Spotřeba vody zemědělských bioplynových stanic v ČR

Water consumption of agricultural biogas plants in the Czech Republic

Paul Hermann Tugendhat Zinner

Abstract:

Water is a key stabilizing element of the landscape system and a fundamental factor determining ecological balance, soil productivity, and the resilience of ecosystems to climate fluctuations. Its availability and circulation in the landscape directly influence the retention capacity of the area, microclimatic conditions, and the landscape's ability to adapt to drought or extreme precipitation. It is therefore one of the most valuable natural commodities of our time, and its availability and quality are becoming a limiting factor for sustainable landscape development as a result of climate change and growing anthropogenic pressure. Climate change, increasing water stress, and pressure on the use of natural resources are leading to the need for effective water management across all sectors. The paper deals with a systemic analysis of the water intensity of the operation of a selected type of energy infrastructure installed in the landscape, namely agricultural biogas plants, which represent a significant element in the transformation of the Czech energy sector towards renewable sources and sustainable energy, but at the same time pose new environmental challenges. One of the most significant is the water intensity of the operation of these facilities, which, depending on the location of the installation and the technologies used, can have a significant local impact on the hydrological balance and thus create competitive pressures between water users in urbanized regions. This paper emphasizes the need for an interdisciplinary approach to water issues related to biogas plants, linking technological, economic, environmental, and urban planning considerations as a basis for sustainable landscape development. The issue of water intensity in the technological operations of biogas plants has so far received only marginal attention in the technical literature; therefore, integrating the findings into land-use planning represents a crucial step toward sustainable landscape management and ensuring the long-term sustainability of water resource use in the context of a changing climate.

Keywords:

Water demand, Water footprint, Biogas stations, Renewable energy sources, Water management, Sustainable water management

TUGENDHAT ZINNER, Paul Hermann (2026). Spotřeba vody zemědělských bioplynových stanic v ČR. In: KUGL, Jiří, ed. Člověk, stavba a územní plánování 19. ČVUT v Praze, Fakulta stavební. pp. 363–375. ISBN 978-80-01-07579-1. ISSN 2336-7687.

Článek je licencován pod licencí Creative Commons BY-NC-ND 4.0 (Uveďte autora-Neužívejte komerčně-Nezpracovávejte 4.0 Mezinárodní). Licenční podmínky: *http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.cs*

1 Úvod

Voda představuje zásadní stabilizační prvek krajinného systému a klíčový faktor určující ekologickou rovnováhu, produkční potenciál půdy i odolnost ekosystémů vůči extrémním klimatickým jevům. Její dostupnost a režim v krajině ovlivňují retenční kapacitu území, mikroklimatické podmínky i schopnost krajiny adaptovat se na období sucha či intenzivních srážek. V kontextu postupujících klimatických změn a rostoucího antropogenního zatížení se voda stává limitujícím zdrojem pro udržitelný rozvoj krajiny, a to napříč všemi hospodářskými sektory.

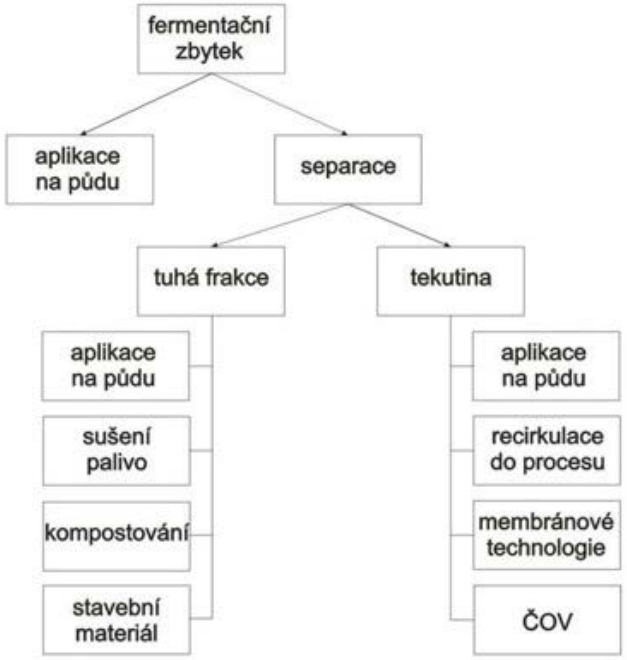
Zemědělské bioplynové stanice tvoří důležitý prvek obnovitelných energetických systémů České republiky a přispívají k redukci emisí skleníkových plynů i ke snižování uhlíkové stopy. Jako technologické celky umožňují transformaci biologicky rozložitelných materiálů na obnovitelnou energii a jejich rozvoj je podporován environmentálními strategiemi na úrovni Evropské unie i České republiky. Přestože mají nesporné energetické přínosy, provoz těchto zařízení je spojen s řadou specifických environmentálních zátěží, které vyžadují detailní pozornost. Jedním z významných, avšak dosud nedostatečně popsaných aspektů, je jejich vodní náročnost.

Efektivní plánování a provoz bioplynových stanic vyžadují zohlednění všech fází jejich životního cyklu, což předpokládá systematické shromažďování empirických dat a identifikaci technologických i environmentálních parametrů ovlivňujících interakci s okolní krajinou.

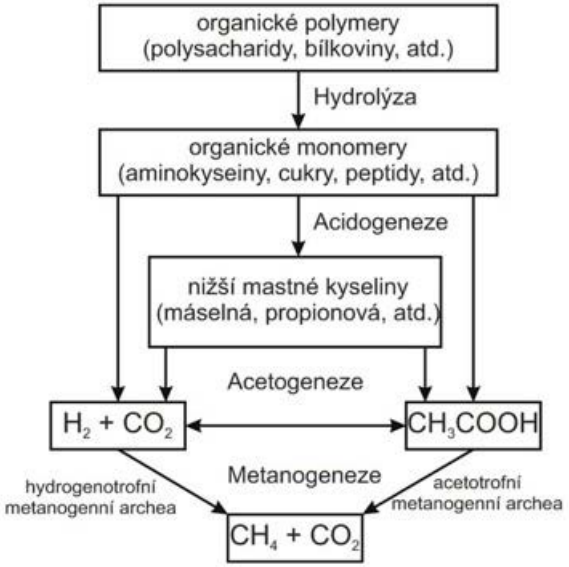
2 Proces výroby bioplynu

Jak uvádějí Tlustoš a Černý (2018), zemědělské bioplynové stanice zpracovávají energii akumulovanou v organické hmotě rostlin (v České republice nejčastěji kukuřice, cukrová řepa, travní senáž či vojtěška), v exkrementech hospodářských zvířat (kejda, hnůj, podestýlka) a v organických odpadech, například v bioodpadech z údržby zeleně. Primárním produktem těchto zařízení je bioplyn, energeticky významná směs metanu a oxidu uhličitého využívaná k výrobě elektrické energie a tepla. Sekundárním produktem anaerobní digesce je digestát – suspenzní materiál obsahující živiny i zbytky biologicky rozložitelných látek. Ten je po separaci dále rozdělován na pevnou složku (separát) a kapalnou složku (fugát). Digestát i fugát jsou aplikovány cíleně ke konkrétním zemědělským plodinám, čímž snižují potřebu minerálních dusíkatých a draselných hnojiv. Separát nachází využití jako podestýlkový materiál v chovech skotu či jako surovina pro výrobu rekultivačních zemin, substrátů a kompostů.

Produkce bioplynu je založena na řízené anaerobní digesci, což je biochemický proces probíhající v uzavřeném fermentačním systému bez přístupu kyslíku. Při tomto procesu mikroorganismy rozkládají organický materiál a vznikají bioplyn a digestát. Anaerobní digesce probíhá ve čtyřech na sebe navazujících mikrobiálních fázích, které společně zajišťují efektivní konverzi organické hmoty na bioplyn s vysokým energetickým potenciálem. První fází je hydrolýza, při níž jsou komplexní organické látky enzymaticky štěpeny na jednodušší rozpustné sloučeniny. Následuje acidogeneze, ve které jsou produkty hydrolýzy fermentovány acidogenními bakteriemi na organické kyseliny, alkoholy, vodík a oxid uhličitý. Ve třetí fázi, acetogenezi, vznikají z meziproduktů kyselina octová, oxid uhličitý a vodík, které jsou klíčovými prekurzory pro vznik metanu. Poslední fází je metanogeneze, během níž metanogenní archea přeměňují kyselinu octovou a vodík na metan (CH_4) a oxid uhličitý (CO_2), čímž vzniká bioplyn s výhřevností přibližně 20–25 MJ/m^3.



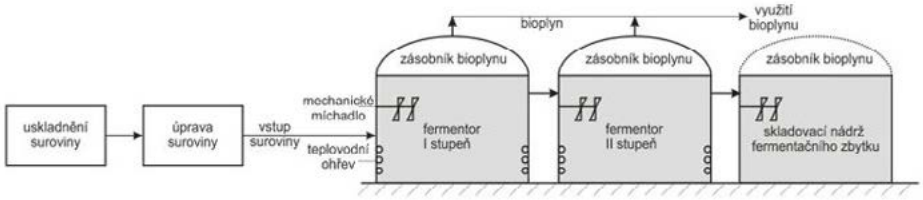
Obr. 1 - Způsoby nakládání s fermentačním zbytkem (Zdroj: Trávníček et al. (2015), Obrázek 44)



Obr. 2 - Rozklad organického materiálu na bioplyn (Zdroj: Trávníček et al. (2015), Obrázek 2



Obr. 3 - Procesní stupně bioplynové stanice (Zdroj: Trávníček et al. (2015), Obrázek 33)



Obr. 4 - Procesní stupně bioplynové stanice - schéma (Zdroj: Trávníček et al. (2015), Obrázek 34)

Jak uvádí Dohányos (2008), účinnost jednotlivých fází anaerobní digesce ovlivňuje celá řada parametrů, mezi něž patří typ a kvalita vstupního substrátu, teplotní režim, pH prostředí, obsah sušiny, intenzita míchání a doba zdržení v reaktoru. Rychlost rozkladu organické hmoty je závislá na množství a aktivitě mikrobiálních populací, a z tohoto důvodu je z provozního hlediska nezbytné udržovat co nejvyšší koncentraci aktivních mikroorganismů v systému.

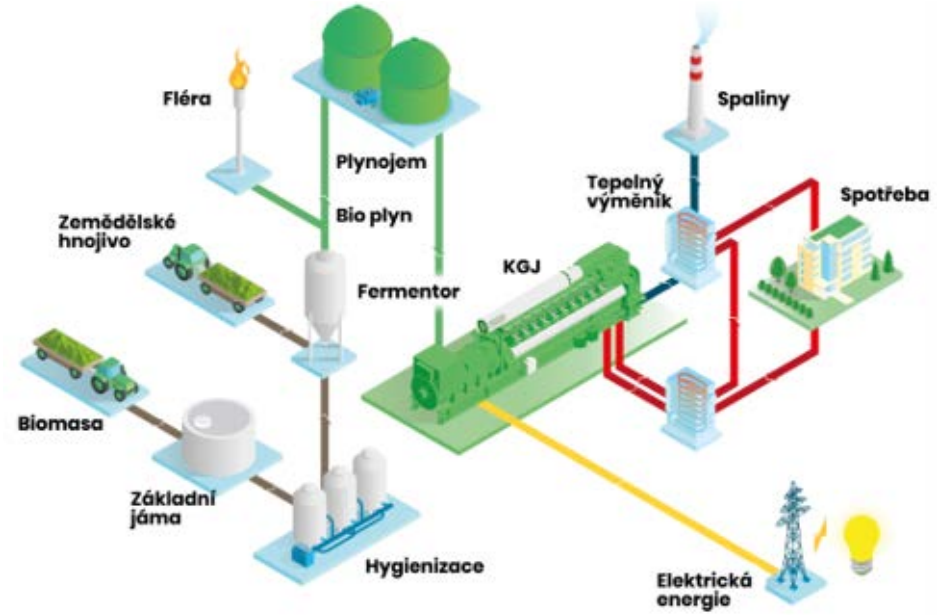
Proces anaerobní digesce je úzce spojen se spotřebou vody, zejména u technologií mokré fermentace, kde je nutné vstupní substráty ředit na požadovaný obsah sušiny. Hospodaření s vodou je proto zásadním aspektem provozní efektivity a dlouhodobé udržitelnosti zemědělských bioplynových stanic.

3 Klíčové technologické komponenty

Zemědělské bioplynové stanice představují komplexní technologické systémy, jejichž funkčnost je založena na řízené anaerobní digesci organických materiálů. Celková architektura těchto zařízení je tvořena několika na sebe navazujícími komponentami, které společně zajišťují kontinuální provoz a optimalizaci výnosu bioplynu. Jednotlivé technologické celky mají specifické požadavky na vodní vstupy a současně přispívají k celkové vodní náročnosti systému.

Nezbytnou součástí jsou skladovací a dávkovací systémy, které slouží k uskladnění vstupních substrátů (kejda, siláže, bioodpady) a k jejich přesnému dávkování do fermentorů. Správně nastavené dávkování je klíčové pro stabilitu anaerobního procesu, homogenitu směsi a zároveň ovlivňuje potřebu přídavné vody při ředění substrátů. Druhým klíčovým prvkem jsou fermentory, tedy uzavřené bioreaktory, ve kterých probíhá anaerobní rozklad organické hmoty za definovaných teplotních podmínek. Nejčastěji se uplatňuje mezofilní režim (35–40 °C) nebo termofilní režim (50–55 °C). Fermentory jsou náročné na udržení stabilní teploty a vyžadují řízené míchání, které nepřímo ovlivňuje vodní bilanci v systému, zejména v souvislosti s řízením viskozity a chlazením. Třetí komponentu představují míchací zařízení zajišťující homogenizaci substrátu v reaktoru a minimalizující tvorbu sedimentů. Účinné míchání zvyšuje výtěžnost metanu a omezuje riziko provozních komplikací, přičemž nepřímo souvisí s potřebou regulace

obsahu sušiny, která bývá zajišťována přídavkem vody. Další součástí vybavení je plynový zásobník umožňující dočasné uskladnění vyprodukovaného bioplynu před jeho využitím v kogenerační jednotce nebo před úpravou na biometan. Z hlediska vodního hospodářství hraje spíše okrajovou roli, avšak nepřímo ovlivňuje tlakové poměry v systému a tím i provozní stabilitu. Pátou komponentou je kogenerační jednotka, která zajišťuje kombinovanou výrobu elektrické a tepelné energie z bioplynu. Produkované teplo je často využíváno k ohřevu fermentorů a k sanitaci technologického zařízení, což ovlivňuje celkovou bilanci vody, zejména v případech, kdy je teplo využíváno pro ohřev technologické vody. Další významnou součástí je úprava digestátu, v jejímž rámci je zbytkový materiál po anaerobní digesci separován na kapalnou a pevnou frakci. Kapalná frakce, bohatá na živiny, může vyžadovat dodatečné zpracování, například biologickou filtraci nebo zahušťování, a představuje tak důležitý prvek spotřeby a recirkulace vody v systému. Posledním technologickým celkem je úprava bioplynu, při níž jsou odstraňovány nežádoucí příměsi, jako je sirovodík nebo oxid uhličitý, s cílem zvýšit kvalitu plynu a chránit navazující zařízení. Technologie využívané pro úpravu bioplynu, například praní vodou či adsorpční procesy, často přímo využívají vodní médium, a tím přispívají ke zvýšení celkové provozní spotřeby vody.



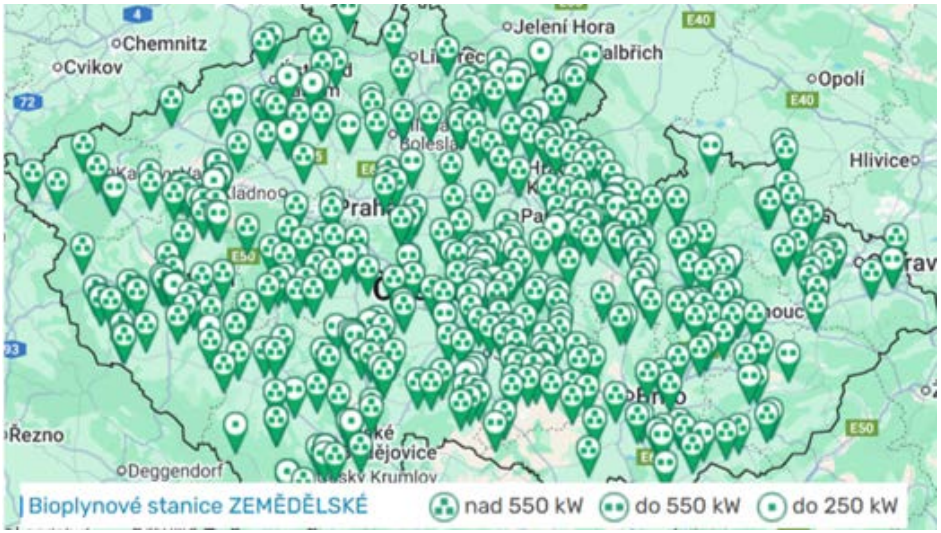
Obr. 5 – Schéma zemědělské bioplynové stanice (Zdroj: Rayoeng.cz)

4 Environmentální dopady

Podle údajů Ministerstva životního prostředí (2025) bylo v České republice k červenci 2025 v provozu 574 bioplynových stanic, z toho 400 zemědělských zařízení. Zbývající zařízení tvoří komunální a průmyslové čistírny odpadních vod s produkcí kalového plynu a přibližně 70 stanic využívajících skládkový plyn. Jak uvádějí Tlustoš a Černý (2018), výrazný nárůst počtu instalací nastal mezi lety 2005 a 2018 díky finančním pobídkám v oblasti obnovitelných zdrojů energie — zatímco v roce 2005 bylo v provozu 133 bioplynových stanic (z toho 8 zemědělských), v roce 2018 jejich počet vzrostl na 553 (z toho 315 zemědělských). Martinát a kol. (2013) konstatují, že již v roce 2013 došlo

k růstu na 481 instalací s celkovým elektrickým výkonem 363 MW oproti 11 zařízením a výkonu 4,19 MW v roce 2002.

S ohledem na současnou prostorovou distribuci zemědělských bioplynových stanic je zřejmé, že jejich kumulace v územích s omezenou dostupností vody může ovlivňovat regionální vodní bilanci. Tento vliv je patrný zejména v oblastech s vyšší koncentrací stanic a vyšším instalovaným výkonem, kde může zvýšená spotřeba vody přispívat k napětí mezi jednotlivými uživateli vody, zejména v obdobích sucha či v mikroregionech s nízkou hydrologickou rezervou.



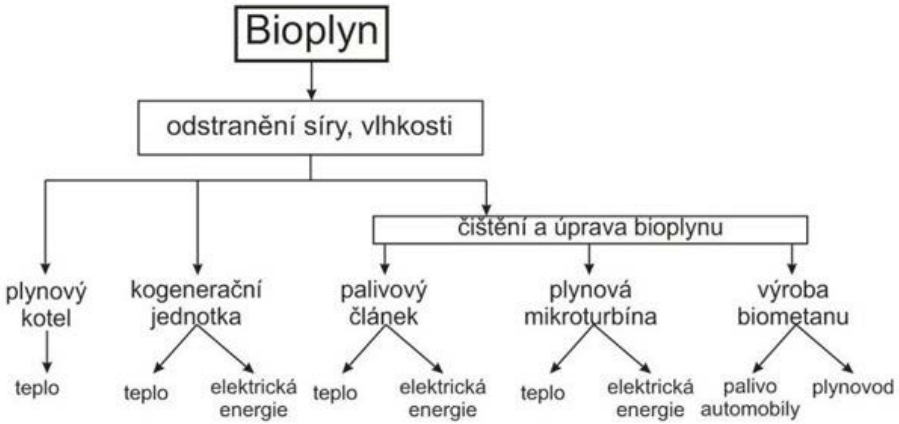
Obr. 6 - Zemědělské bioplynové stanice v ČR k 31.12.2024 (Zdroj: CzBA.cz)

Výzkum bioplynových stanic se v posledních letech začíná více zaměřovat na environmentální aspekty provozu a optimalizaci anaerobní digesce. Spotřeba vody je v odborné literatuře zmiňována spíše okrajově nebo pouze jako dílčí proměnná v rámci analýzy životního cyklu (Life Cycle Assessment, LCA). Systematické sledování spotřeby vody jako samostatného ukazatele však dosud zůstává nedostatečně rozpracováno, zejména ve vztahu k mikroregionální hydrologii a ekonomickým modelům provozu.

V českém prostředí se odborné studie zaměřují především na energetickou efektivitu bioplynových stanic, využití digestátu nebo socioekonomické dopady jejich rozvoje. Analýza SEVEn (2013) dokládá, že při optimálním využití bioplynu, tedy při současné výrobě elektřiny i využití tepla, může být dosaženo až přibližně 75 % energetického využití vstupní energie. Autoři zároveň upozorňují, že u stanic využívajících cíleně pěstovanou biomasu, zejména kukuřici, dochází ke zvýšení environmentálních a energetických nákladů, zvláště pokud není vzniklé teplo efektivně využito. Tlustoš a Černý (2018) se soustředí na možnosti využití digestátu, zatímco Martinát a kol. (2013) popisují prostorové důsledky růstu počtu zemědělských bioplynových stanic, včetně změn ve struktuře zemědělské produkce a souvisejících legislativních, ekonomických a strategických faktorů. Studie se však nezabývají dopadem koncentrace těchto stanic na hydrologickou bilanci krajiny.

Na mezinárodní úrovni je vodní náročnost bioplynových stanic řešena především v rámci metodik LCA a výpočtů vodní stopy (Water Footprint Analysis, WFA). Tyto přístupy umožňují zahrnout přímou i nepřímou spotřebu vody a hodnotit environmentální

dopady napříč celým životním cyklem. Relevance těchto přístupů roste zejména při srovnání rozdílných fermentačních technologií, vstupních substrátů či regionů s rozdílnou dostupností vodních zdrojů. Nejvíce publikací pochází z Číny.



Obr. 7 - Způsoby využití bioplynu (Zdroj: Trávníček et al. (2015), Obrázek 45)

Van der Horst a Vermeylen (2011) upozorňují, že sociální dopady produkce bioenergie jsou výrazně ovlivněny prostorovým uspořádáním dodavatelských řetězců. Zatímco v rozvinutých zemích mohou být sociální dopady relativně mírné, v rozvojových zemích může exportně orientovaná produkce přispívat k nerovnému rozdělení přínosů, narušení tradičního hospodaření či degradaci ekosystémů. Autoři zdůrazňují, že bioenergetické politiky orientované primárně na energetickou bezpečnost bez ohledu na sociální a environmentální aspekty mohou mít dlouhodobě negativní dopady. Fusi et al. (2016) hodnotí environmentální dopady výroby elektřiny z bioplynu v pěti italských provozech. Jako hlavní zdroje zátěže identifikují pěstování kukuřičné siláže a provoz fermentorů, včetně otevřeného skladování digestátu. Systémy založené na chlévské kejdě vykazovaly nejnižší environmentální zátěž. Přestože výsledky obsahují detailní LCA hodnocení, spotřeba vody nebyla samostatně analyzována. Kutcherov a Nevzorova (2019) identifikují šest hlavních kategorií bariér bránících širšímu využití bioplynu, přičemž pouze okrajově zmiňují problémy s dostupností vody zejména v afrických regionech s výraznými obdobími sucha.

Některé regionálně zaměřené studie prokazují, že environmentální bilance bioplynových stanic je citlivá na místní podmínky, včetně dostupnosti vody. O'Keeffe et al. (2016) představují metodiku RELCA, regionální inventární přístup, který integruje produkci biomasy a její tok v krajině s provozem bioenergetických zařízení. Autoři ukazují, že tento přístup umožňuje přesněji identifikovat prostorovou variabilitu environmentálních dopadů a je vhodným východiskem pro detailní regionální analýzy, včetně problematiky vody.

Yao et al. (2022) potvrzují, že způsob pěstování biomasy, její vstupy a technologické parametry významně ovlivňují celkovou udržitelnost bioenergetických systémů. Studie rozlišuje různé produkční a technologické scénáře a ukazuje, že intenzivnější zemědělské systémy mají vyšší environmentální zátěž. Li, Xiong a Chen (2021) analyzují environmentální a vodní dopady výroby bioenergie z netržních plodin na okrajových zemědělských pozemcích v Číně. Nejvyšší vodní náročnost vykazoval hybridní pennisetum, zatímco sorghum dosáhl nejvyváženějších výsledků mezi energetickým

výnosem a udržitelností vodních zdrojů. Autoři zdůrazňují význam integrace vodní náročnosti do hodnocení bioenergetických systémů.

Z hlediska spotřeby vody v provozu zemědělských bioplynových stanic je vědecká literatura stále na začátku. Dostupné informace se objevují především v technických zprávách a dílčích environmentálních studiích, přičemž systematické hodnocení vodní náročnosti v kontextu regionálních hydrologických bilancí a provozních nákladových modelů dosud chybí. Existuje výrazný nedostatek prací, které by detailně kvantifikovaly specifickou spotřebu vody v rámci jednotlivých technologických operací a současně ji propojily s regionálními hydrologickými a ekonomickými parametry.

5 Vodní stopa jako opomíjená dimenze provozu

Provoz zemědělských bioplynových stanic je charakteristický významnou spotřebou vody, zejména u mokrého typu anaerobní digesce, kde se vstupní biomasa ředí na obsah sušiny 10–15 %. Tento technologický požadavek může představovat problém v regionech s omezenými zdroji vody nebo v lokalitách vystavených sezónním výkyvům hydrologické bilance. Alternativou jsou technologie suché anaerobní digesce, které pracují s vyšším obsahem sušiny a tím snižují potřebu čerstvé vody. Studie ze subsaharské Afriky uvádějí, že provoz domácího digestoru vyžaduje přibližně 25 litrů vody na osobu a den, což představuje zásadní provozní omezení v oblastech s nízkou dostupností vodních zdrojů. Spotřeba vody je závislá na vlastnostech vstupních substrátů, technologii fermentace a mikrobiální kompozici; například použití kejdy vyžaduje nižší přídavek vody než substráty s nízkou vlhkostí.

Spotřeba vody je v provozu zemědělských bioplynových stanic spojena zejména s manipulací a homogenizací vstupních substrátů, průběhem fermentace, provozním chlazením a úpravou digestátu. Tyto procesy generují přímé i nepřímé nákladové dopady, které ovlivňují ekonomiku provozu i vstupní parametry studií proveditelnosti nových investic.

Renergon (2025) popisuje tři hlavní technologické přístupy k anaerobní digesci: (1) mokrou anaerobní digesci (Wet AD), (2) kontinuální suchou digesci (Plug-flow AD) a (3) suchou digesci (Dry AD), označovanou také jako solid-state anaerobic digestion (SSAD). Klíčovým rozdílem mezi jednotlivými přístupy je obsah sušiny vstupního substrátu a s ním spojená spotřeba vody. Mokrá anaerobní digesce vyžaduje rozsáhlé množství vody pro ředění, což zvyšuje objem digestátu, energetickou náročnost míchání i celkové provozní nároky. Naproti tomu suchá digesce umožňuje využití substrátů s vysokým obsahem sušiny (20–55 %) a díky recirkulaci perkolátu významně redukuje potřebu čerstvé vody. Perkolát, tedy recirkulovaná voda sloužící ke zvlhčení suchého substrátu, proniká jeho strukturou a následně je znovu zachycován k recirkulaci, což umožňuje udržovat vhodné podmínky pro mikrobiální procesy bez dodatečné spotřeby čerstvé vody. Suché technologie jsou navíc provozně výhodnější díky nižším nárokům na mechanickou předúpravu, pracovní sílu i energetické vstupy a produkují menší množství digestátu, což zlepšuje hospodaření s vedlejšími produkty. Plug-flow technologie představuje variantu suché digesce, při které substrát postupuje reaktorem jako kontinuální proud, minimalizuje potřebu míchání a je vhodná zejména pro suché nebo vláknité materiály.

Koncept vodní stopy se v souvislosti s bioplynovými technologiemi objevuje zejména v rámci studií využívajících metody analýzy životního cyklu (LCA). Významný podíl environmentální stopy je přitom spojen s fází pěstování vstupních substrátů a manipulace s digestátem. Tyto studie doporučují zahrnutí indikátorů vodní náročnosti do standardních hodnoticích rámců udržitelnosti bioenergetických technologií.

Yuan et al. (2021) upozorňují, že značná část celkové spotřeby vody není vázána na samotný provoz zemědělské bioplynové stanice, ale především na produkci vstupních surovin. Autoři ve své studii zaměřené na čínské podmínky hodnotí čtyři typy zemědělské biomasy — pšeničnou, rýžovou a kukuřičnou slámu a zbytky ze zpracování sladidel —

z hlediska jejich potenciálu pro výrobu bioplynu a s tím spojené vodní stopy. Studie analyzuje energetický výnos, výtěžnost bioplynu a spotřebu vody na jednotku energie a ukazuje výrazné rozdíly mezi jednotlivými plodinami i regiony. Rýžová sláma vykazuje nejnižší vodní stopu na jednotku energie, zatímco kukuřičná sláma, ačkoliv poskytuje vyšší energetický výnos, má podstatně vyšší vodní náročnost. Výsledky potvrzují, že výběr vstupní biomasy má zásadní vliv na hydrologickou zátěž daného regionu a je nutné jej přizpůsobovat místním klimatickým a vodním podmínkám.

Gerbens-Leenes, Hoekstra a van der Meer (2008) porovnávají spotřebu sladké vody potřebnou pro výrobu energie z biomasy s konvenčními energetickými zdroji a konstatují, že bioenergie má obecně výrazně vyšší vodní stopu než fosilní paliva. Studie uvádí konkrétní hodnoty vodní stopy biomasy pěstované v různých regionech: přibližně 24 m^3/GJ v Nizozemsku, 58 m^3/GJ v USA, 61 m^3/GJ v Brazílii a až 143 m^3/GJ v Zimbabwe. Autoři poukazují na to, že výroba energie z biomasy pro průměrnou roční spotřebu energie v západních společnostech (cca 100 GJ na obyvatele) by znamenala spotřebu tisíců kubických metrů vody ročně, což je výrazně vyšší než u fosilních zdrojů. Studie tak upozorňuje, že přechod na bioenergetické systémy může vyvolat zvýšený tlak na sladkovodní zdroje a je nutné jej zohlednit při posuzování jejich udržitelnosti.

Table 7. Average water footprint for fossil energy carriers, electricity from active solar space heat, electricity form wind energy, biomass produced in the Netherlands, Brazil, the United States and Zimbabwe (m^3/GJ).

Primary energy carriers	Average water footprint (m^3/GJ)
Wind energy	0.00
Natural gas	0.04
Nuclear energy	0.09
Coal	0.16
Solar thermal energy	0.30
Crude oil	1.06
Biomass the Netherlands (average)	24.16
Biomass US (average)	58.16
Biomass Brazil(average)	61.20
Biomass Zimbabwe (average)	142.62
Biomass (average the Netherlands, US, Brazil, Zimbabwe)	71.54

Tab. 1 - Vodní stopa různých zdrojů energie (Zdroj: WaterFootprintBioenergy)

Vybrané mezinárodní studie se dále zabývají rozdíly v nárocích na vodu u zemědělských bioplynových stanic v závislosti na regionálních podmínkách, často se zaměřením na adaptaci na klimatickou změnu a ochranu vodních zdrojů. Pacetti, Lombardi a Federici (2015) se věnují hodnocení udržitelnosti bioenergetických systémů s využitím metodiky LCA a zdůrazňují, že environmentální dopady se výrazně liší podle regionálních parametrů, mezi něž patří zejména způsob pěstování biomasy, logistické charakteristiky dodavatelských oblastí, produkční potenciál nebo typ biomasy. Autoři upozorňují, že používání průměrných či agregovaných dat může vést k podstatnému zkreslení výsledků, zatímco regionální přístup umožňuje přesnější identifikaci prostorové variability produkce emisí a dalších environmentálních parametrů. Studie tak poskytuje metodický rámec, který umožňuje propojit regionální produkci biomasy s environmentální bilancí bioenergetických technologií.

Berndes (2002) poukazuje na to, že rozsáhlé pěstování energetických plodin může vést k výraznému zvýšení spotřeby vody vlivem vyšší evapotranspirace, což může v regionech s již existujícím vodním stresem zvyšovat konkurenci o vodní zdroje. Studie zdůrazňuje, že při hodnocení potenciálu bioenergetických systémů je nezbytné zohledňovat dostupnost vody a konkurenci mezi jednotlivými sektory — zemědělstvím,

výrobou energie a zásobováním obyvatelstva.

Gerbens-Leenes (2018) analyzuje vodní stopu pěstování a produkce biomasy pro výrobu biopaliv v globálním měřítku a porovnává různé druhy bioenergetických surovin, včetně plodin, zbytků a řas. Studie dokládá, že problematika vodní stopy byla dosud zkoumána zejména v souvislosti s biopalivy, zatímco otázka vodní náročnosti bioplynových stanic zůstává ve vědecké literatuře pokryta pouze okrajově.

6 Shrnutí

Na základě dostupných vědeckých zdrojů lze konstatovat, že vodní náročnost zemědělských bioplynových stanic představuje významný a dosud podceňovaný faktor provozní udržitelnosti. Mezi jednotlivými zařízeními existují výrazné rozdíly, které jsou determinovány především technologickým uspořádáním, lokálními podmínkami a úrovní řízení vodního hospodářství. Odborná literatura identifikuje několik klíčových faktorů, jež ovlivňují spotřebu vody v zemědělských bioplynových stanicích: (1) typ vstupního substrátu a obsah sušiny, kdy vyšší sušina zvyšuje potřebu ředění a tím absolutní spotřebu vody; (2) technologická konfigurace zařízení, zejména přítomnost recirkulačních okruhů, technologie separace digestátu a použitý způsob chlazení; (3) hydraulický retenční čas (HRT) a objem fermentoru, které ovlivňují požadavky na stabilizaci procesu a tím i na celkovou bilanci vody.

Přestože se spotřeba vody v zemědělských bioplynových stanicích v praxi pohybuje často v řádu desítek m^3 týdně v závislosti na výkonu zařízení a substrátovém mixu, systematická měření a publikované kvantitativní údaje jsou zatím omezená. Zahraniční studie uvádějí rámcová data, avšak regionálně specifické informace, například pro podmínky České republiky, jsou stále sporadické. Analýzy životního cyklu (LCA) ukazují, že bioplynové stanice mohou významně ovlivňovat životní prostředí v závislosti na tom, jakým způsobem nakládají s organickými odpady, což může mít přímý vliv na eutrofizaci přilehlých vodních toků.

Z hlediska procesní optimalizace je vhodné využívat technologie, které umožňují snížení spotřeby vody, například suchou anaerobní digesci, recirkulaci technologické vody, uzavřené vodní okruhy či recyklaci odpadních vod. Významnou roli hrají také technologie zahušťování digestátu a využívání digestátu jako hnojiva, které přispívá ke zlepšení retenční schopnosti půd. Provozovatelé zemědělských bioplynových stanic by měli implementovat nástroje aktivního monitoringu spotřeby vody a hodnotit nákladovou efektivitu jednotlivých technologických řešení. Stejně tak je nezbytné integrovat vodní hospodářství jako samostatnou složku projektového řízení nových instalací a vypracovávat scénáře řízení rizik pro období sucha. Projektanti bioplynových zařízení by měli při návrhu preferovat technologické konfigurace s nižší vodní stopou a zohlednit potenciál recirkulace či alternativních zdrojů vody již v raných fázích plánování. Vodohospodáři mohou navrhovat synergická řešení propojující bioplynové stanice s místní infrastrukturou, jako jsou čistírny odpadních vod, zavlažovací systémy či krajinné vodní prvky (retenční nádrže, infiltrační pásy, mokřady). Významnou roli má také veřejná správa, která může podporovat rozvoj technologií s nízkou vodní náročností prostřednictvím dotačních titulů či metodik integrovaného plánování vodních zdrojů. Důležité je rovněž posílení kontrolních mechanismů při aplikaci digestátu a harmonizace požadavků navazující environmentální legislativy, například směrnice o dusičnanech nebo vodní rámcové směrnice.

Rozdíly mezi jednotlivými zemědělskými bioplynovými stanicemi, které identifikují dostupné studie, potvrzují, že spotřeba vody je zásadně ovlivněna jak technologií fermentace, způsobem chlazení a využitím separačních technologií, tak regionálními podmínkami, jako jsou klimatické poměry, dostupnost vodních zdrojů či regulační limity. Významným faktorem je rovněž možnost vnitřní recirkulace technologické vody, která má přímý dopad na spotřebu i provozní náklady. Literatura zároveň dokládá, že hlavním

faktorem ovlivňujícím celkovou vodní náročnost není pouze provoz samotné stanice, ale i pěstování energetických plodin, zejména kukuřice.

Dalším zjištěním je skutečnost, že vodní náročnost bývá v ekonomických analýzách reflektována jen omezeně. Přestože některé studie upozorňují na přímé i nepřímé náklady související se spotřebou vody, tyto položky nejsou běžnou součástí analýz nákladové efektivity ani studií proveditelnosti. To může vést k podcenění investičních rizik nebo provozních obtíží, zejména v obdobích hydrologického sucha nebo při změnách regulatorních požadavků. Řízení vodního hospodářství zemědělských bioplynových stanic je proto nezbytné nejen z hlediska ekologické integrity, ale také pro ekonomickou udržitelnost jejich provozu. S rostoucími klimatickými riziky a tlakem na efektivní využívání vodních zdrojů se optimalizace vodního managementu stává jedním z klíčových determinantů strategického řízení zemědělských bioplynových stanic.

Absence standardizovaných dat o reálné vodní náročnosti a o jejím vztahu k regionálním hydrologickým podmínkám ztěžuje optimalizaci rozhodovacích procesů v oblasti environmentálního plánování. To zvyšuje riziko nesprávného nastavení investičních priorit i podhodnocení možných provozních externalit. Z toho vyplývá potřeba interdisciplinárního výzkumu zaměřeného na identifikaci, kvantifikaci a řízení vodního hospodářství v rámci zemědělských bioplynových stanic, který propojí technologické, ekonomické, environmentální a územně-plánovací aspekty.

7 Závěr

Spotřeba vody v zemědělských bioplynových stanicích představuje významný environmentální, provozní a strategický aspekt, jehož důležitost bude v souvislosti s klimatickými změnami a narůstajícím tlakem na vodní zdroje dále posilovat. Ačkoli jsou zemědělské bioplynové stanice obecně vnímány jako nástroj udržitelné bioenergetiky, dosavadní výzkum ukazuje, že spotřeba vody není systematicky sledována a její dopad na regionální vodní hospodářství bývá zkoumán spíše okrajově. Odborné publikace se v kontextu klimatických změn soustřeďují zejména na témata jako produkce bioplynu, ekonomická efektivita provozu, nakládání s digestátem, využití odpadního tepla nebo vodní stopa plodin využívaných pro biopaliva, zatímco otázky vodního hospodářství zůstávají zmíněny často pouze marginálně. Přesto tyto studie poskytují důležitá podpůrná východiska pro pochopení širších souvislostí a lze je využít jako základ pro cílenější výzkum zaměřený specificky na vodní náročnost zemědělských bioplynových stanic. Dosavadní poznatky zároveň potvrzují, že exaktní kvantifikace spotřeby vody i její systematické začlenění do provozního, environmentálního a investičního rozhodování zůstává nedostatečně rozpracováno, což může vést k podhodnocení environmentálních dopadů, zejména v regionech s napjatou hydrologickou bilancí.

Výzkum rovněž ukázal, že hodnocení vodní náročnosti je problematikou vyžadující interdisciplinární přístup kombinující poznatky z oblasti energetiky, vodního hospodářství, ekonomie a regionálního plánování. Absence jednotných metodických rámců pro monitorování spotřeby vody v zemědělských bioplynových stanicích vede k roztříštěnosti dostupných dat a znesnadňuje tvorbu systémových doporučení. Současně se potvrzuje, že neefektivní hospodaření s vodou může vést ke střetům zájmů s ostatními uživateli vody, ke zhoršení kvality podzemních i povrchových vod a také k ohrožení provozní stability samotných zařízení. Integrované přístupy řízení, zejména technologická opatření (např. recirkulace technologické vody, využití dešťové vody či propojení s čistírnami odpadních vod), vykazují významný potenciál pro optimalizaci vodní náročnosti a zlepšení environmentální kompatibility provozu.

S ohledem na rostoucí intenzitu klimatických změn je nezbytné implementovat integrované přístupy zaměřené na zvládání vodního stresu, neboť zajištění dostatečného množství vody představuje významný předpoklad dlouhodobé provozní stability a udržitelnosti zemědělských bioplynových stanic. Mezi klíčové rozvojové směry patří:

standardizace metod měření spotřeby vody v zemědělských bioplynových stanicích; podpora technologických řešení s nízkou vodní stopou; integrace řízení vodního hospodářství do projektového managementu investičních záměrů; tvorba národní metodiky pro hodnocení vodní náročnosti těchto zařízení; a následně případně aktualizace metodik hodnocení vodní stopy v rámci procesů EIA/SEA a studií proveditelnosti. Budoucí výzkum by se měl zaměřit zejména na komplexní modelování vodní bilance bioplynových stanic, vývoj nízkonákladových technologií recirkulace a recyklace vody a hlubší integraci vodního hospodářství těchto zařízení do krajinného plánování. Kombinace technologických inovací, decentralizovaných řešení a regionální spolupráce může významně přispět k posílení udržitelnosti vodního hospodářství bioplynových systémů. Tyto přístupy by měly být systematicky podporovány prostřednictvím projektového řízení, dotačních programů i regionálních politik zaměřených na efektivní nakládání s vodními zdroji.

Literatura

Berndes, G., 2002. Bioenergy and water—the implications of large-scale bioenergy production for water use and supply. Global Environmental Change, 12(4), pp.253–271. Available at: https://doi.org/10.1016/S0959-3780(02)00040-7 [Accessed 2025-12-04].

Česká bioplynová asociace, 2024. Statistiky a směrnice pro provoz BPS v ČR. Available at: https://www.czba.cz [Accessed 2025-12-04].

Česká republika, 2001. Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon). Sbírka zákonů, částka 98, pp.5686–5728. Available at: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-254 [Accessed 2025-12-04].

Delzeit, R. & Kellner, U., 2013. The impact of plant size and location on profitability of biogas plants in Germany under consideration of processing digestates. Biomass and Bioenergy, 52, pp.43–53. Available at: https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.02.029 [Accessed 2025-12-04].

Dohányos, M., 2008. Anaerobní reaktor není černou skříňkou – teoretické základy anaerobní fermentace. BIOM. Available at: https://biom.cz/cz/odborne-clanky/anaerobni-reaktor-neni-cernou-skrinkou-teoreticke-zaklady-anaerobni-fermentace [Accessed 2025-12-04].

Frič, O., 2023. Bioplyn 2024: směry technologického rozvoje. Prezentace na Národním bioekonomickém kongresu, 6 December 2023. Available at: https://www.horizontevropa.cz/files__public/elfinder/4754/AGRICOMP-Bioplyn%202024%20smery%20technologick%C3%A9ho%20rozvoje.pdf [Accessed 2025-12-04].

Fusi, A., Bacenetti, J., Fiala, M. & Azapagic, A., 2016. Life cycle environmental impacts of electricity from biogas produced by anaerobic digestion. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, 4, Article 26. Available at: https://doi.org/10.3389/fbioe.2016.00026 [Accessed 2025-12-04].

Gerbens-Leenes, P.W., 2018. Green, Blue and Grey Bioenergy Water Footprints: a Comparison of Feedstocks for Bioenergy Supply in 2040. Environmental Processes, 5(Suppl. 1), pp.167–180. Available at: https://doi.org/10.1007/s40710-018-0311-x [Accessed 2025-12-04].

Gerbens-Leenes, P.W., Hoekstra, A.Y. & Van der Meer, T.H.H., 2008. Water Footprint of Bioenergy. Value of Water Research Report Series, No. 29. Available at: https://www.waterfootprint.org/resources/Report29-WaterFootprintBioenergy.pdf [Accessed 2025-12-04].

Gustafsson, M., Meneghetti, R., Souza Marques, F., Trim, H., Dong, R., Al Seadi, T., Rasi, S., Thual, J., Kornatz, P., Wall, D., Berntsen, C., Saxegaard, S., Lyng, K.A., Nägele, H.-J., Heaven, S. & Bywater, A., 2024. A perspective on the state of the biogas industry from selected member countries of IEA Bioenergy Task 37. IEA Bioenergy Task 37, 2024:2. Available at: https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2024/10/IEA__Bioenergy__T37__CountryReportSummary__2024.pdf [Accessed 2025-12-04].

Kutcherov, V. & Nevzorova, T., 2019. Barriers to the wider implementation of biogas as a source of energy: a state-of-the-art review. Energy Strategy Reviews, 26, Article 100414. Available at: https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.100414 [Accessed 2025-12-04].

Li, J., Xiong, F. & Chen, Z., 2021. An integrated life cycle and water footprint assessment of nonfood crops based bioenergy production. Scientific Reports, 11, Article 3912. Available at: https://doi.org/10.1038/s41598-021-83061-y [Accessed 2025-12-04].

Martinát, S., Dvořák, P., Frantál, B., Klusáček, P., Kunc, J., Kulla, M., Mintálová, T., Navrátil, J. & Van der Horst, D., 2013. Spatial consequences of biogas production and agricultural changes in the Czech Republic after EU accession: Mutual symbiosis, coexistence or parasitism? Acta Universitatis Palackianae Olomucensis Facultas Rerum Naturalium Geographica, 44(2), pp.75–92. Available at: https://geography.upol.cz/soubory/vyzkum/aupo/Acta-44-2/AUPO__Geographica__44-2__Martinat__et-al__RGB.pdf [Accessed 2025-12-04].

Ministerstvo životního prostředí ČR, 2025. Akční plán podpory rozvoje využívání biometanu. Available at: https://www.mzp.gov.cz/system/files/2025-07/Akcni__plan__podpory__rozvoje__vyuzivani__biometanu.pdf [Accessed 2025-12-04].

O'Keeffe, S., Wochele-Marx, S. & Thrän, D., 2016. RELCA: a REgional Life Cycle inventory for Assessing bioenergy systems within a region. Energy, Sustainability and Society, 6(1), Article 12. Available at: https://doi.org/10.1186/s13705-016-0078-8 [Accessed 2025-12-04].

Pacetti, T., Lombardi, L. & Federici, G., 2015. Water–energy nexus: a case of biogas production from energy crops evaluated by Water Footprint and Life Cycle Assessment (LCA) methods. Journal of Cleaner Production, 101, pp.278–291. Available at: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.03.084 [Accessed 2025-12-04].

Renergon, 2025. Comparison of Biogas Technologies. Available at: https://www.renergon-biogas.com/en/comparison-wet-dry-anaerobic-digestion/ [Accessed 2025-12-04].

SEVEn – Středisko pro efektivní využívání energie, 2013. Energetická efektivnost bioplynových stanic. Available at: https://www.czba.cz/files/ceska-bioplynova-asociace/uploads/files/EnEfBPS-komplet.pdf [Accessed 2025-12-04].

Tlustoš, P. & Černý, J., 2018. Produkce a využití digestátu a jeho separovaných složek. Available at: https://katedry.czu.cz/storage/214/0519f851-produkce-a-vyuziti-digestatu.pdf [Accessed 2025-12-04].

Trávníček, P., Vitázek, I., Vítěz, T., Kotek, L. & Junga, P., 2015. Technologie zpracování biomasy za účelem energetického využití. Brno: Mendelova univerzita v Brně. Available at: https://web2.mendelu.cz/af__291__projekty/files/23/23-technologie__zpracovani__biomasy__za__ucelem__energetickeho__vyuziti__travnicek.pdf [Accessed 2025-12-04]

Van der Horst, D. & Vermeylen, S., 2011. Spatial scale and social impacts of biofuel production. Biomass and Bioenergy, 35(6), pp.2435–2444. Available at: https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.11.029 [Accessed 2025-12-04].

Yao, D., Xu, Z., Qi, H., Zhu, Z., Gao, J., Wang, Y. & Cui, P., 2022. Carbon footprint and water footprint analysis of generating synthetic natural gas from biomass. Renewable Energy, 186, pp.780–789. Available at: https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.01.014 [Accessed 2025-12-04].

Yuan, Z.L., Li, Y., Zhang, L. & Chen, X., 2021. Biogas feedstock potentials and related water footprints. Science of the Total Environment, 793, Article 148340. Available at: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148340 [Accessed 2025-12-04].

Informace o autorovi

Ing. Paul Hermann Tugendhat Zinner, MBA

Fakulta stavební ČVUT v Praze, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství

paul.hermann.tugendhat.zinner@fsv.cvut.cz