



Česká zemědělská
univerzita v Praze

Řízení procesu anaerobní digesce s využitím surovin na bázi látek s vysokým obsahem dusíku, zejména bobovitých rostlin

certifikovaná metodika

Jan Habart a kol.



© Česká zemědělská univerzita v Praze
Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin, FAPPZ
165 00 Praha-Suchbát
www.af.czu.cz

Vydavatelství Česká zemědělská univerzita v Praze

ISBN: 978-80-213-3215-7

Praha 2022

Metodika vznikla za přispění fondu EIP číslo:
16/003/1611a/231/000093
Projekt byl podpořen Evropskou unií a Ministerstvem zemědělství

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů



**Česká
zemědělská
univerzita
v Praze**

**Řízení procesu anaerobní digesce s využitím surovin
na bázi látek s vysokým obsahem dusíku, zejména
bobovitých rostlin**

Certifikovaná metodika

Jan Habart a kol.

Certifikovaná metodika byla zpracována v rámci řešení projektu Programu rozvoje
venkova číslo: 16/003/1611a/231/000093

CERTIFIKOVANÁ METODIKA

Dedikace: Ke zpracování certifikované metodiky bylo použito výsledků výzkumných aktivit realizovaných v rámci řešení výzkumného projektu Programu rozvoje venkova číslo: 16/003/1611a/231/000093 "Ověření výroby organického hnojiva se zvýšeným obsahem dusíku a použití v zemědělství a ovocnářství".

KOLEKTIV AUTORŮ:

Ing. Jan Habart, Ph.D.^{1,2}

prof. Ing. Pavel Tlustoš, CSc., dr. h.c.¹

Ing. Julie Dajčl²

Ing. Pavel Míchal, Ph.D.¹

Ing. Pavel Fuksa, Ph.D.³

doc. Ing. Josef Hakl, Ph.D.³

Štěpán Netík⁴

¹ ČZU v Praze, Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin

² CZ Biom – České sdružení pro biomasu

³ ČZU v Praze, Katedra agroekologie a rostlinné produkce

⁴ Statek Netěchovice

Řízení procesu anaerobní digesce s využitím surovin na bázi látek s vysokým obsahem dusíku, zejména bobovitých rostlin

Jan Habart a kol.

Vydání první, 2022

Vydavatelství: Česká zemědělská univerzita v Praze

Grafické zpracování: Kateřina May

Tisk Powerprint s.r.o., Brandejsovo nám. 1219/1, 165 00 Praha – Suchbátka

www.powerprint.cz

ISBN: 978-80-213-3215-7

ABSTRAKT

Zvyšování podílu bobovitých rostlin v osevních postupech významně přispívá k omezení eroze a zlepšení kvality půd. Bobovité rostliny jsou zpravidla odolnější vůči suchu, snižují spotřebu dusíkatých minerálních hnojiv a zajišťují jejich náhradu ve formě rostlinné biomasy s vyšším podílem dusíku, který je bobovitými rostlinami fixován z atmosférického dusíku. Výměra jetelovin a ostatních víceletých píceň na orné půdě, úzce koreluje se stavy skotu, a tedy v posledních desetiletích klesá, na druhou stranu v České republice je provozováno okolo 400 zemědělských bioplynových stanic, které by mohly část vstupních substrátů nahradit právě bobovitými rostlinami, a tak by díky energetickému využití ve směsi vstupních substrátů bioplynových stanic mohla jejich výměra opět narůst. Využití bobovitých rostlin, jetele lučního a vojtěšky seté v provozních podmínkách bioplynové stanice ukázalo, že je možné zařadit bobovité rostliny do mixu vstupních substrátů, přičemž dochází k téměř dvojnásobnému nárůstu obsahu celkového dusíku v produkovaném digestátu, a to z 0,4 % až na 0,79 %. To vede ke značnému snížení nákladů na nákup a aplikaci hnojiv, a tím i snížení pojezdů zemědělské techniky na pozemku. Zařazení bobovitých rostlin do osevních postupů tak přináší celou řadu benefitů jak pro zdravý stav půdy, tak pro ekonomiku zemědělských podniků.

ABSTRACT

Increasing the share of legumes in the crop rotation significantly contributes to suppressing erosion and improving soil quality. Majority of legumes is more resistant to drought, reducing the consumption of nitrogen mineral fertilizers and provide compensation in the form of plant biomass with a higher proportion of nitrogen, which is fixed from the atmosphere by legumes. The area of clover and other perennial forage crops on arable land, is closely correlated with cattle numbers and thus declining over the last decades, on the other hand around 400 agricultural biogas plants are operated in the Czech Republic, which can replace some of the input substrates with legumes and may increase again due to their use in the mixture of input substrates of biogas plants. The use of legumes, meadow clover and alfalfa in the operating conditions of the biogas plant has shown that it is possible to include legumes in the mix of input substrates, with an almost twofold increase in the total nitrogen content of the digestate, from 0.4% to 0.79%. This leads to a significant reduction in the expenses of purchasing and applying fertilizers, and thus a reduction in the movement of agricultural machinery on the land. The inclusion of legumes in crop rotation can bring a number of benefits both to the healthy conditions of the soil and to the economy of agricultural farms.

OBSAH

1. Cíl metodiky	1
2. Vlastní popis metodiky	1
2.1 Úvod – aplikace organických hnojiv s vyšším podílem dusíku	1
2.2 Bobovité rostliny využitelné k produkci bioplynu	3
2.3 Produkce biomasy jetelovin	7
2.4 Kvalita biomasy jetelovin	9
3. Bioplynové stanice, typické substráty a obvyklé obsahy dusíku	12
3.1 Výtěžnost bioplynu z jednotlivých materiálů	13
3.2 Vstupní substrát do BPS – kukuřice	14
3.3 Produkce bioplynu z biomasy jetelovin	15
3.4 Obsah dusíkatých látek ve vstupních substrátech	16
3.5 Využití digestátu jako organického hnojiva	16
4. Rizika substrátů s vysokým obsahem dusíku	21
5. Metodika změny vstupních substrátů	22
5.1 Technologické vybavení BPS pro dávkování substrátů na bázi jetele a vojtěšky	22
5.2 Požadavky na kvalitu píce pro produkci bioplynu	23
5.3 Příprava dávkování substrátů s vyšším obsahem dusíku	23
5.4 Řízení procesu změny substrátů	25
5.5 Vliv vyššího obsahu dusíku na digestát	27
6. Laboratorní experimenty využití bobovitých rostlin v anaerobním procesu	27
6.1 Metodika stanovení substrátové výtěžnosti bioplynu	27
6.2 Laboratorní testy výtěžnosti bioplynu	28
7. Provozní zkoušky využití bobovitých rostlin v reálné bioplynové stanici	31
7.1 Metodika provozního testování v BPS	31
7.2 Vliv dávkování vojtěšky na sledované parametry digestátu	33
7.3 Vliv dávkování jetele lučního na sledované parametry digestátu	35
8. Srovnání novosti postupů	38
9. Popis uplatnění certifikované metodiky	38
10. Ekonomické aspekty	39
11. Závěr	42
12. Seznam použité literatury	43
13. Dedikace	46
14. Ostatní náležitosti certifikované metodiky	46

1. CÍL METODIKY

V současné době vzrůstá tlak na šetrné zacházení s přírodními zdroji a je sledován dopad jednotlivých lidských činností na životní prostředí. V souvislosti s narůstajícími teplotami a nižším úhrnem srážek čelí krajina v posledních letech obdobím sucha a klimatické změně. To má významný dopad mimo jiné na kvalitu půdy. Jedním z nástrojů, jak dlouhodobě udržet půdu v odpovídajícím produkčním stavu je aplikace organických hnojiv a organické hmoty do půdy. Ty však oproti minerálním hnojivům často přináší vyšší náklady. Tato metodika přichází s alternativou, při které bude snížena spotřeba dusíkatých minerálních hnojiv a současně dojde ke snížení nákladů na rostlinnou produkci zemědělského podniku.

Cílem předkládané metodiky je snížení spotřeby dusíkatých minerálních hnojiv v zemědělském podniku a zajištění náhrady ve formě organických hnojiv s vyšším podílem dusíku, který bude pomocí bobovitých rostlin fixován z atmosféry. Tato změna zvýší ekonomickou efektivitu v zemědělské prvovýrobě, rostlinná produkce bude realizována za nižších nákladů v porovnání s používanými minerálními hnojivy. Současně budou sníženy emise z minerálních hnojiv a jejich vyplavování do podzemních vod. Zvýšení podílu bobovitých rostlin v osevních postupech má dále pozitivní vliv na kvalitu půdy.

2. VLASTNÍ POPIS METODIKY

2.1 Úvod – aplikace organických hnojiv s vyšším podílem dusíku

V současné době jsou aplikované technologie založené na výrobě organického hnojiva anaerobní fermentací s využitím převážně kukuřičné siláže, GPS žita, senáží, statkových hnojiv a organických odpadů. Bobovité rostliny se v bioplynových stanicích téměř nevyužívají. Digestát se běžně aplikuje na ornou půdu či trvalé travní porosty. Jeho hnojivé účinky by bylo možné využít také v sadech, vinných sadech nebo chmelnicích. Pro tyto účely však chybí aplikátor organického hnojiva do sadů a neexistuje dostatečná znalost využití organického hnojiva se zvýšeným obsahem dusíku ověřená praxí.

Metodika inovuje zdrojovou základnu pro výrobu tekutého organického hnojiva za použití procesu anaerobní digesce a nově využívá bobovité rostliny (jetele, vojtěšky), které jsou známé zvýšeným obsahem dusíkatých látek v porovnání s běžně dostupnou kukuřicí nebo GPS žitem.

Zvýšená koncentrace dusíku, resp. zvýšený obsah amoniaku, jsou rizikem v procesu výroby bioplynu, která může vést až ke kolapsu biologického procesu, případně až k zastavení chodu bioplynové stanice. Laboratorní experimenty s využitím jetele a vojtěšky, a také navazující poloprovozní zkušenosti s využitím jiných materiálů s vysokým obsahem dusíku v bioplynové stanici (BPS), však správným řízením biologického procesu mohou toto riziko úspěšně eliminovat.



Obrázek 1: Vojtěška setá (*Medicago sativa* L.)

zdroj: Matt Lavin @Flickr.com

V rámci jednoho zemědělského podniku tak může být bobovitými rostlinami poután atmosférický dusík, který by jinak musel tento podnik nakupovat ve formě dusíkatých minerálních hnojiv. To vede ke snížení dávek dusíkatých minerálních hnojiv na hektar a také k levnější aplikaci do porostu. V průměrném podniku s rozlohou cca 1 000 ha lze ušetřit přibližně 90 až 200 tis. Kč ročně. S ohledem na to, že v ČR je provozováno okolo 400 zemědělských BPS, mohou být roční úspory při zavedení této metodiky významné.

Na rozdíl od minerálních hnojiv je možné využít organická hnojiva jak v konvenční výrobě, tak v systému kontrolovaného ekologického zemědělství. Využití organických hnojiv v sadech ovocných dřevin pomocí jednoúčelového aplikátoru zvyšuje produkci ovoce a zlepšuje zdravotní stav stromků, což následně zvyšuje ekonomickou konkurenceschopnost pěstitelů ovoce.



Obrázek 2: Jetel luční (*Trifolium pratense*)

zdroj: Pezibear @Pixabay.com

Důležitým environmentálním efektem této metodiky je zvýšení podílu bobovitých rostlin v osevních postupech či na plochách tzv. Greeningu¹, což významně přispívá k potlačení eroze a zlepšení kvality půd. Bobovité rostliny, zejména vojtěška setá, díky hlubšímu kořenovému systému, jsou navíc odolnější vůči suchu. S předpokládaným nárůstem pěstebních ploch bobovitých rostlin současně dojde k poklesu pěstebních ploch kukuřice, přičemž na jeden podnik lze předpokládat pokles o 15 až 40 %.

Metodika tak významně přispěje ke zlepšení udržitelného řízení zdrojů, a to zejména zvýšením podílu protierozních a melioračních plodin pěstovaných na úkor širokořádkových plodin. Tím se posílí charakter trvale udržitelného hospodaření a řízení přírodních zdrojů.

2.2 Bobovité rostliny využitelné k produkci bioplynu

Čeleď bobovitých zahrnuje rozsáhlou skupinu jednoletých a víceletých plodin, které mají významné produkční a mimoprodukční uplatnění. Jednoleté plodiny se pěstují jak na zrno (dominuje hrách), tak na píci (hrách setý, peluška, bob obecný; méně pak lupiny a další druhy).

¹ Platba pro zemědělce dodržující zemědělské postupy příznivé pro klima a životní prostředí vyplácena formou příplatku o opatření SAPS.

Z víceletých jetelovin se na orné půdě uplatňuje především vojtěška setá a jetel luční, který se často pěstuje také ve směsích s travami. Pro technické účely včetně energetického využití lze pěstovat také komonici bílou. V trvalých travních porostech sečného typu se uplatňuje především jetel luční, méně pak, zejména v chladnějších a vlhčích oblastech, jetel zvrhlý. Další kulturní druhy (jetel plazivý, štirovník růžkatý, vičenec ligrus, úročník bolhoj, čičorka pestrá, jetel inkarnát, tolice dětelová aj.) mají specifické využití (např. v pastevních porostech, jako meziplodiny či v protierozních porostech mimo zemědělskou půdu) a pro sečné využití k energetickým účelům se přímo nehodí. Některé z uvedených druhů však mohou tvořit doplněk ve vícekomponentních jetelotravních směsích na orné půdě či v lučních porostech, zejména v méně úrodných oblastech.

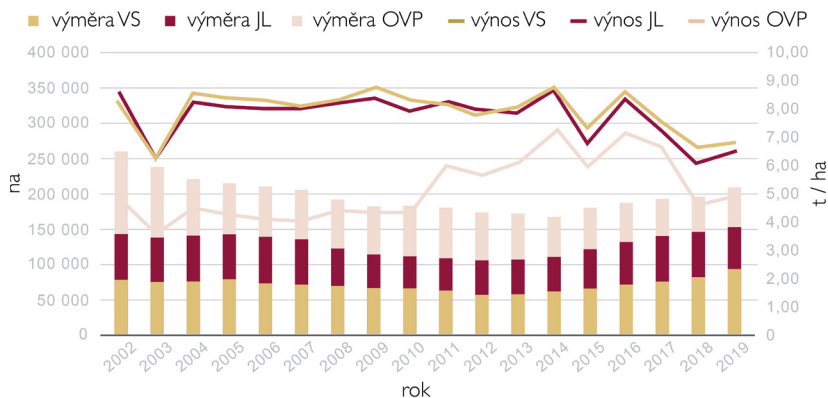
Společným jmenovatelem jetelovin je jejich unikátní schopnost získávat atmosférický dusík pomocí symbiotické fixace. Druhy s hlubším kořenovým systémem (vojtěška setá, komonice bílá) čerpají vodu a živiny (především fosfor) z hlubších vrstev půdy a z hůře dostupných forem. Zaoráním posklizňových zbytků a kořenové biomasy jetelovin se půda obohacuje o kvalitní organickou hmotu, ze které se postupně uvolňuje dusík a další živiny.

Zapojené porosty a propojená struktura kořenového systému velmi dobře chrání půdu před vodní a větrnou erozí. Z dalších pozitiv lze vyzdvihnout význam jetelovin pro opylovače. Celkově tak jeteloviny příznivě působí nejen na půdní úrodnost, ale jejich přínos daleko přesahuje sféru zemědělské produkce a lze tak hovořit o komplexním pozitivním vlivu na celý ekosystém.

V podmínkách České republiky je z jetelovin věnováno nejvíce ploch vojtěšce seté a jeteli lučnímu, a to především z důvodů jejich vysoké výnosové schopnosti, velmi dobré nutriční hodnotě píce, široké paletě odrůd, vytrvalosti a vícesechnosti porostů.

Výměra jetelovin a ostatních víceletých pícevin na orné půdě úzce koreluje se stavy skotu. V roce 1990 celková výměra víceletých pícevin přesahovala 500 000 ha a do roku 2002 se v důsledku snižování stavu hospodářských zvířat snížila přibližně na polovinu (Obr. 3). V následující dekádě došlo k dalšímu poklesu k úrovni 170 000 ha. Od roku 2015 se výměra postupně zvyšuje a v roce 2019 činila 208 000 ha. Poměr ploch vojtěšky seté ku monokulturám jetele lučního byl v průměru posledních dvaceti let 1,3:1. Jetel luční se ale mnohem častěji používá v krátkodobých a dočasných jetelotravních směsích, které se společně s monokulturami a směsmi trav řadí do kategorie ostatních víceletých pícevin.

Výnosová schopnost porostů jetelovin dosahuje v polních pokusech 15–20 tun sušiny na hektar, v zemědělské praxi jsou výnosy zhruba poloviční, s výraznými poklesy v suchých letech (Obr. 3). Výnos ostatních víceletých pícevin souvisí kromě vlivu počasí i s druhovou a odrůdovou skladbou směsí a s úrovní hnojení porostů.



Obrazek 3: Výměra (ha) a výnos suché hmoty (t/ha) vojtěšky seté (VS), jetele lučního (JL) a ostatních víceletých píceň (OVP) v České republice v letech 2002–2019 (ČSÚ, 2021).

2.2.1 Vojtěška setá

Vojtěška setá se na orné půdě pěstuje převážně jako monokultura, méně pak ve vojtěškotravních nebo vojtěško-jetelotravních směsích, a to z důvodu nižší konkurenceschopnosti rostlin ve směsných porostech. V případě pěstování ve směsích by proto měla mít dominantní podíl.

Limitujícím faktorem pro pěstování vojtěšky jsou půdní podmínky, neboť předpokladem pro využití jejího výnosového potenciálu je dostatečný rozvoj kořenového systému. Kořenový systém v průběhu let může dosahovat hloubky 5 i více metrů, proto vojtěška velmi dobře prosperuje na půdách kyprých, hlubokých a dobře provzdušněných s dostatečnou hloubkou podorní vrstvy. Díky hlubokému kořenovému systému je schopna čerpat vláhu i ze spodních vrstev půdy, což zvyšuje stabilitu výnosů i v období sucha.

Příznivé půdní podmínky pro pěstování vojtěšky v České republice se nacházejí na úrodných půdách především v kukuřičné a řepařské výrobní oblasti, tj. v lokalitách teplejších a sušších. S úspěchem ji lze pěstovat i v příznivých půdních podmínkách chladnějších a vlhčích pěstelských oblastí náchylných na letní přísušky. Vojtěška není naopak vhodná pro mělké, kyselé a kamenité půdy nebo pro zamokřené lokality s hladinou podzemní vody méně než 1,5 m pod povrchem.

Porosty vojtěšky lze zakládat v jarním (březen až duben) nebo letním (do poloviny srpna) období. Na jaře je možné porosty zakládat i do krycí plodiny (jarní obilnina nebo luskovinoobilná směs). Seje se do úzkých řádků (7,5–15 cm). Výsevek je dle půdních

podmínek 12–15 kg/ha v případě čistých osevů a 15–18 kg/ha při seti do krycí plodiny. V podmínkách ČR se sklízí v 3–5 sečích ročně. Vytrvalost jednotlivých rostlin může činit i více než 10 let, ale provozní vytrvalost porostů je obvykle 3–5 let. K prodloužení vytrvalosti porostů pozitivně přispívá zakvetení rostlin alespoň jedenkrát v roce (obvykle ve 3. seči) a zachování odstupu mezi předposlední a poslední sečí nejméně 7 týdnů z důvodů akumulace zásobních látek v kořenech a v kořenovém krčku.

2.2.2 Jetel luční

Jetel luční se v čistých porostech pěstuje na menší výměře než vojtěška setá, ale častěji se zařazuje do jetelovínotravních směsí na orné půdě a také do lučních směsí. Vyznačuje se vyšší konkurenční schopností vůči travám a využívá se proto i pro přísevy travních porostů.

Jetel luční má mělčí kořenový systém a nižší suchovzdornost než vojtěška. Vyhovují mu oblasti s vyšším úhrnem srážek (nad 600 mm) a půdy s vyšší hladinou podzemní vody (pod 1 m). Na půdní podmínky je méně náročný. Z hlediska rajonizace je pro jetel luční nejvhodnější bramborářská výrobní oblast, v teplejších oblastech pak vlhčí lokality.

Obdobně jako vojtěšku lze jetel luční zakládat čistosevem (jarní či letní výsevy) nebo na jaře do krycí plodiny. Doporučený výsevek se dle podmínek a způsobu zakládání porostů pohybuje v rozpětí 12–20 kg/ha. Jetel luční má nižší vytrvalost než vojtěška a v monokultuře se uplatňuje většinou na 2–3 vegetační roky, ve směších s travami na orné půdě do 5 let. Obvykle poskytuje tři seče za rok, ve vyšších polohách se využívá dvousečně. Vytrvalost rostlin se snižuje, pokud jsou porosty sklizeny v prvním roce ve fázi plného kvetení. Pozitivně na vytrvalost působí dostatečný odstup od poslední seče do nástupu zimy, který přispívá k akumulaci rezervních asimilátů v kořenech.

2.2.3 Jetelovínotravní směsi

Tyto směsi představují pěstitelskou alternativu k monokulturám jetelovin, které mohou vhodně kombinovat vlastnosti trav i jetelovin. Jejich složení závisí na podmínkách stanoviště a předpokládané době pěstování porostu. Nejrozšířenější jsou směsi trav s jetelem lučním, které jsou vhodné do vlhčích oblastí. Podíl jetele lučního ve směsi se s ohledem na jeho kratší vytrvalost oproti travám snižuje úměrně se zamýšlenou dobou pěstování porostu. V krátkodobých porostech na 2–3 vegetační roky se doporučuje jeho 60–70 % podíl, v dočasných směších na 5 let klesá zastoupení k 25 % (v trvalých loukách činí podíl obvykle 15–20 %). Směsi trav s jetelem zvrhlým se hodí pro vyšší (chladnější a vlhčí) lokality; doporučení pro jeho zastoupení ve směsi je obdobné jako u jetele lučního. Směsi s vojtěškou setou se hodí do oblastí sušších a teplejších, kde jejich zastoupení tvoří přibližně 20 % z celkových ploch vojtěšky.

Ve směsích, které se pěstují obvykle na 4–5 let, je vhodné minimální zastoupení vojtěšky 70 % a více z důvodu její nízké konkurenční schopnosti vůči travám. Zařazení dalších jetelovin do výše uvedených směsí přináší zvýšení druhové diversity, ale výraznější navýšení výnosu nebo ovlivnění kvality biomasy nelze očekávat.

2.3 Produkce biomasy jetelovin

Průměrné výnosy vojtěšky seté a jetele lučního se v ČR dlouhodobě pohybují na úrovni 7–8 tun sušiny na hektar (ČSÚ, 2021); v příznivějších půdně-klimatických oblastech pak okolo 10 t/ha. Pro srovnání lze uvést, že průměrné výnosy silážní kukuřice se v ČR pohybují na úrovni 10–13 t sušiny na hektar, v úrodných oblastech pak mohou dosahovat 15–20 t/ha. Vysoký výnosový potenciál kukuřice je však v posledních letech výrazně limitován průběhem počasí a zejména pak nedostatkem srážek (Brant a kol., 2020; Fuksa a kol., 2020).

2.3.1 Vojtěška setá

Výnos vojtěšky z jednotky plochy je dán počtem lodyh/m² a jejich hmotnostmi. Postupný úbytek rostlin z pozemku v průběhu několikaletého období pěstování vojtěšky je vyvažován zvyšováním počtu a hmotnosti lodyh na 1 rostlině. Tato kompenzační schopnost porostu trvá obvykle do třetího užítkového roku, což se v praxi projevuje relativně stabilními a srovnatelnými výnosy ve všech užítkových letech. K výraznějšímu poklesu výnosu dochází až při hustotě porostu pod 80–100 rostlin/m², což je cca pětikrát nižší počet rostlin, než bývá v prvním užítkovém roce. V příznivých letech mohou ale i stanoviště s hustotou okolo 75 rostlin/m² poskytnout výnosy srovnatelné s plně zapojenými porosty (Hakl a kol., 2011).

Výběr vhodné odrůdy do konkrétních podmínek z hlediska dosahovaného výnosu hraje důležitou roli především s ohledem na ekonomiku pěstování. Nicméně, jak uvádí Chloupek (1995), pokrok daný šlechtěním na úrovni výnosu je u píce, kde se hodnotí celková nadzemní část rostlin, podstatně menší než u jiných plodin. To potvrzují i výsledky sledování výnosové schopnosti 15 odrůd vojtěšky, při kterém nebyl v průběhu tří užítkových let zaznamenán mezi odrůdami statisticky významný rozdíl v celkovém výnosu sušiny. Do testovaného souboru byly zařazeny různě staré odrůdy; od roku registrace 1967 až po novošlechtění (Hakl a kol., 2011). Obdobně Lamb a kol. (2006) nezjistili v podmínkách, kde nebyly výrazné rozdíly v hustotě porostu, významný rozdíl mezi staršími a nejnovějšími odrůdami. Naopak v podmínkách prostředí, které vedou ke snižování hustoty porostu (nejčastěji vlivem chorob) poskytují nové odrůdy šlechtěné na vysokou rezistenci k chorobám vyšší výnosy než starší odrůdy. Volba odrůdy by tedy měla reflektovat především podmínky konkrétního stanoviště.

V našich podmínkách se porosty vojtěšky seté nejčastěji využívají třísečně nebo čtyřsečně. Vyšší výnos je obvykle dosahován při třech sečích, ale rozdíl oproti čtyřem sečím ročně nebývá významný. Hakl a kol. (2011) zaznamenali v prvním užitkovém roce u čtyřsečných porostů 5% snížení výnosů a ve druhém a třetím užitkovém roce vždy 4% pokles výnosů v porovnání s třísečnými porosty. Nejvyšší výnos poskytuje první seč; v dalších sečích je výnos nižší. Při čtyřsečném využití porostů je obvyklý poměr výnosu sušiny v jednotlivých sečích 40:30:20:10 a při třísečném využití cca 40:35:25 (Hakl a kol., 2011; 2016), ale v důsledku nízkého úhrnu srážek či jejich nerovnoměrného rozložení ve vegetačním období v kombinaci s různým průběhem teplot se tento poměr může lišit.

Vojtěškotravní směsi poskytují v příznivých oblastech vyšší výnosy biomasy než monokultury vojtěšky, ale jejich využití není tak časté (cca 20 % z ploch vojtěšek), neboť je obtížnější sladit růst travní složky s vojtěškou ohledně konkurenčních vztahů v aridnějších podmínkách. Travní komponent (jílek mnohokvětý, kostřava rákosovitá, *Festulolium* aj.), s max. 30% podílem ve směsi z důvodu nízké konkurenční schopnosti vojtěšky, může navýšit výnos biomasy až o 15 % (Tracy a kol., 2016; Hakl a kol., 2018) a travní komponent zároveň přispívá k omezení zaplevelení (Bélangier a kol., 2014).

2.3.2 Jetel luční

Jetel luční se oproti vojtěšce seté vyznačuje kratší vytrvalostí rostlin. V čistých porostech se obvykle pěstuje na jeden užitkový rok; méně často na dva, neboť při druhém přezimování dochází v porostu ke značnému úbytku rostlin. Výnosy ve druhém užitkovém roce klesají obvykle o 30–60 % (Hakl a kol., 2019). Počet sečí závisí především na půdně-klimatických podmínkách. V příznivějších oblastech poskytuje většinou tři seče a v chladnějších oblastech dvě. Výnosy první seče jsou obvykle vyrovnané a vyšší než následující seč. O výši druhé seče rozhoduje především celkový úhrn a rozložení srážek v období po první seči.

Výnosotvorné prvky jetele lučního (hmotnost lodyh a jejich počet na 1 m²) jsou obdobné jako u vojtěšky seté. Počet lodyh je ovlivněn hustotou porostu; v řídkém porostu se tvoří více lodyh s vyšší hmotností.

Odrůdová skladba jetele lučního je širší než u vojtěšky seté a mezi jednotlivými odrůdami jsou větší rozdíly, zejména v ranosti a nárocích na půdně-klimatické podmínky. V sortimentu jsou zastoupeny diploidní a tetraploidní odrůdy. Diploidní odrůdy jsou méně náročné na podmínky prostředí. Tetraploidní odrůdy jsou vhodnější do teplejších a vlhčích oblastí. Vyznačují se většími listy a vyšším vzrůstem rostlin. Většina tetraploidních odrůd v sortimentu je pozdnější; rostliny později kvetou a pomaleji stárnou – lignifikují (Skládanka a kol., 2014). Tetraploidní odrůdy poskytují vyšší výnosy zelené píce (biomasa má vyšší obsah vody), ale při testování souboru 22 českých

a zahraničních odrůd nebyl mezi tetraploidy a diploidy zjištěn významný rozdíl v produkci sušiny ani ve vytrvalosti rostlin (Hejduk a Knot, 2010).

Jetelotrávy představují velmi často využívanou kombinaci, především pro podporu vytrvalosti směsi s ohledem na nižší vytrvalost jetele lučního. Dalšími výhodami těchto směsí je vyšší plasticita, snadnější zavádění, nižší zaplevelení a také, podobně jako u vojtěškotrav, vyšší výnosový potenciál.

2.4 Kvalita biomasy jetelovin

Kvalita biomasy jetelovin je determinována především hmotnostním podílem listů a lodyh, termínem seče a dále pořadím seče v průběhu roku. Kvalitu píce nejlépe vyjadřuje její stravitelnost, ale z důvodů obtížného rutinního stanovení se častěji uvádějí obsahy jednotlivých živin, které se snadno získají z chemických analýz. Za základní parametry kvality píce se považuje obsah vlákniny (NDF – neutrálně detergentní vláknina a ADF – acidodetergentní vláknina) a obsah dusíkatých látek (NL, syn. hrubý protein).

Píce jetelovin se vyznačuje zvláště vysokým obsahem dusíkatých látek (okolo 20 %), což je zhruba dvojnásobek v porovnání s pícními travami a 2–3krát více oproti silážní kukuřici. Při pěstování jetelovin ve směsi s travami zvyšuje sice travní komponent obsah NDF a snižuje obsah NL v píci, ale zároveň vyšší obsah vodorozpuštěných sacharidů přispívá ke snadnější silážovatelnosti a z krmivářského pohledu i k vyššímu využití NL při trávení v bachoru.

2.4.1 Vojtěška setá

Během vegetace vojtěšky seté s postupným nárůstem biomasy současně klesá kvalita píce (stoupá obsah vlákniny a snižuje se obsah NL). Tradiční termín pro sklizeň porostů určených ke krmným účelům je ve fázi butonizace (tj. tvorby květních poupat), která je kompromisem mezi přijatelným výnosem a dostačující kvalitou píce (Hakl a kol., 2012).

Během dozrávání se, kromě samotné změny obsahu vlákniny a NL v biomase, postupem času mění i hmotnostní poměr listů k lodyhám. Změna tohoto poměru se dále promítá do celkové kvality píce, neboť kvalita jednotlivých částí rostlin je odlišná. Opomenout nelze ani vliv ročníku na kvalitu píce (Hakl a kol., 2021). Z tabulky 1 je zřejmý významný rozdíl v obsahu vlákniny, NL a popela mezi listy a lodyhami. Listy mají přibližně dvojnásobný obsah NL a 2–2,5krát nižší obsah vlákniny; současně mají vyšší obsah popela. Z tabulky 1 je dále patrný i vliv ročníku na sledované ukazatele kvality píce jak v jednotlivých částech rostliny, tak celkově v píci vojtěšky.

Tabulka 1: Vliv části rostliny a ročníku na obsah (%) neutrálně detergentní vlákniny (NDF), stravitelnost NDF (NDFD), obsah dusíkatých látek (NL) a popela v biomase vojtěšky seté (Hakl a kol., 2021).

Část rostliny	Rok	NDF (%)	NDFD (%)	NL (%)	Popel (%)
Listy	2014	22,4 ^a	77,2	30,5 ^a	10,8 ^a
	2015	20,2 ^b	77,8	28,8 ^b	11,5 ^b
Lodyhy	2014	50,5	51,5	15,4 ^a	7,2 ^a
	2015	49,9	52,1	12,8 ^b	7,8 ^b
Píce - celkem	2014	39,2 ^a	61,8 ^a	21,4 ^a	8,6 ^a
	2015	37,0 ^b	63,2 ^b	19,8 ^b	9,5 ^b

NDF - neutrálně detergentní vláknina | NDFD - stravitelnost NDF | NL - dusíkaté látky
Rozdílné písmenné indexy vyjadřují statisticky průkazné rozdíly (Tukey HSD test, $\alpha = 0,05$).

Kvalita píce vojtěšky seté se liší také mezi první a dalšími sečemi především v důsledku odlišného hmotnostního poměru listů k lodyhám; v první seči mají listy na výnosu nižší podíl než v sečích následujících, jak je patrné z tabulky 2. Současně byl v první seči prokázán nižší obsah NL jak listech, tak i v lodyhách, v porovnání s druhou a třetí sečí. Tabulka 2 dále dokumentuje negativní vliv opožděné seče na hmotnostní podíl listů a v konečném důsledku i na obsah NL. Snížení počtu sečí během roku se proto negativně promítá do kvality píce; sklizená hmota má při delších intervalech mezi sečemi vyšší obsah vlákniny a nižší obsah dusíkatých látek (Hakl a kol., 2016).

Tabulka 2: Vliv pořadí seče a růstové fáze rostlin na hmotnostní podíl listů a obsah dusíkatých látek (NL) v % v biomase vojtěšky seté (Hakl a kol., 2016).

Faktor	Proměnná	Podíl listů (%)	NL (%)
Seč	1	32,9 ^a	18,7 ^a
	2	42,0 ^b	22,8 ^b
	3	43,8 ^b	21,9 ^b
Růstová fáze	Butonizace	44,3 ^a	24,5 ^a
	Kvetení	34,9 ^b	17,7 ^b

NL - dusíkaté látky | Rozdílné písmenné indexy vyjadřují statisticky průkazné rozdíly (Tukey HSD test, $\alpha = 0,05$).

2.4.2 Jetel luční

Optimální termín pro sklizeň porostů jetele lučního spadá také do období butonizace. S postupujícím dozráváním se, na rozdíl od vojtěšky seté, kvalita píce zhoršuje pomaleji. Na druhou stranu však zakvetení porostu negativně ovlivňuje odolnost rostlin při přezimování. Při opožděné seči také hrozí poléhání porostu a podehnívání píce a zpomaluje se obrůstání do další seče.

Píce jetele lučního má oproti vojtěšce nižší obsah NL (15–20 %) a může mít až dvakrát vyšší obsah vodorozpustných sacharidů (5–12 %); v závislosti na termínu sklizně. Díky tomu je píce snadněji silážovatelná (Skládanka a kol., 2014). Kvalita píce je opět výslednicí nutriční hodnoty listů a lodyh. Hmotnostní poměr listů k lodyhám je v první seči srovnatelný nebo i vyšší než u vojtěšky a v dalších sečích je výrazněji vyšší. Dle výsledků studie Hakl a kol. (2019) mají listy jetele lučního ve srovnání s vojtěškou setou nižší kvalitu (obsahují méně NL a více hrubé vlákniny) a naopak lodyhy mají kvalitu vyšší (obsahují méně hrubé vlákniny), jak je patrné z tabulky 3.

Tabulka 3: Obsah dusíkatých látek (NL) a hrubé vlákniny v % v listech a lodyhách jetele lučního a vojtěšky seté (Hakl a kol., 2019).

Část rostliny	Druh	NL (%)	Hrubá vláknina (%)
Listy	Jetel luční	22,7 ^a	20,3 ^a
	Vojtěška setá	28,1 ^b	14,1 ^b
Lodyhy	Jetel luční	13,2	29,7 ^a
	Vojtěška setá	12,1	42,7 ^b

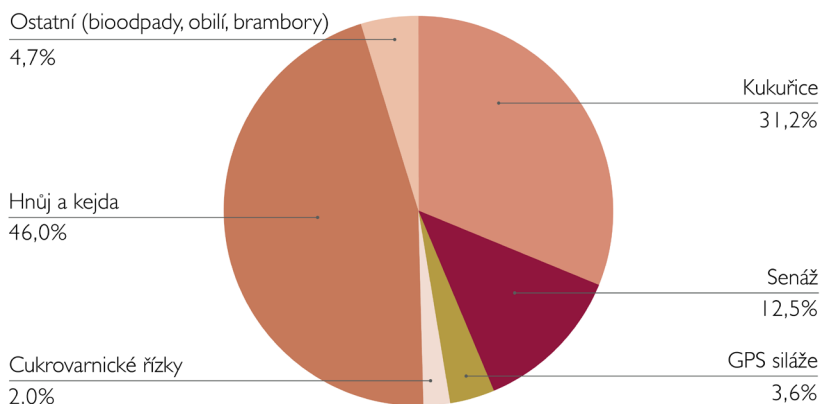
NL - dusíkaté látky | Rozdílné písmenné indexy vyjadřují statisticky průkazné rozdíly (Tukey HSD test, $\alpha = 0,05$).

3. BIOPLYNOVÉ STANICE, TYPICKÉ SUBSTRÁTY A OBVYKLÉ OBSAHY DUSÍKU

Vstupním substrátem bioplynové stanice je vždy biomasa produkovaná v regionu, statková hnojiva nebo nejrůznější bioodpady, či jejich směsi.

Průměrná česká BPS má dle šetření CZ Biom (2018) (do šetření bylo zahrnuto 83 BPS) instalovaný výkon 756 kW_{el}, je v provozu více než 8 tisíc hodin ročně a vyrobí 6 135 MWh. Jako vstupní substrát se na výrobě bioplynu podílí nejvíce statková hnojiva (46,0 %), kukuřičná siláž (31,2 %), senáž (12,5 %) a nejrůznější bioodpady (4,7 %) (Obr. 4). Podíl jetele a vojtěšky je dosud spíše zanedbatelný, nicméně tato metodika přináší provozovatelům BPS argumenty, aby tyto plodiny v bioplynové stanici vyzkoušeli.

Bioplynové stanice významně přispívají ke snižování uhlíkové stopy zemědělství díky zpracování kejdy, čímž předchází velkému množství emisí metanu, v neposlední řadě též omezují i emise amoniaku ze statkových hnojiv. V Česku jsou statková hnojiva nejčastějším vstupním substrátem BPS. Jedním z důvodů výstavby bioplynových stanic bylo právě zefektivnění nakládání s odpady z živočišné výroby.



Obrázek 4: Průměrná česká bioplynová stanice: podíl substrátů na vstupu do bioplynových stanic (BPS) v roce 2017 (CZ Biom, 2018).

3.1 Výtěžnost bioplynu z jednotlivých materiálů

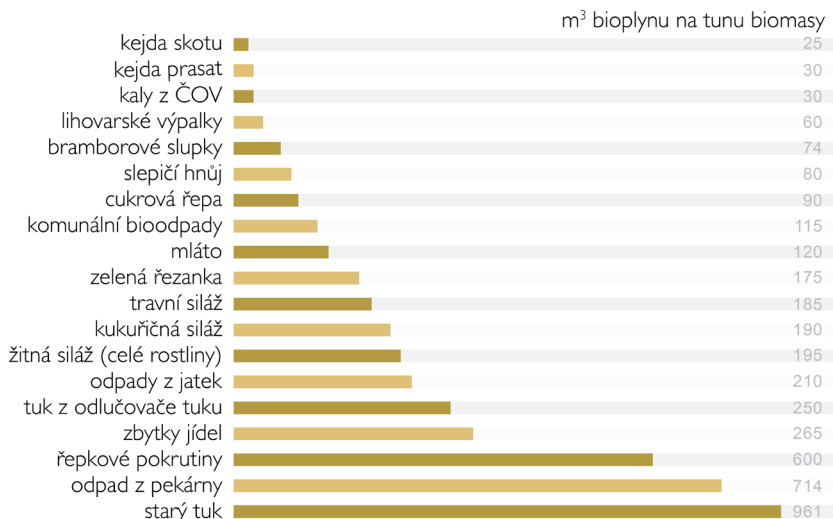
Produkce bioplynu z jednotlivých druhů vstupních materiálů (Tab. 4) je mezi jednotlivými BPS výrazně proměnlivá. Hodnoty výtěžnosti jednotlivých substrátů závisí na kvalitě surovin a použité technologii zařízení a musí být vždy vyhodnocovány podle konkrétních podmínek (např. způsob provozu zařízení, teplota, doba zdržení atp.). Z tohoto důvodu dochází částečně i u stejných substrátů ke značným rozptylům hodnot ve výtěžnosti bioplynu.

Při zajišťování surovin je třeba zvážit, jaké vlastnosti se nejvíce podílí na produkci bioplynu. Mezi důležité faktory ovlivňující výtěžnost pěstované biomasy je její ranost, výnosnost, stabilita výnosu a nutriční požadavky. Dále správné načasování sklizně s ohledem na obsah sušiny a technologie sklizně a správné skladování, stejně jako jeho efektivní přemístění ze skladovacího prostoru do fermentoru. V první řadě je to množství sušiny materiálu. Měrná produkce bioplynu se často udává právě na sušinu, nebo je vztažena k určité průměrné sušině.

Především u exkrementů hospodářských zvířat a zemědělských odpadů nelze spoléhat na tabulkové hodnoty v původní hmotě, ale je třeba zjistit obsah sušiny konkrétního materiálu, např. obsah sušiny kejdy může v závislosti na použité technologii a míře dodržování technologické kázně kolísat mezi 3–8 %, což může znamenat násobný rozdíl produkce bioplynu na jednotku hmotnosti v původní hmotě.

Dalším důležitým parametrem kvality surovin je tzv. organická sušina neboli obsah spalitelných látek. Právě organická hmota (sušina) je mikroorganismy zpracována za vzniku bioplynu. Při záměně surovin za bobovité rostliny je tedy potřeba stanovit dávku organické sušiny do fermentoru a zajistit, aby zůstalo množství organické hmoty po přechodu na bobovité rostliny stejné. Tím se zachová stávající výkon.

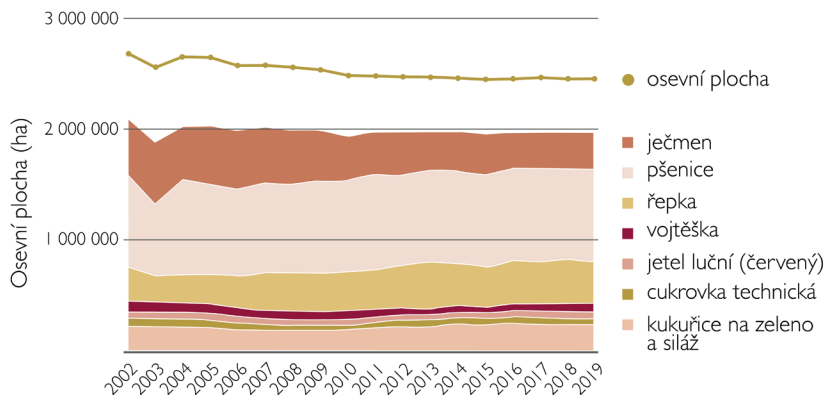
Tabulka 4: Teoretická výtěžnost surovin, výnos bioplynu z tuny biomasy (CZ Biom, 2015).



3.2 Vstupní substrát do BPS – kukuřice

Kukuřice sklizená na zeleno a kukuřičná siláž se v roce 2019 pěstovala na 231 367 ha, tedy zhruba na 9 % z 2 461 707 hektarů osevních ploch (ČSÚ, 2020a) (Obr. 5). Podíl na obhospodařované zemědělské půdě byl ještě nižší, necelých 7 % z 3 523 659 ha (ČSÚ, 2020b). Do této kategorie spadá jak kukuřičná siláž, kterou zkrmí dobytek, tak část putujících do bioplynových stanic.

V roce 2019 se sklídilo 8 243 654 tun kukuřice na zeleno (65% vlhkost) s výnosem cca 35 tun/ha (ČSÚ, 2020c). Ze šetření CZ Biom v roce 2018 vyplývá, že v bioplynových stanicích se v roce 2018 spotřebovalo asi 2 821 700 tun kukuřice na siláž, což by odpovídalo 34 % roční sklizně. Odhadujeme tedy, že kukuřice na siláž pro bioplynové stanice se pěstuje na zhruba 2 % obhospodařované zemědělské půdy v Česku, tj. 78 665 ha (0,34 odhadovaný podíl hmotnosti kukuřičné siláže vypěstované v ČR × 231 367 ha osevní plochy kukuřice na zeleno ÷ 3 523 659 ha obhospodařované zemědělské půdy). Podíl na osevních plochách je tedy 3 % (0,34 × 231 367 ha ÷ 2 461 707 ha osevních ploch). Na obdobné ploše se pěstuje například vojtěška (74 896 ha). Bioplynové stanice se podílí asi z 13 % na obnovitelné energii v Česku (MPO, 2019). Je však žádoucí osevní plochy bobovitých rostlin zvýšit.



Obrázek 5: Vývoj osevních ploch vybraných plodin v letech 2002–2019 v ČR (ČSÚ, 2020a).

3.3 Produkce bioplynu z biomasy jetelovin

Předpokladem vysoké produkce bioplynu z jednotky plochy (m^3/ha) je vysoký výnos biomasy (t/ha) a vysoká hodnota substrátové výtěžnosti bioplynu (l/kg organické hmoty (OH); resp. m^3/t OH). Substrátová výtěžnost bioplynu z biomasy vojtěšky spadá dle mnoha autorů do intervalu, který je běžně udáván pro řadu zemědělských plodin, u kterých se stanovené hodnoty výtěžnosti bioplynu nejčastěji pohybují v rozpětí 400–800 l/kg OH. Variabilita publikovaných hodnot je dána různou kvalitou substrátu, odlišnými postupy při stanovení, výpočtech atd. (Rath a kol., 2013).

Udávaný obsah metanu v bioplynu z laboratorních batch testů se pohybuje v širokém rozpětí 50–85 %; v reaktorovém bioplynu pak v užším rozmezí 60–65 % (Straka a kol., 2006). Porovnání hodnot výtěžnosti bioplynu, resp. metanu z různých plodin uvádějí např. Bauer a kol. (2010) (Tab. 5).

Tabulka 5: Výtěžnost bioplynu a metanu (v l/kg OH) a obsah metanu (v %) v bioplynu z různých rostlinných materiálů (Bauer a kol., 2010).

	Výtěžnost bioplynu (l/kg OH)	Výtěžnost metanu (l/kg OH)	Obsah metanu (%)
Pšeničné výpalky	766	419	54,7
Kukuřičná siláž	673	345	51,3
Ječná siláž	717	375	52,3
Slunečnicová siláž	630	345	54,8
Vojtěšková siláž	654	357	54,6
Čiroková siláž	672	362	53,9
Pšeničná sláma	484	276	57,0

OH - organické hmoty

3.4 Obsah dusíkatých látek ve vstupních substrátech

Obsah N ve vstupních substrátech, pokud překračuje obsahy organicky vázaného dusíku 10 % hm. z organické sušiny, ohrožuje stabilitu produkce bioplynu a může způsobit postupnou intoxikaci mikroorganismů amoniakem uvolněným při fermentaci biomasy. To může vést až ke kolapsu BPS. Počátek intoxikace lze určit poměrem C:N=10. Optimální poměr C:N by měl být 20–30:1. Některé olejniny a luštěniny mohou obsahovat i přes 5 % hm. N. S tím je potřeba počítat při míchání vstupního substrátu tak, aby celkový poměr splňoval požadované rozpětí. S ohledem na to, že se při vyšších dávkách bobovitých rostlin můžeme k této limitní hranici přiblížit, je nutné proces častěji sledovat a kontrolovat, aby se předešlo případným nežádoucím problémům.

3.5 Využití digestátu jako organického hnojiva

Pro udržitelné zemědělství je přínosem vzájemné propojení živočišné a rostlinné výroby. Statková hnojiva jako jsou hnůj a kejda vrací organické látky a potřebné živiny zpět do půdy. Jedná se o živiny, které byly odebrány sklizní zemědělských plodin a použity ke krmení zvířat. Ministerstvo životního prostředí uvádí, že pro zajištění dostatečného množství organické hmoty v půdě by bylo potřeba více než zdvojnásobit stavy chovů hospodářských zvířat oproti současnosti (MŽP, 2019). V přepočtu na takzvané dobytčí jednotky by byla potřeba jedna až dvě krávy na hektar resp. 1–2 DJ/ha (DJ – dobytčí jednotka). V roce 2018 to přitom bylo jen 0,48 DJ/ha. Podobnou roli jako statková hnojiva může hrát kromě kompostu také digestát, zbytek po anaerobní digestci vstupních materiálů při výrobě bioplynu v BPS.

Kvalita digestátů jako hnojiva jde přitom ruku v ruce s kvalitou vstupních surovin, které jsou v bioplynových stanicích zpracovávány. Při aplikaci digestátu na pole je kladen důraz nejen na jeho nutriční hodnoty, ale i na jeho nezávadnost. Kvalitu a nezávadnost digestátů kontroluje Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský a stěžejní normou je vyhláška č. 392/2021 Sb., kterou se mění vyhláška č. 377/2013 Sb., o skladování a způsobu používání hnojiv, ve znění pozdějších předpisů, a vyhláška č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva, ve znění pozdějších předpisů.

Digestát lze v některých případech rozdělit na separát (oddělenou tuhou část digestátu) a fugát (oddělenou kapalnou část) v poměru cca 4-5:1, respektive 80–84 % fugátu a 16–20 % separátu. Tyto složky mají rozdílné účinky na půdu a plodiny. Neseparovaný digestát a fugát jsou hnojivem s rychle uvolnitelným dusíkem (až z 60 % využitelný), s poměrem C:N<10. Separát je naopak hnojivem s pomalu uvolnitelným dusíkem (z cca 30 % využitelný) a poměrem C:N>10. Ve srovnání s klasickými statkovými hnojivy tak má digestát vzhledem k použitým surovinám poměrně vysoký celkový obsah dusíku (0,2–1 %), vyšší pH (7–8), relativně nižší obsah uhlíku, který je však již velmi stabilní a sušinu pohybující se v rozmezí od 2 do 13 % (Duffková a kol., 2016).

Z hlediska produkce organické hmoty ve formě digestátu a v přepočtu na veškerou obhospodařovanou půdu v ČR produkují všechny bioplynové stanice dle výpočtů CZ Biom (2018) ekvivalent 0,05 DJ/ha (DJ – dobytčí jednotka). S ohledem na vývoj obnovitelných zdrojů energie a další rozvoj BPS lze předpokládat, že v roce 2030 by tato hodnota mohla stoupnout až na 0,12 DJ/ha. Zvýšení tohoto příspěvku souvisí s postupným nárůstem využívání vedlejších produktů a bioodpadů v bioplynových stanicích a relativním snížením podílu statkových hnojiv na vstupu.

Na jednotlivých farmách je však přínos pro půdu značný již dnes. Kráva, resp. dojnice vyprodukuje denně 50 kg kejdy (ročně asi 18 tun) a prase 15 tun (DJ). Jedna BPS o výkonu 756 kW vyprodukuje orientačně 27 až 41 tun digestátu denně, tj. 10 až 15 tisíc tun ročně (v závislosti na vstupních substrátech). Hodnoty vychází z celkové spotřeby substrátů, které jsou BPS konzumovány, přepočtených na produkci digestátu. Tento digestát chápeme jako produkci statkových hnojiv. Při podělení běžnou měrnou produkcí statkových hnojiv jednou velkou dobytčí jednotkou získáme ekvivalentní počet „bioplynových jednotek“.

Abychom se však nedopustili chyby, kdy je již stav živočišné výroby sám o sobě počítán do zatížení zemědělské půdy právě z pohledu množství DJ, jsou ze vstupních substrátů vyřazena statková hnojiva. V Česku tvoří necelou polovinu vstupních substrátů v bioplynových stanicích. Tím klesne produkce digestátu a nedochází k duplicitnímu započtení DJ. Vše je vztaženo k instalovanému výkonu.

Může tak vzniknout přibližná mapa zatížení DJ součtem zatížení živočišnou dobytčí jednotkou a „bioplynovou jednotkou“. Ve vybraném území bude příspěvek chovů dobytka a bioplynových stanic ((DJ resp. BJ)/ha) následující:

$$\text{intenzita} = \frac{\text{dobytek} + (\Sigma \text{ bioplyn} \times 0,54)}{\text{rozloha}}$$

intenzita... přínos dobytka a bioplynových stanic (DJ_{ekv.}/ha)

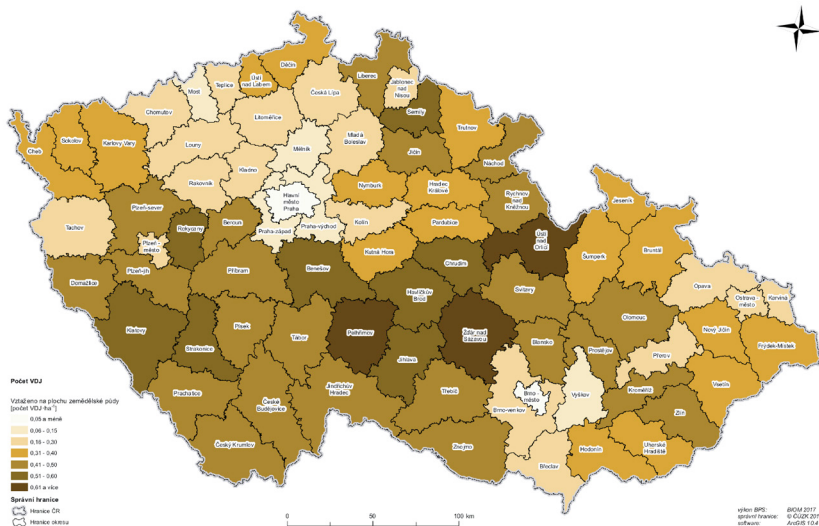
dobytek... počet dobytčích jednotek (DJ)

bioplyn... instalovaný výkon bioplynových stanic (kW)

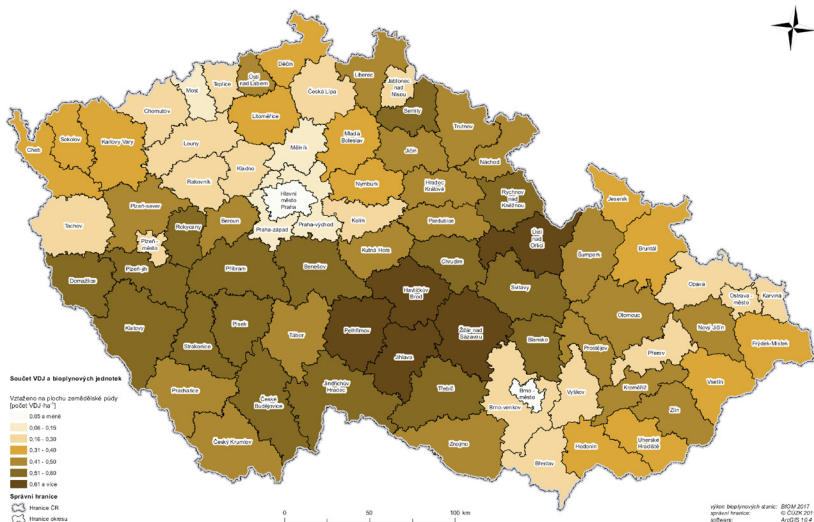
rozloha... zemědělská půda (ha)

Při současném instalovaném výkonu 365 000 kW, produkované organické hmotě v BPS 0,54 DJ/kW a celkové rozloze zemědělské půdy 4 200 204 ha tak bioplynové stanice proto přispívají 0,05 DJ_{ekv.}/ha.

Z mapy 1 je patrné, že v některých regionech nejsou téměř žádné chovy hospodářských zvířat a schází zde organická hnojiva, která se tak musí nahrazovat jinými zdroji jako je kompost, zelené hnojení, kaly z ČOV nebo právě digestát z BPS.

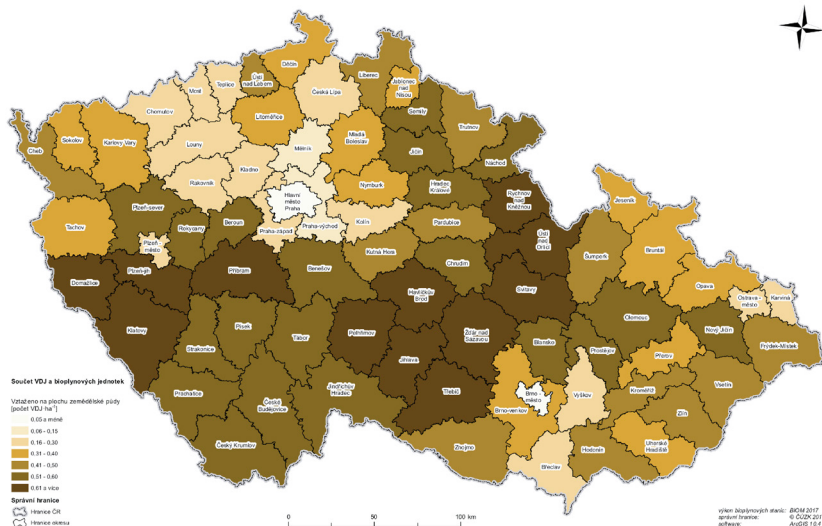


Mapa 1: Produkce organických hnojiv v jednotlivých okresech (bez digestátu) v dobytčích jednotkách (DJ) na hektar (ha) (CZ Biom, 2020).



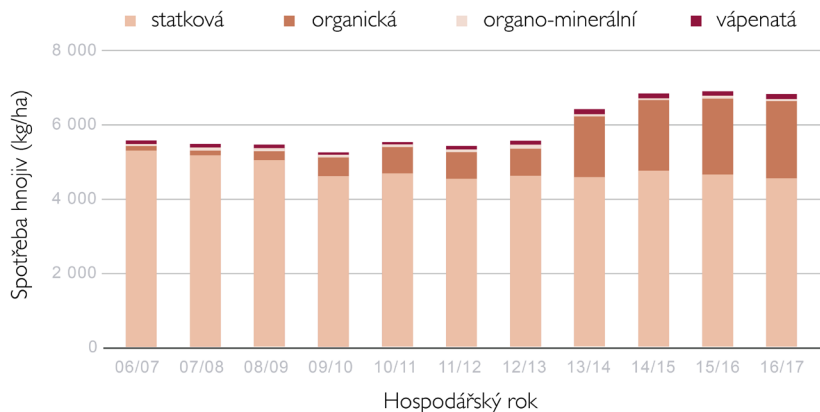
Mapa 2: Produkce organických hnojiv včetně digestátů a výkon bioplynových stanic v roce 2018, vyjádřeno v dobytčích jednotkách (DJ) a bioplynových jednotkách (BJ) (CZ Biom, 2020).

Od roku 2014 obsahuje statistika Spotřeby hnojiv v rámci kategorie Organická hnojiva data o spotřebě digestátu. V hospodářském roce 2012/13 byla spotřeba organických hnojiv 741 kg na jeden hektar a v roce 2013/14 to bylo již 1354 kg na jeden hektar (ČSÚ, 2020d). Podle publikace Zemědělství 2019 (MZe, 2020) se v rámci kategorie Organická hnojiva vykazuje zejména digestát (data však nezahrnují část živin, která do bioplynových stanic, resp. digestátu vstupuje ze statkových hnojiv; tuto část obsahuje kategorie Statková hnojiva).



Mapa 3: Předpoklad produkce organických hnojiv hospodářskými zvířaty a bioplynovými stanicemi, v roce 2030 (DJ a BJ/ha) (CZ Biom, 2020).

Výše uváděná data tak potvrzují skutečnost, že BPS významně zastupují v produkci organických hnojiv „chybějící“ chovy dobytka (Obr. 6). Na obrázku 6 je patrný setrvalý pokles produkce statkových hnojiv a rostoucí podíl organických hnojiv, resp. digestátů.



Obrázek 6: Spotřeba hnojiv na obhospodařované zemědělské půdě 2006-2017 (ČSÚ, 2018).

4. RIZIKA SUBSTRÁTŮ S VYSOKÝM OBSAHEM DUSÍKU

Substráty s vyšším obsahem dusíku znamenají vyšší obsah dusíku v digestátu, což zvyšuje jeho hnojivé účinky. Na druhou stranu přináší pochopitelně riziko zvýšené koncentrace dusíku v substrátu bioplynové stanice. Dusík v substrátu je obvykle vázán v bílkovinách a aminokyselinách a působením anaerobní digesce se uvolňuje ve formě disociované jako amonný ion a částečně také jako volný amoniak. Volný amoniak je pro řadu mikroorganismů toxický. Mikrobiální společenstvo se však na vyšší obsah amoniaku dokáže částečně adaptovat. Důležité také je, že negativní vliv má pouze volný amoniak, zatímco disociované amonné ionty a soli vytvářené například s vyššími mastnými kyselinami toxicky nepůsobí.

Pro praxi z toho vyplývá, že jakékoli změny substrátů s vyšším obsahem dusíku musíme provádět pozvolna a během procesu sledovat, zda nedochází k výkyvům obsahu nižších mastných kyselin nebo výraznějším změnám pH. To jsou dva hlavní faktory, které by v kombinaci s vyšším obsahem amoniaku mohly proces narušit.

Při správném postupu je však riziko kolapsu systému velmi malé. V praxi je provozována řada BPS zpracovávající odpadní materiály z výroby a zpracování masných produktů s výrazně vyšším obsahem dusíku a proces anaerobní digesce lze i tam kontrolovaně provozovat.

Jako limitní hodnoty pro stabilní anaerobní proces lze obecně označit koncentrace amoniakálního dusíku pod 4 g/l. Při hodnotách vyšších (týká se spíše jen odpadových BPS) je třeba věnovat koncentraci N-NH_4 zvýšenou pozornost.

Při využití bobovitých rostlin do 15 % sušiny vsázky není nutné dělat žádná větší opatření a obavy z vyšší koncentrace amonného dusíku nejsou na místě. Nad tuto dávku je ve většině případů vhodnější přechod připravit a kontrolovat. I malé dávky bobovitých rostlin však mohou vylepšit bilanci živin podniku či výrazně zpestřit osevní postup.

5. METODIKA ZMĚNY VSTUPNÍCH SUBSTRÁTŮ

5.1 Technologické vybavení BPS pro dávkování substrátů na bázi jetele a vojtěšky

Ne každá BPS je technologicky vybavena pro příjem stébelnatých substrátů. Některé BPS jsou technologicky vybaveny pouze na zpracování kukuřičné siláže a senáže GPS (zeleného obilí), které jsou z hlediska mechanických a hydrodynamických funkcí BPS jednodušší, protože jsou části rostlin nařezány na pravidelné částice o velikosti do cca 3 cm.

Silážované travní porosty, jeteloviny nebo vojtěška obsahují delší stébla, která mohou v některých částech zařízení dělat problémy. Například se mohou ve větší míře namotávat na míchadla a čerpadla a zejména vytvářet tzv. plovoucí vrstvy na hladině fermentoru. Proto je nutné pečlivě zvážit, zda je BPS vhodně vybavena a popř. zda je možné ji dovybavit například výkonnějšími míchadly nebo jiným dávkovacím zařízením s řezacími ústrojími. Případné zanedbání může vést k výrazným provozním problémům, poruchám míchadel, popř. mohou stébla ucpat některé potrubí či snížit efektivitu BPS. U travních senází a siláží bobovitých rostlin může být také přítomný vyšší obsah inertního materiálu, písku a zbytků zeminy, které mohou při nevhodné konstrukci bioplynových stanic zanášet fermentory.

Většina BPS má dostatečné vybavení na zpracování těchto substrátů v menších množstvích. V případě významného navýšení zpracovávaného množství je nutné posouzení výkonu míchacího systému, případně jeho doplnění nebo instalace zařízení pro drcení/homogenizaci substrátů. Jako vhodná lze hodnotit pádlová míchadla (systémy např. Agrikomp, Hydromixer, Hochreiter) či doplnění klasických míchadel zařízeními optimalizujícími vlastnosti samotného substrátu např. Vogelsang Rota-Cut, Biomix či obdobnými drtiči nebo macerátory (Obr. 7). Existuje řada firem, které mohou připravenost BPS zkontrolovat a případně technologicky dovybavit.



Obrázek 7: Zařízení premix od firmy Vogelsang umožňující řezání stébelnatých materiálů před vstupem do BPS.

5.2 Požadavky na kvalitu píce pro produkci bioplynu

Pro úspěšné využití bobovitých rostlin v BPS je také důležitá jejich správná sklizeň a silážování. Při sklizni je tedy nutné pečlivě seřadit řezací a případně mačkácí ústrojí sklízecích strojů, aby se v senáži nevyskytovaly dlouhé a pevné části stonků, které pak mohou tvořit problémy při vlastním anaerobním procesu, respektive problémy popisované v předchozí kapitole nemusí být tak závažné.

Pro výrobu bioplynu, stejně tak jako pro využití vojtěšky a jetele ke krmným účelům, je důležitý správný termín sklizně. Optimální termín pro sklizeň vojtěšky je butonizace a u jetele začátek kvetení ($1/3$ květů rozkvetlá). Při opoždění o více než týden je již pozorovatelné snížení rozložitelnosti ve fermentoru. Tyto podmínky jsou podrobněji rozbrány v kapitole 2 a 3, respektive v kapitole 7.

5.3 Příprava dávkování substrátů s vyšším obsahem dusíku

Fermentační proces nejlépe funguje při konstantním složení vstupních surovin. Každá změna by se měla odehrávat s přechodem cca 15 % substrátů za týden. To by se v ideálním případě mělo týkat i nové šarže senáže GPS či kukuričné siláže, protože ta může mít např. rozdílný obsah sušiny nebo uvolnitelných živin.

V případě substrátů s vyšším obsahem dusíku to platí dvojnásobně. Procesu změny substrátu by měla předcházet revize BPS a pečlivá biologická kontrola v průběhu procesu. Níže shrnujeme hlavní kroky před samotným zahájením dávkování bobovitých rostlin.

Doporučení před využitím bobovitých rostlin v BPS:

1. Je nutné zvážit, jaký podíl bobovitých rostlin bude zpracováván:
 - a. méně než 15 %:

V takovém případě stačí zkontrolovat, zda je na stébelnaté substráty BPS připravena, pokud již bez problémů zpracovává travní senáž, neměl by nastat žádný problém při zavádění bobovitých rostlin.
 - b. více než 15 %:

Kromě výše uvedených hydromechanických vlastností je nutné vzít v úvahu také potenciální zvyšování koncentrace dusíku. Ta může výrazně růst, pokud jsou nahrazovány substráty s nízkým obsahem dusíku (kukuřičná siláž, travní senáž, GPS), zatímco při nahrazování surovin s vyšším obsahem dusíku (hnůj, kejda, odpady ze zpracování masných produktů) k výraznější změně dusíku ve fermentorech pravděpodobně nebude docházet. I přesto je vhodné výraznější změny surovinové skladby provádět za zvýšeného biologického dohledu.
2. Stanovení základních údajů substrátu ve fermentoru: zejména obsah dusíku, poměr FOS/TAC (volných organických kyselin (FOS) k celkovému anorganickému uhličitanu (TAC)), obsah sušiny, složení bioplynu a obsah vodíku.
3. Stanovení plánu změny dávkování tak, aby se substrát měnil maximálně o 10 % týdně.
4. Naplánování, jaké suroviny budou z denní dávky vypouštěny. V ideálním případě by mělo zůstat konstantní množství biologicky rozložitelné sušiny a množství hmoty, na které závisí produkce bioplynu. V kapitole 7 Provozní zkoušky využití bobovitých rostlin v reálné bioplynové stanici naleznete příklady přechodu na bobovité rostliny, které byly realizovány v rámci předkládané metodiky.

5.4 Řízení procesu změny substrátů

Po pečlivé přípravě je možné zahájit samotný proces změny substrátu. Při pomalém přechodu na tyto suroviny je riziko zastavení nebo zpomalení procesu anaerobní digesce malé. Ve prospěch provozovatele hraje roli také fakt, že negativní působení amoniaku je při pomalém přechodu pozvolné. Pokud je anaerobní proces negativně ovlivněn vyšším obsahem amoniaku, prvním projevem je hromadění nižších mastných kyselin, které se přestanou odbourávat. Tyto kyseliny snižují pH ve fermentoru, což má za následek snížení koncentrace volného amoniaku. Proces se tedy do určité míry dokáže sám kontrolovat. Stanovení nižších mastných kyselin je také nejpřesnější způsob sledování stability anaerobního procesu.

Dále je při přechodu nutné zohlednit pomalejší dobu rozkladu jetele a vojtěšky např. oproti kukuřičné siláži. Pokud je tedy siláž rychle nahrazována, je možné pozorovat pokles produkce bioplynu způsobený pomalejší rozložitelností nových surovin. Zde je žádoucí nepřistoupit ke koordinovanému zvýšení dávky pro zachování produkce bioplynu, ale vyčkat na stabilizaci produkce bioplynu po dobu několika dnů až jednoho týdne. Proto je žádoucí anaerobní proces v průběhu změny pečlivě sledovat a kontrolovat. Níže uvádíme základní parametry, které se na denní, respektive týdenní bázi nejčastěji sledují.

5.4.1 Sledování procesu v průběhu změny dávkování

5.4.1.1 Měření prováděná každý den

Na denní bázi je nutné sledovat produkci (nebo výrobu energie) a složení bioplynu, vizuálně kontrolovat hladinu fermentoru, zda se zde nevytváří krusta nebo pěna. V případě poklesu produkce bioplynu nebo v případě zvýšení obsahu vodíku v bioplynu je nutné snižovat množství bobovitých rostlin a částečně je nahradit původním substrátem. Pokud je změna větší, je nutné kontaktovat odborníka na biologický servis.

Sledování kritických změn a jejich řešení:

- a) Vizuální kontrola – tvorba krusty na hladině: v tomto případě je nezbytné zvýšení intenzity míchání (vyšší průběh doby běhu míchadla, změna nastavení výšky vrtulových míchadel).
- b) Pokles koncentrace metanu o více než 2 % v rámci 1 dne: dokud se situace nemění, zachovat aktuální složení krmné dávky, až po zvýšení koncentrace metanu dále pokračovat ve zvyšování dávky bobovitých rostlin.

c) Setrvalý pokles koncentrace metanu po dobu více jak 3 dnů (celkem o více než 2 %): mírně upravit denní dávku surovin, ubrat 5 % bobovitých rostlin a nahradit je původní surovinou.

d) Měření FOS/TAC – růst FOS/TAC (krokové zvýšení o více než 0,15 v průběhu jednoho týdne): pokud je tato hodnota překročena, je nutné snížit dávku bobovitých rostlin alespoň na týden a vyčkat na návrat původních hodnot FOS/TAC.

5.4.1.2 Měření prováděná jednou za týden

Na týdenní bázi je nutné sledovat FOS/TAC, obsah amoniakálního dusíku a obsah sušiny ve fermentoru. V případě změny těchto parametrů mimo toleranční pásmo (viz níže) je potřeba snížit dávkování bobovitých rostlin na úroveň odpovídající dávce v předešlém týdnu přechodového plánu.

Proces je vhodné intenzivně sledovat ještě 2 až 3 měsíce po přechodu na bobovité rostliny. Právě v tomto období dochází ke změně složení substrátu uvnitř fermentoru.

Pravidelně by se měla měřit také sušina fermentoru. Ta ovlivňuje viskozitu substrátu a její nárůst může zhoršit funkci míchadel. Za kritickou mez lze považovat nárůst koncentrace sušiny nad 8,5 % pro vrtulová míchadla, nad 10 % pro pádlová míchadla.

Dále je nutné sledovat obsah kyseliny octové, jejíž koncentrace by se za týden neměla zvýšit o více než 500 mg/l a celková koncentrace by neměla nikdy přesáhnout hodnotu 1500 mg/l. Koncentrace kyseliny propionové nesmí přesáhnout 300 mg/l. Celková koncentrace N-NH_4 by neměla přesáhnout 4,5 g/l.

5.4.2 Sledování procesu po provedení změny dávkování

Složení substrátu se mění postupně, jak nový substrát zaplňuje fermentor a původní substrát odchází vně fermentoru. Teoreticky odpovídá čas potřebný k obměně substrátu ve fermentoru době zdržení. Určité negativní projevy však mohou nastat i později. Proto je vhodné proces intenzivněji kontrolovat ještě následující 2 až 3 měsíce, respektive dvojnásobek doby zdržení substrátu v BPS. V případě zjištěných potíží je třeba snížit dávku bobovitých rostlin a nahradit ji substráty s nižším obsahem dusíku. S výhodou lze použít substráty s obsahem nižších mastných kyselin jako je kukuřičná siláž, která může přispět ke snížení pH ve fermentoru. Mastné kyseliny mohou amoniak vyvázat do neškodných solí.

5.5 Vliv vyššího obsahu dusíku na digestát

Přirozeným důsledkem dávkování rostlin s vyšším obsahem dusíku je jeho zvýšená koncentrace v digestátu. Ta je z pohledu agronomického využití digestátu velmi příznivá. Vyšší obsah dusíku v digestátu však může vést k jeho snazší volatilizaci do atmosféry během skladování. Tento negativní jev lze omezit plynotěsným zastřešením skladovacích nádrží digestátu. Kromě omezení úniku amoniaku lze tímto opatřením snížit také emise zbytkového metanu do atmosféry a nařezávání digestátu dešťovou vodou. Experimentálně se také ověřuje biologická oxidace části amoniaku na nitráty, což by v substrátu vedlo k produkci dusičnanu amonného, který již nemá těkavé vlastnosti.

6. LABORATORNÍ EXPERIMENTY VYUŽITÍ BOBOVITÝCH ROSTLIN V ANAEROBNÍM PROCESU

6.1 Metodika stanovení substrátové výtěžnosti bioplynu

Pokusy s vojtěškou setou i jetelem lučním probíhaly na pokusném pozemku FAPPZ ČZU v Praze – Suchdole (50°08' s. š., 14°24' v. d., 286 m n. m.). Průměrná roční teplota stanoviště je 9,3 °C a průměrný roční úhrn srážek činí 510 mm. Půdním typem je degradovaná černozem, půdní druh je hlinitá půda.

Porost vojtěšky byl založen letním výsevem, přičemž vzorky biomasy pro stanovení výtěžnosti bioplynu byly odebrány ve dvou letech u odrůdy Jarka. Odběr se uskutečnil v průběhu první a druhé seče, ve vegetační fázi butonizace a kvetení, vždy ve čtyřech opakováních z ploch 30 x 30 cm. V každé seči byly zvoleny dva termíny sklizně: optimální termín seče z hlediska výživy zvířat (tvorba květních pupat – butonizace) a termín seče opožděný o cca 2 týdny (fáze kvetení). U odebraných vzorků byl stanoven výnos čerstvé píce.

Z každého vzorku čerstvé hmoty byl následně odebrán dílčí vzorek o hmotnosti 150 g na stanovení obsahu sušiny a stanovení obsahu NDF, ADF a NL. Stanovený průměrný obsah sušiny v daném termínu odběru byl použit k výpočtu výnosu sušiny na jednotku plochy. Z dalších dílčích čerstvých vzorků píce o hmotnosti 250 g byl sestaven průměrný vzorek, který byl použit pro testy výtěžnosti bioplynu.

Porost jetele lučního byl založen jarním výsevem na stejném stanovišti jako vojtěška. Pro testy výtěžnosti bioplynu byly odebrány vzorky u odrůdy Vulkán. Odběr byl uskutečněn v první a druhé seči, vždy ve fázi začátku kvetení ve čtyřech opakováních. Způsob odběru, rozbor vzorků, stanovení obsahu sušiny a substrátové výtěžnosti bioplynu a následné výpočty byly shodné s postupem uplatněným u vojtěšky.

Produkce bioplynu z biomasy sledovaných porostů byla stanovena laboratorně pomocí jednorázových anaerobních metanogenních testů, jejichž základní principy popisují Straka a kol. (2006) a Rosenberg (2010). Rostlinný materiál byl zpracován v čerstvém stavu bezprostředně po sklizni. Byla provedena základní homogenizace hmoty a nadrcení. Testovaná biomasa byla nadávkována spolu s inokulem do lahvíček, které byly plynotěsně uzavřeny. Testy probíhaly v lahvích o objemu 120 ml v pěti opakováních pro každou variantu. Do lahvíček byly nadávkovány 2 g testované biomasy a 80 ml inokula. Jako inokulum byl použit mezofilní kal z bioplynové stanice. Kultivace probíhala v termoboxu při 40 °C po dobu 40 dnů. Produkce bioplynu byla zjišťována 1x denně na plynoměrné byretě. Kromě testů produkce bioplynu se substráty byla zároveň provedena kultivace samotného inokula za stejných podmínek, která byla následně odečítána od produkce v testovacích lahvích s jednotlivými variantami. Takto byla získána čistá substrátová produkce bioplynu (v l/kg sušiny). Na základě výnosu sušiny k datu odběrů vzorků biomasy a substrátové produkce bioplynu byla vypočtena celková produkce bioplynu (m³/ha).

6.2 Laboratorní testy výtěžnosti bioplynu

6.2.1 Vojtěška setá

Z výsledků dvouletého experimentu, ve kterém byl sledován vliv termínu seče na výnosové a kvalitativní parametry vojtěšky seté ve vztahu k substrátové výtěžnosti (l/kg sušiny) a celkové produkci (m³/ha) bioplynu, vyplývá, že oddálení termínu sklizně porostu z fáze butonizace do kvetení se projevilo v průkazně snížené substrátové výtěžnosti bioplynu o cca 25 % v průměru za obě seče, bez významného rozdílu mezi první a druhou sečí. Tento efekt se projevil pouze v prvním sledovaném roce, zatímco v roce druhém roce nebylo toto snížení patrné (Tab. 6).

Tabulka 6: Obsah sušiny, neutrálně detergentní vlákniny (NDF), acidodetergentní vlákniny (ADF), dusíkatých látek (NL) v % a výtěžnost bioplynu (v l/kg sušiny) z biomasy vojtěšky seté sklizené dvousečně ve dvou odlišných termínech.

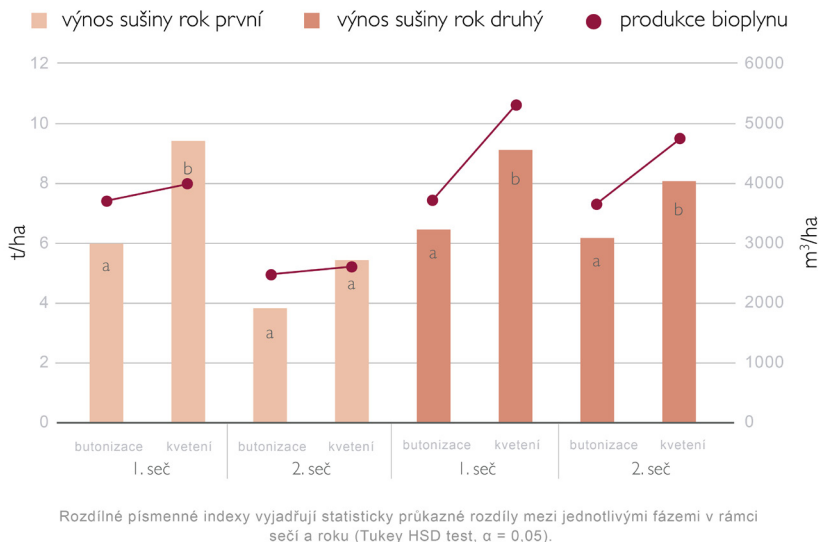
Rok	Seč	Fáze	Sušina %	NDF %	ADF %	NL %	Výtěžnost bioplynu (l/kg sušiny)
I.	I	Butonizace	20,5 ^a	40,2 ^a	34,8 ^{ab}	21,1 ^a	601 ^a
		Kvetení	26,2 ^b	47,4 ^b	39,3 ^b	16,4 ^b	423 ^b
	2	Butonizace	16,9 ^c	38,6 ^a	31,8 ^a	24,9 ^c	648 ^a
		Kvetení	17,5 ^c	54,6 ^c	50,0 ^c	19,5 ^a	489 ^b
II.	I	Butonizace	15,7 ^a	37,9 ^a	35,1 ^a	21,8 ^a	623
		Kvetení	23,1 ^b	45,1 ^b	41,9 ^b	19,4 ^b	602
	2	Butonizace	20,4 ^b	47,9 ^{bc}	40,6 ^b	19,9 ^a	610
		Kvetení	23,0 ^b	51,3 ^c	46,5 ^c	17,6 ^b	613

NDF - neutrálně detergentní vláknina | ADF - acidodetergentní vláknina | NL - dusíkaté látky

Rozdílné písmenné indexy vyjadřují statisticky průkazné rozdíly (Tukey HSD test, $\alpha = 0,05$).

Statistické hodnocení je provedeno pro každý rok samostatně.

Posun sklizně do pozdější fáze se projevil také ve významně zvýšeném výnosu sušiny o zhruba 50 % u první seče a o 30 % u druhé seče (Obr. 7). Tyto údaje korespondují s výsledky, které uvádějí Lamb a kol. (2007) o významně zvýšeném výnosu sušiny při snížení počtu sečí vojtěšky při plánovaném energetickém využití. Z důvodu významně vyšších výnosů sušiny bylo rovněž za dvě sledované seče dosaženo vyšších hektarových výnosů bioplynu (Obr. 8) ve fázi kvetení (123 %) v porovnání se sklizněmi ve fázi butonizace (100 %). To je možné vysvětlit tím, že oddálení termínu seče sice sníží kvalitu biomasy, jak je patrné z vyšších hodnot obsahu NDF a ADF (Tab. 6), a to zejména z důvodu lignifikace lodyh vojtěšky, ale současně významně stoupá absolutní výnos všech sledovaných využitelných sacharidů (celulóza, hemicelulóza) na hektar (Lamb a kol., 2007).



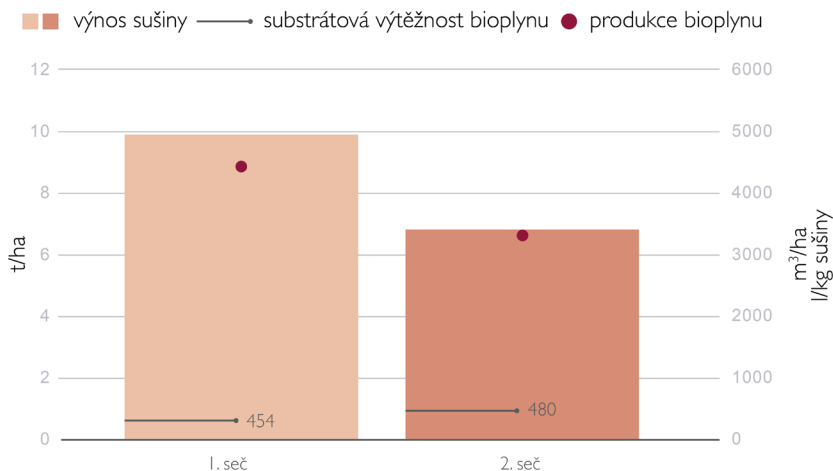
Obrázek 8: Výnos sušiny (v t/ha) a produkce bioplynu (v m³/ha) z vojtěšky seté sklizené dvousečně ve dvou odlišných termínech.

Jak uvádějí Prochnow a kol. (2009), rozhodujícím ukazatelem efektivnosti procesu je produkce bioplynu na hektar, a ne na jednotku sušiny. Je tedy možné usoudit, že z hlediska produkce bioplynu z jednotky plochy se jeví u vojtěšky jako efektivnější systém sklizní až ve fázi kvetení, neboť u bioplynové stanice vyšší obsah vlákniny v píce neovlivní příjem píce do fermentoru, na rozdíl od krmení, kdy dobrovolný příjem píce zvířaty klesá s rostoucím obsahem vlákniny.

Fermentor nabízí i více času na rozklad organických látek než bacher a také skladba mikroorganismů ve fermentoru se liší od skladby v bacheru. Bioplynové stanice mohou rozkládat celulózu v rozsahu přibližně 80 %, zatímco v trávícím traktu přežvýkavců se celulóza rozloží přibližně z poloviny (Ress a kol., 1998; Amon a kol., 2007). Mimo vyšších výnosů sušiny, resp. bioplynu by tento režim přispěl i ke snížení počtu sečí, nižšímu obsahu dusíku v píce a vyšší vytrvalosti porostů (Frame a kol., 1997).

6.2.2 Jetel luční

Z jednoletých výsledků testování výtěžnosti bioplynu z biomasy jetele lučního je patrný jen minimální rozdíl v substrátové produkci mezi první a druhou sečí (Obr. 9). Celková produkce bioplynu (v m³/ha) je tak zásadně ovlivněna výnosem biomasy. Vzhledem k nižšímu počtu sledování mají tyto výsledky jen orientační charakter.



Obrázek 9: Výnos sušiny (v t/ha), substrátová výtěžnost bioplynu (v l/kg sušiny) a produkce bioplynu (v m³/ha) z jetele lučního.

Lze shrnout, že vojtěška setá spolu s jetelem lučním představují výnosné plodiny s propracovanou agrotechnikou, které mají potenciál poskytovat substrát i pro výrobu bioplynu. Pro využití v bioplynových stanicích lze využít řady výhod směsí těchto druhů s travami, případně i modifikovat stávající management pro kvalitu píce pro přežvýkavce.

7. PROVOZNÍ ZKOUŠKY VYUŽITÍ BOBOVITÝCH ROSTLIN V REÁLNÉ BIOPLYNOVÉ STANICI

7.1 Metodika provozního testování v BPS

Vlastní ověřování využití bobovitých rostlin v reálných podmínkách BPS bylo prováděno v bioplynové stanici o výkonu 500 kW provozované v mezofilním režimu. Doba zdržení byla 60 dnů. Tato BPS využívá jako základní substráty pro produkci bioplynu tyto materiály: kukuřičnou siláž, GPS a kejdu mléčného skotu. Vlastní ověřování bylo

rozděleno do dvou kroků. V prvním kroku došlo k dávkování vojtěšky seté do bioplynové stanice, druhý krok spočíval v navazujícím dávkování jetele lučního.

Samotné dávkování bobovitých rostlin pak probíhalo po dobu 24 týdnů, respektive 12 týdnů probíhalo dávkování vojtěšky a následujících 12 týdnů probíhalo dávkování jetele lučního (přehled změny dávkování je zobrazen v tabulce 7). Na počátku každého dávkování byly vyčleněny vždy první 3 týdny na postupnou změnu krmné dávky při postupné náhradě kukuřičné siláže. Na toto přechodné období pak navázalo 9 týdnů kontinuálního dávkování stejné dávky vojtěšky či jetele. První týden byla nastavena dávka 15 tun vojtěšky, respektive došlo k náhradě 10 % původního vstupního materiálu, přičemž zastoupení těchto materiálů se postupně zvyšovalo až na 56 tun týdně v prvním provozním týdnu, respektive došlo k náhradě 30 % původního vstupního substrátu kukuřičné siláže (4. týden od zahájení vlastního dávkování do reaktoru). Obdobný přechod byl zvolen i u dávkování jetele lučního do reaktoru BPS (Tab. 7) s tím rozdílem, že vlastní dávkování jetele lučního bylo zahájeno po předchozím dávkování vojtěšky seté.

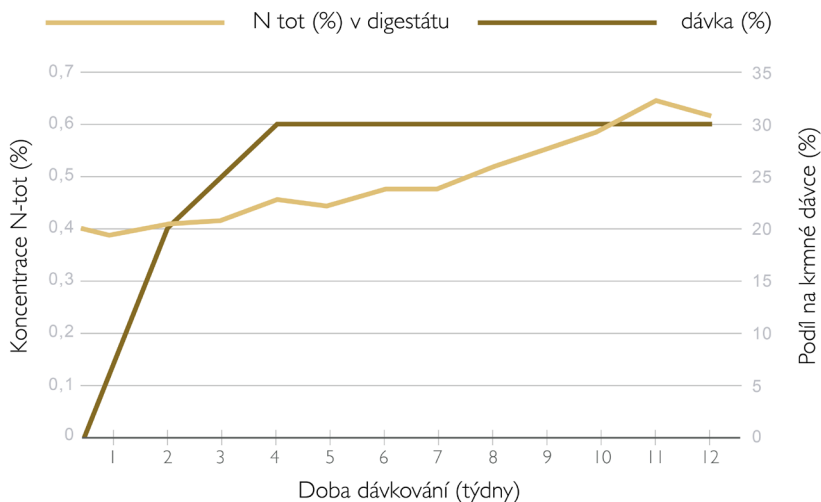
Tabulka 7: Základní schéma dávkování vojtěšky a jetele do reaktoru BPS.

	Přechodné období (změna dávkování)			Kontinuální dávkování (plná náhrada)								
Týden	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Dávka vojtěšky (t)	15	30	45	56	56	56	56	56	56	56	56	56
Podíl na krmné dávce (%)	10	20	25	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Týden	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Dávka jetele (t)	15	30	45	56	56	56	56	56	56	56	56	56
Podíl na krmné dávce (%)	10	20	25	30	30	30	30	30	30	30	30	30

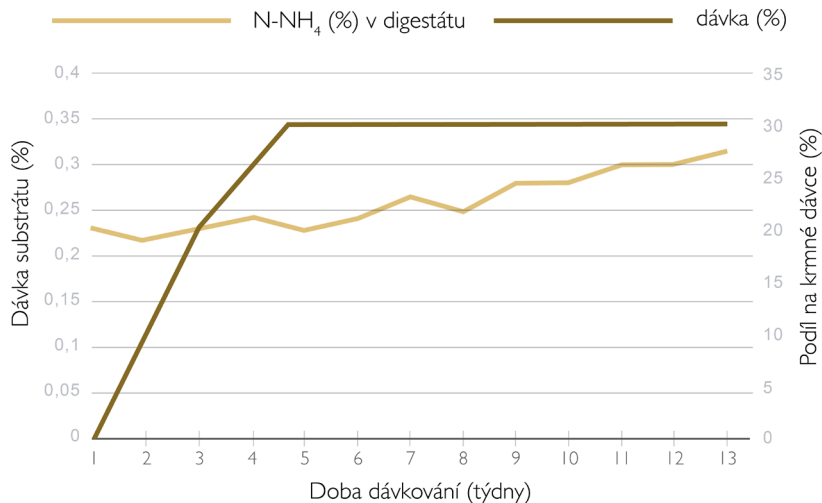
V rámci provozního sledování stavu BPS byly každý týden sledovány základní parametry reaktoru, respektive vznikajícího digestátu: celkový dusík (% v digestátu), amoniakální dusík (% v digestátu), sušina (%), organická sušina (%), pH, poměr FOS/TAC a koncentrace nižších mastných kyselin (máslaná, octová a propionová v mg/L). Přehled těchto sledovaných parametrů je zobrazen v tabulce 8 pro vojtěšku setou, respektive v tabulce 9 pro jetel luční.

7.2 Vliv dávkování vojtěšky na sledované parametry digestátu

Z dlouhodobého sledování je tedy zřejmé, že zvyšující se dávka bobovitých rostlin má pozitivní vliv na zastoupení celkového dusíku v digestátu, přičemž na počátku dávkování vojtěšky byla koncentrace celkového dusíku v digestátu 0,4 % (0,16 % amoniakálního dusíku), při ukončení dávkování vojtěšky do BPS dosáhla tato hodnota 0,62 % celkového dusíku, respektive 0,23 % amoniakálního dusíku (Obr. 10 a 11). Z tabulky 8 je dále zřejmé, že došlo k zachování základních parametrů digestátu z pohledu sušiny, respektive zastoupení organické sušiny.



Obrázek 10: Změna koncentrace N-tot v digestátu v průběhu dávkování vojtěšky seté (v %).



Obrázek 11: Změna koncentrace N-NH₄ v digestátu v průběhu dávkování vojtěšky seté (v %).

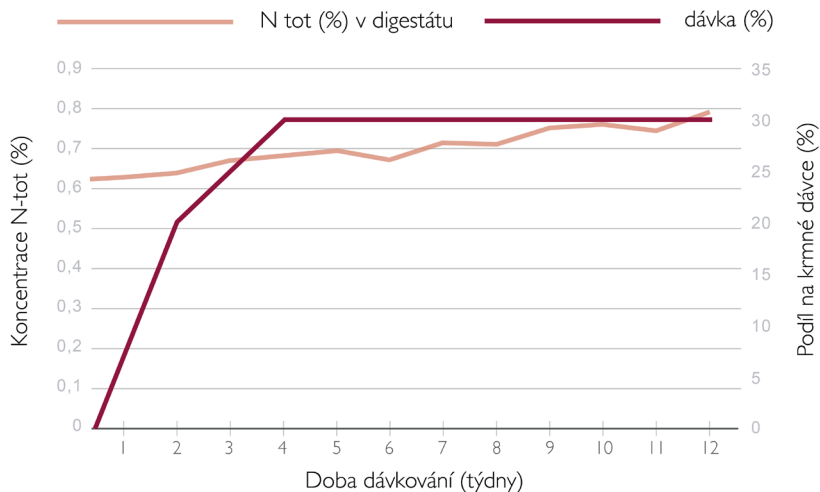
U hodnoty pH je patrný postupný nárůst z 8,2 na hodnotu 8,31, avšak tento nárůst je téměř zanedbatelný. Poměr FOS/TAC, respektive zastoupení nižších mastných kyselin ukazuje, že postupný nárůst krmné dávky z 15 tun v 1. týdnu až na 56 tun ve 4. týdnu (změna zastoupení z 10 % až na 30 % vstupních materiálů) byl zvolen optimálně s ohledem na postupně se měnící podmínky v reaktoru BPS, které by se jinak projeví výrazným nárůstem zastoupení mastných kyselin v reaktoru, respektive nárůstem poměru FOS/TAC a doprovázený poklesem pH.

Tabulka 8: Základní charakteristiky digestátu s podílem vojtěšky seté.

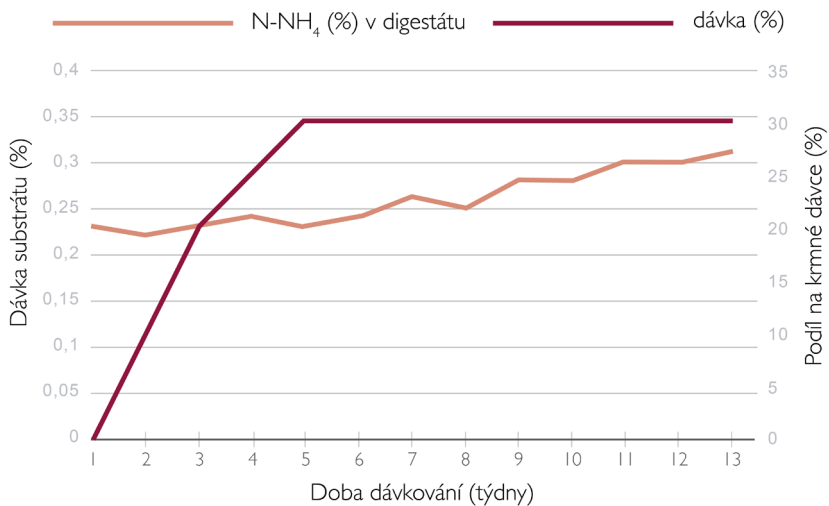
Týden	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Dávka (%)	0	10	20	25	30	30	30	30	30	30	30	30	30
N-tot (%) v digestátu	0,4	0,38	0,41	0,42	0,45	0,44	0,47	0,47	0,51	0,54	0,58	0,63	0,62
N-NH ₄ (%) v digestátu	0,16	0,16	0,18	0,19	0,19	0,18	0,2	0,19	0,2	0,21	0,23	0,22	0,23
Sušina (%)	7,2	7,2	7,3	7,2	7,4	7,3	7,3	7,4	7,1	7,3	7,1	7,3	7,2
Organická sušina (%)	0,69	0,7	0,69	0,68	0,71	0,68	0,7	0,69	0,7	0,68	0,68	0,69	0,7
pH	8,2	8,23	8,2	8,25	8,24	8,23	8,25	8,29	8,24	8,25	8,29	8,29	8,31
FOS/TAC	0,39	0,39	0,4	0,39	0,41	0,39	0,41	0,4	0,42	0,43	0,42	0,41	0,42
Kyselina máselná (mg/l)	19	23	25	40	38	37	56	58	62	57	59	37	10
Kyselina octová (mg/l)	284	285	297	285	328	351	340	346	340	345	217	301	319
Kyselina propionová (mg/l)	n.s.	14	n.s.	21	26	45	29	41	33	40	48	39	31

7.3 Vliv dávkování jetele lučního na sledované parametry digestátu

Dávkování jetele ve fázi provozního ověřování v BPS kontinuálně navázalo na předchozí dávkování vojtěšky do stejného reaktoru. Obdobně, jako u změny krmné dávky u vojtěšky, byl zvolen i podobný model s dávkováním jetele (viz Tab. 7: Základní schéma dávkování vojtěšky a jetele do reaktoru BPS). To znamená, že v prvním týdnu bylo nahrazeno 10 % původního materiálu (dávka 15 tun), čtvrtý týden od zahájení (první provozní týden) bylo zastoupení jetele 30 % (dávka 56 tun). Počáteční koncentrace celkového dusíku v digestátu byla 0,62 %, respektive 0,23 % amoniakálního dusíku (Obr. 12 a 13), při ukončení dávkování jetele do reaktoru byla koncentrace celkového dusíku v digestátu 0,79 %, respektive 0,31 % amoniakálního dusíku.



Obrázek 12: Změna koncentrace N-tot v digestátu v průběhu dávkování jetele lučního (v %).



Obrázek 13: Změna koncentrace N-NH₄ v digestátu v průběhu dávkování jetele lučního (v %).

Z tabulky 9 je dále zřejmé, že došlo k zachování základních parametrů digestátu z pohledu sušiny, respektive zastoupení organické sušiny. V porovnání s dávkováním vojtěšky do reaktoru BPS je dále patrné, že jsou konstantní hodnoty i pro pH. Poměr FOS/TAC, respektive zastoupení nižších mastných kyselin, vykazuje obdobný trend jako při dávkování vojtěšky. Postupný nárůst krmné dávky z 15 tun v 1. týdnu až na 56 tun ve 4. týdnu (změna zastoupení z 10 % až na 30 % vstupních materiálů) tedy neměl vliv na vlastní provoz reaktoru, což je též dobrá známka technologické kázně a řízení vlastní BPS.

Tabulka 9: Základní charakteristiky digestátu s podílem jetele lučního

Týden	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Dávka (%)	0	10	20	25	30	30	30	30	30	30	30	30	30
N-tot (%) v digestátu	0,62	0,63	0,64	0,67	0,68	0,69	0,68	0,71	0,71	0,74	0,76	0,74	0,79
N-NH ₄ (%) v digestátu	0,23	0,22	0,23	0,24	0,23	0,24	0,26	0,25	0,28	0,28	0,30	0,30	0,31
Sušina (%)	7,2	7,4	7,3	7,1	7,2	7,3	7,3	7,2	7,3	7,2	7,3	7,4	7,3
Organická sušina (%)	0,72	0,7	0,71	0,7	0,68	0,71	0,7	0,69	0,7	0,68	0,67	0,69	0,69
pH	8,33	8,31	8,29	8,3	8,29	8,31	8,32	8,28	8,32	8,31	8,33	8,31	8,33
FOS/TAC	0,42	0,41	0,43	0,41	0,42	0,43	0,42	0,41	0,39	0,41	0,4	0,43	0,41
Kyselina máslná (mg/l)	n.s.	n.s.	n.s.	25	40	38	62	58	29	40	37	24	33
Kyselina octová (mg/l)	284	289	291	291	312	344	328	346	332	330	315	301	306
Kyselina propionová (mg/l)	23	26	16	n.s.	n.s.	28	37	45	42	38	39	29	37

8. SROVNÁNÍ NOVOSTI POSTUPŮ

Předložená metodika podává ucelený souhrn poznatků získaných studiem literatury, a především vyhodnocením a zpracováním jak laboratorních vsádkových pokusů, tak testování bobovitých plodin v reálných podmínkách BPS při současné náhradě kukuřičné siláže. Metodika také hodnotí změnu složení a kvalitu digestátu v průběhu přechodu na bobovité plodiny (jetel luční, vojtěška setá). V metodice jsou dále komplexně vyhodnoceny náklady na založení porostů vybraných plodin v porovnání s konvenčně pěstovanou kukuřicí, příjmy v podobě dotace na pěstování řešených plodin, v neposlední řadě jsou též vyhodnoceny náklady na množství vyprodukované biomasy a náklady na bioplyn. Nedílnou součástí je též kalkulace úspory za hnojení dusíkatými hnojivy.

Poznatky z laboratorních experimentů i provozních zkoušek v reálné BPS lze shrnout do následujících bodů:

1. Laboratorní vsádkové experimenty ověřily literární předpoklad, že bobovité rostliny mohou produkovat množství bioplynu srovnatelné s tradičně využívanou kukuřicí.
2. Provozní zkoušky jetele a vojtěšky v reálné BPS potvrdily výsledky laboratorních vsádkových testů, přičemž z doložených dat je zřejmé, že při dodržení technologické kázně a postupné změny krmné vsádky BPS je možné zachovat stávající množství vznikajícího bioplynu. Zároveň byl prokázán nárůst obsahu dusíku v digestátu z 0,4 % na 0,7 %.
3. Navrhovaná metodika může být snadno proveditelná a uplatnitelná v zemědělské praxi jako postup směřující k pestřejšímu osevnímu postupu zemědělského podniku, který dále rozšíří materiálovou základnu BPS při současné náhradě kukuřičné siláže.

9. POPIS UPLATNĚNÍ CERTIFIKOVANÉ METODIKY

Předkládaná metodika poskytuje zemědělským podnikům a provozovatelům BPS komplexní přehled o možnostech pěstování a využívání bobovitých plodin (jetel, vojtěška) jak při vlastním pěstování, tak i při využívání v BPS v podobně alternativního materiálu, kterým dojde k současné náhradě tradičně využívané kukuřičné siláže. Metodika tak ukazuje reálné možnosti zachování stejného výkonu BPS při náhradě tradičních materiálů. V neposlední řadě může být tato práce zdrojem informací pro výzkumné pracovníky a studenty vysokých škol zaměřené na oblast provozu BPS, výživy a pěstování rostlin či z pohledu aplikovatelnosti hnojiv. V neposlední řadě může být tato metodika i zajímavou inspirací pro navazující výzkumné aktivity.

10. EKONOMICKÉ ASPEKTY

V následující kapitole jsou komplexně vypočteny náklady na pěstování bobovitých rostlin (jetel luční, vojtěška setá) pro účely dávkování, respektive náhrady, vstupního materiálu do BPS v porovnání s konvenčně pěstovanou kukuřicí, výnosy v podobě dotace na jejich pěstování a jednotkové náklady na vypěstování jedné tuny rostlinného materiálu. Nedílnou součástí této kapitoly jsou též náklady na produkci bioplynu z vybraných plodin.

Tabulka 10 zobrazuje srovnání ročních nákladů na pěstování bobovitých plodin v porovnání s konvenčně pěstovanou kukuřicí. Zde je třeba brát v potaz, že kukuřice je jednoletá plodina, kdežto jetel luční a vojtěška jsou víceleté rostliny, u kterých je rozdílná délka trvání porostu s proměnlivými sklizněmi během jednotlivých let, kdy je porost pěstován. Dále jsou též různé náklady na sklizeň vybraných plodin.

U kukuřice jsou tyto náklady kalkulovány pouze na vlastní sklizeň pomocí řezačky a odvoz kukuřice na místo skladování (3 000 Kč/rok). Sklizeň bobovitých plodin je daleko komplexnější a vyžaduje vedle nákladů na sběr a odvoz plodin z pozemku také náklady na sečení a obracení rostlinného materiálu, které jsou vypočteny na 2 800 Kč/sklizeň.

Zde je však třeba brát v potaz, že celkové náklady během roku jsou ovlivněny počtem sklizní během vegetačního období, kdy pro jetel luční jsou kalkulovány 3 sklizně během roku (celkové sklizňové náklady jsou 8 400 Kč/rok), kdežto pro vojtěšku setou je počítáno se 4 sklizněmi (celkové sklizňové náklady jsou 11 200 Kč/rok). V neposlední řadě je délka porostu u jetele setého stanovena pro účely výpočtu na 2 roky, pro vojtěšku setou se počítá se čtyřmi lety. Průměrné roční náklady na 1 hektar tedy vychází následovně: 33 000 Kč pro kukuřici, 17 150 Kč pro jetel luční a 15 575 Kč pro vojtěšku setou.

Tabulka 10: Náklady na založení porostu kukuřice, jetele lučního a vojtěšky seté.

Náklady na založení porostu	Jednotka	Kukuřice	Jetel luční	Vojtěška setá
Předset'ová příprava, setí a ošetření porostu	Kč/ha	30 000	17 500	17 500
Délka trvání porostu	roky	1	2	4
Náklady na jednu sklizeň, dopravu a senážování	Kč/ha	3 000	2 800	2 800
Počet sklizní za rok		1	3	4
Celkové náklady na sklizeň za rok	Kč/ha	3 000	8 400	11 200
Celkové náklady za celou dobu trvání porostu	Kč/ha/rok	33 000	34 300	62 300
Průměrné náklady za rok	Kč	33 000	17 150	15 575
Průměrný výnos za rok	t/ha/rok	45	28,5	28,5
Náklady na tunu	Kč/t	733	602	546

Na základě výše získaných hodnot byly dále vypočteny náklady v Kč na produkci 1 m³ bioplynu z kukuřice, jetele a vojtěšky. Tyto náklady jsou zobrazeny v tabulce 11.

Tabulka 11: Náklady na 1 m³ bioplynu z kukuřice, jetele lučního a vojtěšky seté.

Náklady na bioplyn	Jednotka	Kukuřice	Jetel luční	Vojtěška setá
Produkce bioplynu	m ³ /t	210	170	170
Náklady na m ³	m ³ /t	3,49	3,54	3,21

Podstatným benefitem pěstování jetelovin v porovnání s pěstováním kukuřice je však úspora vycházející z fixace dusíku pomocí hlízkových bakterií přítomných u těchto plodin. Autoři této studie se pokusili v tabulce 12 kalkulovat jeho úsporu, přičemž pro vlastní výpočet bylo počítáno s fixací 150 až 200 kg dusíku na hektar a cenou dusíku 21 Kč/kg. Z těchto kalkulací tedy vyplývá, že při pěstování jetelovin lze uspořit minimálně 3 150 Kč až 4 200 Kč na hektar. Neposledním benefitem je též úspora za dopravu a aplikaci hnojiva na pozemku, v potaz je třeba brát i snížení pojezdů zemědělské techniky na pozemku. Tyto úvahy však nebyly při výpočtu kalkulovány, obdobně jako benefit zvýšeného obsahu dusíku v digestátu z jetelovin, který je téměř dvojnásobný v porovnání s obsahem dusíku s využitím kukuřičné siláže při anaerobní digestci. Tyto hodnoty jsou blíže uvedeny v kapitole 7.2 a 7.3.

Tabulka 12: Úspora za fixaci dusíku u jetele lučního a vojtěšky seté v porovnání s kukuřicí.

Náklady na bioplyn	Jednotka	Kukuřice	Jetel luční	Vojtěška setá
Produkce dusíku	Kč/ha/rok	0	150	200
Cena dusíku	Kč/kg	21	21	21
Výnosy za rok	Kč/ha/rok	0	3 150	4 200

Jetel a vojtěška patří mezi bílkovinné plodiny, na které je možné čerpat speciální podporu 2 147 Kč/ha, která může ekonomickou bilanci těchto plodin mírně zlepšit. Věříme, že to přispěje ke zvyšování ploch těchto melioračních plodin.

11. ZÁVĚR

Ověřování v provozních podmínkách BPS potvrdilo předpoklad, že je možné nahradit část původního materiálu bobovitými rostlinami, přičemž z výsledků složení digestátu je patrné, že došlo k výraznému nárůstu obsahu celkového dusíku v digestátu z 0,4 % až na 0,79 %, což je téměř dvojnásobné množství v porovnání s původním stavem, kdy nedocházelo k dávkování bobovitých rostlin do reaktoru BPS.

S rostoucí cenou minerálních hnojiv, pohonných hmot a také z důvodů zvyšujícího se tlaku na ochranu půdy se domníváme, že využití bobovitých rostlin bude pro jednotlivé podniky i celou společnost ještě výhodnější, než je již dnes.

Při využívání bobovitých rostlin pro výrobu bioplynu je však nutné postupovat opatrně, protože je riziko kolapsu biologického procesu. K tomu je v této metodice navržen postup přechodu na substráty z bobovitých rostlin a způsob monitoringu procesu.

12. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. Amon, T., Amon, B., Kryvoruchko, V., Machmüller, A., Hopfner-Sixt, K., Bodiroza, V., Hrbek, R., Friedel, J., Pasch, E., Wagentristsl, H., Schreiner, M., Zollitsch, W. 2007. Methane production through anaerobic digestion of various energy crops grown in sustainable crop rotations. *Bioresource Technology*. 98. 3204-3212.
2. Bauer, A., Leonhartsberger, C., Bösch, P., Amon, B., Friedl, A., Amon, T. 2010. Analysis of methane yields from energy crops and agricultural by-products and estimation of energy potential from sustainable crop rotation systems in EU-27. *Clean Technologies and Environmental Policy*. 12. 153-161.
3. Bélanger, G., Castonguay, Y., Lajeunesse, J. 2014. Benefits of mixing timothy with alfalfa for forage yield, nutritive value, and weed suppression in northern environments. *Canadian Journal of Plant Science*. 94. 51-60.
4. Brant, V., Fuksa, P., Hakl, J., Jursík, M., Kroulík, M., Prokinová, E., Škeříková, M., Šmöger, J., Zábranský, P. 2020. Efektivní hospodaření s vodou a eliminace degradace půdy v pěstebních systémech kukuřice seté. *Agrární komora České republiky*. Praha. 237 s.
5. CZ Biom – České sdružení pro biomasu. 2018. Dotazníkové šetření členské základny bioplynových stanic.
6. CZ Biom – České sdružení pro biomasu. 2015. Výtěžnost bioplynu z jednotlivých materiálů [online], Biom.cz. [cit. 17. 5. 2021]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyteznost-bioplynu-z-jednotlivych-materialu>. ISSN: 1801-2655.
7. Český statistický úřad (ČSÚ). 2018. Statistická ročenka České republiky - 2018. [cit. 20. 5. 2020]. Zveřejněno dne: 28. 11. 2018.
8. Český statistický úřad (ČSÚ). 2020a. Veřejná databáze [online], Vývoj osevních ploch zemědělských plodin. [cit. 20. 4. 2020] Dostupné z: <https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/cs/index.jsf?page=vystup-objekt&z=T&f=TABULKA&pvo=ZEM02C&skupId=346&katalog=30840&&str=v554&kodjaz=203>
9. Český statistický úřad (ČSÚ). 2020b. Veřejná databáze [online], Obhospodařovaná zemědělská půda. [cit. 20. 4. 2020] Dostupné z: <https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/cs/index.jsf?page=vystup-objekt-vyhledavani&vyhltext=obhospodava%C5%99ovan%C3%A1&bkv=b2.Job3Nwb2RhxZlvdMfuw6E.&katalog=all&pvo=ZEM02B>
10. Český statistický úřad (ČSÚ). 2020c. Veřejná databáze [online], Vývoj ploch, hektarových výnosů a sklizní zemědělských plodin. [cit. 20. 4. 2020] Dostupné z: <https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/cs/index.jsf?page=vystup-objekt-vyhledavani&vyhltext=v%C3%BDnos&bkv=dsO9bm9z&katalog=all&pvo=ZEM02G>

11. Český statistický úřad (ČSÚ). 2020d. Veřejná databáze [online], Spotřeba hnojiv za hospodářský rok. [cit. 20. 4. 2020] Dostupné z: https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/cs/index.jsf?page=vystup-objekt&z=T&f=TABULKA&skupId=2542&katalog=30840&pvo=ZEM11&pvo=ZEM11&u=v274_VUZEMI_97_19#w=
12. Český statistický úřad (ČSÚ). 2021. [cit. 30. 8. 2021] Dostupné z: www.czso.cz.
13. Duffková, R., Mühlbachová, G., a kol. 2016. Metodický postup pro efektivní užití digestátu ze zemědělských bioplynových stanic. Certifikovaná metodika.
14. Frame, J., Charlton, J. F. L., Laidlaw, A. S. 1997. Temperate forage legumes. CAB. 317 p.
15. Hák, J., Dostálová, A., Sklenář, J., Háp, I. 2019. Separace stonků a listů leguminóz. Biofarma Sasov. 13 s.
16. Hák, J., Fuksa, P., Habart, J., Šantrůček, J. 2012. The biogas production from lucerne biomass in relation to term of harvest. Plant, Soil and Environment. 58 (6). 289-294.
17. Hák, J., Fuksa, P., Konečná, J., Šantrůček, J. 2016. Differences in the crude protein fractions of lucerne leaves and stems under different stand structures. Grass and Forage Science. 71 (3). 413-423.
18. Hák, J., Fuksa, P., Šantrůček, J., Habart, J. 2013. Možnosti produkce bioplynu z píce jetelovin. Úroda. 61 (4). 82-85.
19. Hák, J., Kunzová, E., Tocauerová, Š., Menšík, L., Mrázková, M., Pozdíšek, J. 2021. Impact of long-term manure and mineral fertilization on yield and nutritive value of lucerne (*Medicago sativa*) in relation to changes in canopy structure. European Journal of Agronomy. 123. 126219.
20. Hák, J., Mášková, K., Šantrůček, J. 2011. Porovnání výnosů píce v sortimentu českých odrůd vojtěšky seté. Úroda. 59 (4). 69-72.
21. Hák, J., Pisarčík, M., Fuksa, P., Šantrůček, J. 2018. Development of lucerne root morphology traits in lucerne-grass mixture in relation to forage yield and root disease score. Field Crops Research. 226. 66-73.
22. Hejduk, S., Knot, P. 2010. Effect of provenance and ploidity of red clover varieties on productivity, persistence and growth pattern in mixture with grasses. Plant, Soil and Environment. 56 (3). 111-119.
23. Chloupek, O. 1995. Genetická diverzita, šlechtění a semenářství. Academia. Praha, 186 s.
24. Lamb, J. F. S., Jung, H. G., Sheaffer, C. C., Deborah, A. S. 2007. Alfalfa leaf protein and stem cell wall polysaccharide yields under hay and biomass management systems. Crop Science. 47. 1407-1415.

25. Lamb, J. F. S., Sheaffer, C. C., Rhodes, L. H., Sulc, R. M., Undersander, D. J., Brummer, E. C. 2006. Five decades of alfalfa cultivar improvement: impact on forage yield, persistence, and nutritive value. *Crop Science*. 46. 902-909.
26. Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR (MPO). 2019. Obnovitelné zdroje energie v roce 2018, Výsledky statistického zjišťování.
27. Ministerstvo zemědělství ČR (MZe). 2020. Zemědělství 2019. Praha, ISBN: 978-80-7434-558-6.
28. Ministerstvo životního prostředí ČR (MŽP). 2019. Dostupné z: https://czbiom.cz/wp-content/uploads/2_Legislativni-pozadavky_Jarolimova.pdf
29. Prochnow, A., Heiermann, M., Plöchl, M., Linke, B., Idler, C., Amon, T., Hobbs, P. J. 2009. Bioenergy from permanent grassland – A review: 1. Biogas. *Bioresource Technology*. 100. 4931-4944.
30. Rath, J., Heuvelink, H., Herrmann, A. 2013. Specific biogas yield of maize can be predicted by the interaction of four biochemical constituents. *BioEnergy Research*. 6. 939-952.
31. Ress, B. B., Calvert, P. P., Pettigrew, C. A., Barlaz, M. A. 1998. Testing anaerobic biodegradability of polymers in a laboratory-scale simulated landfill. *Environmental Science and Technology*. 32. 821-827.
32. Rosenberg T. 2010. Metodika – předpis pro provádění laboratorních jednorázových testů produkce bioplynu. 6 s.
33. Skládanka, J. (ed.). 2014. Pícninářství. Reptotisk s.r.o. Šumperk. 368 s.
34. Straka, F., Dohányos, M., Zábranská, J., Jeníček, P., Dědek, J., Malijevský, A., Novák, J., Oldřich, J., Kunčarová, M. 2006. Bioplyn. GAS s.r.o. Praha. 706 s.
35. Tracy, B. F., Albrecht, K., Flores, J., Hall, M., Islam, A., Jones, G., Lamp, W., MacAdam, J. W., Skinner, H., Teutsch, C. 2016. Evaluation of alfalfa-tall fescue mixtures across multiple environments. *Crop Science*. 56. 2026-2034.

13. DEDIKACE

“Metodika je výsledkem řešení výzkumného projektu Programu rozvoje venkova číslo 16/003/1611a/231/000093 s názvem: Ověření výroby organického hnojiva se zvýšeným obsahem dusíku a použití v zemědělství a ovocnářství”.

14. OSTATNÍ NÁLEŽITOSTI CERTIFIKOVANÉ METODIKY

V souladu se závazným Postupem pro uznání výsledků typu “Nmet – Metodika”, který vydalo Ministerstvo zemědělství – Odbor vědy, výzkumu a vzdělávání dne 1. února 2021, jsou v následujících podkapitolách uvedeny další údaje nebo doplňující informace.

Jména oponentů a názvy jejich organizací

Posudek odborníka v daném oboru vypracoval:

Ing. Tomáš Rosenberg, Ph.D. (rosenberg.tom@seznam.cz)
Slapy 248, 252 08 Slapy

Posudek pracovníka příslušného odborného orgánu státní správy vypracoval:

Ing. Jiří Jungr (jiri.jungr@mze.cz)
Ministerstvo zemědělství ČR (Oddělení OZE a environmentálních strategií)
Těšnov 65/17, 110 00 Praha 1

Posudek pracovníka orgánu státní správy odsouhlasil: Ing. Vlastimil Zedek

Osvědčení odborného orgánu státní správy

Osvědčení o uznání certifikované metodiky vydalo Ministerstvo zemědělství ČR dne 6. 10. 2022 (osvědčení č.: MZE-56343/2022-13123).