0,25$

Měřené rychlosti $[m \cdot s^{-1}]$	Četnost výskytu rychlostí větru [%]	Výkon proudu vzduchu P_v [kW]	Vyrobená energie E_v [kW]
2,5	7,1	0,2	1,3
3	8,2	0,3	2,5
4	9,8	0,7	7,1
5	10,6	1,4	15,0
6	10,7	2,4	26,2
7	9,2	3,9	35,7
8	7,9	5,8	45,9
9	6,5	8,2	53,8
10	5,2	11,3	58,4
11	3,9	15,1	59,1
12	2,9	19,5	56,1
13	2,0	24,8	50,3
14	1,4	31,0	42,6
		ΣE_v [kW]	453,9
		E_{pr} [MWh \cdot rok $^{-1}$]	39,8



Obr. 62 Roční průběh výroby elektrické energie

Analýza spotřeby energie na ČOV

Tab. 23 Roční výroba elektrické energie vztahovaná k soběstačnosti ČOV (2023)

Roční spotřeba elektrické energie [MWh]	1587	% zastoupení
Roční výroba z kogeneračních jednotek [MWh]	712,6	44,9
Roční výroba z fotovoltaických panelů [MWh]	20,7	1,3
Roční výroba z větrné turbíny E-60 [MWh]	103,4	6,5
Roční výroba z větrné turbíny E-20 [MWh]	39,8	2,5

Technické specifikace

Tvar lopatek je optimalizován pomocí CFD simulací. Jsou tvořeny pryskyřičnými směsmi na bázi akrylátového uretanu a epoxidové pryskyřice v kombinaci s kompozitními uhlíkovými a skleněnými vlákny. Čepel je aktivně nakláněna pro přesné řízení polohy lopatek. Generátor je synchronní a tvořen permanentními magnety. Maximální výkon 60 kW je dosažen při $120 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$. Účinnost generátoru dosahuje přes 90 %. Turbína je vybavena anemometrem, který měří charakteristiky větru a pomocí hydraulického ovládání zvyšuje využitelný výkon. Turbína je vybavena řadou ochranných prvků, které zaručují bezproblémový chod. Jedná se o brzdny systém, který brzdí lopatky při vysokých rychlostech. Kontrolují se vibrace a námraza. [108]

Prostorové nároky a umístění

Pro umístění stožáru s turbínou je potřeba provést analýzu vhodného umístění v areálu. Místo by mělo být bez významných překážek, s dostatečnou vzdáleností od stromů a vysokých budov. Na Obr. 63 je navrženo umístění větrné turbíny, šipky znázorňují 2 nejvýznamnější směry proudění. Oba směry nemají žádné překážky v okolí, které by měly vliv na výkon turbíny.



Obr. 63 Vhodné umístění větrné turbín s rozdělením směru větru [89]

7.3.3. Ekonomická analýza

Ekonomická efektivnost větrné elektrárny se posuzuje především na základě porovnání průměrných ročních nákladů s ročními příjmy z prodeje vyrobené elektrické energie. Investice do větrné elektrárny je považována za rentabilní, pokud roční příjmy dlouhodobě převyšují roční náklady a zajišťují přiměřenou návratnost vložených prostředků. Pro komplexní ekonomické hodnocení projektu je nezbytné důkladně analyzovat následující klíčové parametry:

- a) investiční náklady zahrnují veškeré počáteční kapitálové výdaje spojené s pořízením technologie (turbína, generátor elektrické energie, převodovka, brzdový systém a řídicí systémy), elektrických součástí (transformátor, rozvaděč a kabeláž), instalací a uvedením elektrárny do provozu, včetně nákladů na stavební práce a připojení k síti; [38]

Tab. 24 Investiční náklady [38]

Náklady	Podíl [%]
Rotor	35–40
Stožár	16–25
Elektrické zař.	11–12
Převod	7–8
Stavební práce	5–7
Regulace	3–5
Ostatní náklady	<10

Tab. 25 Investiční náklady (% z 20 kW turbíny)

Investiční náklady N_{inv} [Kč]	60 kW	20 kW
Turbína	2 000 000	1 000 000
Stožár	400 000	400 000
Převod	175 000	175 000
Elektrické zař.	275 000	275 000
Regulace	75 000	75 000
Základ	125 000	125 000
Ostatní	175 000	175 000
ΣN_{inv}	3 225 000	2 225 000

- b) provozní náklady zahrnují pravidelnou údržbu a servis technického stavu, opravy a ceny náhradních dílů. Podle průzkumů v Dánsku se jedná o náklady 1,4–2,5 %. Cena na provoz se se zvyšujícím stářím elektrárny zvyšují; [38]

Tab. 26 Provozní náklady [38]

Provozní náklady N_{prov} [Kč]	60 kW	20 kW
Údržba, servis, opravy (2 % z ΣN_{inv})	64 500	44 500

- c) roční produkce vyrobené energie byla stanovena v Tab. 21 a Tab. 22;

Tab. 27 Roční produkce elektrické energie

Roční produkce	60 kW	20 kW
E_{pr} [MWh]	103,4	39,8

- d) cena za neodebranou energii od dodavatele E-on. Průměrná cena v roce 2023 byla 3,69 Kč za odebraný kWh. S ohledem na to že větrná elektrárna má životnost přibližně 25 let, je potřeba brát v potaz i možné budoucí zvyšování nebo snižování cen za energii. [96]

Tab. 28 Roční úspora na energiích

Úspora na energiích	60 kW	20 kW
Predikce budoucích cen [Kč]	4,5	
Roční produkce [MWh]	103,4	39,8
Náklady na odkup energie [Kč]	465 081	178 914
Provozní náklady [Kč]	64 500	44 500
Roční úspora [Kč]	400 581	134 414

Tab. 29 Doba návratnosti

Doba návratnosti	60 kW	20 kW
Investiční náklady [Kč]	3 225 000	2 225 000
Roční úspora [Kč]	400 581	134 414
Doba návratnosti [rok]	8,1	16,6

Tab. 30 Soběstačnost

Soběstačnost	60 kW	20 kW
Spotřeba elektrické energie [MWh]	1 587	
Roční produkce [MW]	103,4	39,8
Podíl na elek. soběstačnosti [%]	6,5	2,5

Dotační programy a podpory

Řídící orgánem pro obnovitelné zdroje energie je Ministerstvo průmyslu a obchodu. Cílem této podpory pro malé, střední i velké podniky je naplňování stanovených energetických a klimatických cílů prostřednictvím efektivnějšího využívání obnovitelných zdrojů energie. Důraz je kladen na environmentálně šetrný přístup k jejich implementaci a postupné navyšování jejich podílu, podporuje transformaci energetického sektoru směrem k čistším a obnovitelným zdrojům energie, což má pozitivní dopad na životní prostředí a energetickou bezpečnost. První vyhlášení výzvy proběhlo v srpnu 2022 a bylo ukončeno v srpnu následujícího roku. Druhá výzva byla vyhlášena v červnu 2024 a skončila v prosinci téhož roku z důvodu překročení 200 % výše alokace výzvy. Podpora se týkala výstavby větrné elektrárny. O dotaci mohly žádat malé, střední i velké podniky. Na získání podpory bylo mít náklady na VTE přesahující 3,07 mil. Kč a maximální náklady 66,7 mil. Kč. Maximální přisazená dotace na investiční projekt činil 30 mil. Kč. Míra podpory se lišila podle velikosti podniku (malé podniky 65 %, střední 55 % a velké 45 %). [109]

VaK Hodonín měl v roce 2023 průměrný počet zaměstnanců 268,6. Podle Doporučení komise 2003/361 se tedy jedná o velký podnik, u kterého platí míra podpory 45 %. [88]

Tab. 31 Dotančí program

Možnosti dotací a podpor	60 kW	20 kW
Cena VTE [Kč]	3 225 000	2 225 000
Nárok na dotaci	ANO	NE
Míra podpory [%]	45	0
Vyplacená dotace [Kč]	1 451 250	0

Pokud by byla podána žádost o tuto dotaci a schválena, cena větrné elektrárny by se snížila na 1,8 mil. Kč. Při opětovné kalkulaci doby návratnosti se pomocí dotace snížila návratnost o 3,6 roku na **4,4 let**. Menší větrná turbína o výkonu 20 kW by na dotaci nedosáhla.

Navržena byla větrná turbína SWP RE E-60. Díky dotačnímu programu je návratnost už za 4,4 let. Roční produkce činí 103,4 MWh, což je oproti slabší turbíně o 38,5 % více.

7.4 Sluneční energie

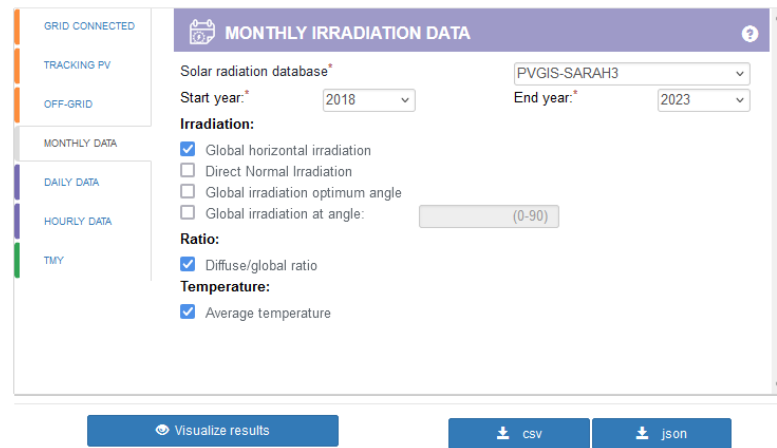
7.4.1. Analýza slunečných podmínek

Podklady pro analýzu byly získány z Fotovoltaického geografického informačního systému (PVGIS). Jedná se o vědecké centrum Evropské unie, které poskytuje informace o slunečním záření a výkonu fotovoltaických systémů pro jakékoliv místo na světě s výjimkou severního a jižního pólu. Z nástrojů lze určit fotovoltaický výkon, sluneční záření a meteorologický rok.

Sluneční záření

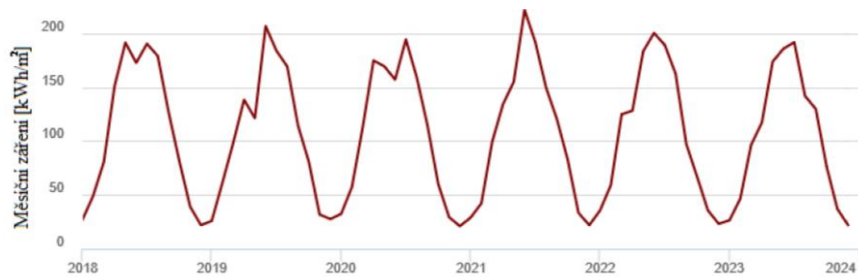
Pro stanovení slunečního záření byl použit nástroj Sluneční záření. Ve webové aplikaci lze zvolit přesnou polohu zájmového území (ČOV Hodonín). V nabídce je výběr databáze slunečního záření s výběrem mezi SARAH 3 a ERA 5. SARAH 3 poskytuje družicová data od Německé meteorologické služby. Oproti ERA 5 ($0,25^\circ \times 0,25^\circ$) má vyšší prostorové rozlišení ($0,05^\circ \times 0,05^\circ$). Data jsou přesnější pro střední Evropu. ERA 5 je reanalýza dat od Evropského centra pro střednědobé předpovědi. Poskytuje více údajů. Z důvodu vyššího prostorového rozlišení a přesnosti dat pro zájmové území byla zvolena databáze SARAH 3. Dalším výběrem je zkoumané období. Data lze získat od roku 2005 do 2023. Pro toto stanovení byla zvolena doba 5 let. Z charakteristik záření je na výběr mezi horizontálním zářením (měsíční součet energie slunečního záření, které dopadne na jeden čtvereční metr vodorovné roviny, měřeno v $\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}$), přímým zářením (měsíční součet energie slunečního záření, které dopadá na jeden metr čtvereční roviny vždy obrácené ve směru slunce, měřeno v $\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}$), globálním zářením pro optimální úhel fotovoltaických panelů (měsíční součet energie slunečního záření, které dopadá na jeden metr čtvereční roviny směřující k rovníku pod úhlem sklonu, který dává nejvyšší

roční ozáření, měřeno v $\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}$), výběrem pro jaký úhel se má ozáření vypočítat a poměrem mezi difúzním a globálním zářením (Obecně platí, že vysoké hodnoty D/G odpovídají zataženému klimatu). Dalším parametrem je průměrná teplota, Údaje lze získat pro měsíční, denní a hodinové úseky. [110]

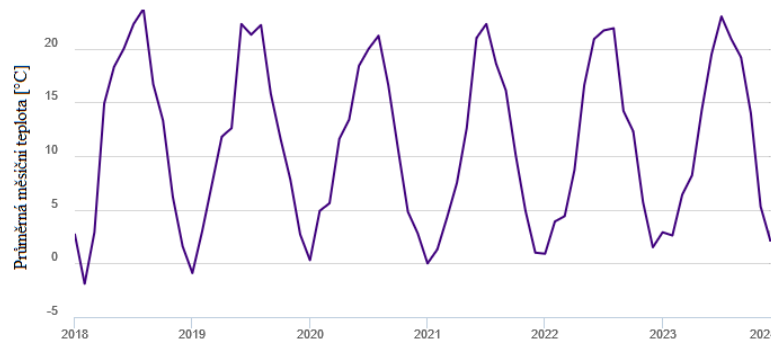


Obr. 64 nástroj Sluneční záření [111]

Lokalita vykazuje typické hodnoty pro jižní Moravu s dobrým potenciálem pro fotovoltaické využití. Podle databáze roční úhrn slunečního záření dosahuje 1100–1200 $\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}$, což představuje nadprůměrné hodnoty v rámci České republiky. Výrazná je sezónní variabilita – v letních měsících dosahuje sluneční záření maxima 190–220 $\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}$, zatímco v zimním období klesá na minimum 20–27 $\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}$. Tento rozdíl je třeba zohlednit při návrhu FV systému, zejména pokud by měl pokrývat celoroční spotřebu ČOV.



Obr. 65 Průměrné měsíční horizontální sluneční záření [105]



Obr. 66 Průměrná měsíční teplota [105]

Skutečný stav

Na ČOV jsou již umístěny fotovoltaické panely o instalovaném výkonu 30 kWp (120 panelů, každý o výkonu 250 W). Při předpokládaném roční slunečním záření by se mělo i se ztrátami 20 % teoreticky vyrobit 25 000–27 000 kWh·rok⁻¹. Z Tab. 32 však ale vyplývá, že se průměrně vyrobená energie za čtyři roky se pohybuje v rozmezí od 19 000 do 24 000 kWh·rok⁻¹. Proto je potřeba hodnoty o slunečním záření upravit. Skutečné hodnoty záření odpovídají v nejslabším roce 2021 na 637,3 a v nejsilnějším roce 2019 na 800,4 kW·m⁻². [68]

Tab. 32 Roční výroba elektrické energie na FVE Hodonín [93] [95] [96] [97] [112]

Rok	Výroba [kWh.rok ⁻¹]
2019	24 012
2021	19 118
2022	23 884
2023	20 741
ø [kWh]	21 939

Rozdíl může být zapříčiněn z důvodů zastínění, jak je vidět na Obr. 67. Část panelů je po většinu dne zastíněna vyvýšenou částí budovy v horní části obrázku. Panely jsou umístěny proti sobě, kdy jedna část panelů je nasměrována na severozápad a druhá na jihovýchod. Panely orientované na severozápad mohou přispívat k nižšímu celkovému výkonu, neboť severní strana není ideální pro fotovoltaické využití, odklon od severu na západ činí 48°, na druhou stranu téměř totožné rozložení se nachází i na úpravně vody Bzenec, kde je výroba o 20,6 % větší.



Obr. 67 Instalovaná FVE [89]

Výrobu elektrické energie lze z Tab. 33 srovnat s ostatními objekty vodárenské infrastruktury (úpravna vody Moravská Nová Ves, Bzenec–Přívov a ČOV Bzenec). Průměrná roční výroba panelů na ČOV Hodonín činí $21\,939 \text{ kWh}\cdot\text{rok}^{-1}$, což je o 20–26 % méně než u jiných objektů vodárenské infrastruktury. Rozdíl může být způsoben jak zastíněním, tak možnými technologickými chybami.

Tab. 33 Porovnání roční výroby elektrické energie

Rok	Výroba [kWh]			
	ČOV Hodonín	ÚV MnV	ČOV Bzenec	ÚV Bzenec
2019	24 012	31 851	29 584	29 547
2021	19 118	29 705	27 213	28 517
2022	23 884	29 735	27 752	29 416
2023	20 741	27 343	25 299	27 105
Průměr [kWh]	21 939	29 659	27 462	28 646
Rozdíl [%]	–	26,5	20,6	23,9
Vzdálenost [km]	–	7,7	19,9	16,9

Na úpravně vody Bzenec se počítá s instalací fotovoltaických panelů, které zajistí soběstačnost 20 % do konce roku 2030 pro všechny čistírny nad 10 000 EO společnosti VaK Hodonín. ÚV Bzenec byla vybrána jako nejvhodnější objekt, protože má dostatečné plochy pro uložení všech panelů a dosahuje druhé nejvyšší roční výroby elektrické energie. Z průměrné vyrobené elektrické energie (28 646 kWh) lze určit množství slunečního záření na $954,9 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$.



Obr. 68 Střecha budovy ÚV Bzenec pro FVE o výkonu 600 kWp [89]

7.4.2. Technické parametry a výběr panelů

Návrh fotovoltaických panelů

Instalovány budou fotovoltaické panely s jednotkovým výkonem 250 Wp. Celkově bude umístěno na střechy a zelené plochy 2400 panelů o celkovém instalovaném výkonu 600 kWp. Typ panelů bude identický jako již nainstalované – fotovoltaické panely monokrystalické.

$$E = 572,9 \text{ MWh} \cdot \text{rok}^{-1}$$

Tab. 34 Rozdělení vyrobené energie na 3 ČOV VaK Hodonín

Současný stav 2023	ČOV	Spotřeba [MWh]	Výroba [MWh]	Soběstačnost [%]
	Hodonín	1587,1	733,3	46,2
	Bzenec	870,2	25,3	2,9
	Kyjov	594,0	0,0	0,0
Nová FVE výroba 572,9 [MWh]	Rozdělení [%]	Výroba [MWh]	Výroba celk. [MWh]	Soběstačnost [%]
	62,9	305,4	1038,7	65,4
	17,1	148,7	174,0	20,0
	20,0	118,8	118,8	20,0

7.4.3. Technicko – ekonomické vyhodnocení

Ekonomická efektivnost větrné elektrárny se posuzuje především na základě porovnání průměrných ročních nákladů s ročními příjmy z prodeje vyrobené elektrické energie.

Investice do sluneční elektrárny je považována za rentabilní, pokud roční příjmy dlouhodobě převyšují roční náklady a zajišťují přiměřenou návratnost vložených prostředků. Pro komplexní ekonomické hodnocení projektu je nezbytné důkladně analyzovat následující klíčové parametry:

- a) Investiční náklady jsou dány především cenou modulů, u malé FV do 5kW jsou tyto náklady až dvě třetiny investičních nákladů na generátor, u velkých FV může podíl nákladu na generátor ještě narůstat. Mezi investiční náklady spadá generátor 67 %, střídač proudu 12 %, náklady na práci 10 % a ostatní konstrukční díly 11 %. [47]

Tab. 35 Investiční náklady [47]

Investiční náklady N_{inv} [Kč]	600 kWp
FV generátor	16 750 000
Střídač	3 000 000
náklady na práci	2 500 000
Ostatní konstrukční náklady	2 750 000
Celkové investiční náklady	25 000 000

- b) Provozní náklady jsou s investičními velice nízké. K provozním nákladům patří pojištění, rezervy na opravy, údržba a péče (čištění panelů). Pro menší zařízení do 5 kW se provozní náklady pohybují mezi 1 a 2 %. Náklady nejsou rovnoměrné a nejvyšší provozní náklad obvykle přichází kolem 10, roku, kdy končí životnost střídače proudu. U větších instalací FV provozní náklady klesají. Občasné čištění a kontrolu panelů prováděné může zajistit zaměstnanci čistírny. [47]

Tab. 36 Provozní náklady [Kč]

Provozní náklady N_{prov} [Kč]	600 kWp
Údržba, servis, opravy (0,2 % z ΣN_{inv})	50 000

- c) roční produkce vyrobené energie byla stanovena v 7.4.2;

Tab. 37 Roční produkce

Roční produkce	600 kWp
E_{pr} [MWh]	572,9

- d) cena za odebranou energii od dodavatele E-on. Průměrná cena v roce 2023 byla 3,69 Kč za odebraný kWh. S ohledem na to že fotovoltaická elektrárna má životnost

přibližně 25 let, je potřeba brát v potaz i možné budoucí zvyšování nebo snižování cen za energii. [96]

Tab. 38 Úspora na energiích

Úspora na energiích	600 kWp
Predikce budoucích cen [Kč]	4,5
Roční produkce [MWh]	572,9
Náklady na odkup energie [Kč]	2 578 050
Provozní náklady [Kč]	50 000
Roční úspora [Kč]	2 528 050

Tab. 39 Doba návratnosti

Doba návratnosti	600 kWp
Investiční náklady [Kč]	25 000 000
Roční úspora [Kč]	2 528 050
Doba návratnosti [rok]	9,9

Tab. 40 Soběstačnost (pro 3 ČOV)

Soběstačnost	600 kWp
Roční spotřeba [MWh]	3051,3
Roční produkce [MWh]	572,9
Podíl na soběstačnosti [%]	36,1

Dotační programy a podpory

Ministerstvo životního prostředí ve spolupráci se Státním fondem životního prostředí ČR se významně podílí na podpoře rozvoje fotovoltaických elektráren v České republice. Prostřednictvím různých dotačních programů poskytují důležité finanční prostředky, které mají za cíl rozšířit využívání solární energie jako udržitelného zdroje. Tyto investice směřují nejen k posílení energetické nezávislosti průmyslového sektoru a veřejných institucí, ale také významně přispívají k ochraně klimatu a snižování uhlíkové stopy. Existuje celá řada výzev a jejich základní rozdělení je podle instalovaného výkonu. Pro FVE s výkonem 600 kWp je určena výzva RES+ č. 1/2024 pro elektrárny 10 kWp až 5 MWp s vlastní spotřebou. Výzva platila od 1.3. 2024 do 31.10. 2024. O dotaci mohli žádat stávající i budoucí držitelé licence na podnikání ve výrobě elektřiny. Systém finanční podpory je jasně regulován stanovenými limity. Způsobitelné výdaje projektu mohou být dotovány maximálně do výše 30 % jejich hodnoty. Současně je stanoveno omezení celkové podpory, která nesmí přesáhnout polovinu všech výdajů realizovaného

projektu. O vyplacené dotaci rozhoduje menší částka z výdajů. Mezi způsobilé náklady patří přímé realizační náklady, činnost BOZP, autorského dozoru, daň z přidané hodnoty. Nezpůsobilé náklady jsou na opatření, která neodpovídají zaměření programu a podmínkám příslušné výzvy, nákup použitého vybavení, daně, aj. [113]

Tab. 41 Možnost dotací a podpor

Možnosti dotací a podpor	600 kWp
Cena VTE [Kč]	25 000 000
Nárok na dotaci	ANO
Míra podpory – způsobilé výdaje [%]	30
Míra podpory – celkové výdaje [%]	50
Podpora dotace – způsobilé výdaje [Kč]	7 500 000
Podpora dotace – celkové výdaje [Kč]	12 500 000
Vyplacená dotace [Kč]	7 500 000

Pokud by se o tuto dotaci zažádalo a žádost byla schválena, byla by výsledná cena sluneční elektrárny snížena o 7,5 milionu Kč. To by znamenalo, že investiční náklady by klesly z 25 milionů Kč na 17,5 milionu Kč. Při opětovné kalkulaci doby návratnosti by díky této dotaci došlo ke snížení návratnosti projektu o 3 roky, z původních 9,9 na **6,9 let**.

7.5 Vodní energie

7.5.1. Současný stav stokové sítě

Město Hodonín disponuje jednotnou oddílnou kanalizační sítí, která se sbíhá v centrální armaturní šachtě. Tato šachta je situována v nadmořské výšce 163,47 m n. m. (kóta poklopu), přičemž dno šachty se nachází v úrovni 157,00 m n. m. [114]

7.5.2. Hydraulické poměry na přítoku ČOV

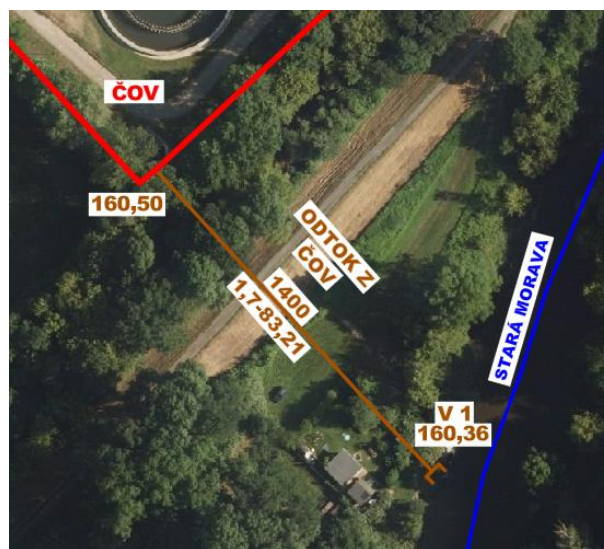
Přítokové potrubí je realizováno jako betonové potrubí o dimenzi DN 1500. Celková délka přítokového úseku činí 262 m. Vstupní kóta potrubí je na úrovni 157,00 m n. m. Výstupní kóta na přítoku do ČOV dosahuje hodnoty 156,65 m n. m. Pro energetické využití je k dispozici využitelný spád 0,35 m. Průměrný sklon potrubí byl určen na 1,34 ‰. [114]



Obr. 69 Přítok na ČOV [114]

7.5.3. Hydraulické poměry na odtoku ČOV

Odtokové potrubí je provedeno jako betonové o dimenzi DN 1400. Délka odtokového úseku dosahuje 83,21 m. Vstupní kóta na odtoku z ČOV je v úrovni 160,50 m n. m. Výstupní kóta v místě výusti je stanovena na 160,36 m n. m. Využitelný spád pro energetické využití činí 0,14 m. Průměrný sklon potrubí byl stanoven na 1,68 ‰. [114]



Obr. 70 Odtok z ČOV [114]

7.5.4. Hydroenergetický potenciál

Tab. 42 Hydrotechnický potenciál

Parametr	Před ČOV	Za ČOV
H [m]	0,25	0,12
V [m ³ ·s ⁻¹]	0,089	0,089
E [W]	152,8	73,3

7.5.5. Technicko – ekonomické vyhodnocení

Malá vodní elektrárna v obou případech zapadá do kategorie domácí (výkon do 35 kW) a dle spádu do nízkotlaké kategorie (spád do 20 m).

V obou případech (před i za ČOV) není instalace malé vodní elektrárny (MVE) vhodným řešením z několika zásadních důvodů. Hlavním limitujícím faktorem je velice nízký hydroenergetický potenciál, který je způsoben malým spádem v potrubí. Z ekonomického hlediska jsou investiční náklady příliš vysoké v poměru k potenciálnímu výkonu zařízení. S variantou umístění před čistírnou se vážou další náklady s předsazenou komorou na hrubé předčištění komunálních odpadních vod. Technické limitace zahrnují především nízkou účinnost turbín při malých spádech a problematickou regulaci při kolísání průtoku. Složitě stavební úpravy by dále navyšovaly celkové náklady projektu. Provozní náklady by byly neúměrně vysoké kvůli častější údržbě, nutnosti pravidelného čištění a kontrolám zařízení.

Potenciální výkon malé vodní elektrárny umístěné před čistírnou odpadních vod dosahuje hodnoty 152,8 W, což v praktickém měřítku odpovídá energii potřebné pro současné napájení deseti LED žárovek, každé o příkonu 15 W. Tento nízký výkon ilustruje nedostatečný hydroenergetický potenciál daného vodního zdroje, který činí instalaci MVE ekonomicky neefektivní.

Dotační programy a podpory

Dne 16. srpna 2023 vyhlásilo Ministerstvo průmyslu a obchodu první výzvu v rámci aktivity „Obnovitelné zdroje energie – malé vodní elektrárny“ z Operačního programu Technologie a aplikace pro konkurenceschopnost. Hlavním cílem této výzvy bylo podpořit zvýšení výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů v ČR a tím posílit energetickou soběstačnost země. Ukončení žádostí bylo 13.12. 2024. Pro dotace byla vyčleněna celková částka 500 milionů Kč. Výše podpory se odvíjela od velikosti podniku.

Pro velký podnik (VaK Hodonín) byla dotovaná částka způsobilých nákladů 45 %. Výše podpory byla od 1 do 100 mil. Kč. [115]

7.6 Geotermální energie

Spotřeba tepelné energie není známa. Teplo se využívá v chladném období na vytápění budovy velínu, administrativní budovy, garáží, místa kalového čerpání, výstupní věže uskladňovacích nádrží (vytápěné celoročně pro zbavení se přebytečného tepla), strojovny kalového a plynového hospodářství. Hlavní využití tepla je pro ohřev vyhnívacích nádrží. U vyhnívacích nádrží je teplota držena minimálně na 38 °C alespoň v jedné nádrži, při nadbytku tepelné energie jsou vytápěny obě nádrže až na 41 °C.

Tepelné energie je ze 100 % vyráběna z kogeneračních jednotek. V aktuálním stavu se naopak tepelné energie vyrábí nadbytek. Nadbytek dosahuje přibližně 200 %, toto číslo je pouhý odhad, který vznikl na základě využívání chladících okruhů. Z tohoto důvodu byly instalovány tři chladící okruhy, které odvádějí přebytečné teplo. Primární okruh je ohřívání vody proudící kogenerační jednotkou. Toto teplo je svedeno do topného systému budov, přebytečné teplo odtéká z čistírny. Sekundární okruh vede teplo ven z budovy kogeneračních jednotek. Tento okruh slouží v případě, že teplo nestačí odebrat chladící voda. Terciální okruh je výkonnější než sekundární a v provozu je oproti předchozím okruhům minimálně.



Obr. 71 Výúst ze sekundárního chladícího okruhu [107]



Obr. 72 Výust' z terciární chladícího okruhu [107]

7.6.1. Technicko – ekonomické vyhodnocení

Z důvodu nevyužití tepelné energie mimo topné období je zhoršena ekonomii provozu celého kogeneračního systému. Ke zlepšení využití by mohly přispět technologie, které nejsou v oblasti čistíren odpadních vod zatím ve velké míře využívány.

7.6.2. Návrh využití tepla

Kogenerační jednotka na čistírně odpadních vod produkuje více tepelné energie než lze využít. Toto přebytečné teplo je aktuálně vypouštěno do ovzduší, což představuje plýtvání cennou energií. Pro využití tohoto odpadního tepla se nabízí dvě hlavní technologická řešení.

První možností je instalace systému Organického Rankinova cyklu (ORC). Tento systém dokáže efektivně přeměnit odpadní teplo na elektrickou energii i při relativně nízkých teplotách. ORC se vyznačuje vysokou spolehlivostí a minimálními nároky na údržbu, Účinnost, která je vyjádřena jako poměr tepla přeměněného na mechanickou práci k teplu přivedeného do oběhu.

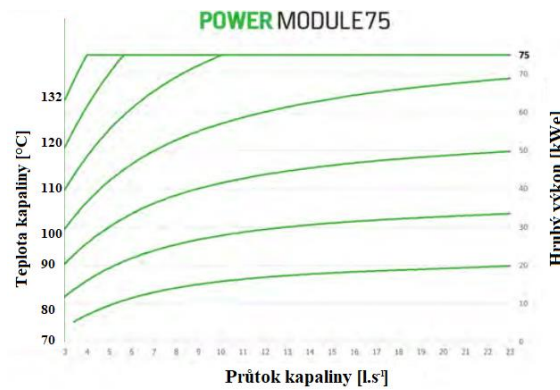
Druhou možností je využití Stirlingova motoru. Toto zařízení má jednodušší konstrukci a nižší pořizovací náklady než ORC. Vyznačuje se tichým chodem a nízkými provozními náklady, ale dosahuje nižší účinnosti a potřebuje výrazně vyšší teploty.

Pro čistírnu odpadních vod se jako vhodnější jeví řešení pomocí ORC systému. Hlavními důvody jsou jeho vyšší účinnost, lepší zvládnání kontinuálního provozu a vhodnost pro nižší teploty. Pro technicko-ekonomickou studii této varianty je však nutné provést

důkladnou analýzu parametrů odpadního tepla. Odpadní teplo chladící vody z kogenerační jednotky dosahuje teplot přibližně 80–85 °C. Minimální požadavky na vstupní teplo do ORC je 65 až 70 °C podle typu zařízení. Průtok chladící kapaliny musí být v rozmezí 3 až 23 l·s⁻¹. Výkon je pak závislý na teplotě ohřáté kapaliny a jejím průtoku. [78]

Tab. 43 Modelová řada ORC firmy BPOWER [78]

Model	Výstupní výkon [kWe]
PM75	až 75
6500B	až 125



Obr. 73 Závislost teploty vstupující kapaliny na vyrobené elektrické energii [78]



Obr. 74 Konfigurace ORC [78]

Po instalaci systému na přeměnu tepelné energie na elektrickou lze uvažovat nad zvýšením výroby tepelné energie.

Rekuperace tepla z podzemní vody, systém voda – voda

Pro návrh tepelného čerpadla je důležité znát parametry vodního zdroje. Z vrtné prozkoumanosti v okolí ČOV bylo vybráno několik nejnovějších vrtů, včetně dvou s hydrogeologickými daty.

Tab. 44 Vrtná prozkoumanost [116][117]

Vrt	Rok	Naražená H	Ustálená H	Teplota vody	Fe [mg·l ⁻¹]	Mn [mg·l ⁻¹]
542182	1968	3,5	2,7	Neměřeno	Neměřeno	Neměřeno
634968	1989	2,8	1,8	11,4 (listopad)	0,31	5,65
542800	1977	Neuvedeno	3,5	Neměřeno	Neměřeno	Neměřeno
543720	1987	Neuvedeno	2,1	Neměřeno	Neměřeno	Neměřeno

Tab. 45 Čerpací zkoušky [116]

Čerpací zkouška 542182 – ustálený			Čerpací zkouška 634968 – neustálený	
Hladina před zkouškou	Trvání		Hladina před zkouškou	Trvání
2,66	22 dnů		1,8	40 dnů
Průběh zkoušky			Průběh zkoušky	
Měření	1	2	Měření	1
Vydatnost [l·s ⁻¹]	4,5	9,0	Vydatnost [l·s ⁻¹]	5,0
Snížení [m]	1,0	2,0	Snížení [m]	2,48

Díky aktivnímu přístupu k hledání zdrojů obnovitelných energií bylo provedeno vlastní měření. V rámci tohoto průzkumu bylo technologem provedeno měření hladiny podzemní vody v areálu čistírny a jejím okolí. Měření ukázalo, že v jarním období dosahovala hladina podzemní vody úroveň terénu, zatímco v letním období poklesla až do hloubky 2,7 metrů pod terén. Areál čistírny je umístěn na násypu, který převyšuje okolní terén o 1,5 metru. Toto převýšení zajišťuje ochranu technologie před stoletou vodou řeky Stará Morava. Vzhledem k této skutečnosti by se v případě realizace systému tepelného čerpadla voda – voda nacházely čerpací a vsakovací studny v místech, kde je hladina podzemní vody o 1,5 metru níže než v okolním terénu.

V minulosti byla prověřena možnost instalace tepelného čerpadel voda – voda. Průzkum prokázal potenciál pro instalaci tepelného čerpadla systému voda – voda. Provedené čerpací zkoušky potvrdily dostatečnou vydatnost podzemní vody v dané lokalitě. Příznivým faktorem je také malá požadovaná hloubka čerpacího vrtu, která by měla stačit do 10 metrů. Tyto podmínky naznačují, že využití podzemní vody jako zdroje tepla by mohlo být v této lokalitě technicky i ekonomicky výhodné.

Kromě vydatnosti je potřeba znát i kvalitu podzemní vody. Při vysokém výskytu železa nebo manganu může docházet k opotřebení nebo ucpání čerpadla a výměníku. Tepelné čerpadlo typu voda – voda patří mezi nejefektivnější systémy pro vytápění.

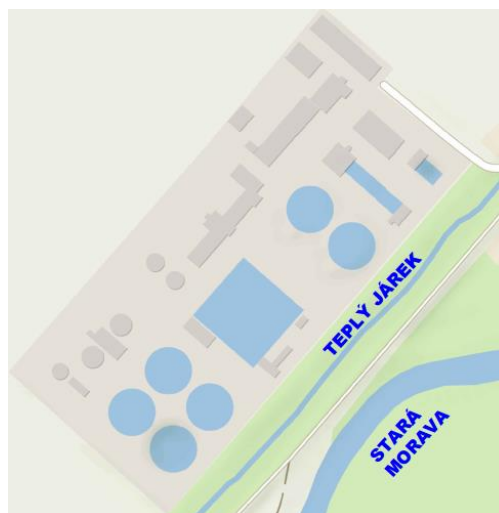
Tepelné čerpadlo voda – voda bylo vybráno na základě místních podmínek:

- lokalita se nachází v nivě dvou vodních toků – Staré Moravy a Teplého járku, které jsou v těsné blízkosti ČOV. Díky blízkosti těchto toků je v oblasti trvale vysoká hladina podzemní vody. Poloha v říční nivě a přítomnost vodních toků tak vytváří příznivé hydrologické podmínky s dobrou dostupností podzemní vody,
- tepelné čerpadlo typu voda – voda patří mezi nejefektivnější systémy pro vytápění.

Požadavky na provoz tepelného čerpadla jsou dvě studny. Z jedné studny se voda čerpá a do druhé se po využití tepla voda vrací do země. Čerpací a vrtná studna musí být od sebe v dostatečně vzdálenosti 15 metrů a po proudu (čerpací nad vratnou), aby se ochlazená voda nečerpala zpět do systému.

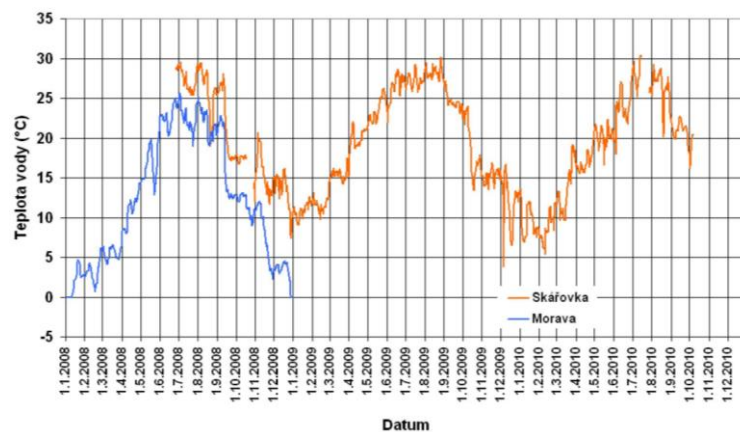
Rekuperace tepla z toku Teplý Járek

Teplý járek (Spářovka) je umělá vodoteč odvádějící oteplenou vodu z chlazení elektrárny Hodonín. Elektrárna se nachází severně od čistírny a je pod společností ČEZ. V elektrárně je spalováno uhlí a biomasa a vyrábí elektrickou energii s instalovaným výkonem 107 MW a tepelným výkonem 250 MW. Elektrárna do roku 2024 využívala průtočný chladicí systém. Voda byla čerpána ze Staré Moravy a oteplená voda byla vypouštěna do Teplého Járuku, ze kterého se rozdělovala mezi Starou Moravu a Teplý Járek. [118]



Obr. 75 Vodní toky v blízkosti ČOV [89]

Měření průměrné denní teploty v Teplém Járku probíhalo kontinuálně mezi lety 2008 a 2010. Měření se porovnávalo s teplotou vody ve Staré Moravě, v tomto toku se teploty získaly z měrného profilu Morava – Moravský Ján. Měření teplot obou řek ukazuje významné rozdíly v jejich teplotních charakteristikách. Zatímco Teplý Járek dosahuje průměrné roční teploty 19,2°C (měřeno v roce 2009), řeka Morava má ve stejném období průměr jen 10,7°C, přičemž její dlouhodobý průměr z let 1971–2000 činí 10,1°C. Teplotní rozdíl mezi oběma toky je nejvýraznější v zimním období, kdy dosahuje až 11,7°C, v létě se tento rozdíl snižuje na 6,2°C. Spářovka si udržuje výrazně vyšší teploty po celý rok – v zimě dosahuje teplota téměř 17°C a v létě může vystoupat až na 31,5°C, což ji činí v průměru o 8,5°C teplejší než řeku Moravu. [119]



Obr. 76 Vývoj průměrných denních teplot vody Teplý Járek a Stará Morava [119]

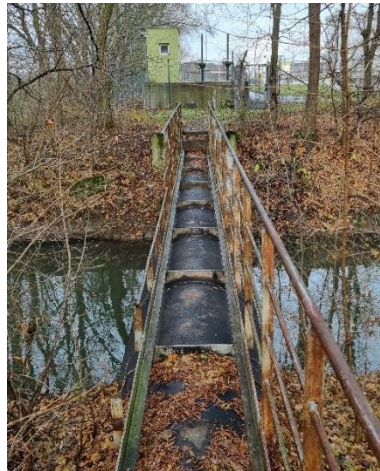
Modernizace chladicího systému elektrárny Hodonín přinesla významnou změnu v hospodaření s vodou. Instalace ventilátorové chladicí věže s ventilátory o průměru 11 metrů vedla k dramatickému snížení množství vypouštěné chladicí vody – z původních 59 milionů m³ na pouhé 2 miliony m³ ročně, což představuje 97% redukci. Tato změna výrazně ovlivnila dostupný tepelný potenciál vypouštěných vod. Pro případný návrh využití odpadního tepla by bylo nezbytné provést nové měření teplot a vydatnosti vypouštěných vod za současného stavu chladicího systému. [120]

Rekuperace tepla z odpadní a vyčištěné vody

Teplota odpadní vody ve stokovém systému vykazuje během roku relativně stabilní hodnoty s charakteristickými sezónními výkyvy. V letním období může teplota odpadní vody překročit 20 °C, zatímco v zimních měsících se pohybuje v rozmezí 10 °C až 15 °C. Tento teplotní potenciál představuje významný zdroj tepelné energie, který lze efektivně

využit. Významný podíl tepelné energie, až 40 % z celkové produkce tepla v obytných budovách, odchází do kanalizace především při běžných činnostech jako je sprchování a koupání. Z energetického hlediska lze při ochlazení 1 m³ odpadní vody teoreticky získat 1,16 kWh tepelné energie. [58]

Pro efektivní využívání tepelné energie ze stokového systému je z důvodu ztrát nutná instalace systému v co nejmenší vzdálenosti od místa využití. Výměník lze umístit přímo do potrubí v případě potrubí nad DN1000. Přítok DN1500 a odtok DN1400 z ČOV splňují tuto podmínky. [58]



Obr. 77 Odtok z ČOV [107]

7.6.3. Technicko – ekonomické vyhodnocení

Investiční náklady se liší podle vybrané metody využití geotermální energie. Cena samotného čerpadla se pohybuje v rozmezí od 225 do 300 tis. Kč. Montáž, materiál a uvedení čerpadla stojí 50 až 75 tis. Kč. K nákladům je potřeba připočítat ještě náklady na studnu, vrt či kolektor. Celkové pořizovací náklady tak dosahují 375 až 475 tis. Kč. [121]

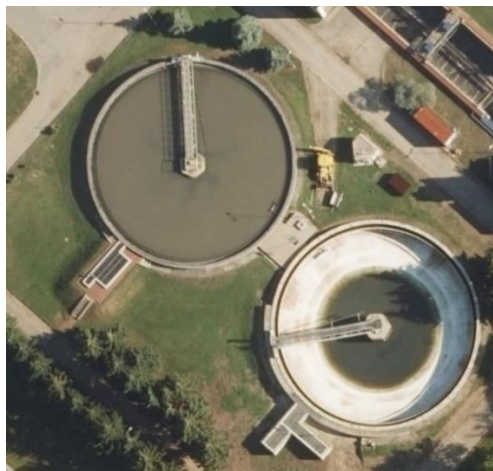
Tab. 46 Cena kopané a vrtané studny [122]

Hloubka [m]	Cena [Kč]	
5	44 000	–
10	64 000	–
15	84 000	69 000
20	104 000	79 500
25	124 000	90 000
30	144 000	100 500

7.7 Energie kalového plynu z čistíren odpadních vod

7.7.1. Popis technologie na využití kalu

Po nátoku na čistírnu odpadních vod jsou odpadní vody mechanicky předčištěny na česlích, po nich následuje lapák písku. Poté navazují usazovací nádrže, ty slouží k zachycení primárního kalu. Primární kal se následně čerpá do jímky surového kalu, ve kterém se smíchává se zahuštěným přebytečným kalem. Přebytečný kal je jedna ze složek sekundárního kalu, který se odebírá z dosazovacích nádrží. Druhá složka je vratný kal, který se vrací před aktivační nádrže.



Obr. 78 Usazovací nádrže [89]

Z jímky je smíšený surový kal čerpán do dvou vyhnívacích nádrží. V kterých probíhá anaerobní stabilizace kalu. Stabilizace slouží primárně k změně vlastní kalu, po kterých je kal nezapáchající, hygienicky nezávadný a snadno odvoditelný. Stabilizaci zajišťují mikroorganismy v anaerobních podmínkách (bez přístupu kyslíku), které rozkládají biologicky rozložitelné organické látky. Při vyhnívání vzniká bioplyn a přebytečná voda je odčerpávána. Metanizace probíhá ve vodotěsných a plynotěsných reaktorech válcového typu. V nádržích je zajištěno ohřívání kalu na požadovanou teplotu (38 až 41 °C) mezofilních mikroorganismů.



Obr. 79 Technologie pro výrobu elektrické energie [123]

Kombinovaná výroba elektřiny a tepla neboli kogenerace, je způsob výroby elektrické energie, při kterém se užitečným způsobem využije teplo, jež se při procesu výroby uvolňuje. Tím se dosahuje velmi vysoké účinnosti využití energie v palivu. Malé a středně velké kogenerační jednotky jsou většinou postaveny na bázi plynových spalovacích motorů. Motor otáčí generátorem, který vyrábí elektrickou energii. Teplo z chlazení motoru a ze spalin se využívá k vytápění, přípravě teplé vody. Elektřinu vyrobenou v kogenerační jednotce je možné použít pro vlastní spotřebu nebo ji dodávat do rozvodné sítě.

Kogenerační jednotky Cento jsou uzpůsobeny na spalování bioplynu. Jsou opatřeny protihlukovým krytem pro umístění v budovách, jako ochrana před hlukem a prachem.

Tab. 47 Parametry KGJ Cento 80 [124]

Typ jednotky	Cento 80
Elektrický výkon [kW]	83
Tepelný výkon [kW]	120
Elektrická účinn, [%]	35,0
Tepelná účinn, [%]	50,6
Celková účinn, [%]	85,6
Příkon v palivu [kW]	237



Obr. 80 Kogenerační jednotka Cento 80 [107]

Tab. 48 Parametry KGJ Cento 120 [90]

Typ jednotky	Cento 120
Elektrický výkon [kW]	124
Tepelný výkon [kW]	165
Elektrická účinn, [%]	36,9
Tepelná účinn, [%]	49,1
Celková účinn, [%]	86,0
Příkon v palivu [kW]	336



Obr. 81 Kogenerační jednotka Cento 120 [107]



Obr. 82 Řídící panel kogenerační jednotky [107]

V případě výpadku kogeneračních jednotek je teplo vyráběno z kotlů spalováním bioplynu (kotel napravo) nebo zemního plynu včetně bioplynu (kotel nalevo). V obou případech se jedná o plynové kotle. K plynovým kotlům jsou nainstalovány hořáky na bioplyn a duální hořák na zemní plyn a bioplyn.



Obr. 83 Plynové kotle Buderus Logano GE 315 s hořáky Weishaupt [107]

Plynojem slouží k uskladnění bioplynu z vyhnívacích nádrží. Plynojem je řešen ve tvaru kulového vrchlíku nad kruhovou základnou. Vnější plášť je tvořen membránou zhotovenou z polyesterové tkaniny se speciální úpravou – UV filtrem, zvyšujícím odolnost vůči účinkům slunečního záření. Plynojem je instalovaný na betonovou základovou desku. Jeho objem je 1 040 m³. Průměr plynojemu je 13,4 a jeho výška je 10,1 m.



Obr. 84 Textilní dvouplášťový plynojem STTALER B9 117/250 (1 040 m³) [107]

Pokud dojde k naplnění plynojemu bioplynem, který již nelze zpracovat v kogeneračních jednotkách, je spuštěn proces spalování bioplynu v zařízení pro likvidaci bioplynu. Hořák pracuje v cyklickém režimu a jeho výkon je od 55 do 260 m³·hod⁻¹ spáleného bioplynu.



Obr. 85 Fléra (hořák zbytkového bioplynu) ZLB 260 A [107]

7.7.2. Kvalita přiváděných odpadních vod

Průměrný roční přítok na čistírnu odpadních vod je $89,3 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$. Pro sledování kvalitativních parametrů pro využití na výrobu bioplynu ve vyhnívacích nádržích je nejdůležitější sledovat CHSK a v menší míře i nerozpuštěné látky. Roční bilance přítoku je 2213 t CHSK a 565 t NL. [95]

Tab. 49 Kvalita přitékající odpadní vody [$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$] [95]

CHSK _{Cr}	BSK ₅	NL	RL	RAS
785,9	382,0	200,9	1319,2	1017,9
N-NH ₄	N-NO ₃	N-anor.	N-celk.	P-celk.
48,3	0,2	44,6	68,0	10,8

7.7.3. Optimalizace biologických procesů

Jde o optimalizaci spotřeby elektrické energie. VaK Hodonín již od roku 2016 implementoval systém energetického managementu dle normy ČSN EN ISO 50001, což vedlo k významné optimalizaci energetických procesů. Nicméně energetická optimalizace představuje kontinuální proces, který nekončí certifikací systému. Technologický pokrok zajišťuje postupné zvyšování účinnosti celého biologického systému.

7.7.4. Optimalizace kalového hospodářství

Po kompletní optimalizaci celého systému biologické části je možno přistoupit k zavádění procesů, které zvýší produkci bioplynu za stávajících podmínek. Jedná se o procesy, které umožní za stávajících podmínek, nebo po drobných úpravách, lepší transformaci CHSK do kalu a poté jeho optimálního převedení na bioplyn.

Přirozený záchyt CHSK při provozu jedné usazovací nádrže je 10–15 %. To je při průměrném přítoku CHSK před usazovací nádrží $875 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, záchyt v usazovací nádrži pouhých $87,5 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. V přípravě k zvýšení soběstačnosti z anaerobního vyhnívání bylo potřeba zvýšit záchyt, a proto se navrhl postup o třech fázích, který by měl spolu s FVE vést ke stabilní soběstačnosti 62 %. [125]

1. fáze – zpomalení toku v usazovacích nádržích

V první fázi se pustil přítok i do druhé nádrže mechanického čištění. Tímto krokem došlo k rozdělení nátoky z předčištění, což zpomalilo tok v nádržích. V důsledku toho se zvýšila doba pro sedimentační proces. Uvedením do provozu druhé nádrže se snížil vliv hydraulického přetížení při deštích. Cílem této fáze bylo při zapojení druhé usazovací nádrže zjistit záchyt CHSK do primárního kalu. [68]

2. fáze – Sorpce primárního kalu kalem přebytečným

Jednou z tradičních metod zahušťování přebytečného kalu je jeho dávkování do usazovací nádrže. Tento způsob však vykazoval významné provozní nedostatky, především z důvodu častého přetížení usazovací nádrže zahuštěným kalem a následného ucpávání kalového odtahu. Provoz se dvěma usazovacími nádržemi by měl tato rizika eliminovat.

Na ČOV Hodonín se dávkování přebytečného kalu do usazovací nádrže využívá jako záložní řešení v případech, kdy je kapacita standardního zahušťování nedostatečná nebo během odstávek zahušťovacího zařízení z důvodu údržby či oprav. Při bližším zkoumání této metody z hlediska možného zlepšení vlastností primárního kalu byly zjištěny zajímavé výsledky. [68]

V dubnu 2024 byl na ČOV Hodonín zahájen výzkum využití přebytečného kalu jako sorbentu CHSK. Cílem experimentu bylo:

- ověřit aplikovatelnost sorpce přebytečným kalem pro podmínky ČOV Hodonín;

- identifikovat výhody a nevýhody této metody;
- analyzovat její účinnost.

Tab. 50 Cirkulace sekundárního a množství surového kalu při druhé fázi [126]

Měsíc	Přebytečný kal [m ³]	Vratný kal [m ³]	Surový kal [m ³]
březen	0	422 427	3 869
duben	4 330	317 621	4 056
květen	2 690	350 918	3 525
červen	4 200	379 462	2 349
červenec	4 350	378 380	2 318

V rámci výzkumu byly podrobně monitorovány následující parametry CHSK, NL, N-NH₄, N-NO₃ a P_{celk}.

Výsledky první a druhé fáze:

Analýza výsledků experimentu ukázala významný vliv sorpce přebytečným kalem na účinnost čistírenského procesu. Do primárního kalu bylo nasorbováno v průměru 40,8 % CHSK a 70,3 % NL. K největší ztrátě docházelo mezi přítokem a nátokem do usazovací nádrže. Za ztrátu s velkou pravděpodobností může provzdušňovaným dvoukomorový lapák písku, ve kterém dochází k tvorbě prvotního kalu. Kal se váže na anorganické částice a je společně separován jako odpad z lapáku písku. Jako řešení se jeví instalace separátoru písku s následným praním. [68]



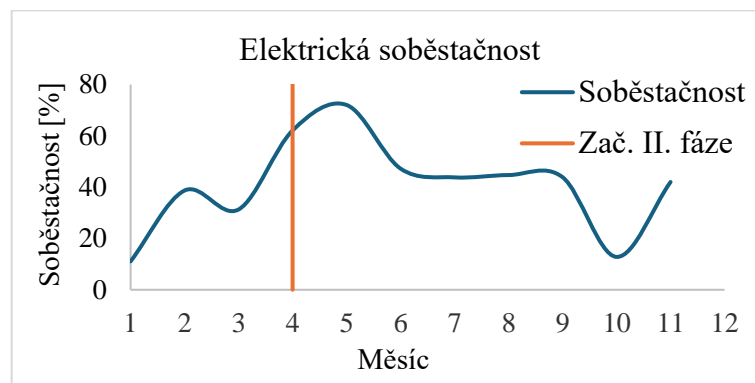
Obr. 86 Separátor písku s integrovanou pračkou písku IN-EKO [127]

Analýza provozu čistírny odpadních vod v Hodoníně odkryla významný potenciál pro optimalizaci čistícího procesu. Během pětíměsíčního experimentálního období se podařilo dosáhnout výrazného zlepšení v několika klíčových oblastech provozu. První

významný přínos se projevil v hospodaření s kalý. Systematickou optimalizací se podařilo snížit produkci přebytečného kalu – z původní denní produkce přesahující 260 m³ na hodnotu okolo 100 m³. Tento více než 60% pokles umožnil významné změny v procesu zpracování kalů. Druhým pozitivním efektem byla zvýšená energetická účinnost provozu. Zatímco před zahájením studie se energetická soběstačnost čistírny pohybovala kolem 50-60 %, během experimentu dosáhla až 72 %. Po stabilizaci procesu se ustálila na hodnotě 62 %, což představuje významné zlepšení oproti výchozímu stavu. Tyto změny by mohly v dlouhodobém horizontu přinést roční úsporu až 1000 tun odvodněného kalu, což představuje významnou ekonomickou i ekologickou výhodu. [68]

Tab. 51 Výsledky druhé fáze [125]

Fáze 2		Přítok	Před UN	Za UN1	Za UN2	Odtok z ČOV	Míra záchytu [%]
CHSK [mg·l ⁻¹]	průměr	1 239	875	514	523	28	40,8
	min.	160	307	166	143	15	
	max.	3 710	1 940	1 210	742	48	
NL [mg·l ⁻¹]	průměr	377	387	125	105	3,6	70,3
	min.	70	92	55	42	1	
	max.	900	2 140	830	190	8	



Obr. 87 Elektrická soběstačnosti – 2024

3. fáze – Sorpce primárního kalu koagulantem

Třetí fáze je naplánována na začátek roku 2025.

Cíle fáze:

- hledání optimálního koagulantu;
- hledání optimální dávky koagulantu;
- cílová eliminace CHSK v usazovací nádržích 70 %;

- stabilní soběstačnost.

Příprava třetí experimentální fáze vychází z předchozích zkušeností s aplikací koagulačního činidla v procesu čištění. Základem nové metodiky je aplikace síranu železitého jako koagulačního činidla v počáteční fázi čištění. Tento přístup byl navržen na základě analýzy historických dat z předchozích experimentů zaměřených na redukci fosforu. Technické řešení využívá dva body pro dávkování koagulantu. První dávkování probíhá do rozdělovací komory před sedimentací. Druhé dávkování je umístěno v kalové lince. Systém dvojího dávkování řeší dvě technické výzvy najednou. První výzvou je zvýšení účinnosti zachycení organického znečištění během primární sedimentace. Druhou výzvou je prevence vzniku struvitu při odvodnění kalu. Při testování se jako vedlejší efekt objevilo snížení potřeby flokulantů při odvodnění kalu. Pro maximální využití nové technologie je potřeba vyřešit přesné řízení odtahu kalu. Systém kombinující automatické řízení s vizuální kontrolou obsluhy není vždy 100%. Připravuje se proto modernizace měřicího systému. Ta bude zahrnovat instalaci nových sond pro průběžné měření koncentrace nerozpuštěných látek. [125]

7.7.5. Intenzifikace produkce bioplynu

Současná kapacita vyhnívacích nádrží není zcela využívána a je zde prostor pro externí dodávku substrátu pro vyhnívání. Kofermentace čistírenského kalu je proces, při kterém se spolu s kalem zpracovávají další organické materiály za účelem zvýšení produkce bioplynu. [68]

Kaly vznikající v čističkách odpadních vod s kapacitou od 2 001 do 10 000 EO jsou v současné době odvodňovány přímo na místě, kde vznikají. Následně jsou tyto kaly odváženy k dalšímu zpracování zpracovatelem, s nímž má VaK Hodonín smluvní spolupráci. U menších ČOV s kapacitou do 2 000 EO probíhá převoz kalů fekálními vozidly přímo na svozové ČOV. Po přijetí na svozové ČOV dochází ke smíchání těchto kalů s kalem primárním a přebytečným, což snižuje požadavky na jejich zahušťování na centrální ČOV. [68]



Obr. 88 Fekální vůz [107]

Většina čistíren odpadních vod disponuje travnatými plochami, které lze efektivně zapojit do tohoto procesu. U větších provozovatelů je situace ještě výhodnější, protože kromě areálu ČOV zahrnují jejich spravovaná území i rozsáhlé travnaté plochy v okolí jímacích oblastí. Pro zpracování je potřeba pořídit dopravník pro dávkování do míchané jímky surového kalu. Alternativně je možné zřídit samostatnou mísicí jímku. [68]

Primární kal obsahuje asi 30–50 % celulózy v podobě suspendovaných částic, které jsou přiváděny do čistíren odpadních vod. Hlavním zdrojem celulózy v městských odpadních vodách je toaletní papír. Klíčovou podmínkou pro využití tohoto potenciálu je instalace jemných sít s velikostí ok 80 až 850 mikronů. Preferují se oka nad 350 mikronů. Menší oka se volí, pokud odpadní voda obsahuje málo velkých částic a je potřeba iniciovat tvorbu filtrační vrstvy. Zachycená celulóza je v podobě kalu odvodněna pomocí šnekových lisů. Odvodněný kal se smíchává se surovým kalem a je připraven na vyhnívání. [72][73]



Obr. 89 Rotační síto Huber RoMesh [128]

7.8 Návrh energetické soběstačnosti v návaznosti na článek 11

7.8.1. Tepelná soběstačnost

Nejsou k dispozici informace o přesných číslech výroby ani spotřebě tepelné energie. Přibližný odhad je 200% tepelná soběstačnost. Výroba je zprostředkována kogenerační jednotkou. Při výpadku kogeneračních jednotek jsou v záloze dva plynové kotle. Viz. 7.6.

Tepelná energie již nyní dosahuje 100% soběstačnosti a nařízení směrnice bude s velkou pravděpodobností dodrženo i do roku 2045.

7.8.2. Elektrická soběstačnost

Cílem této diplomové práce je zajistit energetickou soběstačnost na konkrétní čistírně odpadních vod Hodonín. ČOV Hodonín spadá pod VaK Hodonín, která spravuje další tři, respektive čtyři čistírny, které spadají do kategorie nad 10 000 EO (ČOV Hodonín, Bzenec, Kyjov a Veselí nad Moravou). Z toho VnM je již řadu let podle BSK mimo tuto kategorii. Proto by bylo vhodné tuto čistírnu přezkoumat, při vyřazení by se ročně uspořilo 324,4 kWh elektrické energie. V elektrické soběstačnosti proto bude vyrobená energie rozdělena mezi tři čistírny, s tím že největší prioritu bude mít ČOV Hodonín, pro splnění zadání práce.

2030

Požadavek 20% energetické soběstačnosti čistíren odpadních vod do konce roku 2030 představuje významný milník v transformaci vodohospodářského sektoru směrem k větší udržitelnosti. Tento cíl znamená, že čistírny budou muset pokrýt pětinu své celkové roční spotřeby energie z vlastních zdrojů.

Průměrná roční elektrická soběstačnost 20 % byla dosažena každoročně minimálně od roku 2021 do současnosti. V případě měsíčních statistik byla soběstačnost nižší pouze ve dvou měsících, lednu a říjnu roku 2024.

Z Tab. 52 vyplývá, že k 20% soběstačnosti pro všechny čistírny je potřeba vyrobit 610,3 MWh·rok⁻¹. Tuto podmínku splňuje samostatná výroba elektrické energie na ČOV v Hodoníně. Roční přebytek elektrické energie činí 399,1 MWh. Pro vybudování nové FVE a VE proto není vyvíjen žádný tlak a bylo by vhodné vyčkat na podporu dotace, která bylo v roce 2024 ukončena.

Tab. 52 Elektrická soběstačnost pro rok 2030 s podmínkou 20% soběstačnosti

Varianta FVE (690kWp) + VE (60kW) + druhá fáze testování				
	ČOV	Spotřeba [MWh]	Výroba [MWh]	Soběstačnost [%]
Současný stav	Hodonín	1587,1	984,0	62,0
	Bzenec	870,2	25,3	2,9
	Kyjov	594,0	0,0	0,0
Nová FVE + VE výroba 572,9 + 103,4 [MWh]	Rozdělení [%]	Výroba [MWh]	Výroba celk. [MWh]	Soběstačnost návrh [%]
	62,9	408,7	1392,7	87,8
	17,1	148,7	174,0	20,0
	20,0	118,8	118,8	20,0

2035

Do konce roku 2030 musí čistírny odpadních vod dosáhnout 40% energetické soběstačnosti. To je oproti předešlému požadavku dvounásobný nárůst. Pro splnění 40% kritérium je potřeba vyrobit 1220,5 MWh·rok⁻¹. Při aktuálním stavu se vyrobí o 210,9 MWh·rok⁻¹ méně. Tento deficit by se mohlo vyrobit při zprovoznění dávkování koagulantu pro zvýšený záchyt CHSK v usazovacích nádržích, bylo by potřeba zvednout soběstačnost ČOV Hodonín na 75,3 %. Pokud by se při testování nepovedlo dostatečně zvýšit soběstačnost, muselo by se investovat do FVE. V Tab. 53 je finální soběstačnost počítána i s FVE.

Tab. 53 Elektrická soběstačnost pro rok 2035 s podmínkou 40% soběstačnosti

Varianta FVE (690kWp) + VE (60kW) + druhá fáze testování				
	ČOV	Spotřeba [MWh]	Výroba [MWh]	Soběstačnost [%]
Současný stav	Hodonín	1587,1	984,0	62,0
	Bzenec	870,2	25,3	2,9
	Kyjov	594,0	0,0	0,0
Nová FVE + VE výroba 572,9 + 103,4 [MWh]	Rozdělení [%]	Výroba [MWh]	Výroba celk. [MWh]	Soběstačnost návrh [%]
	22,9	115,9	1099,9	69,3
	37,1	322,8	348,1	40,0
	40,0	237,6	237,6	40,0

2040

Výrazné navýšení požadované soběstačnosti na 70 % v roce 2040 odráží dlouhodobou strategii přechodu k energeticky nezávislým čistírnám. Zvýšení je o 1,75násobek.

Splnění 70% soběstačnosti pro ČOV Hodonín je díky současné a navržené výrobě energie splnitelná, ale pro zbylé čistírny VaK Hodonín klesne soběstačnost pod 40 %. Při nedodržení podmínky je možné podle výjimky dokoupit energii ve výši 5 % bodů z 70 % cíle, to znamená místo požadované výroby 2135,9 MWh·rok⁻¹ by stačilo vyrobit 1983,3 MWh·rok⁻¹. K tomuto cíli by měla pomoci implementace 3. fáze, případně by se musela zvýšit produkce kalů na vyhnívání z externích zdrojů.

Tab. 54 Elektrická soběstačnost pro rok 2040 s podmínkou 70% soběstačnosti

Varianta FVE (690kWp) + VE (60kW) + druhá fáze testování				
	ČOV	Spotřeba [MWh]	Výroba [MWh]	Soběstačnost [%]
Současný stav	Hodonín	1587,1	984,0	62,0
	Bzenec	870,2	25,3	2,9
	Kyjov	594,0	0,0	0,0
Nová FVE + VE výroba 572,9 + 103,4 [MWh]	Rozdělení [%]	Potřeba výroby [MWh]	Výroba celk. [MWh]	Soběstačnost návrh [%]
	8,0	126,9	1110,9	70,0
	67,1	583,8	341,5	39,2
	70,0	415,8	233,1	39,2

2045

Dosažení plné energetické soběstačnosti (100 %) v roce 2045 představuje finální cíl této nové směrnice o čištění městských odpadních vod.

100% soběstačnost byla navržena pouze na ČOV Hodonín. Na ostatní čistírny zbylo pouze 73,2 MWh·rok⁻¹. Výjimka je na nákup 35 %. Výjimka je omezena, provozovatel musí provést všechna opatření, aby dosáhl 100% soběstačnosti, tzn. zbývá ještě zvýšení zisku tepelné energie a následnou tepelnou energii převést na elektrickou.

Tab. 55 Elektrická soběstačnost pro rok 2045 s podmínkou 100% soběstačnosti

Varianta FVE (690kWp) + VE (60kW) + druhá fáze testování				
	ČOV	Spotřeba [MWh]	Výroba [MWh]	Soběstačnost [%]
Současný stav	Hodonín	1587,1	984,0	62,0
	Bzenec	870,2	25,3	2,9
	Kyjov	594,0	0,0	0,0
Nová FVE + VE výroba 572,9 + 103,4 [MWh]	Rozdělení [%]	Potřeba výroby [MWh]	Výroba celk. [MWh]	Soběstačnost návrh [%]
	38,0	603,1	1587,1	100,0
	97,1	844,9	43,5	5,0
	100,0	594,0	29,7	5,0

8 ZÁVĚR

Problematika energetické soběstačnosti komunálních čistíren odpadních vod představuje aktuální výzvu pro jejich provozovatele. Ti musí postupně zajistit do roku 2045 jejich 100 % tepelnou i elektrickou soběstačnost. Soběstačnost je požadována v nové směrnici EU o čištění městských odpadních vod, přičemž se stále čeká na její implementaci českými zákonodárci. Hlavním cílem práce bylo navrhnout optimální řešení pro dosažení energetické neutrality na ČOV Hodonín s důrazem na technickou proveditelnost a ekonomickou návratnost.

V úvodní části bylo provedeno seznámení se s právními podklady Evropské unie a České republiky, které jsou relevantní pro energetickou soběstačnost. V rešeršní části byly popsány technologie a postupy směřující k energetické soběstačnosti čistíren odpadních vod zahrnující využití větrné, sluneční, vodní a geotermální energie a energie z kalového plynu. K soběstačnosti může přispět i zelená infrastruktura, která efektivně zvyšuje účinnost fotovoltaických panelů. Na základě této rešerše byla vypracována technicko-ekonomická studie implementace vybraných technologií pro ČOV Hodonín. V práci jsem navíc rozdělil energii pro tři čistírny společnosti VaK Hodonín, kterých se článek o soběstačnosti týká. První významný krok k soběstačnosti bylo přesunutí ČOV Veselí nad Moravou mimo kategorii nad 10 000 ekvivalentních obyvatel, z důvodu nízkého znečištění.

Aktuální stav čistírny zajišťuje odhadem 200 % tepelné energie prostřednictvím kogenerační jednotky. Podmínka je tedy zajištěna až do roku 2045, navíc vzniká prostor pro přeměnu určité části na elektrickou energii pomocí Organického Rankinova cyklu. Výroba elektrické energie pokryje podmínku 20% soběstačnosti do roku 2030. Při aplikaci dávkování přebytečného kalu před usazovací nádrž je dosaženo stabilní soběstačnosti 62 %. Pro splnění požadavku 40% soběstačnosti do roku 2035 pro VaK Hodonín je potřeba vyrobit o 210,9 MWh·rok⁻¹. Toho je možné docílit investicí do fotovoltaických panelů, případně spolu s větrnou turbínou. Také výroba energie z bioplynu se pravděpodobně zvýší dávkování koagulantu do usazovací nádrže, ale toto tvrzení bude nutno nejprve ověřit testováním. Pro samotnou ČOV Hodonín je podmínka splněna. Soběstačnost 70 a 100 % byla dosažena pouze u ČOV Hodonín s poklesem soběstačnosti ve zbylých čistírnách. Pro soběstačnost všech tří čistíren bylo navrženo

několik optimalizačních řešení. Potenciální zdroj elektrické energie představuje energie tepelná. Tu lze získat využitím geotermální energie podzemní vody, energií z vyčištěné odpadní vody nebo prostřednictvím toku Teplý Járek, který dosahuje vyšších teplot. Předmětné pro využití tepla je vybavení čistírny ORC. Potenciální zdroj elektrické energie se skrývá v intenzifikaci anaerobního vyhnívání, kde je prostor pro zvýšení pomocí spoluvyhnívání kalu.

Z ekonomického hlediska představuje fotovoltaika poměrně drahou položku s roční výrobou 572,9 MWh a návratností 6,9 let v případě splnění dotačních podmínek. Využití větrné energie se jeví jako levnější varianta. Při využití jedné turbíny, lze v zájmové lokalitě vyrobit 103,4 MWh·rok⁻¹, návratnost je díky dotaci snížena na 4,4 let. Vodní energie se ukázala jako nevyužitelný zdroj, z důvodu malého spádu. Výhodou zdrojů obnovitelné energie jsou dotační programy, které výrazným způsobem snižují náklady na jejich aplikaci. Dotacemi se stát snaží zvýšit jejich podíl na úkor fosilních paliv.

Navržená řešení představují reálnou cestu k dosažení energetické neutrality ČOV Hodonín v souladu s požadavky nové směrnice EU, přičemž zohledňují jak technickou proveditelnost, tak ekonomickou efektivitu implementovaných opatření. Pro VaK Hodonín jsou navrženy další postupy, kterými by se měla soběstačnost zvýšit.

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] SDĚLENÍ KOMISE EVROPSKÉMU PARLAMENTU, EVROPSKÉ RADĚ, RADĚ, EVROPSKÉMU HOSPODÁŘSKÉMU A SOCIÁLNÍMU VÝBORU A VÝBORU REGIONŮ Zelená dohoda pro Evropu: COM/2019/640 final. In: *Úřední věstník Evropské unie*. 2019.
- [2] *Jaké jsou závazky Česka v oblasti klimatu?* Online. Faktaoklimatu.cz. 2024. Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/explainery/klimaticke-zavazky-cr>. [cit. 2024-12-25].
- [3] *Co je Zelená dohoda pro Evropu?* Online. Faktaoklimatu.cz. 2024. Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/explainery/zelena-dohoda-pro-evropu>. [cit. 2024-12-23].
- [4] SDĚLENÍ KOMISE EVROPSKÉMU PARLAMENTU, RADĚ, EVROPSKÉMU HOSPODÁŘSKÉMU A SOCIÁLNÍMU VÝBORU A VÝBORU REGIONŮ „Fit for 55“: plnění klimatického cíle EU pro rok 2030 na cestě ke klimatické neutralitě: COM/2021/550 final. In: *Úřední věstník Evropské unie*. 2021.
- [5] *Co je Fit for 55*. Online. Faktaoklimatu.cz. 2022. Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/infografiky/fit-for-55>. [cit. 2024-12-23].
- [6] SDĚLENÍ KOMISE EVROPSKÉMU PARLAMENTU, EVROPSKÉ RADĚ, RADĚ, EVROPSKÉMU HOSPODÁŘSKÉMU A SOCIÁLNÍMU VÝBORU A VÝBORU REGIONŮ Plán REPowerEU: COM/2022/230 final. In: *Úřední věstník Evropské unie*. 2022.
- [7] *Co navrhuje plán REPowerEU a jak se dotýká Česka?* Online. Faktaoklimatu.cz. 2024. Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/explainery/repowereu>. [cit. 2024-12-23].
- [8] SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) 2023/1791 o energetické účinnosti: PE/15/2023/INIT. In: *Úřední věstník Evropské unie*. 2023.
- [9] SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) 2023/2413: PE/36/2023/REV/2. In: *Úřední věstník Evropské unie*. 2023.
- [10] *Aktualizace Státní energetické koncepce (SEK)*. Online. Mpo.gov.cz. Dostupné z: <https://www.mpo.gov.cz/cz/rozcestnik/pro-media/tiskove-zpravy/aktualizace-statni-energeticke-koncepce-sek--279668/>. [cit. 2024-12-23].
- [11] Aktualizace Vnitrostátního plánu České republiky v oblasti energetiky a klimatu. In: *Strategické a koncepční dokumenty*. 2023.
- [12] Senát: Návrh směrnice Evropského parlamentu a Rady o čištění městských odpadních vod (přepracované znění). In: *Parlament České republiky*. 2023. Dostupné také z: <https://www.senat.cz/xqw/xervlet/pssenat/original?docid=106475&varid=89312&fileid=99383>.

- [13] Legislativní usnesení Evropského parlamentu: ze dne 10. dubna 2024 o návrhu směrnice Evropského parlamentu a Rady o čištění městských odpadních vod. In: *Návrh legislativního usnesení Evropského parlamentu*. 2024. Dostupné také z: https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2024-0222_CS.html.
- [14] LEGISLATIVE OBSERVATORY. *2022/0345(COD) Urban wastewater treatment. Recast*. Online. 2022. Dostupné z: [https://oeil.secure.europarl.europa.eu/oeil/popups/ficheprocedure.do?lang=en&reference=2022/0345\(COD\)](https://oeil.secure.europarl.europa.eu/oeil/popups/ficheprocedure.do?lang=en&reference=2022/0345(COD)). [cit. 2024-08-20].
- [15] EVROPSKÝ PARLAMENT. *Řádný legislativní postup*. Online. Dostupné z: https://www.europarl.europa.eu/infographic/legislative-procedure/index_cs.html#proposal-adopted. [cit. 2024-08-20].
- [16] *Results of vote in Parliament*. Online. Dostupné z: <https://oeil.secure.europarl.europa.eu/oeil/en/sda-vote-result?sdaId=60476>. [cit. 2025-01-03].
- [17] HUŠKOVÁ, Radka. Nová směrnice o čištění městských odpadních vod: příležitost i výzva pro Česko. *Sovak*. Roč. 2024, č. 12.
- [18] SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) 2023/1791: ze dne 13. září 2023 o energetické účinnosti. In: *Úř. věst. L 231/1*, 13.9. 2023.
- [19] Malé a střední podniky. In: *Úřad pro publikace Evropské unie*. 2022.
- [20] *Study to support the Impact Assessment of the UWWTD*. WOOD. 2021.
- [21] COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT: Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council concerning urban wastewater treatment. In: *SWD(2022) 541 final*. 2022.
- [22] EVROPSKÁ KOMISE. *Předpisy EU – provádění v členských státech*. Online. Dostupné z: https://commission.europa.eu/law/application-eu-law/implementing-eu-law_cs. [cit. 2024-12-01].
- [23] SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) 2018/2001: ze dne 11. prosince 2018 o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů. In: *Úř. věst. L 328 21.12. 2018*.
- [24] Vyhodocení spotřeby a produkce energie na českých ČOV. *Sovak*. 2020, č. 4, s. 12-17.
- [25] WEIDELNER, Alexander. *50. Leistungsnachweis der kommunalen Kläranlagen in Baden-Württemberg*. PDF. DWA, 2024.
- [26] Směrnice Rady ze dne 21. května 1991 o čištění městských odpadních vod. In: *Úřední věstník L 135*. 1991.
- [27] MATOS, C. Wastewater and greywater reuse on irrigation in centralized and decentralized systems. *Science Direct*. 2014, č. Volume 493.
- [28] RULÍK, Martin. *Čištění odpadních vod*. Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity, 2020.

- [29] SOARES, Renan Barroso. Comparative Analysis of the Energy Consumption of Different Wastewater Treatment Plants. *International Journal of Architecture, Arts and Applications*. 2017. ISSN 2472-1107.
- [30] TSALAS, Nikolaos. Optimization of Energy Consumption in a Wastewater Treatment Plant: An Overview. *MDPI*. 2024.
- [31] Směrnice Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 98/2008 ze dne 19. listopadu 2008 o odpadech. In: *Úřední věstník Evropské unie*. 2008.
- [32] *Čistírny odpadních vod v roce 2023*. PDF. Český statistický úřad, 2024.
- [33] ANWAR, Mohammad a RASUL, Mohammad. Performance Analysis of rooftop greenery systems in Australian subtropical climate. *Research Gate*. 2020, č. Energy Reports 6, s. 50-56.
- [34] *Handbook on Renewable Energy and Green Technology*. CRC Press, 2024. ISBN 9781032711898.
- [35] *Roční zpráva o provozu elektrizační soustavy České republiky 2023*. Energetický regulační úřad. 2024.
- [36] EUROSTAT. *Renewables take the lead in power generation in 2023*. Online. 2024. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20240627-1>. [cit. 2024-08-20].
- [37] *Obnovitelné zdroje energie*. Profi Press, 2012. ISBN 978-80-86726-48-9.
- [38] *Větrné motory a elektrárny*. ČVUT, 1997. ISBN 80-01-01563-7.
- [39] MANWELL, J. F. *WIND ENERGY EXPLAINED*. 2nd ed. WILEY, 2009. ISBN 978-0-470-01500-1.
- [40] *Větrné elektrárny v ČR*. Online. 2022. Dostupné z: <https://www.evropavdatech.cz/clanek/87-vetrne-elektrarny-v-cr/>. [cit. 2024-08-20].
- [41] ELIA CAMPANA, Pietro; MAINARDIS, Matia; MORETTI, Alessandro a COTTES, Mattia. 100% renewable wastewater treatment plants: Techno-economic assessment using a modelling and optimization approach. *Science Direct*. 2021, č. 239.
- [42] *Fourth wind turbine in operation on wastewater treatment plant*. Online. Dostupné z: <https://hamburg-business.com/en/news/fourth-wind-turbine-operation-wastewater-treatment-plant>. [cit. 2025-01-04].
- [43] *Tag der offenen Tür im autarken Kraftwerk am Hamburger Köhlbrandhöft*. Online. Dostupné z: <https://www.h2-hh.de/de/events/details/tag-der-offenen-tuer-im-autarken-kraftwerk-am-hamburger-koehlbrandhoeft.html>. [cit. 2025-01-04].
- [44] *Atlas podnebí Česka*. Praha : Český hydrometeorologický ústav, 2007. ISBN 978-80-86690-26-1.
- [45] *Sluneční energie jako klíč k udržitelné budoucnosti*. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.woltair.cz/blog/fotovoltaika/domaci-fotovoltaicka-elektrarna-v-cr>. [cit. 2024-08-21].

- [46] *Maximalizace účinnosti solárních panelů: Optimální směr a úhel*. Online. 2023. Dostupné z: <https://www.energ solar.cz/maximalizace-ucinnosti-solarnich-panelu-optimalni-smer-a-uhel/>. [cit. 2024-08-21].
- [47] HASELHUHN, Rafl. *Fotovoltaika Budovy jako zdroj proudu*. HEL, 2010. ISBN 978-80-86167-33-6.
- [48] *Cape Town's first floating solar pilot project paving the way for a more sustainable city*. Online. Dostupné z: <https://www.da.org.za/2021/10/cape-towns-first-floating-solar-pilot-project-paving-the-way-for-a-more-sustainable-city>. [cit. 2025-01-04].
- [49] *Zhengzhou Huanlong New Energy Wulongkou Sewage Treatment Plant solar project*. Online. Dostupné z: https://www.gem.wiki/Zhengzhou_Huanlong_New_Energy_Wulongkou_Sewage_Treatment_Plant_solar_project. [cit. 2025-01-04].
- [50] *Photovoltaic Power Station In Zhengzhou*. Online. Dostupné z: <https://www.gettyimages.ac/detail/news-photo/aerial-view-of-a-photovoltaic-system-built-atop-a-sewage-news-photo/1413079537>. [cit. 2025-01-04].
- [51] BEDNÁŘ, Josef. *Turbíny: malé vodní elektrárny*. Českovice : Marcela Bednářová, 2013. ISBN 978-80-905437-0-6.
- [52] Assessment of hydropower potential in wastewater systems and application to Switzerland. *Science Direct*. 2017, č. Volume 113, s. 64-73.
- [53] CHAPALLAZ, J.M. a EICHENBERGER, P. Practical Guide for Small Hydropower Plants. *Technical Report – in French. SFOE Report n 724.244f, Programme d'action PACER*. 1992.
- [54] *Kapacita ČOV*. PDF. Fakulta stavební ČVUT v Praze. 2012.
- [55] *Potential of Small-Scale Hydropower for Electricity Generation in Sub-Saharan Africa*. Online. 2012. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/258403445_Potential_of_Small-Scale_Hydropower_for_Electricity_Generation_in_Sub-Saharan_Africa. [cit. 2025-01-04].
- [56] *ČOV Blansko*. VH atelier, 2020.
- [57] MIKULÁŠEK, Pavel. *Unikátní stavba kanalizačního výtlaku v Blansku*. Online. Dostupné z: <https://www.stavebniserver.com/zpravodajstvi/unikatni-stavba-kanalizacniho-vytlaku-v-blansku-nove-vyrabi-i-elektrickou-energii/>. [cit. 2025-01-08].
- [58] HLAVÍNEK, Petr a RAČEK, Jakub. *Odborné posouzení koncepce využití tepelné energie z ČOV Letiště Praha*. Vysoké učení technické v Brně, 2023.
- [59] NIBE. *Tepelné čerpadla NIBE*. Online. Dostupné z: <https://nibe.esel.cz/w/6604/tepelne-čerpadla-nibe>. [cit. 2025-01-03].
- [60] *Energy from wastewater*. Online. Dostupné z: <https://www.huber-technology.cl/en/huber-report/ablage-berichte/energy-from-wastewater/energy->

- [from-wastewater-the-huber-rowin-heat-exchanger-is-becoming-increasingly-popular.html](#). [cit. 2025-01-04].
- [61] WANNER, Filip. Nakládání s čistírenskými kaly v České republice. *Sovak*. Květen 2019.
- [62] DOHÁNYOS, Michal. *Čištění odpadních vod*. 2rd ed. Praha: VŠCHT, 2007. ISBN 978-80-7080-619-7.
- [63] HLAVÍNEK, Petr. *Příručka stokování a čištění*. NOEL, 2000. ISBN 80-86020-30-4.
- [64] *Kaly v roce 2023*. PDF. Český statistický úřad.
- [65] *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*. 5rd ed. McGraw-Hill Higher Education, 2013. ISBN 9780077441210.
- [66] DOHÁNYOS, Michal. *Anaerobní čistírenské technologie*. NOEL, 1998. ISBN 80-86020-19-3.
- [67] SCHULZ, Heinz. *Bioplyn v praxi*. HEL, 2004. ISBN 80-86167-21-6.
- [68] BÁBÍČEK, Richard. *Cesta k plné energetické soběstačnosti čov nad 10 000 EO*. DOCX. 2024.
- [69] HANZLÍČKOVÁ, Eugenie. Převod čistírenské bioplynové stanice do režimu zákona o odpadech - cesta k energetické neutralitě. *Sovak*. Roč. 2024, č. 6.
- [70] *Studie nakládání s biologickými odpady pro optimalizaci podpory z OPŽP 2021–2027*. Ministerstvo životního prostředí, 2023.
- [71] GERNDTOVÁ, Ilona. Využití travních směsí při anaerobní digesti.
- [72] CRUTCHIK, Dafne. Biorefinery of cellulosic primary sludge towards targeted Short Chain Fatty Acids, phosphorus and methane recovery. *Water Research*. 2018, č. Volume 136.
- [73] RUSTEN, B. Evaluation and testing of fine mesh sieve technologies for primary treatment of municipal wastewater. *Water Science & Technology*. Roč. 2006, č. Volume 54.
- [74] ČESKÁ BIOPLYNOVÁ ASOCIACE. *Závislost výtěžku metanu na složení a předúpravě suroviny*. Online. Dostupné z: <https://www.czba.cz/zavislost-vytezku-metanu-na-slozeni-a-preduprave-suroviny.html>. [cit. 2025-01-13].
- [75] DVORSKÝ, Emil a HEJTMÁNKOVÁ, Pavla. *Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie*. BEN, 2005. ISBN 80-7300-118-7.
- [76] TTS ENERGO. *ORC*. Online. Dostupné z: <https://www.tsenergo.cz/vyroba-a-dodavky-tepla/orc/>. [cit. 2025-01-03].
- [77] QUOILIN, Sylvain. Techno-economic survey of Organic Rankine Cycle (ORC) systems. *Science Direct*. 2013, č. Volume 22.
- [78] BPOWER. *ORC*. Online. Dostupné z: <https://www.bpower.cz/vyuziti-odpadniho-tepla-z-kogeneracni-jednotky-horkovodni-orc>. [cit. 2025-01-04].

- [79] ŠKORPÍK, Jiří. *Stirlingův motor*. Online. Dostupné z: https://www.transformacni-technologie.cz/stirlinguv-motor_332013.html. [cit. 2025-01-05].
- [80] *Tepl vzdušné motory*. Online. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/uvod/stirling.htm>. [cit. 2025-01-03].
- [81] KOTRLA, Jakub. *Zelená infrastruktura v ČR a Evropské unii*. Tzb-info.cz, 2023.
- [82] MINKE, Gernot. *Zelené střechy: Plánování, realizace, příklady z praxe*. HEL, 2001. ISBN 80-86167-17-8.
- [83] RETHINK ARCHITECTURE. *Zelené střechy*. Online. Dostupné z: <https://www.rethinkarchitecture.cz/z-ukazkove-reseni/zelene-strechy-ukazkove-reseni>. [cit. 2025-01-12].
- [84] *Zelené střechy a fotovoltaika se užitečně doplňují*. Online. Dostupné z: <https://www.nadacepartnerstvi.cz/Co-delame/Projekty/Life-Tree-Check/Aktuality/Zelene-strechy-a-fotovoltaika-se-uzitecne-doplnuji>. [cit. 2025-01-03].
- [85] *Solar panels on a green rooftop with blooming sedum*. Online. Dostupné z: <https://www.shutterstock.com/cs/image-photo/solar-panels-on-green-rooftop-blooming-2018678282>. [cit. 2025-01-04].
- [86] MURTINGER, Karel. *Fotovoltaika. Elektrina ze slunce*. 2nd ed. EkoWatt, 2008. ISBN 978-80-7366-133-5.
- [87] Online. [cit. 2025-01-03].
- [88] *Výroční zpráva 2023*. PDF. VaK Hodonín, 2024.
- [89] *Mapy.cz*. Online. 2024. Dostupné z: <https://mapy.cz>. [cit. 2025-01-03].
- [90] *Výroční zpráva 2020*. PDF. VaK Hodonín, 2021.
- [91] *SUM KGH FVE 2020*. XLS. 2021.
- [92] *Výroční zpráva 2021*. PDF. VaK Hodonín, 2022.
- [93] *SUM KGH FVE 2021*. XLS. VaK Hodonín, 2022.
- [94] *Výroční zpráva 2022*. PDF. VaK Hodonín, 2023.
- [95] *SUM KGH FVE 2022*. XLS. VaK Hodonín, 2023.
- [96] *SUM KGH FVE 2023*. XLS. VaK Hodonín, 2024.
- [97] *SUM KGH FVE 2024*. XLS. VaK Hodonín, 2023.
- [98] JOSEF, Malý. *Chemie a technologie vody*. 2nd ed. Brno: ARDEC, 2006. ISBN 80-86020-50-9.
- [99] CHMI. *Měsíční a roční data dle zákona 123/1998 Sb*. Online. 2024. Dostupné z: <https://intranet.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mesicni-data/mesicni-data-dle-z.-123-1998-Sb#>. [cit. 2025-01-03].
- [100] ČHMÚ. *Meteorologické stanice ČHMÚ*. Online. Dostupné z: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/OS/stanice/ShowStations_CZ.html. [cit. 2025-01-10].

- [101] AV ČR. *Mapa všeobecných větrných podmínek ve výšce 10 m nad povrchem*. Online. 2024. Dostupné z: <http://vitr.ufa.cas.cz/male-vte/>. [cit. 2025-01-03].
- [102] *Charakteristika zájmového území*. Online. Dostupné z: https://www.portalobce.cz/povodnovy-plan/hdn_charakteristika-zajmoveho-uzemi. [cit. 2025-01-11].
- [103] ZEMĚMĚŘICKÝ ÚŘAD. *Analýzy výškopisu*. Online. 2024. Dostupné z: <https://ags.cuzk.cz/av/>. [cit. 2025-01-03].
- [104] WALLACE, John M. *Atmospheric Science, Second Edition: An Introductory Survey*. 2nd ed. Academic Press, 2006. ISBN 978-0-12-732951-2.
- [105] *Global Wind Atlas*. Online. Dostupné z: <https://globalwindatlas.info/en/>. [cit. 2025-01-10].
- [106] *Log wind profile*. Online. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Log_wind_profile. [cit. 2025-01-10].
- [107] MAXA, Lukáš. *Fotografie ČOV Hodonín*. Online. In: . 2023. [cit. 2025-01-04].
- [108] SWPOWER. *Elektrárny a bateriová úložiště*. Online. Dostupné z: <https://www.swpower.cz/>. [cit. 2025-01-10].
- [109] *Obnovitelné zdroje energie – větrné elektrárny – výzva II*. PDF. MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU, 2024.
- [110] EU SCIENCE HUB. *Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)*. Online. Dostupné z: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis_en. [cit. 2025-01-10].
- [111] *PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM*. Online. Dostupné z: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/. [cit. 2025-01-03].
- [112] *SUM KGJ FVE 2019*. XLS. VaK Hodonín, 2020.
- [113] MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *VÝZVA MODF – RES+ Č. 1/2024*. PDF. 2024.
- [114] *Vyjádření k existenci sítí*. DGN. VaK Hodonín, 2024.
- [115] *Obnovitelné zdroje energie malé vodní elektrárny – výzva I*. PDF. 2023.
- [116] *Hydrodata*. PDF. ČGS, Oddělení ICT a vývoje aplikací, 2024.
- [117] *Geodata*. PDF. ČGS, Oddělení ICT a vývoje aplikací, 2024.
- [118] ČEZ. *Elektrárna Hodonín*. Online. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobní-zdroje/uhelne-elektrarny-a-teplarny/uhelne-elektrarny-a-teplarny-cez-v-cr/elektrarna-hodonin-58184>. [cit. 2025-01-14].
- [119] HADAŠ, P. *Dynamika teplotního režimu vody v mikulčickém luhu a jeho příčiny*. PDF. Mendelova univerzita v Brně, 2011.
- [120] ČEZ. *Unikátní izraelský chladič systém v Hodoníně*. Online. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/pro-media/tiskove-zpravy/unikatni-izraelsky-chladici>

- system-v-hodonine-rocne-usetri-57-milionu-kubiku-vody-snizi-spotrebu-o-189644. [cit. 2025-01-14].
- [121] BUDERUS. *Tepelné čerpadlo voda/voda*. Online. Dostupné z: <https://www.buderus.com/cz/cs/informace/produkty-a-sluzby/clanky/teplene-čerpadlo-voda-voda/>. [cit. 2025-01-14].
- [122] AQUARO. *Cena kopané studny*. Online. Dostupné z: <https://www.gethttps://www.aquaro.cz/cena-kopane-studny/>. [cit. 2025-01-14].
- [123] *Vodovody a kanalizace Hodonín, a.s.* Online. Dostupné z: <https://www.vak-hod.cz/>. [cit. 2025-01-03].
- [124] TEDOM. *Technické parametry standardního provedení kogeneračních jednotek*. Online. Dostupné z: <https://www.tedom.com/cs/kogenerace-jednotky/zemni-plyn/>. [cit. 2025-01-04].
- [125] BÁBÍČEK, Richard. *Zvyšování energetické soběstačnosti čistíren odpadních vod*. DOCX. 2024.
- [126] *Vyhodnocení médií ČOV Hodonín 2011*. XLS. VaK Hodonín, 2024.
- [127] *Separace a praní písku*. Online. In: IN-EKO. Dostupné z: <https://www.in-eko.cz/produkty/separace-a-prani-pisku/>. [cit. 2025-01-03].
- [128] *HUBER Drum Screen RoMesh*. PDF. HUBER.

10 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

ČOV	čistírna odpadních vod
EED	Směrnice o energetické účinnosti
RED	Směrnice o obnovitelných zdrojích energie
OZE	Obnovitelné zdroje energie
NECP	Vnitrostátní plán v oblasti energetiky a klimatu
PJ	Petajoule
REFIT	Program pro účelnost a účinnost právních předpisů
EO	Ekvivalentní obyvatel
ČSN	Česká technická norma
EN	Evropská norma
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
kWh	kilowatthodina
CHSK	Chemická spotřeba kyslíku
ÖWAV	Rakouský svaz pro vodní hospodářství a nakládání s odpady
DWA	Německá asociace pro vodní hospodářství, odpadní vody a odpady
OV	Odpadní voda
Fe ³⁺	železitý kation
Al ³⁺	hlinitý kation
Ca ²⁺	vápenatý kation
FeCl ₃	chlorid železitý
Fe ₂ (SO ₄) ₃	síran železitý
Ca(OH) ₂	hydroxid vápenatý
Al ₂ (SO ₄) ₃	síran hlinitý
EU-28	Evropská unie složená z 28 členských států
CO ₂	oxid uhličitý
CH ₄	methan
N ₂ O	oxid dusný
V _(z1)	rychlost větru ve známé výšce [m·s ⁻¹]
V _(z2)	rychlost větru ve zkoumané výšce [m·s ⁻¹]
Z ₀	výška drsnosti [m]
Z ₁	základní výška [m]

z_2	výška, pro kterou hledáme rychlost větru [m]
d	posun v nulové rovině [m]
d_p	výška překážek [m]
v_t	četnost výskytu rychlosti větru [%]
v	průřez rychlostí [$m \cdot s^{-1}$]
σ	rozptyl hodnot kolem střední rychlosti [$m \cdot s^{-1}$]
P_v	Výkon proudu vzduchu [kW]
ρ_{vz}	hustota vzduchu [$kg \cdot m^{-3}$]
A	plocha rotoru [m^2]
C_p	výkonový součinitel [-]
E	Vyrobená energie [kWh]
P_{inst}	instalovaný výkon [kWp]
FVE	fotovoltaická elektrárna
VE	vodní elektrárna
E_{ve}	hydroenergetický potenciál
η	celková účinnost zařízení [-]
ρ_v	hustota vody [$kg \cdot m^{-3}$]
g	gravitační zrychlení [$m^2 \cdot s^{-1}$]
H	čistý spád [m]
V	objem před/vyčištěné odpadní vody [$m^3 \cdot rok^{-1}$]
MVE	malá vodní elektrárna
DN000	jmenovitá světlost
H_n	Návrhový spád [m]
Q_n	Návrhový spád [$m^3 \cdot s^{-1}$]
P_n	výkon při H_n, Q_n [kW]
HHV	spalné teplo [$^{\circ}C$]
LHV	výchřevnost [$^{\circ}C$]
H_{reakce}	reakční entalpie
$H^0_{f, produkt}$	slučovací entalpie produktů
$H^0_{f, reaktant}$	entalpie produktů
kJ	kilojoule
BPS	bioplynová stanice
CH_4	methan

KGJ	kogenerační jednotka
kW _E	kilowatt elektrický
ORC	Organický Rankinův cyklus
⁴⁰ K	izotop draslíku-40
²³² Th	izotop thoria-232
²³⁵ U	izotop uranu-235
²³⁸ U	izotop uranu-238
COP	charakteristický topný faktor
Ni-Cd	nikl-kadmiový akumulátor
Ni-Fe	nikl-železný akumulátor
VnM	Veselí nad Moravou
VaK	vodovody a kanalizace
DN	dosazovací nádrž
ČEZ	České energetické závody
CHSK _{Cr}	chemická spotřeba kyslíku stanovená dichromanovou metodou
BSK ₅	biochemická spotřeba kyslíku za 5 dní
NL	nerozpuštěné látky
RL	rozpuštěné látky
RAS	rozpuštěné anorganické soli
N-NH ₄	amoniakální dusík
N-NO ₃	dusičnanový dusík
AN	aktivační nádrž
UN	usazovací nádrž
PVGSI	fotovoltaický geografický informační systém
SARAH 3	dataset slunečního záření na zemském povrchu
ERA 5	generace atmosférické reanalýzy klimatu
AV ČR	Akademie věd České republiky
WRF	Výzkumný a předpovědní model počasí
H _N	návrhová výška větrné turbíny [m]
v _N	Návrhová rychlost větru [m·s ⁻¹]
CFD	Výpočetní dynamika tekutin

11 SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Cíl hrubé výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů	14
Tab. 2 Výsledek hlasování Radou v parlamentu 10.04.2024.....	17
Tab. 3 Navržené cílové hodnoty spotřeby.....	21
Tab. 4 Navržené cílové hodnoty výroby	21
Tab. 5 Srovnání nákladů a přínosů do roku 2040	23
Tab. 6 Požadavky na terciární čištění	24
Tab. 7 Požadavky na kvartérní čištění	26
Tab. 8 Příklady využití MVE před nebo za ČOV	45
Tab. 9 Produkce a nakládání čistírenských kalů v roce 2023	52
Tab. 10 Mikroorganismy podle nároků na teplotu.....	58
Tab. 11 Výťažnost bioplynu z jednotlivých druhů odpadů	60
Tab. 12 Charakteristika metod termického zpracování.....	63
Tab. 13 Výkyv v soběstačnosti po povodních	80
Tab. 14 Průměrné roční rychlosti větru stanice Strážnice.....	80
Tab. 15 Průměrné roční rychlosti větru stanice Lednice.....	80
Tab. 16 Průměrné roční rychlosti větru stanice Kobylí	81
Tab. 17 Porovnání rychlostí větru	86
Tab. 18 Potenciál větrné turbíny	88
Tab. 19 Charakteristika turbíny SWP RE E-60.....	89
Tab. 20 Charakteristika turbíny SWP RE E-20.....	89
Tab. 21 Roční výroba elektrické energie $C_p = 0,25$	90
Tab. 22 Roční výroba elektrické energie $C_p = 0,25$	91
Tab. 23 Roční výroba elektrické energie vztažená k soběstačnosti ČOV (2023).....	92
Tab. 24 Investiční náklady	93
Tab. 25 Investiční náklady (% z 20 kW turbíny)	94
Tab. 26 Provozní náklady	94
Tab. 27 Roční produkce elektrické energie.....	94
Tab. 28 Roční úspora na energiích.....	94
Tab. 29 Doba návratnosti	95
Tab. 30 Soběstačnost.....	95

Tab. 31 Dotančí program	95
Tab. 32 Roční výroba elektrické energie na FVE Hodonín	98
Tab. 33 Porovnání roční výroby elektrické energie	99
Tab. 34 Rozdělení vyrobené energie na 3 ČOV VaK Hodonín.....	100
Tab. 35 Investiční náklady	101
Tab. 36 Provozní náklady [Kč]	101
Tab. 37 Roční produkce	101
Tab. 38 Úspora na energiích	102
Tab. 39 Doba návratnosti	102
Tab. 40 Soběstačnost (pro 3 ČOV)	102
Tab. 41 Možnost dotací a podpor.....	103
Tab. 42 Hydrotechnický potenciál	105
Tab. 43 Modelová řada ORC firmy BPOWER.....	108
Tab. 44 Vrtná prozkoumanost	109
Tab. 45 Čerpací zkoušky	109
Tab. 46 Cena kopané a vrtané studny	112
Tab. 47 Parametry KGJ Cento 80	114
Tab. 48 Parametry KGJ Cento 120	115
Tab. 49 Kvalita přitékající odpadní vody [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	117
Tab. 50 Cirkulace sekundárního a množství surového kalu při druhé fázi.....	119
Tab. 51 Výsledky druhé fáze	120
Tab. 52 Elektrická soběstačnost pro rok 2030 s podmínkou 20% soběstačnosti.....	124
Tab. 53 Elektrická soběstačnost pro rok 2035 s podmínkou 40% soběstačnosti.....	124
Tab. 54 Elektrická soběstačnost pro rok 2040 s podmínkou 70% soběstačnosti.....	125
Tab. 55 Elektrická soběstačnost pro rok 2045 s podmínkou 100% soběstačnosti.....	126

12 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Podíl obnovitelných zdrojů na konečné spotřebě energie (vyšší=lepší).....	14
Obr. 2 Energetická účinnost ČR (nižší=lepší)	15
Obr. 3 Energetická bilance německých ČOV	21
Obr. 4 Hodnocené čistírny odpadních vod.....	22
Obr. 5 Elektrická soběstačnost ČOV v ČR	22
Obr. 6 Produkce elektrické energie v EU, 1990–2023 [GWh]	30
Obr. 7 Vertikální turbíny	31
Obr. 8 Horizontální turbíny, a) dvě lopatky, b) tři lopatky, c) čtyři lopatky	32
Obr. 9 Popis součástí větrné elektrárny	32
Obr. 10 Potenciál větrné energie	33
Obr. 11 ČOV Hamburk	35
Obr. 12 Trvání slunečního svitu [h]	35
Obr. 13 Roční úhrn slunečního záření [$\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}$]	36
Obr. 14 Vliv orientace a sklonu na výkon panelů [%]	36
Obr. 15 Testování plovoucích FP na nádrži	39
Obr. 16 FVE na ČOV Čeng-čou	40
Obr. 17 Vodní elektrárna umístěná před čistírnou odpadních vod.....	43
Obr. 18 Vodní elektrárna umístěná za čistírnou odpadních vod	43
Obr. 19 Denní nerovnoměrnost produkce odpadních vod (cca 6000 EO)	44
Obr. 20 Křivky účinnost pro vybrané typy vodních turbín.....	45
Obr. 21 MVE na ČOV Blansko	46
Obr. 22 Systém vzduch – vzduch.....	48
Obr. 23 systém země – voda, svislý výměník.....	49
Obr. 24 Systém země – voda, vodorovný výměník	49
Obr. 25 Systém voda – voda, podzemní	50
Obr. 26 Systém voda – voda, povrchová	50
Obr. 27 ČOV Witzzenhausen.....	51
Obr. 28 Schéma odděleného odebírání kalu ze systému.....	54
Obr. 29 Schéma společného odebírání kalu ze systému	54
Obr. 30 Průběh chemické energie v procesu čištění	54

Obr. 31 Organický Rankinův cyklus.....	67
Obr. 32 Stirlingův motor	67
Obr. 33 Biosolární střecha	69
Obr. 34 Termosnímky Otevřené zahrady 24.7.2019 13:00	70
Obr. 35 Teplotní rozdíl v průběhu dne bez klimatizace	70
Obr. 36 Situační umístě ČOV Hodonín	73
Obr. 37 Čistírna odpadních vod Hodonín	74
Obr. 38 Výroba a spotřeba el. energie.....	75
Obr. 39 Elektrická soběstačnost.....	75
Obr. 40 Výroba a spotřeba el. energie.....	76
Obr. 41 Elektrická soběstačnost.....	76
Obr. 42 Výroba a spotřeba el. energie.....	77
Obr. 43 Elektrická soběstačnost.....	77
Obr. 44 Výroba a spotřeba el. energie.....	78
Obr. 45 Elektrická soběstačnost.....	78
Obr. 46 Nejbližší meteorologické stanice s měřením větru	81
Obr. 47 Výhodnocení větrných podmínek podle AV ČR	82
Obr. 48 Větrná růžice rozdělení směru větru	82
Obr. 49 Větrná růžice průměrné rychlosti větru	83
Obr. 50 Hustota pravděpodobnosti rychlosti větru	83
Obr. 51 Sklonitost území	84
Obr. 52 Denní nerovnoměrnost rychlosti větru	84
Obr. 53 Měsíční nerovnoměrnost rychlosti větru	85
Obr. 54 Změna rychlosti větru s výškou	86
Obr. 55 Velín	87
Obr. 56 Roční výskyt rychlosti větru	88
Obr. 57 Výkonnostní charakteristika SWP RE E-60.....	89
Obr. 58 Výkonnostní charakteristika turbíny SWP RE E-20	90
Obr. 59 Větrná turbína SWP RE E-60.....	90
Obr. 60 Roční průběh výroby elektrické energie	91
Obr. 61 Větrná turbína SWP RE E-20.....	91
Obr. 62 Roční průběh výroby elektrické energie	92

Obr. 63 Vhodné umístění větrné turbín s rozdělením směru větru	93
Obr. 64 nástroj Sluneční záření	97
Obr. 65 Průměrné měsíční horizontální sluneční záření	97
Obr. 66 Průměrná měsíční teplota.....	98
Obr. 67 Instalovaná FVE	99
Obr. 68 Střecha budovy ÚV Bzenec pro FVE o výkonu 600 kWp	100
Obr. 69 Přítok na ČOV	104
Obr. 70 Odtok z ČOV	104
Obr. 71 Výust' ze sekundárního chladicího okruhu	106
Obr. 72 Výust' z terciální chladicího okruhu	107
Obr. 73 Závislost teploty vstupující kapaliny na vyrobené elektrické energii.....	108
Obr. 74 Konfigurace ORC	108
Obr. 75 Vodní toky v blízkosti ČOV.....	110
Obr. 76 Vývoj průměrných denních teplot vody Teplý Járek a Stará Morava.....	111
Obr. 77 Odtok z ČOV	112
Obr. 78 Usazovací nádrže	113
Obr. 79 Technologie pro výrobu elektrické energie.....	114
Obr. 81 Kogenerační jednotka Cento 80.....	115
Obr. 82 Kogenerační jednotka Cento 120.....	115
Obr. 83 Řídící panel kogenerační jednotky	115
Obr. 84 Plynové kotle Buderus Logano GE 315 s hořáky Weishaupt	116
Obr. 85 Textilní dvouplášťový plynojem STTALER B9 117/250 (1 040 m ³).....	116
Obr. 86 Fléra (hořák zbytkového bioplynu) ZLB 260 A	117
Obr. 87 Separátor písku s integrovanou pračkou písku IN-EKO.....	119
Obr. 88 Elektrická soběstačnosti – 2024.....	120
Obr. 89 Fekální vůz.....	122
Obr. 90 Rotační síto Huber RoMesh.....	122