



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**Posílení spolupráce mezi MZLU v Brně a dalšími institucemi  
v terciárním vzdělávání a výzkumu**

(CZ 1.07/2.4.00/12.0045)

SOUČASNOST A VÝHLED PROBLEMATIKY ZEMĚDĚLSKÝCH  
BIOPLYNOVÝCH STANIC V ČESKÉ REPUBLICCE

**Ing. Josef Maroušek, Ph.D., MBA**

**Tréninkový modul**

**3.12. 2010**

**ZD Opařany**



## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

### OBSAH:

Přehled problematiky .....	3
Zvyšování výkonu .....	8
Dezintegrace .....	10
Aditiva .....	13
Simulace .....	15
Zdroje .....	15
Autor.....	16

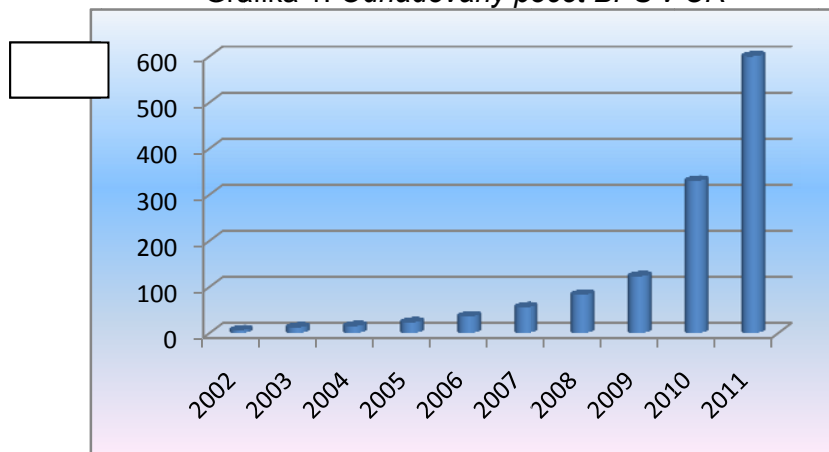
## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

### Přehled problematiky

Když bylo českým zemědělcům před více než dekádu doporučováno, aby své výrobní portfolio rozšířili o elektrickou energii, například z vlastní zemědělské bioplynové stanice (dále jen ZBPS), mnozí z nich se k této nekonvenční vizi stavili značně rezervovaně. V mezidobí ovládly trh zemědělských nákupů (například hnojiva, či osiva) i výkupů (například mléko, maso, obilí) oligopoly a monopoly. Nerovnoprávné postavení českých zemědělců a potažmo celé České Republiky (dále jen ČR) v Evropské Unii (dále jen EU) přispělo v návaznosti na její principy fungování k tomu, že část konzervativních farmářů byla ekonomickým vývojem donucena svá stanoviska přehodnotit. Mnozí z těch, kteří nebyli dostatečně flexibilní, již ukončili svoji podnikatelskou činnost. Dlouhodobou ztrátu konkurenceschopnosti lze v EU dlouhodobě pozorovat nejen v zemědělství.

Jakkoli bylo investiční riziko výstavby BPS postupně saturováno přechodem od dotací bez právního nároku do polohy relativně jistějších výkupních cen, či méně využívaných, zelených bonusů, tvořených Cenovými rozhodnutími Energetického regulačního úřadu (dále jen ERÚ), jedním z důvodů pomalejšího rozvoje se krom konzervatismu managementu ukázala i obava z neznalosti problematiky. Ačkoli výroba bioplynu je technologií relativně archaickou a i v ČR lze dohledat bioplynové stanice (dále jen BPS) s dlouhou historií, zejména u čističek odpadních vod (dále jen ČOV), mnozí z pracovníků v zemědělství se s ní neseťkali ani při vysokoškolském studiu. První novodobé ZBPS tak v ČR stavěli zejména zahraniční dodavatelé užitím nejčastěji německých, či dánských zkušeností a technologií. Management zemědělského podniku tak často přebíral od dodavatele stavbu na klíč a svázán smluvními pokutami ji pouze nařídil zásobovat dle pokynů.

Grafika 1: Odhadovaný počet BPS v ČR



zdroj: autor

Exponenciální růst počtu BPS (přibližně 4/5 z nich lze označit za ZBPS, neb zpracovávají primárně cíleně pěstovanou biomasu a jsou tudíž zařaditelné do kategorie AF1), který jsem ilustrativně predikoval někdy kolem roku 2005 (viz Grafika 1) dozná v reálu na roky 2010 a 2011 zřejmě výraznější korekci směrem dolů. Důvodem není zanevření na bioplyn, ale lukrativnější alternativa, kterou v letech 2009 a 2010 představují výstavby solárních elektráren. Vysoké a do jisté míry garantované výkupní ceny za fotovoltaickou elektřinu, mírný technologický pokrok v oblasti efektivity solárních panelů a klesající výrobní náklady při masové produkci učinily investici do solární elektrárny natolik lukrativní, že krátkodobě překonala čistou současnou hodnotu investice (dále jen ČSHI) v mnohých odvětvích hospodářství. Doba návratnosti (dále jen DN) této investice znatelně poklesla oproti původním předpokladům, ke kterým při tvorbě ceny ERÚ přihlížel. Na tuto příležitost už mnozí zemědělci zareagovali pružně a ve spolupráci s ostatní podnikatelskou sférou a bankovním sektorem vypukl boom, který tempo budování ZBPS zpomalil, či spíše odsunul na druhou kolej.

Kontroverzní rozhodnutí ohledně tvorby výkupní ceny za fotovoltaickou energii, které bylo mnohými předem označováno za nerozvážené, bylo překonáno kontroverzí nové daně a další změnou podmínek na trhu. Jakkoli lze oprávněně diskutovat o tom, zdali je energie a další ekologické dopady výroby solárních panelů úměrná energii, kterou panel za svoji životnost vyrobí, či zdali je správné podporovat v této činnosti dominantní čínské výrobce s kontroverzními obchodními praktikami, či jaký je dopad nových oplocených lánů na krajinu, nelze opomenout fakt, že vláda ČR zareagovala na veřejné mínění a deficit státního rozpočtu skrytou retroaktivitou práva. Bez ohledu na to, jak dopadnou očekávané soudní pře,

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

ČR porušením tohoto principu, uznávaného již za dob starého Říma, ještě více deklasovala v očích nejen zahraničních investorů již tak špatnou úroveň lokální vymahatelnosti práva.

Aktuálně není veřejně známo, že by se obdobné opatření plánovalo i pro výkup elektřiny z BPS. Možná právě z toho důvodu lze s mírnou prodlevou očekávat obnovu tempa jakým výstavba ZBPS doposud probíhala (viz Grafika 1). Silným argumentem zůstává, že oproti solárním blokům, či zejména větrným elektrárnám mají ZBPS tu výhodu, že mají zcela minimální výkyvy v produkci.

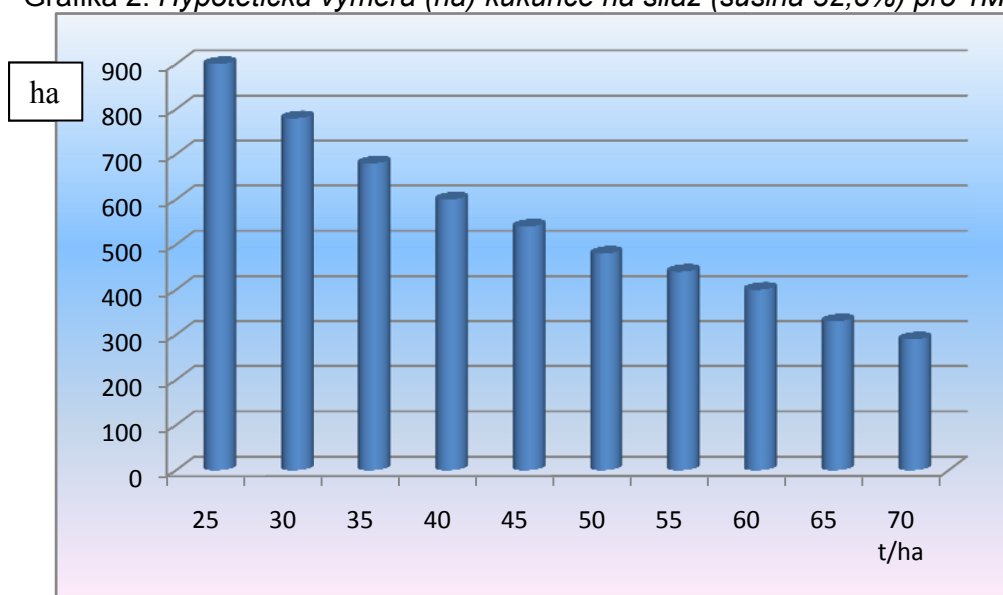
Je pravda, že se ČR zavázala do roku 2020 vyprodukovat 13% energie z "obnovitelných" zdrojů a momentálně tento závazek plní asi jen z 5,2%. Zároveň je ale třeba se oprostít od propagandy, že zvedání podílu všech "obnovitelných" zdrojů představuje při současném stavu vědeckého poznání výhradně pozitivní efekt. Například dálkový transport pevných fytopaliv do EU, kde jsou následně spalovány s uhlím a vytvářejí tak za kompromisních spalovacích parametrů nebezpečné zplodiny i popeloviny je skvělým příkladem, jak nebezpečná může být, primárně jistě šlechetná, avšak do důsledků nedomyšlená, vize.

Ani ZBPS není zázračný mechanismus, který dokonale ekologicky přemění sluneční energii přes rostliny a bioplyn (dále jen BP) do absolutně čisté elektřiny a tepla. Díky dlouhodobě klesajícímu zastoupení dobytčí jednotky (imaginární 500kg zvíře, dále jen DJ) na hektar (nízké výkupní ceny za živočišné komodity, kvóty atd.) klesají biologické a mechanické vlastnosti půdy a s tím související půdní úrodnost. Nepřiměřený počet ZBPS, které by zpracovaly signifikantní podíl, již tak nedostatkových statkových hnojiv by mohl tuto problematiku v dlouhodobém horizontu eskalovat. V mnohých oblastech se půda i pozvolna okyseluje a na základě robustních analýz (Čermák, 2008) lze pouze vyčkávat, zda, či spíše kdy, se začnou projevovat spady rizikových prvků a látek. Dalším šířeným mýtem jsou fámy o vynikajících hnojivých účincích digestátů z BPS (Kolář, Vaněk, Kužel, 2010).

Vybalancovanou technologií fermentace lze v digestátu docílit například redukce klíčivosti plevelů, či naředit obsahy těžkých kovů z kalů ČOV na přípustné normy, ale zvýšená hnojivová účinnost je kategoricky vyloučena. Ty, pro půdu nejcennější, lehce bidegradabilní látky, jsou z podstaty věci startéry samotného metanogenního procesu. Jakákoli, nad očekávání vyšší, hnojivová účinnost by tak byla jen důrazným upozorněním na chybně projektovanou BPS, logistické problémy, nestabilitu, či zvrhnutí procesu atd. Žádné perpetuum-mobile se nekoná. Na konkurenceschopnou rostlinnou produkci je třeba stále vyšších dávek průmyslových hnojiv a dalších agrotechnických opatření (pesticidy, herbicidy, fungicidy, insekticidy...).

Nejobvyklejším vstupem s nejlepším poměrem ceny a produkce BP zůstává u ZBPS téměř po celém světě dlouhodobě kukuřičná siláž, jejíž sušina se nejčastěji pohybuje od 28,5 do 33%. Při hnojení na nízkou výnosovou úroveň poskytuje zhruba 35 t/ha, při střední výnosové úrovni okolo 55 t/ha, při vysoké i nad 60 t/ha. Z jedné tuny kukuřičné siláže lze v závislosti na kvalitativních faktorech, technologických parametrech a zastoupení dalších vstupů očekávat produkci mezi 160 a 280 m<sup>3</sup> BP/t.

Grafika 2: Hypotetická výměra (ha) kukuřice na siláž (sušina 32,5%) pro 1MW<sub>el</sub>



zdroj: autor

Proces anaerobní digesce v bioplynové stanici bývá v literatuře standardně dělen na 4 stupně, které jsou vzájemně velmi komplexně propojeny. Hydrolyza, acidogeneze, acetogeneze a metanogeneze.

Z technologického hlediska lze BPS dělit například dle obsahu sušiny. Pokud se jedná o proces míchatelný (jinak také mokvý způsob, viz Grafika 3), pohybuje se obsah sušiny nejčastěji do 7%. Se zvyšujícím se zastoupením sušiny v procesu se zvedají požadavky na konstrukci míchadel spojené s vyšší energetickou náročností a dalšími náklady do technologie. Pokud není zvolena například technologie procesního snižování sušiny, zůstává zajímavou alternativou vsádkový systém (jinak také suchý způsob, viz Grafika 4), či jiné alternativy skládkování. BPS na bázi vsádkového systému (obsah sušiny přibližně 30%) jsou aktuálně minoritou. Z odhadovaných 250 BPS jsou v České republice na suchou fermentaci v provozu snad jen 2. Markantní je cena zařízení a hloubka procesu srovnatelná například odbouráním sušiny.

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

grafika 3: Výstavba BPS s míchatelným procesem (mokrý způsob)



zdroj: Dušan Verner

grafika 4: Výstavba BPS s nemíchatelným procesem (suchý způsob)



zdroj: autor

tabulka 1: Orientační hodnocení hloubky procesu v BPS

hodnocení procesu	míchatelný proces (mokrý fermentace)	nemíchatelný proces (suchá fermentace)
	úbytek organické sušiny (%)	úbytek organické sušiny (%)
neefektivní	do 30	do 20
optimalizovatelný	30 až 45	20 až 35
efektivní	45 až 50	35 až 40
špičkový	nad 50	nad 40

zdroj: autor

Mezi klíčové provozní parametry definující efektivitu (hloubku) procesu patří úprava vstupující suroviny. Čím je surovina lépe dezintegrována, tím lépe se mohou enzymy dostat na větší povrch odkrytých řetězců, například celulózy a tím efektivněji je mohou

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

hydrolyzovat. Nejběžnější vstup, kukuřičná siláž, je standardně řezána na 0,5 až 1 cm. Oproti tomu, extruze dokáže (v závislosti na parametrech) štěpit pletiva a v návaznosti na procesní parametry rozrušit samotné buňky.

Nejmenší problém je s hydrolyzou škrobu. Pokud není užívána přezrálá siláž, snadno se hydrolyzuje amylolytickými enzymy na jednoduché cukry (maltóza), (ve vodě rozpustná amyloza, nerozpustný amylopektin).

Problém nebývá ani s hydrolyzou hemicelulózy (heteropolysacharid), která tvoří rozvětvené řetězce s prostorovou strukturou. Možná i z toho důvodu je extracelulárními enzymy hydrolyzována poměrně snadno. Celulóza je polymerem glukózy a ze všech výše uvedených je v anaerobní digesci nejméně rozložitelná. Pro její hydrolyzu je nutná například přítomnost celulótických enzymů ze zažívacích traktů přežvýkavců. V bioplynových stanicích, které nezpracovávají zvířecí exkrementy, může být hydrolyza problematická, protože neprobíhá tak hluboce, ale jen pomaleji na povrchu.

Vedle lépe, či hůře hydrolyzovatelných polysacharidů obsahuje fytomasa i látky, jejichž biologická rozložitelnost je velmi nízká až nulová. Mezi tyto látky lze řadit zejména lignin, lignany a terpeny. Ani efekt extruze rozložitelnost těchto látek významně neovlivní, avšak dokáže narušit kompaktnost, s jakou obklopují a fixují vlákna celulózy.

## Zvyšování výkonu

Mnozí provozovatelé BPS se po zaběhnutí technologie a zvládnutí rutin zajímají, jak by se dala produkce BP dále zvyšovat. K optimalizaci jak krátkodobé, tak střednědobé rentability je třeba predikovat s dostatečnou přesností jak funkce nákladů, tak funkce příjmů. V naprosté většině oborů je jakákoli predikce, či modelace těchto funkcí zatížena vysokým rizikem a neurčitostí. V aktuálních podmínkách ČR je na trhu BPS situace ulehčena tím, že výkupní cenu za  $MWh_{el}$  dodané do sítě spálením bioplynu v ZBPS, jak již bylo výše uvedeno, stanovuje svým Cenovým rozhodnutím ERÚ. Dle Cenového rozhodnutí ERÚ 2/2010 ze dne 8. listopadu 2010 představuje tato výkupní cena v kategorii AF1 (dle vyhlášky 482/2005 cíleně pěstovaná biomasa) 4120 Kč (167 EUR), pro kategorii AF2 (odpadní, jinak nevyužitelná biomasa) 3550 Kč (136 EUR). Tato cena je dle vyhlášky 150/2007, § 2, odst. 11 garantována na předpokládanou dobu životnosti BPS. Dle zákona 180/2005 Sb. lze tuto výkupní cenu snížit meziročně maximálně o 5 %.



## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Trendem poslední doby je šetření. Mnoho podniků se, jak v agónii, pokouší před každým koncem kvartálu zabránit očekávanému propadu tržeb a udržet tak pozitivní hospodářský výsledek rozpouštěním zásob, či rezerv a dramatickým snižováním nákladů. Domnívám se, že hon za minimálními náklady je jen iluzorním řešením. Jakkoli se může zdát aktuální ekonomická situace kritická i z globálního hlediska, rozhodujícím kritériem managementu by měla zůstat za všech okolností hlavně efektivita. Úspory na nevhodném místě mohou problém odsunout. Přinášejí však riziko, že v budoucnu eskaluje ještě ve větší míře. Stejně tak je tomu u řízení procesů BPS, které mnohým farmářům pomáhají tržby diverzifikovat a saturují tak nejen pokles výkupních cen mnoha konvenčních komodit.

Jakkoli lze v době ekonomického růstu proti zeleným bonusům, či výkupní ceně za  $MWh_{el}$  brojít, protože bývá ve zpoždění za cenou danou volným trhem, v okamžiku zpomalení ekonomiky a turbulencí, jakými trhy aktuálně procházejí, lze na fixní cenu vzhlížet jako na ostrov uprostřed bouře.

Fakt, že v zemědělství lze dlouhodobě relativně přesně predikovat vnitropodnikovou kalkulaci nejen náklady, ale díky relativně fixní výkupní ceně za  $MWh_{el}$  i příjmy, umožňuje optimalizovat technologii až do úrovně parametrů jednotlivých procesů.

Vyšší produkce BP lze dosáhnout optimalizací podmínek. Jedná se například o vhodné dávkování substrátu, zabezpečení dostatečného promíchávání a zejména dodržování technologických parametrů. Těmi je myšleno například správné zatížení a dodržování doby zdržení v různých stupních výroby. S rostoucí provozní teplotou (mezofilní 30 až 40°C, termofilní 45 až 60°C a extrémně termofilní nad 60°C) vzrůstá nejen produkce BP, ale také senzitivita procesu na výkyvy teploty. U BPS s živočišnými vstupy je kritické kontinuální odstraňování sloučenin síry a amoniaku. Velmi užitečné se ukázalo užití čidel s detekcí vodíku, jehož vyšší přítomnost naznačuje riziko zvrhnutí procesu. Další možností zvýšení výkonnosti bioplynové stanice je volba skladby substrátu ve prospěch lépe rozložitelných substrátů s vyšší výtěžností BP nebo ladění poměru C:N a pH.

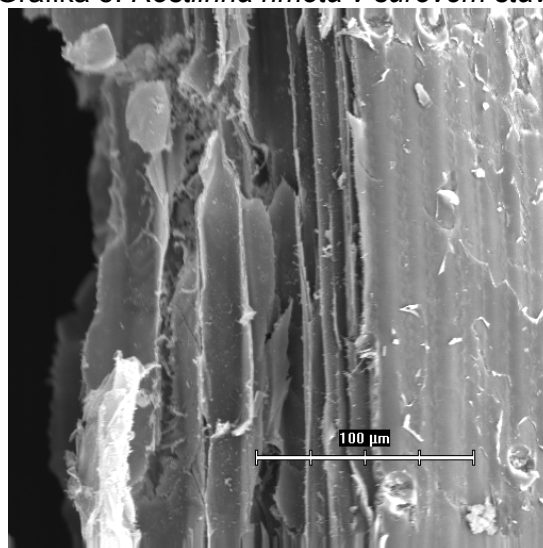
## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

### **Dezintegrace**

Prohloubení procesu a tím i zvýšení výtěžnosti metanu (dále jen  $\text{CH}_4$ ) lze dosáhnout vhodnou úpravou suroviny. Je obecně známo, že zmenšením velikosti částic mechanickou, či jinou dezintegrací dochází k podstatnému zvětšení povrchu. U BPS znamená dezintegrace pletiv fytomasy zpřístupnění hydrolyzujícím enzymům a prokazatelně vede přímo ke zvýšení produkce BP. Dezintegrace fytomasy se v anaerobních technologiích v naprosté většině literatury za proces ani nepovažuje. Majorita autorů vnímá dezintegraci jako rutinní operaci, o kterou se postará sám zemědělec na poli se svojí řezačkou, či žacím strojem. Do BPS tak fytomasa vstupuje nejčastěji až jako siláž (4 až 11mm), či jako různé formy senáže.

Jakkoli se může zdát, že siláž, či senáž rostliny na první pohled i dotek zjemnila, dlouhý čas evoluce uzpůsobil habitus a konstituci většiny suchozemských rostlin silně rezistentní vůči nabourávání mikroorganismy. Přirozenou obranou rostlin se tak za dobu boje s živočišnou říší staly nejen dřevnatějící ostny, jedovaté či antinutriční látky a podobně, ale i vnitřní pevná lignocelulózová struktura, ve které celulózová vlákna (zkrystalizované desetitisíce až statisíce molekul glukózy) připomínají železné pruty a lignin s hemicelulózami cement, balastní pojivo, které je s celulózovými vlákny spojeno vodíkovými a kovalentními vazbami.

Grafika 5: Rostlinná hmota v surovém stavu



zdroj: autor

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Zvolením správných parametrů dezintegrace lze uzpůsobit vlastnosti materiálu takovým způsobem, aby byla vnitřní pevnost (krystalinita) rostlinných vláken co nejvíce narušena a navazující hydrolýza mohla probíhat co možná nejrychleji a nehlouběji uvolňující při tom energeticky bohatou glukózu. Dle Hendrikse (2009) se dezintegrací biomasy zvýší účinnost hydrolýzy o 5 až 25 % a zároveň zle očekávat snížení doby zdržení ve fermentoru o 23 až 59 %. Jakákoli metoda dezintegrace musí být z principu velmi efektivní, protože z ekonomické podstaty věci představuje vždy dodatečné náklady. Užitá metoda musí být však nejen investičně a provozně (zejména energeticky) nenáročná, ale nesmí v žádném případě způsobit degradaci, či jiné znehodnocení materiálu, například znečištěním.

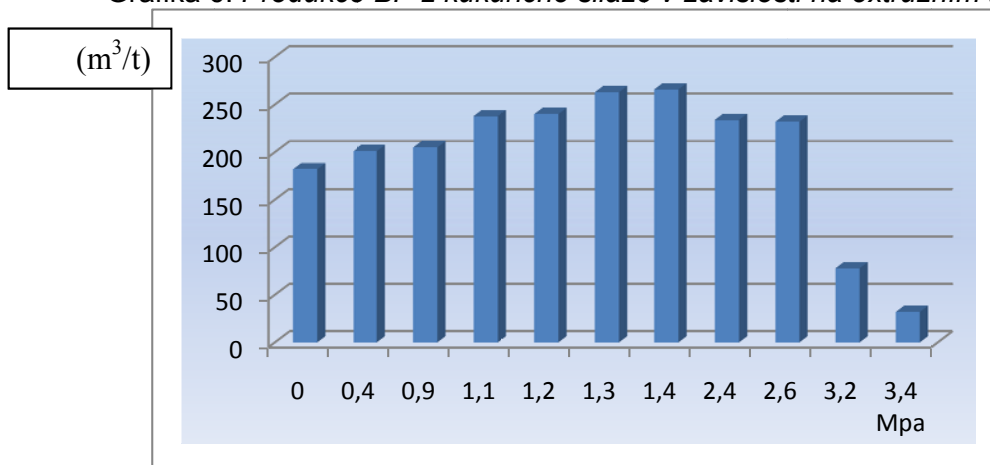
Možná právě i díky evolučnímu souboji s přežvýkavci je fytomasa schopna markantně odolávat působení smykových a tlakových sil. Její výše popsaná lignocelulózová struktura zvyšuje energetickou náročnost její mechanické dezintegrace. Na rezistenci fytomasy lze v tomto smyslu nahlížet i jako na materiálovou vlastnost. Dle Krátkého a Jirouta (2010) lze každý typ biomasy popsat distribucí velikosti částic, střední velikostí, obsahem vody v materiálu a mechanickými vlastnostmi jako jsou tlaková a smyková napětí, Youngův modul nebo měrná rozpojovací energie. Mechanické vlastnosti lignocelulózových materiálů, vyjádřené prostřednictvím odpovídajícího modelu, nelze přesně stanovit tak, jako je tomu např. u kovových materiálů. To je způsobeno díky podstatnému vlivu velikosti průměru, délky a tloušťky materiálu. Tyto parametry vedou k nepřesným výpočtům energie potřebné k rozmělnění toho daného organického materiálu a proto je nutné měrnou rozpojovací energii pro vstupní materiál získávat experimentálně.

Při mechanickém zpracování lignocelulózových materiálů se nejčastěji uplatňují mechanismy sekání, stříhání, trhání, otírání, působení úderem nebo tření. Kombinací lámání, drcení a mletí lze dosáhnout výsledné velikosti částic 10-30 mm, při lámání a mletí 0,2-2 mm. Za tímto účelem lze užít drtiče, či kulové, vibrační-kulové, nožové, úderové, diskové, válcové a koloidní mlýny. Praxe ukázala, že užití drtičů a mlýnů je vysoce energeticky náročné. Obvykle je udáváno, že jejich zařazení zvýší celkovou energetickou náročnost technologie o třetinu.

Za samostatnou kapitolu dezintegrace lze považovat extrudéry. Nejen kolektiv Alviry (2010) považuje za klíčové parametry této operace frekvenci otáčení šneku a teplotu pláště. Další autoři diskutují krom rychlosti šneku například poměr šířky a délky extrudéru atd. Dle mého názoru jsou tyto parametry zřejmě klíčové při různých přípravách pokrmů, ale po sérii provozních zkoušek provázaných s produkcí BP a alkoholů jsem došel k závěru, že pro úpravu fytomasy za tímto účelem je při extruzi nejdůležitější najít optimální hydromodul,

překonat minimální dobu zdržení a experimentálně nalézt nejrentabilnější tlak (vzrůstající náklady při rostoucím tlaku versus nízký efekt extruze při nedostatečném tlaku versus kritický tlak, při kterém je fytomasa degradována, viz Grafika 6).

Grafika 6: *Produkce BP z kukuřičné siláže v závislosti na extruzním tlaku*



zdroj: autor

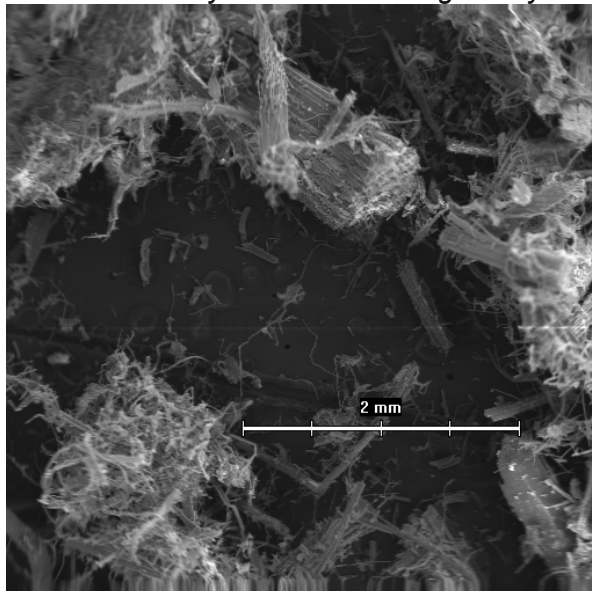
Ačkoli byl výše uvedený graf (viz Grafika 3) konstruován z naměřených hodnot, v dané souvislosti ho lze považovat jen za zjednodušené a ilustrativní dokreslení problematiky. Bez detailního obeznámení s metodikou nelze tvrdit, že extrudovaná kukuřičná siláž poskytne za všech okolností výše uvedenou produkci BP. Krom doby zdržení vždy silně záleží na složení a zastoupení ostatních vstupů a ostatních parametrech.

Domnívám se, že v případě užití extruze lze dezintegraci fytomasy chápat jako rychlý vysokoteplotní proces (high temperature, short time process, HTST) při kterém je materiálu dodáno teplo a mechanická energie, což v okamžiku expanze z reaktoru vyústí ve fyzikálně-chemické proměny v jeho hlubší struktuře. Tlaku uvnitř reaktoru je nejčastěji dosahováno zvýšením teploty přívodem horké páry. Po určité době zdržení za daných podmínek následuje prudké uvolnění, nejčastěji do atmosférického tlaku. Na rozdíl od mechanických způsobů úpravy se extruzí nijak výrazně nesníží průměrná velikost částic, ale při správných parametrech dojde k hluboké dezintegraci rostlinných vláken, ideálně až do úrovně buněk. Tento jev lze nepřímo potvrdit například poklesem viskozity. Když jsou parametry nastaveny opravdu optimálně (pro každý druh fytomasy je optimální nejen jiný tlak a doba zdržení, ale i hydromodul atd.) dojde až k buněčné kavitaci. Tu lze uvnitř rostlinné buňky popsat vytvořením bublinek vakua, či plynu z okolního prostředí a následnou implozí způsobenou náhlým poklesem tlaku. Síla vakua způsobí, že do prostoru difundují ve formě par plyny z

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

okolní kapalné fáze. Při vymizení podtlaku, který kavitaci vytvořil, bublina plynů imploduje za vzniku tlakové vlny s destruktivním účinkem na okolní materiál.

Grafika 7: Rostlinný materiál dezintegrováný extruzí

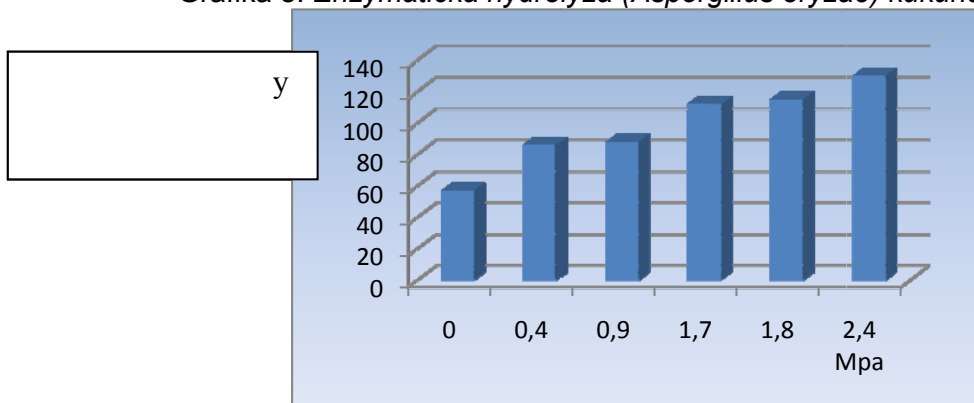


zdroj: autor

### **Aditiva**

Krom výše popsaných dezintegračních metod je v praxi velmi diskutováno užití aditiv. Obchodní zástupci nabízejí širokou škálu přípravků od samotných enzymů, přes enzymatické a mikrobiální mixy vybraných kmenů až po glycerol z produkce bionafty. Deklarovaný efekt je mnohdy těžce statisticky prokazatelný v laboratoři, ještě horší výsledky se obvykle dostávají v praxi. Na simulacích bylo ověřeno, že ani enzymy o vysokých aktivitách nedokážou efektivně zužitkovat fytomasu, která není odpovídajícím způsobem dezintegrována.

Grafika 8: Enzymatická hydrolýza (*Aspergillus oryzae*) kukuřičné siláže



zdroj: autor

V reaktoru je tento proces dominantně záležitostí extracelulárních hydrolytických enzymů produkovaných hlavně divokými fermentačními bakteriemi například z trávicích traktů přežvýkavců. Výsledkem jsou jednodušší (kratší), jednodušeji fermentovatelné cukry, které jsou lépe využitelné v navazujících procesech (kyselina octová).

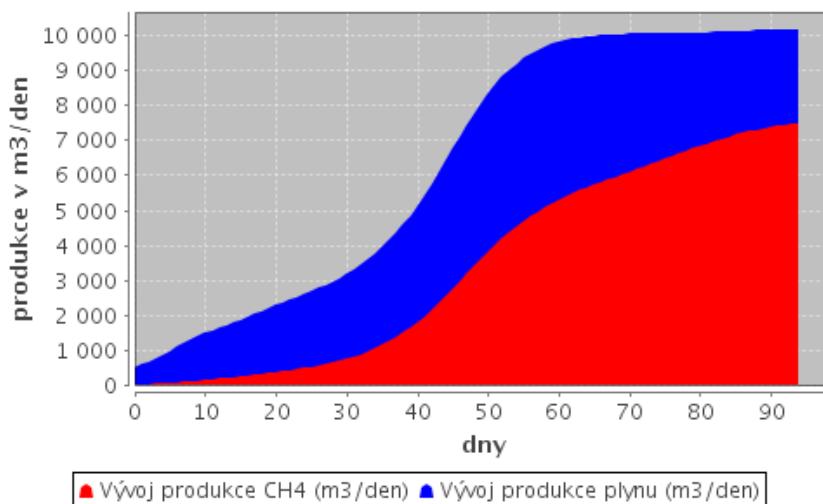
Je prokázáno, že vhodně zvolené parametry extruze zvyšují přístupnost celulóзовých vláken a tím zvyšují možnosti rozkladu polysacharidů na monosacharidy bez degradace materiálu. Lze nalézt takové extruzní parametry, které významně nezvyšují přítomnost inhibitorů majících vliv na navazující mikrobiální pochody. Pokud užití aditiv přineslo ekonomicky zajímavé zvýšení produkce BP, dostavilo se až po kvalitní dezintegraci fytomasy.

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

### Simulace

K orientačním kalkulacím jak ekonomických, tak technologických dat lze využít webovou aplikaci PMES (Maroušek, Brada, Habart 2008) na adrese [expertni-system.zavetri.cz/pmes](http://expertni-system.zavetri.cz/pmes).

Grafika 9: Ukázka simulací systému PMES  
**Objem produkce plynu při spouštění**



zdroj: autor

### Zdroje

Alvira, P., Tomás-Pejó, E., Ballesteros, M., Negro, M.J.: *Pretreatment technologies for an efficient bioethanol production process based on enzymatic hydrolysis: A review*. *Bioresource Technology* 101, 2010, str.4851-4861.

ČERMÁK, Pavel, et al. *Obsahy rizikových prvků a látek a základní agrochemické charakteristiky půd v oblasti jižních a západních Čech : Mezinárodní projekt realizovaný ÚKZÚZ v rámci programu Iniciativy Evropských společenství INTERREG IIIA; registrační číslo projektu CZ.04.4.82/3.1.00.1/0060 Community Initiative INTERREG IIIA (Bavaria – Czech Republic), Priority 3, Measures 3.1 – Protection of nature and environment*. Brno : Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský v Brně, 2008. 68 s. Dostupné z WWW:

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

<<http://www.ukzuz.cz/folders/Uploads/103246-7-Obsahy+rizikovych+prvku+a+latek+-+mapypdf.aspx>>. ISBN 978-80-7401-010-1.

Hendriks, A.T.W.M., Zeeman, G.: *Pretreatments to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass*. Bioresource Technology 100, 2009, str.10-18.

KOLÁŘ, Ladislav, VANĚK, Václav, KUŽEL, Stanislav: Využití odpadů z bioplynových stanic. Racionální použití hnojiv - sborník z konference, 2010, ISBN 978-80-213-2006-2.

KRÁTKÝ, Lukáš; JIROUT, Tomáš. *Studie a teoretické návrhy technických řešení metod zpracování v oblasti mletí, drcení a rozměňování biomasy*. Praha : České vysoké učení technické v Praze Fakulta strojní – Ústav procesní a zpracovatelské techniky, 2010. 52 s.

MAROUŠEK, Josef; BRADA, Miloslav; HABART, Jan. *Pokročilý modul expertního systému : PMES* [online]. 2008 [cit. 2010-11-25]. Dostupné z WWW: <<http://expertni-system.zavetri.cz/pmes/>>.

### Autor

Ing. Josef Maroušek, Ph. D., MBA

Jihočeská Univerzita v Českých Budějovicích  
Zemědělská fakulta  
Katedra aplikovaných rostlinných biotechnologií

josef.marousek@gmail.com  
+ 420 777 987 683

