

Podpora produkce zelených řas v provozu bioplynové stanice

Pavla TOMÁŠOVÁ, Marek ŠÍR, Zuzana HONZAJKOVÁ, Jana CHUMCHALOVÁ, Jiří HENDRYCH, Eva MARCÍNKOVÁ, Martin KUBAL
Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Fakulta technologie ochrany prostředí, Technická 5, 166 28 Praha 6,
e-mail: hrychovp@vscht.cz

Souhrn

V rámci kultivace zelených řas bylo studováno využití předupraveného kapalného digestátu z bioplynové stanice za účelem využití obsažených anorganických složek. Digestát byl předupraven 1) proséváním a 2) proséváním s následným chemickým srážením. Pro kultivační testy prováděné při čtyřech úrovních osvětlení byla použita řasa *Scenedesmus cf. acutus* Meyen CCALA 438. Nejvyšší výtěžnost řasové biomasy byla zjištěna u digestátu předčištěného pouze proséváním, což dává šanci na technologicky jednoduchou a ekonomicky přijatelnou realizaci.

Klíčová slova: bioplynová stanice, digestát, zelené řasy

Úvod

Bioplynovou stanicí můžeme při určitém zjednodušení definovat jako technické zařízení určené pro zpracování zemědělských produktů a odpadů, kde výstupem tohoto zpracování je elektrická či tepelná energie a zbytkové materiály opět využitelné v zemědělské výrobě. Dle doložitelných zdrojů¹ bylo ke dni 31. 12. 2022 na území České republiky provozováno 540 bioplynových stanic s celkovým instalovaným výkonem 380,5 MW. V domácích podmínkách prodělala technologie bioplynových stanic intenzivní vývoj, a to od své první instalace v roce 1974 v Třeboni² a tehdejšího zaměření na zpracování pouze nevyužitelné rostlinné a živočišné biomasy. Jako mnohostranně výhodná technologická inovace je v této práci popsána možnost současného využití odpadního tepla a předupraveného digestátu z bioplynové stanice.

Hlavním produktem bioplynové stanice je bioplyn, jehož energetický přínos je s ohledem na výše vyznačený instalovaný výkon velmi významný. Vedlejším produktem bioplynové stanice jsou potom tzv. digesční zbytky, které jsou v tomto textu označovány kratším termínem digestát. Hmotnost sušiny produkovaného digestátu bývá přibližně o čtvrtinu nižší oproti sušině substrátů na vstupu do bioplynové stanice^{2,3}, u objemových množství bývá potom rozdíl menší. Proces zpracování digestátu se v minulosti stal jednou z překážek v rozšiřování výroby bioplynu⁴. V České republice je na instalovaných jednotkách produkovan digestát v množství přibližně 5 milionů tun ročně⁵.

Digestát vzniká v průběhu výroby bioplynu transformací a stabilizací organické hmoty, kde oproti vstupnímu substrátu dochází k poklesu obsahu organického uhlíku (o cca 20 – 90 % hm.), snížení viskozity a růstu obsahu minerálního dusíku^{4,5}. Digestát produkovaný na zemědělských bioplynových stanicích je charakterizován vyšším obsahem sušiny 6 – 24 % hm. v důsledku použití zemědělských plodin jako vstupního materiálu do fermentace a zároveň obsahuje významný podíl zbytkové organické hmoty. Digestát se vyznačuje mírně zásaditou až neutrální hodnotou pH s vysokým obsahem dusíku, jehož celkové množství může dosáhnout až $12 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$, a taktéž fosforu, kdy celkový fosfor může dosáhnout až $5,8 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ ⁶. Digestát může být s pomocí běžných separačních metod v principu rozdělen na tzv. fugát (kapalná frakce) a separát (pevná frakce)^{7,8}.

Digestát ze zemědělských bioplynových stanic může obecně plnit funkci hnojiva (v souladu s vyhláškou č. 474/2000 Sb.). Zpracování pevné frakce (separátu) obvykle zahrnuje kompostování, vermikompostování, sušení a výrobu pelet nebo podestýlky pro skot. Kapalná frakce, která je dobře čerpatelná, může být poté použita v zemědělství pomocí injektážní techniky snižující emise amoniakálního dusíku do prostředí jako hnojivo⁹. Konkrétní použití digestátu či jeho frakcí v praxi určují provozní parametry bioplynové stanice, typy vstupních substrátů, lokalita jejího umístění, širší ekonomické zázemí provozovatele a v neposlední řadě také nadřazené globální strategie, které zde otvírají cestu k reálnému zavádění technologických inovací.

Representativní popisy využití digestátu již byly v minulosti popsány⁷. Přímá aplikace kapalného digestátu na zemědělskou půdu s sebou však nese významné negativní environmentální problémy jako je kontaminace vod a eutrofizace vodních toků či nádrží v blízkosti aplikačních míst^{10,11}. Digestát či jeho frakce může přinášet chemickou (např. těžké kovy), biologickou (např. patogeny) nebo fyzikální (např. plasty) kontaminaci^{7,12}. Digestát je při výrobě bioplynu produkován nepřetržitě, zatímco hnojení půdy je závislé na růstových fázích plodin a jeho režim podrobně popsán v legislativě (zejména vyhlášce č. 377/2013 Sb.). V některých ročních obdobích tedy musí být digestát skladován.

Za inovativní způsob využití digestátu, který navíc dobře vychází vstříc aktuálním environmentálním strategiím, můžeme považovat aplikaci přítomných minerálních složek do kultivačních médií pro růst zelených řas. Jedná se o technologický princip, který již byl v poloprovozním měřítku testován na bioplynové stanici v Dublovicích¹³. Pro testování zde byl instalován kaskádový fotobioreaktor, ve kterém kultivační médium syčené oxidem uhličitým, vyhříváné odpadním teplem a v kontaktu se slunečním zářením kontinuálně protékalo v tenké vrstvě po mírně skloněných plochách¹⁴.

Takto navržený systém souběžně nabízel hned několik technologických a následně i ekonomických výhod: 1) využití odpadního tepla přímo v prostoru bioplynové stanice; 2) záchyt oxidu uhličitého; 3) využití produkovaných řas jako krmiva v rámci hospodářského celku, jehož součástí byl také chov skotu; 4) možnost celoročního provozu a 5) možnost využití minerálních látek přítomných v digestátu. Otevřenou otázkou bylo v době tohoto poloprovozního testování nalezení technologicky jednoduchého, administrativně průchodného a ekonomicky životaschopného způsobu předúpravy digestátu do formy aplikovatelné v rámci růstu zelených řas.

Samotná kultivace zelených řas je v průmyslovém měřítku využívána již po řadu desetiletí a směřuje k získávání mnoha potravinářských, farmaceutických, kosmetických a zemědělských produktů¹⁵. Výzkum probíhá také v oblasti využití zelených řas pro výrobu biopaliv. Počátek komerčního pěstování zelených řas *Chlorella* a *Spirulina* můžeme datovat do šedesátých let dvacátého století, k začátku osmdesátých let je pak zdokumentováno využití řas *Dunaliella Salina* pro produkci β -karotenu^{16,17}.

Kultivace zelených řas probíhá většinou autotrofně ve fotobioreaktorech^{14,18} v uměle připravených médiích, za přítomnosti oxidu uhličitého a světla. Některé druhy řas lze pěstovat také heterotrofně, případně mixotrofně. Kultivační média pro pěstování řas jsou zpravidla připravována dávkováním komerčně dostupných chemických látek, což zvyšuje cenu kultivace a někdy přináší i negativní dopady pro životní prostředí.

Jak již bylo zmíněno v předcházejícím textu, lze jako alternativu k dávkování komerčních chemických látek uvažovat využití látek přítomných v digestátu z bioplynové stanice, a to v kombinaci s využitím oxidu uhličitého a odpadního tepla z kogeneračních jednotek¹⁹. Zmíněná alternativa je ovšem podmíněna znalostí a ekonomickou průchodností technologického postupu, kterým by bylo možné z výchozího digestátu připravit čirý roztok s co nejvyšším obsahem potřebných živin. Základní princip tohoto technologického postupu již byl navržen v předcházející práci²⁰, kdy se jako první krok osvědčilo ředění digestátu podobně jako zde^{21,22}, a kde se testovaly různé kombinace mechanických a chemických separačních kroků a kde se jako mírně výhodnější ukázal postup zahrnující použití chemických látek. Ve snaze o zjednodušení byly tedy separační kroky testovány podrobněji a na jiném typu výchozího digestátu, přičemž do experimentů byl jako nezávisle proměnný parametr zaveden také způsob osvitů při kultivaci zelených řas.

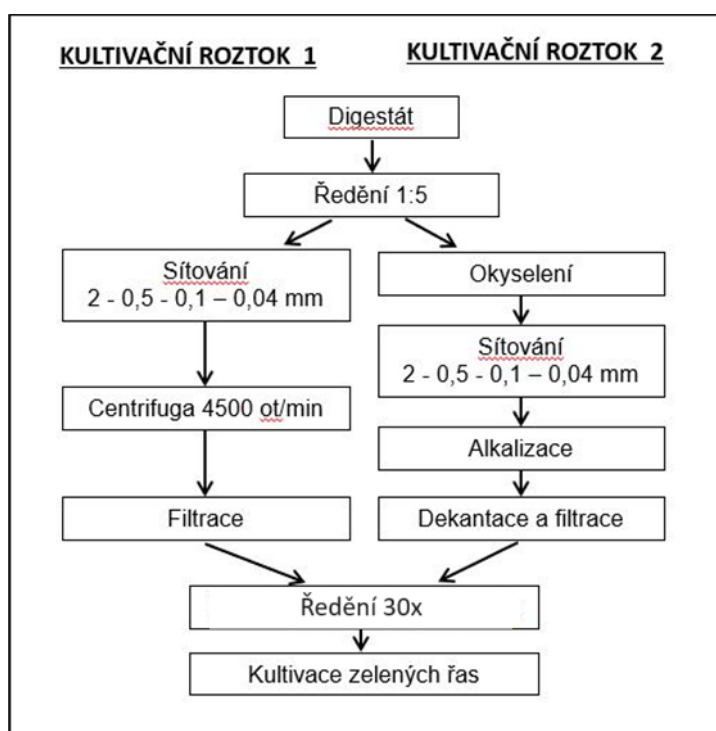
Experimentální část

Pro účely této práce byl na bioplynové stanici ZD Krásná Hora nad Vltavou, a.s. odebrán do 50 litrových PE barelů vzorek digestátu (hovězí kejda, kukuřičná/travní hmota 70/30, velké množství částic < 0,1 mm, málo tekutý). V tomto vzorku byl stanoven obsah aniontů (filtrace přes 0,45 µm membránový filtr a následná analýza technikou kapilární elektroforézy – přístrojem CAPEL-105M, LUMEX, křemenná kapilára v délce 60 cm a průměru 0,74 µm, napětí -20 V, UV detekce při 220 nm).

Obsah kovů v sušině byl stanoven pomocí modifikované metody mineralizace podle EPA Method 3050B, analýza technikou AAS podle ČSN ISO 8288 (AAS SensAA, GBC Scientific Equipment). Základní parametry sušina, obsah organických látek, obsah popela, hodnota pH a konduktivita byly stanoveny podle ČSN EN 13040, ČSN EN 13039, ČSN EN 13038, ČSN EN 13037. Stanovení amoniakálního dusíku bylo provedeno pomocí jednopaprskové spektrofotometrické metody s využitím Nesslerova činidla a detekcí při vlnové délce 470 nm.

Analýza CHNS byla provedena na přístroji Elementar vario Cube III firmy Elementar. Pro kalibraci přístroje byl použit standard Merck kyseliny stearové a standard od Elementar Analysensysteme GmbH (C: 67,68 hm. %, H: 4,95 hm. %, N: 0,69 hm. %, S: 0,81 hm. %). Vzorek (5 – 15 mg) byl spálen v čisté kyslíkové atmosféře. Plynné produkty spalování byly po redukci separovány v chromatografickém systému proplachování a zachycování, a nakonec detekovány detektorem tepelné vodivosti (TCD). Výsledky vstupních analýz jsou shrnuty v tabulce 2.

Na základě rozsáhlé série předběžných laboratorních experimentů byly navrženy dva způsoby předúpravy digestátu, které jsou schematicky ukázány na obrázku 1. Oba způsoby mají společný základ, kterým je naředění digestátu vodou v poměru 1:5. První způsob předúpravy (kultivační roztok 1) je čistě mechanický a zahrnuje síťování, odstředování a posléze filtraci přes membránový filtr (2 µm). Druhý způsob (kultivační roztok 2) kombinuje mechanické postupy s chemickým srážením. Koncovým stupněm předúpravy je u obou způsobů ředění vodou na úroveň použitou pro kultivační experimenty 30x.



Obrázek 1: Procesní schéma přípravy testovaných kultivačních roztoků

V tabulce 1 je uvedeno zjednodušené označení kultivačních roztoků použitých při testech čtyř světelných režimů, které byly připraveny jako kultivační roztok 1 a kultivační roztok 2 kombinací kyselé a alkalické úpravy a poté byly naředěny 30x (a též 60x pro BCU) pro následné kultivační testy zelené řasy rodu *Scenedesmus*.

Tabulka 1: Kombinace kyselin a zásad použitých v rámci chemické úpravy digestátu

KULTIVAČNÍ ROZTOK 2		
OZNAČENÍ	OKYSELENÍ	ALKALIZACE
A	H ₂ SO ₄	Ca(OH) ₂
B	H ₂ SO ₄	NaOH
C	H ₂ SO ₄	KOH
D	H ₃ PO ₄	Ca(OH) ₂
E	H ₃ PO ₄	NaOH
F	H ₃ PO ₄	KOH
G	HCl	Ca(OH) ₂
H	HCl	NaOH
I	HCl	KOH
KULTIVAČNÍ ROZTOK 1		
BCU	bez chemické úpravy	

Kultivační roztoky připravené podle obrázku 1 byly použity pro laboratorní experimenty s řasovou kulturou *Scenedesmus cf. acutus* Meyen CCALA 438 (*Scenedesmus cf. acutus*), která pocházela ze Sbírký autotrofních organismů CCALA Botanického ústavu AV ČR, v. v. i. Dodaná kultura byla uchovávána při teplotě 4±1 °C a před každým z dále popsaných experimentů naočkována do 30 ml Bold's Basal (BBM) média v Erlenmayerově baňce, umístěna na orbitální třepačku (130 ot·min⁻¹) a kultivována při stálém osvětlení (zdroj záření 2x 3800 lm, 9500 K) při 24 – 27 °C po dobu tří dnů. Následně byly spočítány buňky pomocí Bürkerovy komůrky a přepočítány na objem 1 ml. Do 50ml Erlenmayerových baněk bylo poté dávkováno vždy 20 ml naředěného kultivačního roztoku podle obrázku 1 a přidána čerstvá řasová kultura tak, aby počáteční koncentrace v baňce odpovídala 100 000 buněk v ml. Kontrolu zde představovalo BBM médium.

Růst řas byl monitorován prostřednictvím počtu buněk pomocí Bürkerovy komůrky, ze kterého byly sestrojeny růstové křivky, tj. grafická závislost koncentrace buněk na době růstu řas, viz obrázek 2. Na konci experimentu byl stanoven výtěžek řasové biomasy. Testovány byly čtyři světelné režimy (poměr světlo:tma vyjádřený v hodinách), a to 24:0, 16:8, 14:10 a 12:12. Stanovení výtěžku bylo provedeno gravimetricky, po odfiltrování a vysušení řas (filtrační papír MN 619 EH, MACHEREY–NAGEL, Germany). Celkový výtěžek řasové biomasy byl vyjádřen v g·l⁻¹.

Výsledky a diskuse

Výchozí charakteristiky odebraného digestátu jsou shrnuty v tabulce 2 a výsledné charakteristiky kultivačních roztoků jsou potom v závislosti na provedených úpravách ukázány v tabulce 3. U prvků s očekávanou inhibiční účinností vůči řasám, jako měď a zinek²³, jejichž původ je převážně z agrochemikálií používaných na ošetření zemědělských plodin, byly zjištěny jen méně významné koncentrace.

Prvním společným krokem obou separačních postupů ukázaných na obrázku 1 bylo ředění digestátu vodou v poměru 1:5, kde ředící poměr byl nastaven tak, aby výsledná suspenze vykazovala dostatečnou tekutost. Tato výchozí úroveň ředění je dále ve výsledcích označována jako šestinásobné ředění.

Příprava kultivačního roztoku 1 spočívala v kombinaci mechanických separačních kroků, během kterých došlo k postupnému odstranění hrubých a suspendovaných částic. Použité schéma mechanické separace vycházelo z předběžných experimentů a zajišťovalo nejlepší dosažitelnou průtokovou rychlost i separační účinnost. Zbytkové koncentrace vybraných kovů a aniontů v taktó získaném roztoku jsou ukázány v tabulce 3. Z hlediska růstu zelených řas lze za významné považovat zejména zjištěné koncentrace mědi a zinku, které mechanickou separací prošly a mohly již působit inhibičně při použití neředěných roztoků, nicméně při použití třicetinásobného ředění kultivačního roztoku 1, jako posledního kroku úpravy vyznačeného na obrázku 1, je jejich koncentrace prakticky nestanovitelná, tudíž téměř zanedbatelná.

Při přípravě kultivačního roztoku 2 bylo nejprve provedeno okyselení kyselinou sírovou, fosforečnou nebo chlorovodíkovou na hodnotu pH = 2,0. Poté následovalo odstranění pevných částic (včetně produktů kyselého srážení) na stejné sestavě sít jako u kultivačního roztoku 1. V dalším kroku byly roztoky alkalizovány hydroxidem vápenatým, sodným nebo draselným na výsledné hodnoty pH uvedené v tabulce 3. Po odstranění vzniklých sraženin byly čiré roztoky dále ředěny podle obrázku 1. Výsledné koncentrace sledovaných kovů a aniontů jsou opět ukázány v tabulce 3.

Ve všech variantách chemické úpravy se koncentrace mědi v šestinásobném ředění dostaly pod detekční mez použité analytické techniky, zatímco u zinku byly u variant B a C zjištěny koncentrace na úrovni desetin mg·l⁻¹. Zásadním způsobem se potom ve složení roztoků projeví kationty či anionty použitých srážecích činidel.

Prostřednictvím výše ukázaných dílčích separačních kroků byla tedy připravena proměnlivá série roztoků pro navazující kultivační experimenty, jejichž přehled a označení jsou uvedeny v tabulce 1.

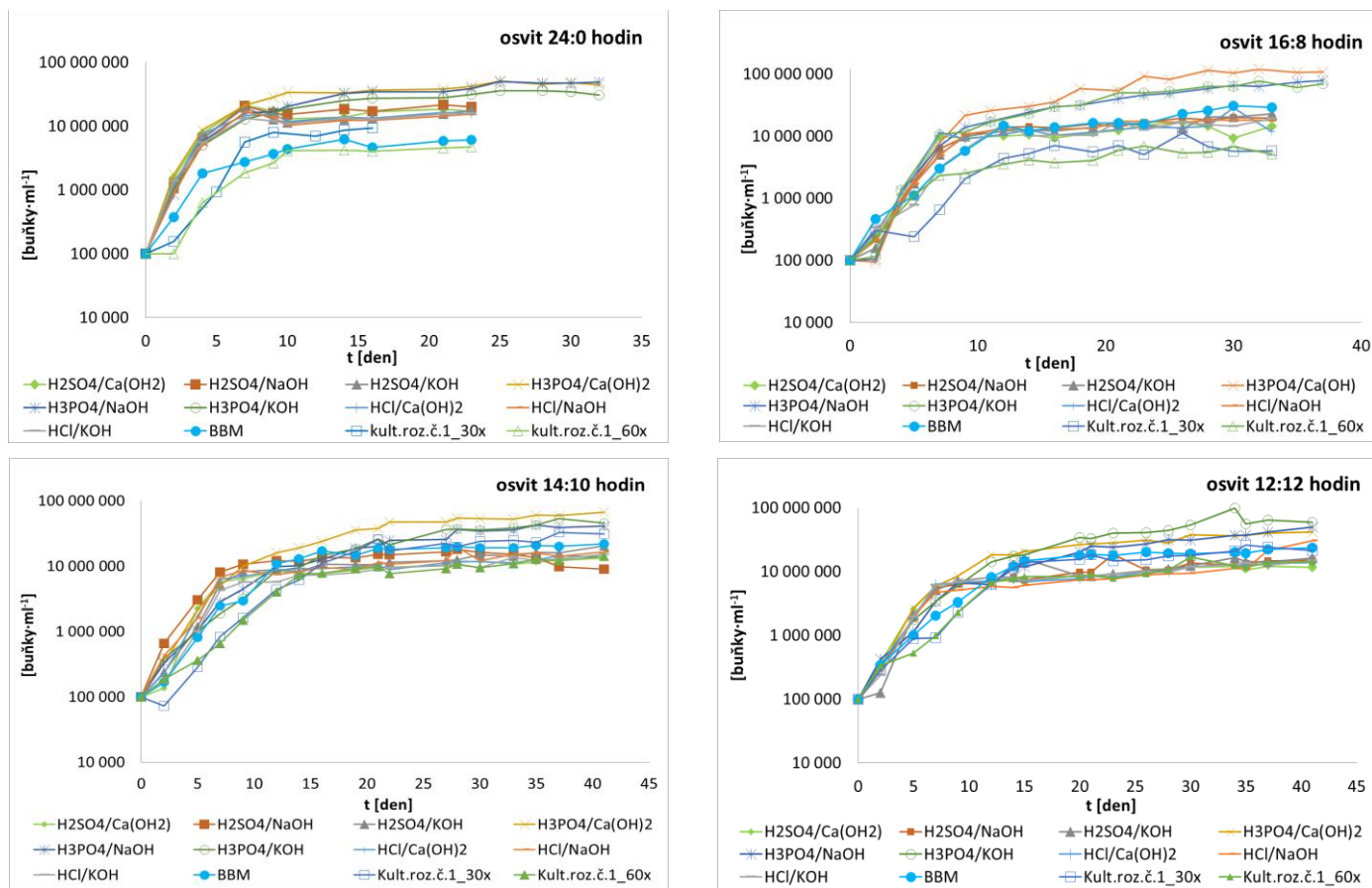
Tabulka 2: Počáteční charakteristika odebraného digestátu²⁴

Sušina	Obsah popela	Obsah organických látek	C	H	N	S	pH	EC
[% hm.]							[-]	[mS·cm ⁻¹]
5,86	28,7	71,3	39,5	4,82	3,30	0,73	7,74	4,05

Tabulka 3: Výsledné charakteristiky upraveného digestátu²⁴

Vzorek	Koncentrace kovů, N_{amon} a vybraných aniontů													pH	EC
	Cu	Zn	Fe	Ca	Mg	Na	K	Mn	Cl	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	N_{amon}		
	[mg·l ⁻¹]														
A	<0,1	<0,2	0,54	637	144	68,5	584	0,54	225	4410	53,1	5,64	352	7,5	6,85
B	<0,1	0,35	2,1	213	132	621	503	2,2	224	4470	59,1	117	343	6,8	7,61
C	<0,1	0,20	1,10	216	136	74,3	1340	1,5	225	4430	62,6	74,9	377	6,8	7,94
D	<0,1	<0,2	0,36	1,08	14,7	74,4	493	<0,2	215	49,2	74,6	129	310	7,1	3,79
E	<0,1	<0,2	0,17	<0,5	14,0	2800	411	<0,2	218	81,2	87,5	254	271	7,0	8,54
F	<0,1	<0,2	0,12	<0,5	68,6	89,5	4000	<0,2	206	54,5	54,5	177	289	6,9	9,82
G	<0,1	<0,2	0,34	626	151	71,6	517	0,69	3290	73,0	13,5	<0,25	377	7,4	8,36
H	<0,1	0,20	1,6	254	157	509	522	1,9	3250	75,1	18,7	1,10	357	6,9	8,15
I	<0,1	0,20	1,6	255	164	72,4	1180	2,0	3210	73,3	18,2	0,91	346	6,9	8,67
BCU	0,79	0,54	6,3	52,9	80,9	112	410	0,41	482	384	71,6	9,12	306	8,6	4,01

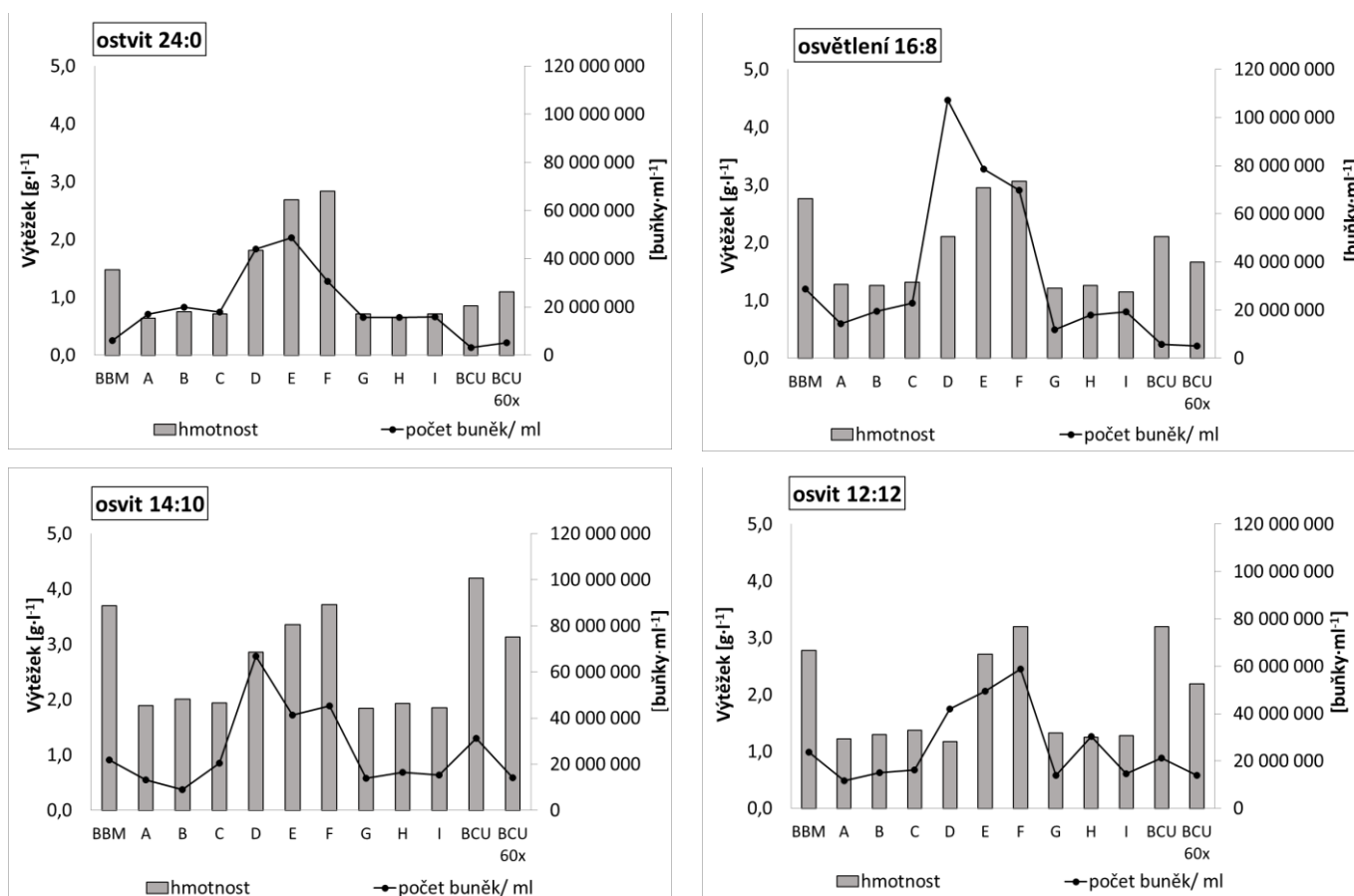
Kinetika růstu řasové hmoty pro výše vyznačené způsoby úpravy digestátu je v souhrnné formě ukázána na obrázku 2. Získaná kinetická data byla interpretována prostřednictvím obecné křivky růstu mikroorganismů v logaritmickém měřítku, kde pro každý dílčí experiment byl vyhodnocen přechod mezi exponenciální a stacionární fází. Takto získaný časový údaj byl následně použit pro nastavení doby trvání experimentů, při kterých byl zjišťován výtěžek řasové hmoty (biomasy). Pro podmínky permanentního osvětlení (24:0) tak byla určena doba pro sklizeň řas 23 dnů, zatímco pro další typy osvětlení (16:8; 14:10; 12:12) byly stanoveny doby 33; 41; 41 dnů.



Obrázek 2: Porovnání růstových křivek *Scenedesmus cf. acutus* v kultivačních roztocích 1, 2 digestátu z bioplynové stanice Krásná Hora, na základě sledování počtu buněk na ml uvedených v logaritmickém měřítku.

Hlavním faktorem ovlivňujícím růst zelených řas je světlo, které poskytuje energii potřebnou pro průběh metabolických procesů. Správné nastavení dostupnosti a intenzity světla má z hlediska výtěžnosti řasové hmoty zásadní význam. Nevýhodný je zde jak nedostatek, tak i přebytek světla, který může vést k tvorbě škodlivých forem reaktivního kyslíku a vzniku oxidačního stresu²⁵. V této práci byly výtěžky řasové biomasy sledovány při čtyřech světelných režimech, včetně permanentního osvětlení. Testovány byly všechny varianty mechanické a chemické předúpravy při třicetinasobném naředění kultivačních roztoků, které se ukázalo jako nejvýhodnější. Výsledky kultivačních experimentů jsou v souhrnné formě ukázány na obrázku 3.

Jako nejméně vhodný se zde z hlediska výtěžku řasové hmoty ukázal vcelku jednoznačně permanentní osvětlení. Za nejvhodnější můžeme potom považovat poměr světlo:tma 14:10, kde kromě celkově vysokých výtěžků byla vůbec nejvyšší hodnota tohoto parametru zjištěna pro kultivační roztok 1, který byl z digestátu připraven pouze síťováním, bez použití chemických látek. Vysoký efekt čistě mechanické předúpravy digestátu byl zjištěn také pro poměr světlo:tma 12:12, kde byly zjištěny prakticky stejné výtěžky pro kultivační roztok 1 a kultivační roztok 2 srážený kyselinou fosforečnou.



Obrázek 3: Výtěžek řasy *Scenedesmus cf. acutus* při různých režimech osvětlení (■ výtěžek, — počet buněk)

Efekt chemické úpravy prováděné v celkem devíti variantách u kultivačního roztoku 2 je ovšem velmi výrazný z hlediska počtu buněk v jednotkovém objemu. Zde se pro všechny poměry osvětlení projevoval stimulační účinek fosforečnanů, jejichž koncentrace byla ve variantách D – F oproti původní úrovni výrazně vyšší. Ze dvou parametrů znázorněných na osách Y na obrázku 3 je s ohledem na cíl této práce výrazně významnější výtěžek řasové hmoty. Za nejdůležitější přínos práce pak lze považovat zjištění, že nejvyšší praktický potenciál vykazuje kultivační roztok připravený z digestátu pouze mechanickou úpravou, tedy bez použití chemických látek.

Vysvětlení překvapivé úspěšnosti pouhé mechanické úpravy digestátu, stejně jako rozdílných trendů mezi výtěžkem řasové hmoty a počtem buněk, je čistě na základě zde ukázaných výsledků obtížné. Růst zelených řas v rámci provedených experimentů ovlivňovala, nebo přinejmenším mohla ovlivňovat, řada faktorů, které jednotlivě mohly působit stimulačně i inhibičně a celkový efekt pak byl dán jejich součtem. Ilustrativním příkladem zde může být přítomnost rozpuštěných organických látek. Množství fosforečnanů v kultivačních roztocích je ovlivněno přidávkem $\text{Ca}(\text{OH})_2$, které se v kombinaci s přítomným vápníkem sráží, což při použití NaOH a KOH nenastává. Použitím KOH dochází k významnému vnesení draselných iontů do roztoku, přičemž draslík spolu s dusíkem a fosforem je jedním ze tří primárních makroživin pro produkci biomasy, což potvrzuje i nejvyšší výtěžek řasové biomasy na obrázku 3 u kultivačního roztoku 2, který byl upraven kombinací H_3PO_4 a KOH.

Bylo ukázáno²⁶, že rozpustné organické látky (stejně jako vysoký obsah amoniakálního dusíku²⁷) mohou způsobovat významnou inhibici růstu zelených řas, a proto je důležité zařadit jako první krok úpravy digestátu ředění^{26,28}. Rozpustné organické látky a amoniakální dusík mohou ale na druhé straně v digestátu vytvářet komplexy s přítomnými kovy²⁹ a snižovat tak jejich toxicitu vůči řasám. Reálný efekt je tak zpravidla nutné ověřit experimentem.

Výše popsané experimenty a z nich vycházející výsledky tedy prokázaly dobrou využitelnost digestátu z bioplynové stanice ZD Krásná Hora nad Vltavou, a.s. pro kultivaci zelených řas, kde potřebnou úpravu digestátu zajišťovala pouze jednoduchá mechanická separace suspendovaných látek větších než 0,04 mm a odstředění koloidních látek. I když v porovnání s kultivačním roztokem 2 v kombinaci kyseliny fosforečné a hydroxidu draselného poskytlo vyšší výtěžky řasové biomasy, je potřeba zmínit, že vzhledem k BCU tato, ale i ostatní kombinace chemické úpravy digestátu, s sebou nesou technické a technologické komplikace, a především také náklady spojené s nutností pořízení činidel, dávkovacího zařízení, odstraněním vzniklého kalu a dalšího technologického vybavení, jako jsou nádrže pro úpravu a skladování, nehledě na to, že dochází k prokazatelnému zasolení kultivačních roztoků, které může ovlivnit produkci řas a tvorbu biomolekul, jako jsou sacharidy nebo lipidy, které mohou být využitelné pro další aplikace v potravinářském nebo biopalivářském sektoru. Vybraná zelená řasa rodu *Scenedesmus* plně v souladu s dřívějšími zdroji³⁰ vykazovala schopnost relativně vysokého výtěžku a dobrou celkovou odolnost. Získané výsledky vykazují vysoký aplikační potenciál³¹.

Závěry

V práci byly v laboratorním měřítku ověřeny dva způsoby předúpravy digestátu z bioplynové stanice, jejichž výsledkem byly čiré roztoky živin využitelné pro pěstování zelených řas. První způsob byl čistě mechanický, zatímco druhý kombinoval mechanické a chemické separační principy. Sledování kinetiky růstu zelených řas *Scenedesmus cf. acutus* v předupravených roztocích ukázalo optimální doby růstu, tj. od nadávkování matečné kultury řas do kultivačních roztoků až po dosažení stacionární fáze růstu, kdy dochází k vyčerpání nutrientů potřebných pro růst. Konkrétně tedy pro světelný režim 24:0 (světlo:tma) jde o 7. až 10. den kultivace s prodlouženou dobou kultivace až na 21 dní pro roztoky upravené pomocí kyseliny fosforečné. Pro světelný režim 16:8 pak 12. až 14. den kultivace s prodlouženou dobou kultivace až na 23 dní pro roztoky upravené pomocí kyseliny fosforečné. Pro světelný režim 14:10 a 12:12 by byla optimální doba růstu shodně 14. až 16. den opět s prodloužením doby růstu až na 27 dní pro roztoky upravené pomocí kyseliny fosforečné.

Pro zvolené úrovně osvitů 24:0, 16:8, 14:10 a 12:12 byly následně stanoveny výtěžky řasové biomasy na konci kultivačních testů tj. 23.(32.), 33.(37.), 41., 41. den kultivace, jejichž porovnání vcelku jednoznačně ukázalo výhodnost čistě mechanického způsobu předúpravy. S výjimkou permanentního osvitů, byly výtěžky řasové hmoty po mechanické předúpravě zcela srovnatelné s výtěžky po úpravě kombinované, včetně systému s kyselinou fosforečnou, kde se očekával stimulační efekt. Tento závěr je z praktického hlediska velmi pozitivní, neboť naznačuje možnost jednoduché předúpravy digestátu (bez použití chemických látek) a fotobioreaktoru s dobrým výtěžkem při přirozeném denním režimu.

Poděkování

Tato práce vznikla s podporou projektu TA04020608 a projektu financovaného z účelové podpory na specifický vysokoškolský výzkum (MŠMT č. 20-SVV/2017).

Literatura

1. <https://www.czba.cz>, staženo 3.7. 2024.
2. Straka F.: v knize v knize *Bioplyn, Příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů*, str. 399. GAS s.r.o., Říčany 2003.
3. Mystkowski E.: *Kukurydza 1 (46)*, 52 (2015).
4. Fuchs W., Drosig B.: *Water Sci. Technol.* 67, 1984 (2013).
5. Duffková R., Mühlbachová G., Matějka J., Zajíček A., Kusá H., Fučík P., Káš M., Nobilis P., Bartoš P., Fendrych B.: v certifikované metodice *Metodický postup pro efektivní užití digestátu ze zemědělských bioplynových stanic*, str. 8., <https://www.vurv.cz/wp-content/uploads/2021/06/ISBN-978-80-7427-227->

- 1_ISBN-978-80-87361-62-7_VURV-VUMOP-Metodicky-postup-pro-efektivni-uziti-digestatu-ze-zemedelskych-bioplynovych-stanic.pdf, staženo 20. 1. 2024.
6. Bauer L., Ranglová K., Masojádek J., Drosig B., Meixner K.: *Appl. Sci.*11(3),1056 (2021).
 7. Nkoa R.: *Agron. Sustain. Dev.* 34, 473 (2014).
 8. Möller K., Müller T.: *Eng. Life Sci.* 12, 242 (2012).
 9. Rizzioli F., Bertasini D., Bolzonella D, Frison N., Battista F.: *Sepr. Purify.Tech.*306 B, 122690 (2023).
 10. Levine R.B. a kol.: *Biomass Bioenerg.*, 35, 40 (2011).
 11. Xia A. a kol: *Trends Biotechnol.*, 34 (2016), 264 – 275.
 12. Lukehurst C.T. a kol.: v publikaci *Utilisation of digestate from biogas plants as biofertiliser*, str. 17., https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2010/06/Digestate_Brochure_Revised_12-2010.pdf, staženo 20.1.2024.
 13. <https://zemedelec.cz/vyuzit-se-muze-i-odpadni-teplo/>
 14. Bělohav V., Jirout T., Krátký L.: *Chem. Listy* 112, 183 (2018).
 15. Přerovská T., Benešová E., Lipovová P.: *Chem. Listy* 115, 171 (2021)
 16. Borowitzka M.A.: *Journal of Biotechnology*, 70, 313 (1999).
 17. Borowitzka M. A., Moheimani N.: *Mitig. Adapt. Strat. Glob. Change* 18, 13 (2013).
 18. Bělohav V., Jirout T., Elster J., Liška J., Nedbalová L., Kvíderová J.: *Chem. Listy* 117, 613 (2023).
 19. Ao Xia, Murphy J. D.: *Trends in Biotechnology* 34(4), 264 (2016).
 20. Hrychová P, Šír M., Bervic A.: *WASTE FORUM* 5, 284 (2016).
 21. Xu J., Zhao Y, Zhao G, Zhang H.: *Appl Microbiol Biotechnol*, 99, 6493-6501 (2015).
 22. Franchino M., Comino W., Bana F., Riggio A.V: *Chemosphere.* 92 (6), 738-744 (2013).
 23. Belon E., Boisson M, Deportes I.Z., Eglin T.K., Feix I., Bispo A.O., Galsomies L., Leblond S., Guellier C.R: *Sci. Total Environ.* 439, 87 (2012).
 24. Tomášová P., Marcínková E., Šír M.: *Sanační technologie XX*, 24. – 25. května 2017, Uherské Hradiště str. 97-103, Vodní zdroje Ekomonitor s.r.o, Chrudim 2017. ISBN 978-80-88238-10-0.
 25. Sforza E., Simionsto D., Giacometti G. M., Bertuccio A., Morosinotto T.: *PLoS One* 7(6), e38975 (2012).
 26. Chong C.C., Cheng W. Y., Ishak S., Lam M.K., Lim J.W., Tan I.S., Show P.L., Lee K.T.: *Sci. Total Environ.* 803 (2022) 150070.
 27. Sobolewska E, Borowski S., Novicka-Krawczyk P.: *J. Environ. Manage.* 344, 118445 (2023).
 28. Al-Mallahi J., Ishii K., Sato M., Ochiai S.: *J. Environ. Manage.* 335, 117557 (2023).
 29. Kubal M., Šváb M., Čermák J., Borýsek A.: *Sep. Sci. Technol.* 36, 3223 (2001).
 30. Rossi S., Carecci D., Marazzi F., Benedetto F.D., Mezzanotte V., Parati K., Alberti D., Geraci I., Ficara E.: *Heliyon* 10, e23240 (2024).
 31. Zhang R.L., Wang J.H., Cheng L.Y., Tang Y.J., Chi Z.Y.: *Int. J. Green Energy* 16, 825 (2019).

Supporting green algae production in biogas plant operation

Pavla TOMÁŠOVÁ*, Marek ŠÍR, Zuzana HONZAJKOVÁ, Jana CHUMCHALOVÁ, Jiří HENDRYCH, Eva MARCÍNKOVÁ, Martin KUBAL

University of Chemistry and Technology Prague, Faculty of Environmental Technology, Czech Republic;

* corresponding author: e-mail: hrychovp@vscht.cz

Summary

The use of pretreated liquid digestate from a biogas plant was studied within the cultivation of green algae to utilize the inorganic components contained. The digestate was pretreated by 1) sieving and 2) by sieving followed by chemical precipitation. The algae *Scenedesmus cf. acutus* Meyen CCALA 438 was used for the cultivation tests carried out with four levels of illumination. The highest yield of algal biomass was observed in the digestate pretreated by sieving alone, which provides a chance for a technologically simple and economically acceptable implementation.

Keywords: Biogas plant, digestion residues, green algae