

NÁVRH NOVÉHO TYPU MACERÁTORU PRO BIOPLYNOVÉ STANICE

Bc. Jiří Nalezeneč

Vedoucí práce: Doc. Ing. Tomáš Jirout, Ph.D.

Abstrakt

V naší době, kdy ubývají fosilní zdroje energie a velice často se mění jejich cena, je důležitá diverzifikace zdrojů. Do skupiny tzv. obnovitelných zdrojů energie patří také bioplyn. Bioplynové stanice mají vedle energetického hlediska navíc význam v tom, že uzavírají přirozený oběh surovin v zemědělství, stabilizují příjem zemědělských podniků a zvyšují zaměstnanost ve venkovských sídlech. Jednou z metod zvýšení jejich účinnosti je termicko-expanzní hydrolyza surovin. Součástí této technologie je macerační stroj. Jeho nový typ založený na principu válce a zakřivené desky je předmětem této práce.

Klíčová slova

Macerátor, Biomasa, Hydrolyza, Prokop

1. Úvod

V naší době, kdy ubývají fosilní zdroje energie a velice často se mění jejich cena, je důležitá diverzifikace zdrojů. Do skupiny tzv. obnovitelných zdrojů energie patří také bioplyn. Bioplynové stanice mají vedle energetického hlediska navíc význam v tom, že uzavírají přirozený oběh surovin v zemědělství, stabilizují příjem zemědělských podniků a zvyšují zaměstnanost ve venkovských sídlech. Jednou z metod zvýšení jejich účinnosti je termicko-expanzní hydrolyza surovin. Součástí této technologie je macerační stroj. Jeho nový typ založený na principu válce a zakřivené desky je předmětem této práce. Stroj je vyvíjen ve spolupráci s firmou Prokop Invest, a.s., která je dodavatelem technologií pro termicko-expanzní hydrolyzu.

2. PROKOP INVEST, a.s. Pardubice

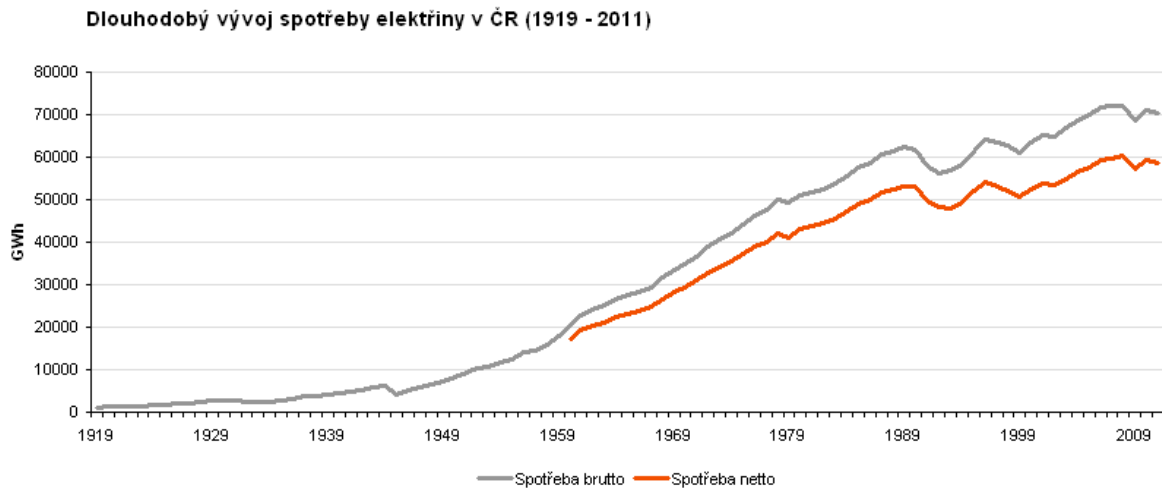
Tato firma je tradičním výrobcem mlýnských strojů. Historie společnosti sahá do roku 1870, kdy pan Josef Prokop založil firmu vyrábějící mlýnské a zemědělské stroje. Největší rozmach zažila firma Prokop ve 30. letech 20. století, kdy vyvážela do mnoha zemí světa stroje pro mlýny včetně vodních turbín. Po válce a znárodnění byla přejmenována na Továrny mlýnských strojů (TMS). Po privatizaci v 90. letech se noví majitelé rozhodli vrátit k původní značce Prokop.

Dnešní Prokop Invest, a.s. vyvážá stroje a zařízení pro mlýny, kafilerie, potravinářský a chemický průmysl do mnoha zemí světa [1]. Jednou z nových oblastí výroby ve firmě Prokop je také oblast obnovitelných zdrojů energie, a to konkrétně linky na zpracování lihovarnických výpalků a technologie přípravy biomasy pro bioplynové stanice.

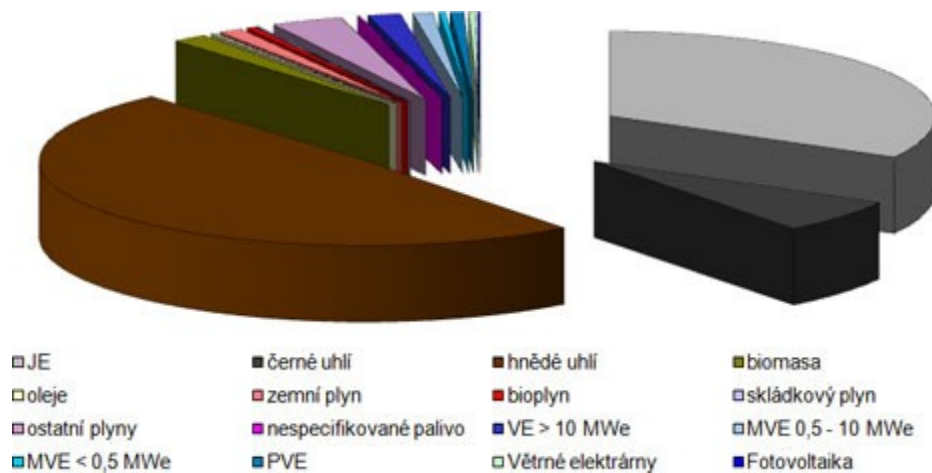
3. Bioplynové stanice

3.1 Obnovitelné zdroje energie

Vývoj celé lidské civilizace je podmíněn dostupností zdrojů potravy a energie. Závislost spotřeby elektrické energie v minulém století je patrná z obr. 1. V dnešní době je výrazná závislost na fosilních palivech (ropa, zemní plyn, uhlí apod. – obr. 2).

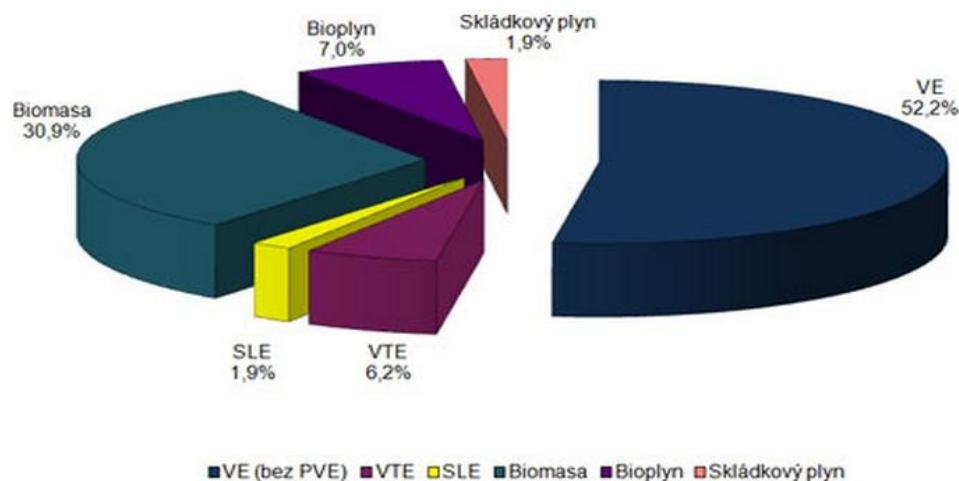


Obr. 1 Vývoj spotřeby elektrické energie v ČR [2]



Obr. 2 Rozložení zdrojů energie v ČR v roce 2009 [3]

Vzhledem k jejich omezenému množství a nerovnoměrnému rozložení jejich výskytu na planetě Zemi je nutné hledat další zdroje energie. Vedle energie jaderné, jejíž užívání s sebou nese především bezpečnostní rizika a velké investiční náklady, se nabízí různé druhy obnovitelných zdrojů energie. Podpora využití OZE je ustanovena zejména v zákoně č. 180/2005 Sb., o podpoře výroby elektrické energie z OZE, a je prováděna především podporou výkupních cen elektrické energie z OZE, kterou stanoví Energetický regulační úřad (ERÚ) pomocí cenových rozhodnutí.



Obr. 3 Výroba elektřiny z obnovitelných zdrojů energie v ČR v roce 2009 [4]

Jedním z těchto zdrojů je také bioplyn. Termín bioplyn je v současné technické praxi používán pro plynný produkt anaerobní metanové fermentace organických látek, tj. rozkladu bez přístupu vzduchu, uváděné též pod pojmy anaerobní digesce, biometanizace nebo biogasifikace. Názvem bioplyn je pak obecně míněna plynná směs metanu a oxidu uhličitého, která v menší míře obsahuje ještě některé další minoritní složky organického či anorganického charakteru. [5]

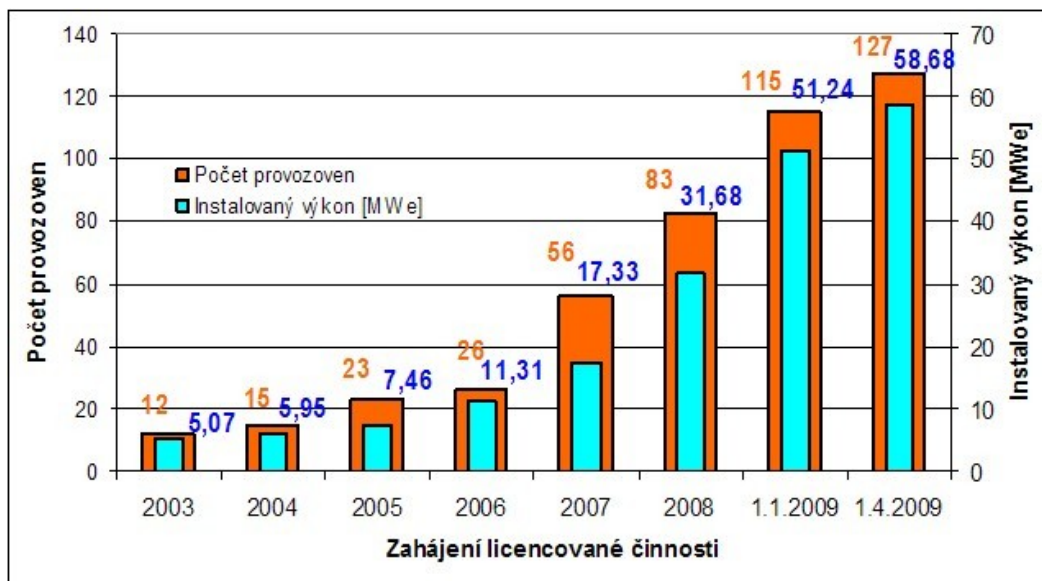
3.3 Bioplynové stanice

První bioplynové stanice (BPS) začaly vznikat už v první polovině 20. století jako součásti linek pro zpracování kalů při čištění odpadních vod. V České republice se s nimi ve větší míře začínáme setkávat od roku 2005, kdy byla zákonem č.180/2005 Sb. zavedena státní podpora. Zákon 180/2005 Sb., o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie upravuje v souladu s právem EU způsob podpor v závislosti na druhu technologie a v případě projektů energetického využití biomasy i v závislosti na druhu zpracovávané biomasy. Tento zákon je upravován vyhláškami č. 475/2005 Sb., kterou se provádějí některá ustanovení zákona o podpoře a využívání obnovitelných zdrojů, Vyhláškou 482/2005 Sb., o stanovení druhů, způsobů využití a parametrů biomasy při podpoře výroby elektřiny z biomasy, ve znění Vyhlášky 5/2007 Sb. a Vyhláškou 502/2005 Sb., o stanovení způsobu vykazování množství elektřiny při společném spalování biomasy a neobnovitelného zdroje.

Na výstavbu BPS se můžeme dívat z několika hledisek:

- Zdroj energie z obnovitelných zdrojů
- Vylepšení ekonomické situace zemědělských podniků
- Podpora zaměstnanosti v malých sídlech

Vývoj počtu BPS v ČR lze vidět na obr. 4.



Obr. 4 Výroba elektřiny z obnovitelných zdrojů energie v ČR v roce 2009 [6]

3.3 Vstupní suroviny pro BPS

Bioplynové stanice zpracovávají různé typy biomasy, a to jak živočišného, tak rostlinného původu. V některých případech zpracovávají pouze cíleně pěstovanou biomasu (např. kukuřičnou siláž), častěji však fungují také jako likvidace odpadů, a to rostlinného i živočišného původu.

Dnes používané suroviny rostlinného původu jsou charakteristické škobovým základem a jsou poměrně snadno zpracovatelné. Snahou je možnost zpracování většího množství zemědělských odpadů, slámy, travních zbytků a dalších materiálů s lignocelulózovou stavbou.

3.4 Předúprava surovin

Vhodnou předúpravou vstupních surovin můžeme docílit vyšší produkce bioplynu ze stejného množství biomasy, nebo dokonce zpracovat suroviny, které jsou v neupraveném stavu nezpracovatelné. Takovými surovinami bývají především rostlinné materiály - např. traviny, sláma apod. Metody předúpravy mohou být:

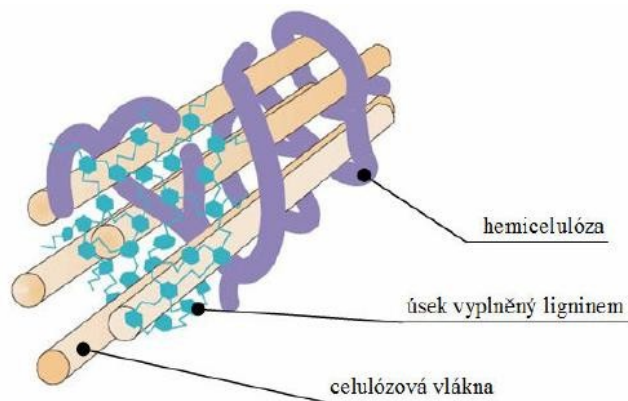
- mechanické
- fyzikální
- chemické
- biologické

a jejich různé kombinace (např. fyzikálně – chemická).

3.5 Hydrolýza

Lignocelulózové materiály reprezentovaly až doposud nevyužitelný zdroj cukrů. Struktura těchto plodin totiž brání působení mikroorganismů, které by rozkládali celulózu na nižší cukry. Na strukturu těchto plodin (obr.2) lze nahlížet jako na kompozitní materiál. Vlákna neboli fibrily, zajišťující nosnost materiálu, jsou tvořena celulózou. Tato vlákna jsou po celé délce obtáčena rozvětvenými řetězci hemicelulóz a zbytek rostliny je vyplněn ligninem, který zde působí jako pojivo. Vzájemně propletené struktury celulóz, hemicelulóz a ligninu jsou příčinou různé biologické rozložitelnosti. Hemicelulózy jsou nejnárodněji hydrolyzovány na své cu-

kerné složky, nicméně obalení celulózy ligninem má za následek zpomalení jejího rozkladu. [8]



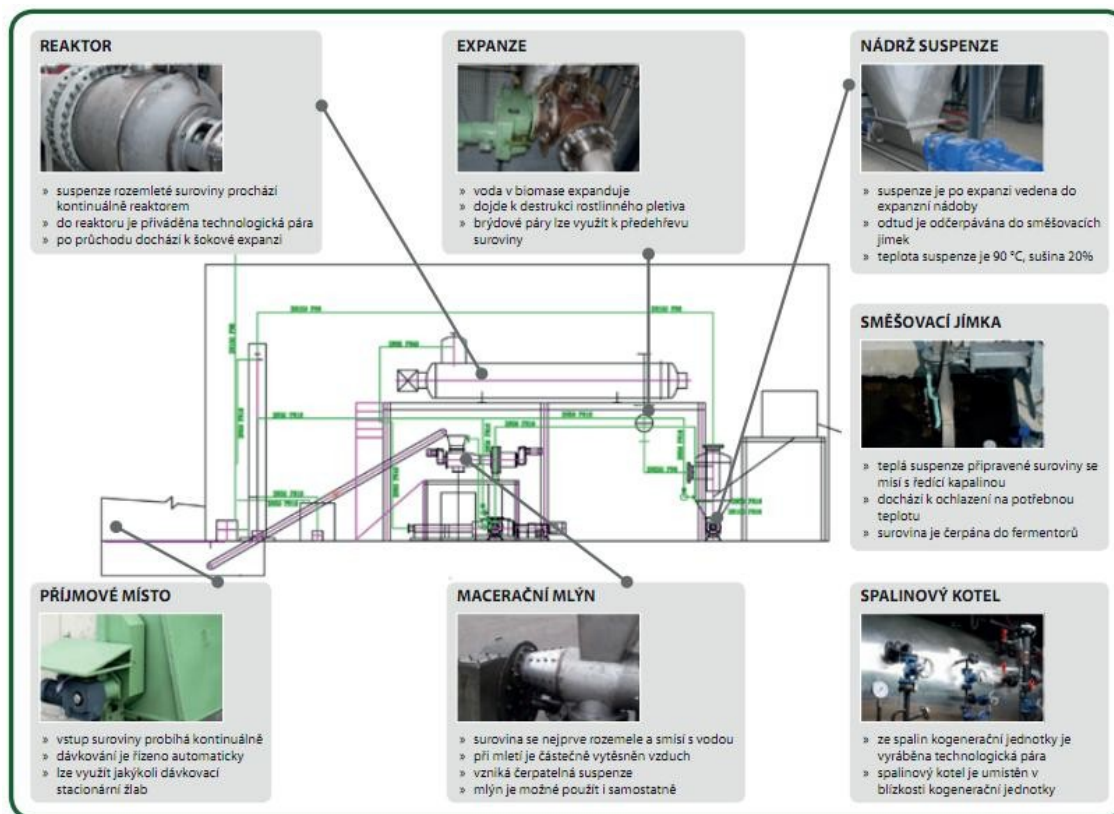
Obr.5 Stavba těla rostlin [7]

3.6 Termicko-expanzní hydrolýza

Termicko-expanzní hydrolýzou rozumíme takový proces, kdy biomasu nejprve rozmělníme na macerátoru, poté ji zahřejeme na teploty vyšší než 150°C a následně expandujeme do nádoby s atmosférickým tlakem. Při rychlé expanzi dochází k narušení struktur rostlin a jejich zcukření. Takto upravená surovina je už pro mikroorganismy stravitelná.



Obr. 6 Změna suroviny během předúpravy (NWT,a.s.) [9]

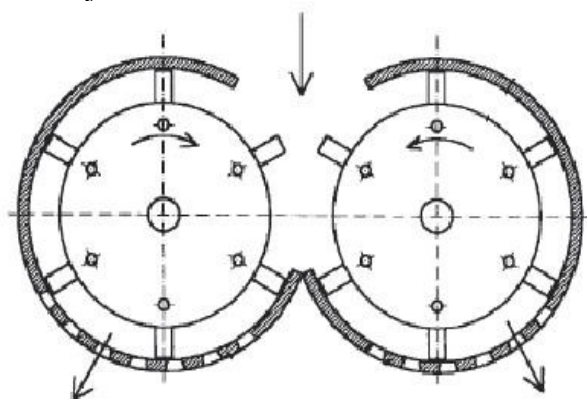


Obr. 7 Schéma linky termicko-expanzní hydrolyzy (NWT,a.s.) [9]

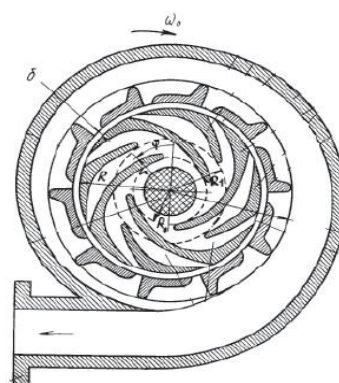
4. Macerátor

4.1 Principy

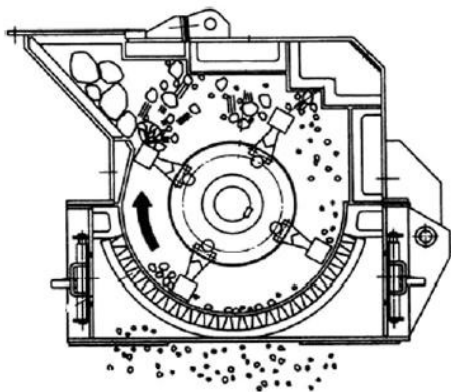
Macerátor je stroj k rozmělnění materiálu. Je to tedy rozrušování suroviny za mokra. Macerátory se používají v technologických linkách před čerpadly jako ochrana proti jejich ucpání, v lodních motorech, spalovnách odpadů apod. Rozmělnění suroviny lze dosáhnout mnoha různými mechanicko-fyzikálními principy [10]. Některé z nich uvádím na následujících obrázcích.



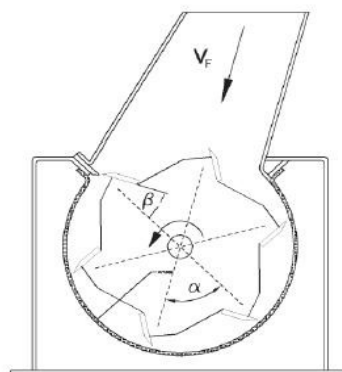
Obr. 8 Nožový drtič



Obr. 9 Kavitační macerátor



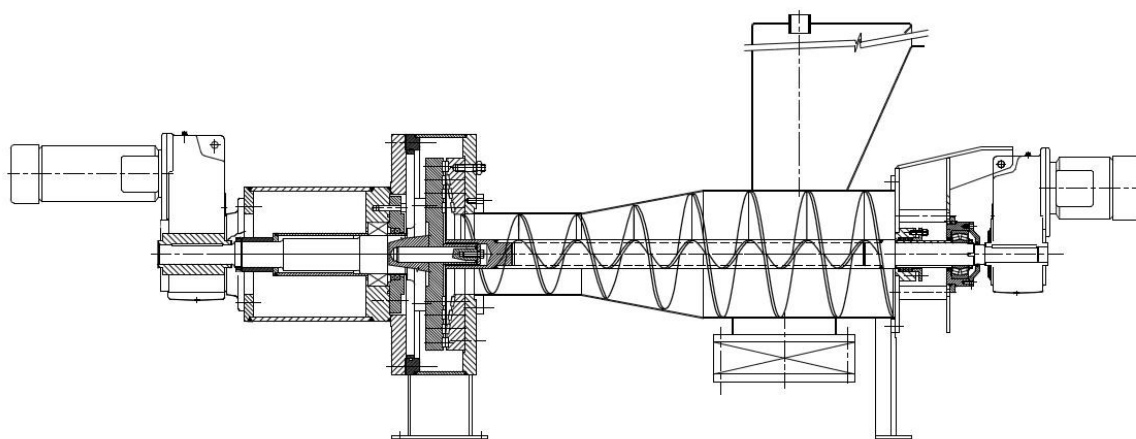
Obr. 10 Úderový drtič



Obr. 11 Nožový drtič

4.2 Původní konstrukce PROKOP

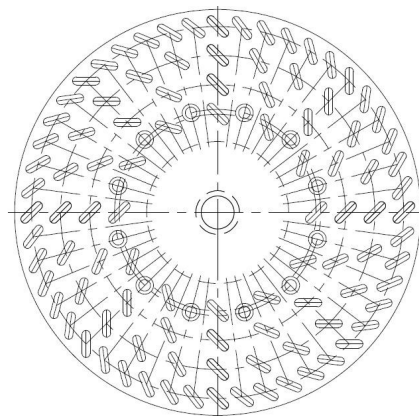
Ve společnosti Prokop Invest, a.s. Pardubice byl v roce 2011 vyvinut a vyroben macerátor PMCR 25 pro linku termicko-expanzní hydrolyzy bioplynové stanice v Pěčině u Nových Hradů. Tento stroj je založen na principu drcení mezi dvěma mlecími kotouči (obr. 14), přičemž biomasa je přiváděna do mlecí spáry šnekovým dopravníkem. Macerátor PMCR 25 poměrně dobře funguje pro zpracování kukuřičné siláže. Nevykazuje ale dobré výsledky při rozměňování slámy a dalších vláknitých materiálů, kdy se ucpává.



Obr. 12 Původní konstrukce PROKOP-PMCR 25



Obr. 13 PMCR 25



Obr. 14 PMCR 25 - mlecí deska

Z provozních zkušeností s tímto strojem vyplývá, že použití plátek ze slinutých karbidů je dobrou cestou k dosažení požadované míry opotřebení při rozměňování surovin s obsahem nečistot. Je však třeba hledat jiné vhodnější uspořádání mlecích segmentů.

4.3 Požadavky na novou konstrukci

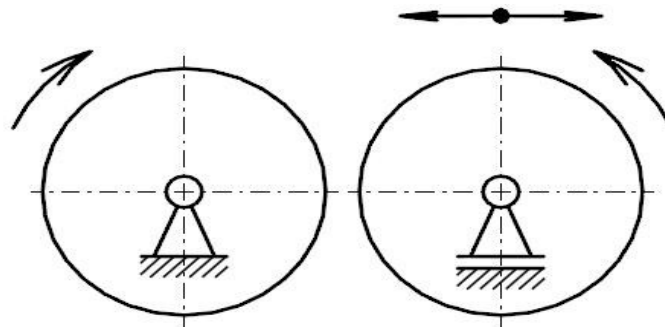
Nový typ macerátoru má splňovat několik požadavků daných jeho použitím v laboratoři Ústavu procesní a zpracovatelské techniky Fakulty strojní ČVUT v Praze. Zároveň by jeho konstrukce měla umožnit jeho odzkoušení pro další úpravy a následné použití v reálných provozech bioplynových stanic.

- *procesní požadavky:* umožnit rozměňování slámy, trávy, siláže a dalších podobných materiálů. Je nutné počítat s obsahem abrazivních částic – hlína, písek apod. Stroj by měl obsahovat i nakrápěcí systém.
- *technologické požadavky:* umožnit měření příkonu, regulaci otáček vyřešit použitím frekvenčního měniče.
- *konstrukční a výrobní požadavky:* většina dílců bude svařovaných, popř. šroubovaných. Silné plechy z oceli 11 373 dle ČSN, slabé a v místech přímého styku se surovinou z nerezavějící oceli 1.4301 dle DIN. Koncepti navrhnout tak, aby nebylo v případě dalšího vývoje náročné zvětšování měřítka a odhadnutí potřebných příkonů.

4.4 Návrhy nové koncepce

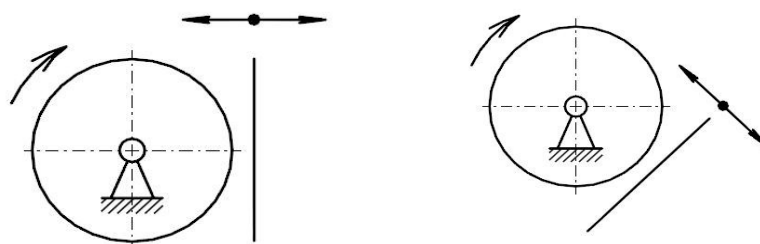
V prvé řadě bylo třeba vybrat některé z možných schémat mlecích segmentů:

- A) *Dvouválcové uspořádání* – tento systém má svůj vzor v mlecích válcových stolicích, které jsou používány ve mlýnech.



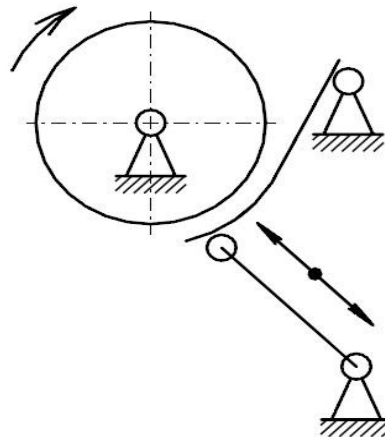
Obr.16 Dvouválcové uspořádání

- B) *Válec a rovná deska* – zde je snaha o snížení výrobních nákladů a zjednodušení stroje.



Obr. 17 Válec a rovná deska

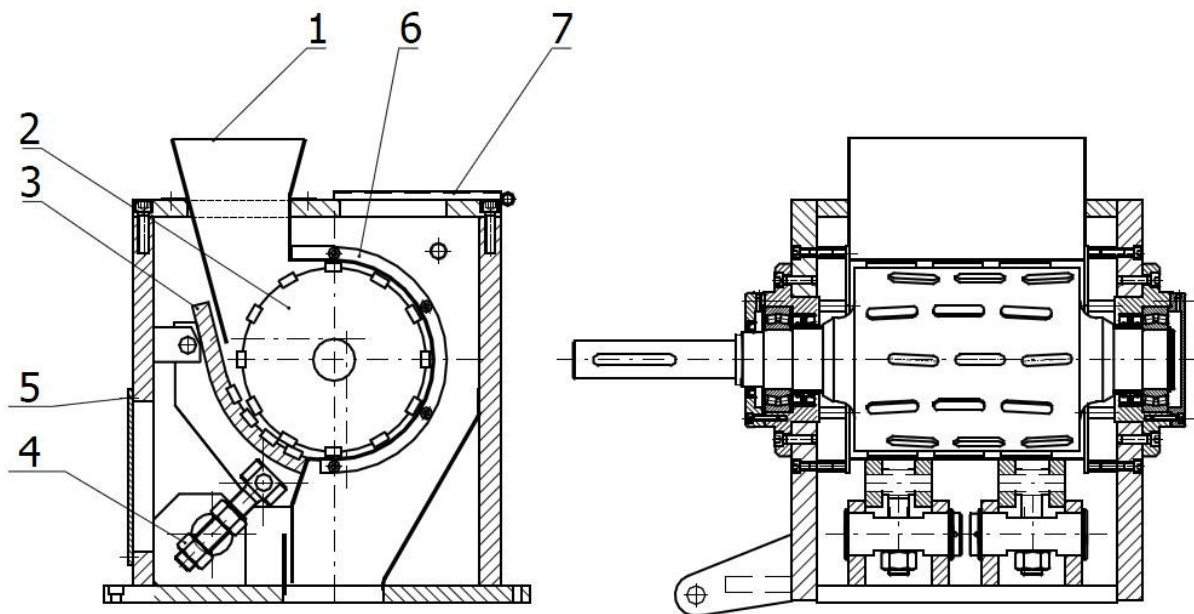
C) *Válec a zakřivená deska* – cílem této varianty je dosáhnout většího počtu mlecích dvojic při zachování výhod varianty B)



Obr. 18 *Válec a zakřivená deska*

4.5 Výběr finální varianty

Při zpracování finálního návrhu jsem vycházel z varianty C). Tuto variantu jsem zvolil kvůli její jednoduchosti oproti variantě A – odpadá potřeba druhého rotoru, převodů pro jeho pohon, atd. Naopak varianta B) je zcela jednoznačně díky rovinnému drhlíku nejlevnější, ale při mletí by vždy byla v akci pouze jedna dvojice břitů. Proto jsem zvolil koncepci zakřivené desky. Tento návrh je vidět na obr. 19.



Obr. 19 *Finální návrh macerátoru*

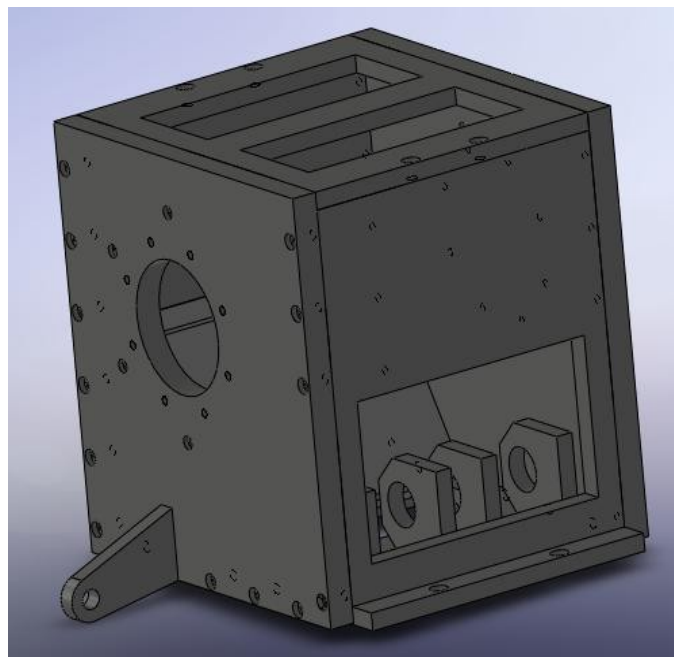
Surovina je přiváděna do macerátoru vpádem (1) z nerezového plechu. Otáčejícím rotorem (2) je vtahována do mlecí spáry mezi rotor a drhlík (3). Mlecí spára je nastavitelná stavěcím šroubem (4) se závitem s jemným stoupáním. Nastavuje se dvojicí matic přístupnou kontrolním víkem (5). Rozmělněná biomasa propadáva kalibračním sítem (6), popř. je vrácena zpět k dalšímu průchodu mlecí spárou. Pro optickou kontrolu je v horní části umístěno otevíratelné víko (7).

4.6 Konstrukční prvky

Celý stroj je sestaven z dílců, které jsou k sobě přišroubovány nebo případně přivařeny. Dílce jsou obráběny na konvenčních strojích. K této koncepci jsem přistoupil kvůli tomu, že se jedná o prototypový výrobek, takže je vhodné, aby bylo v případě potřeby možné jednoduše některé části vyměnit. To se týká např. kalibračního síta, které je snadno zaměnitelné za jiné s jinými průměry otvorů. Pokud by se v budoucnu přistoupilo ke konstrukci plně provozního stroje s výhledem výroby většího počtu kusů, bylo by vhodné některé prvky vyrábět jinou technologií (např. jako odlitky).

Skříň

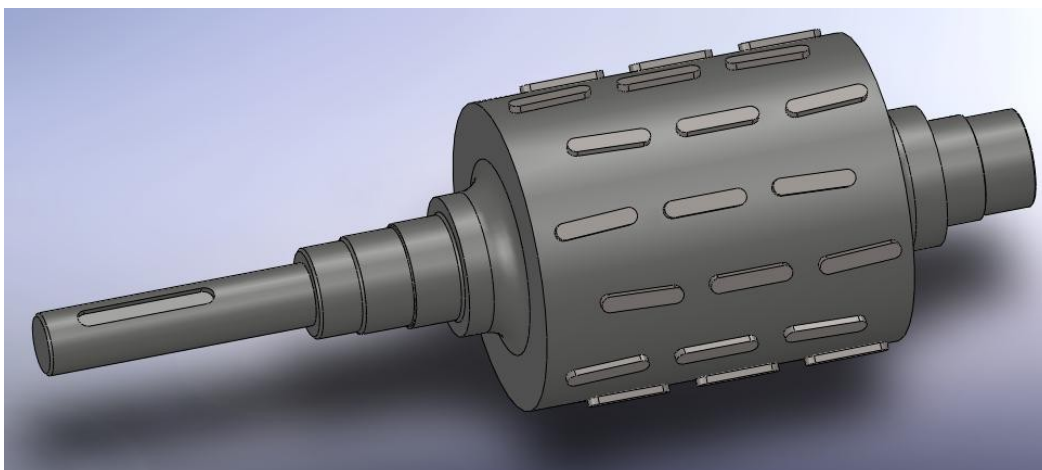
Základ skříně je složen z několika silných plechů. Tři základní desky jsou k sobě přivařeny, zbylé se k nim připojují pomocí šroubů. Na dílech ze silného plechu je použita ocel S235J2G3, krycí a usměrňovací plechy jsou z korozivzdorné oceli 1.4301 podle DIN. Při výrobě budou jednotlivé desky navrtány, popř. vyrobeny závity. Poté se přibodují obě bočnice ke spodní desce. K těm se přišroubuje horní deska. Následovat bude svaření koutových svarů bočnic a přivaření úchytů pro čepy drhlíku. Takto připravený základ skříně bude obroben na horizontální vyvrtávačce. Na zarovnané čelní plochy se přišroubují a zakolíkují čelní desky. Do těch se vyvrtají a vystruží otvory pro uložení rotoru.



Obr.20 Skříň macerátoru

Rotor

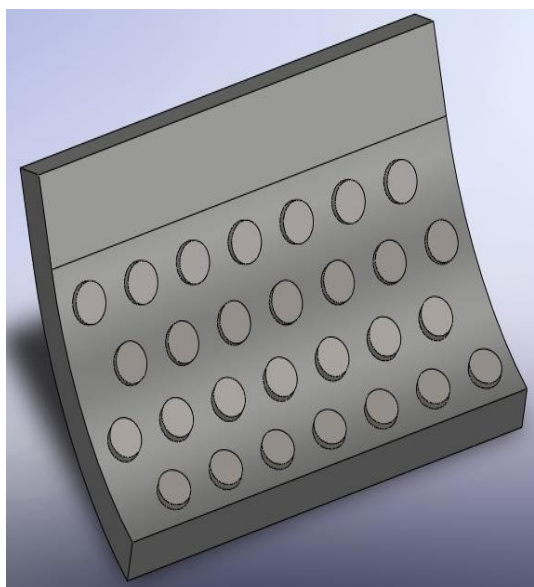
Základem rotoru je odstupňovaný hřídel vyrobený z konstrukční oceli 11 523 dle ČSN. Do obvodové plochy mlecí části jsou vyfrézovány drážky, do kterých jsou vsazeny a připájeny mlecí segmenty – destičky z SK plátek. Tyto plátky jsou umístěny v prostřední řadě rovnoběžně s osou otáčení. V krajních řadách jsou skloněny střídavě pod úhlem $\pm 3^\circ$. Střídavé sklony destiček mají zajistit axiální pohyb biomasy po kalibračním sítu a její promíchávání. Na místech styku s guferou jsou kvůli životnosti nalisovány trubičky z korozivzdorné oceli. Závěrečnou operací výroby rotoru je obroušení rotační plochy destiček na brusce pro broušení na kulato.



Obr.21 Rotor macerátoru

Drhlík

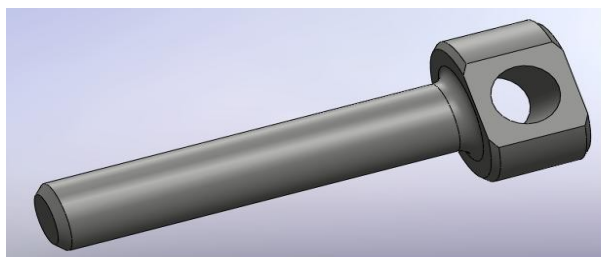
Deska z plechu tloušťky 20mm je podle šablony ohnuta. Následně jsou k ní přivařeny žebra. Takto vzniklý svařenec je obroben na vyvrtávačce – jsou vyvrtány a vystruženy otvory pro čepy. Do zakřivené desky jsou pak pomocí čelní frézy vyhloubeny díry, do kterých jsou připájeny destičky ze slinutých karbidů. Dokončovací operací je ruční obroušení zakřivené plochy destiček.



Obr.22 Drhlík

Stavěcí šroub

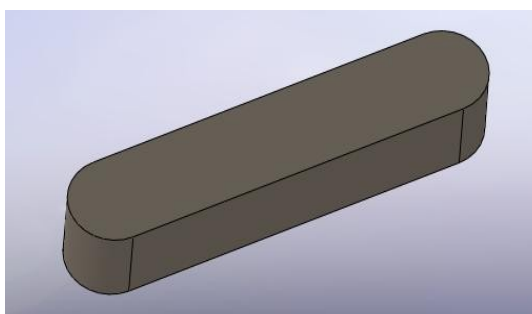
Je konstruován jako obrobek z konstrukční oceli. Závit jemné řady umožňuje přesné nastavení mlecí spáry. Použitým materiálem je ocel EN E295 (11500 podle ČSN). Šroub je navržen jako obrobek z jednoho kusu kruhové oceli.



Obr.23 Stavěcí šroub

SK plátky

Plátky jsou vyrobeny ze slinutých karbidů. Pro rotor mají tvar pera, na drhlíku jsou použity plátky kruhové. Dodavatelem je firma KHS TRADE, s.r.o.



Obr.24 SK plátek rotoru

Uložení

Rotor je uložen na páru dvouřadých soudečkových ložisek 22214, těsnění je provedeno dvojicí hřídelových těsnících kroužků. Ložiska a gufera jsou uloženy v domech, které jsou přišroubovány ke skříni. Každý domek je opatřen víkem pro snadnější kontrolu a výměnu ložisek, resp. gufer. Ložiska jsou mazány plastickým mazivem, které je do ložiskového prostoru přiváděno přes mazací hlavice. Kvůli lepšímu vyplnění prostoru mazivem jsou na protější straně vyvrtány odlehčovací otvory. Gufera jsou na každé straně použita v páru – jedno pro těsnění plastického maziva, druhé vody a biomasy. Kvůli vysoce korozivnímu prostředí jsou opatřeny pružinou z korozivzdorné oceli. Ze strany vnitřního prostoru, ve kterém je voda a zpracovávaná biomasa, jsou gufera chráněna osazením s malou vůlí okolo rotoru.

Nakrápěcí systém

V pravé čelní desce desce je vyroben trubkový závit, do kterého bude zašroubována armatura pro přívod vody. Uvnitř stroje bude vyhotoven rozvod z PE trubek. Místa nástřiku a tvary trysek budou řešeny po úvodních testech s manuálním nastavením pomocí hadice. Pro uchycení stabilního rozvodného systému jsou na čelních deskách vyrobeny závitové díry.

Pohon

Dodavatelem je společnost NORD. Jedná se o plochou převodovku SK 4282 s elektromotorem. Příkon je 5,5 kW. Otáčky budou regulovány frekvenčním měničem.



Obr.25 Převodkový motor NORD SK 4282[10]

4.7 Výpočty

Při konstrukci byly provedeny návrhové výpočty pro součásti:

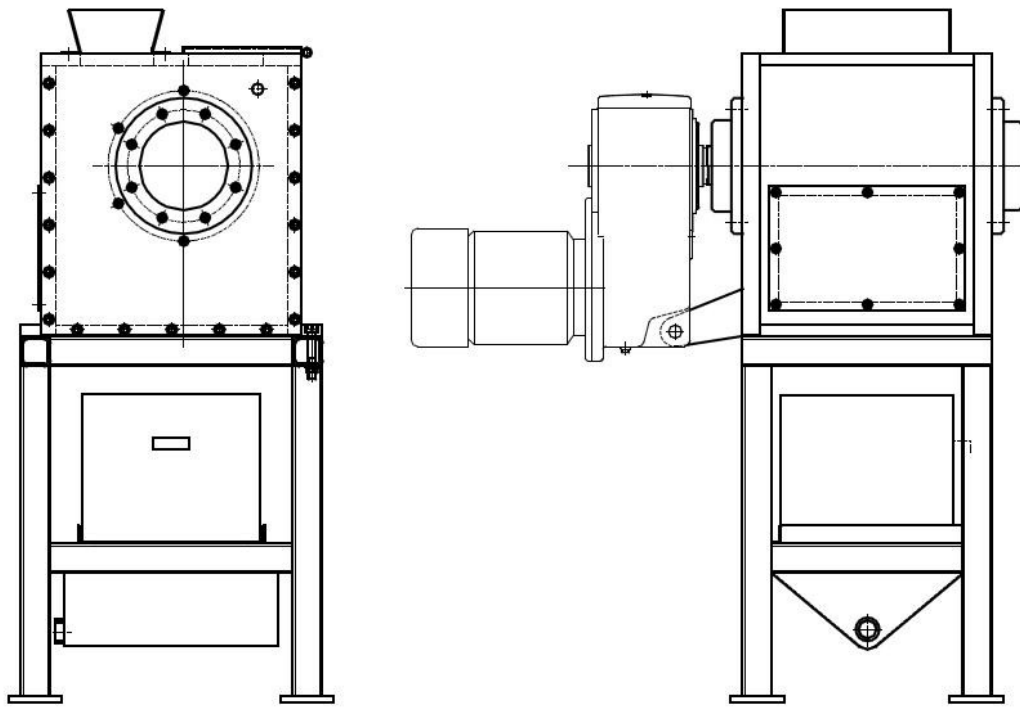
- Rotor
- Šroub stavěcí
- SK plátek
- Ložisko

Dále bude provedena pevnostní analýza a optimalizace rozměrů rotoru s ohledem na další vývoj.

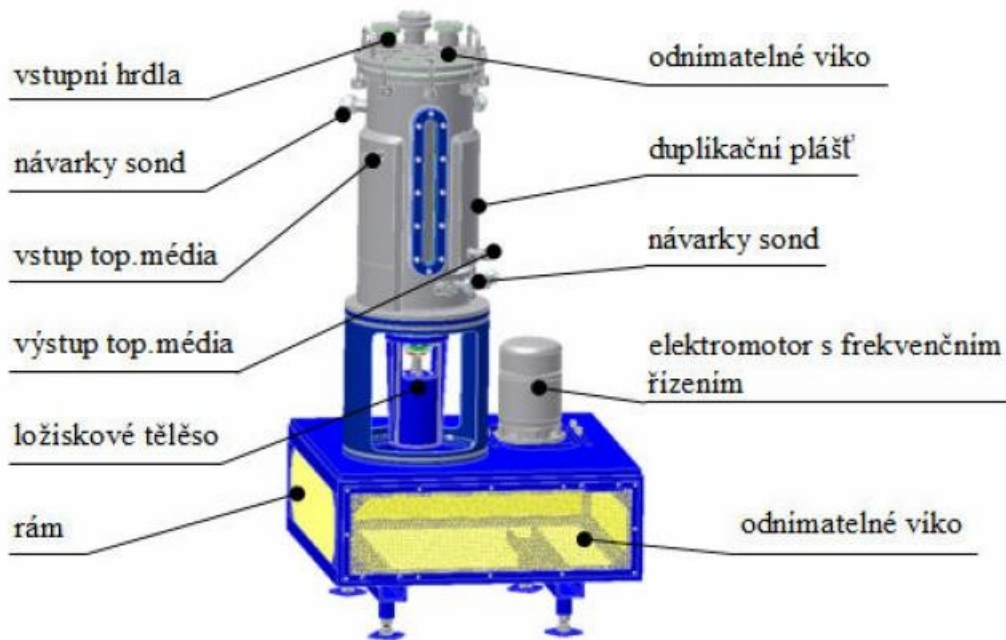
4.8 Umístění a použití nového macerátoru

Tento stroj bude po vyrobení a oživení umístěn v halové laboratoři Ústavu procesní a zpracovatelské techniky Fakulty strojní ČVUT v Praze. Pro tento účel bude opatřen stojanem se sběrnou vanou a odtokovým žlabem. Již dnes je totiž toto pracoviště vybaveno laboratorním fermentorem (obr. 26) a zařízením pro termicko-expanzní hydrolýzu (obr. 27). Po doplnění macerátorem tak bude možnost komplexního výzkumu předúpravy surovin pro bioplynové stanice. Macerátor bude pro potřeby výzkumu vybaven frekvenčním měničem a měřením příkonu elektromotoru. Při výzkumu budou zjišťovány pro jednotlivé druhy biomasy následující parametry:

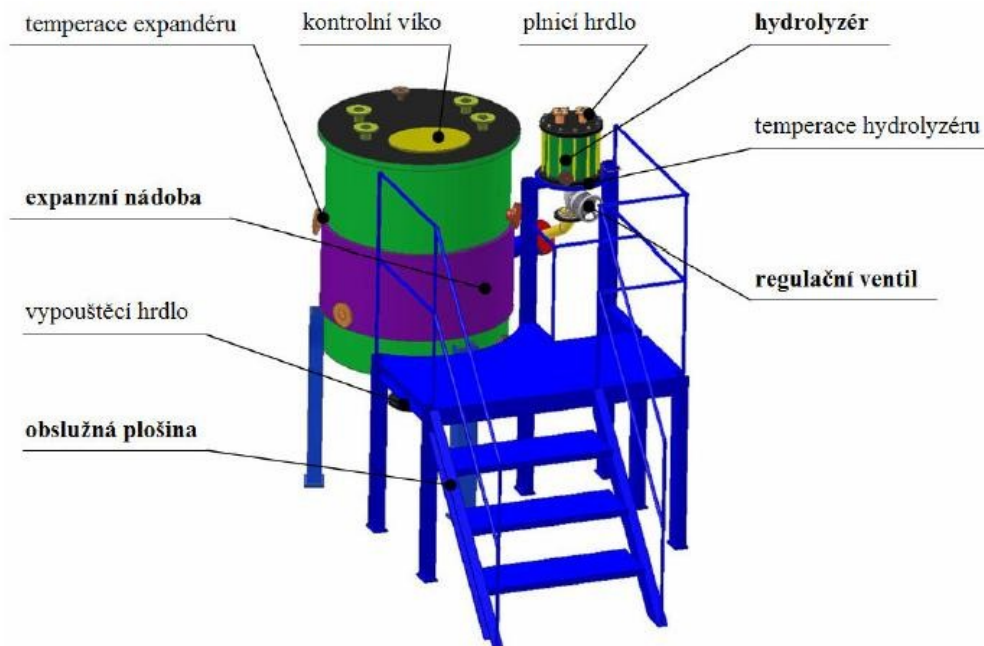
- velikost a početní rozložení částic biomasy v závislosti na velikosti mlecí spáry
- hodnoty příkonu v závislosti na otáčkách a stupni rozmělnění biomasy
- ideální tvar a velikost otvorů v kalibračním sítu z hlediska výkonnosti stroje
- umístění nástřiku vody a optimalizace její spotřeby v závislosti na rozmělnění biomasy



Obr.25 Macerátor s doplňky pro umístění v laboratoři



Obr.26 Fermentor [8]



Obr.27 Hydrolyzér [8]

5. Závěr

Na základě návštěvy reálných provozů bioplynových stanic (BPS Ostřetín a BPS Pěčín), zjištěných informací z literatury a konzultací s pracovníky z praxe byl navržen nový typ macerátoru, který by měl umožnit další výzkum předúpravy biomasy pro bioplynové stanice. Macerátor je dnes ve fázi výroby ve firmě Prokop Invest, a.s. Pardubice a po jejím dokončení bude umístěn v halové laboratoři Ústavu procesní a zpracovatelské techniky na fakultě strojní ČVUT v Praze. Po odladění a ověření funkce je předpoklad následného vývoje a výroby plně provozního macerátoru, který bude postaven na této bázi, a který už bude určen pro skutečné bioplynové stanice.

Seznam použité literatury

- [1] *Propagační materiály*, Prokop Invest, a.s.
- [2] *Internetové stránky ČEZ, a.s*
dostupné z [www: www.cez.cz/cs/pro-media/cisla-a-statistiky/energetika-v-cr.html](http://www.cez.cz/cs/pro-media/cisla-a-statistiky/energetika-v-cr.html)
- [3] *internetová prezentace alternativní zdroje.cz*
dostupné z [www: http://www.alternativni-zdroje.cz/jaderne-elektrarny.htm](http://www.alternativni-zdroje.cz/jaderne-elektrarny.htm)
- [4] Výroční zpráva Energetického regulačního úřadu, dostupné z [www: http://www.eru.cz/user_data/files/statistika_elektro/rocní_zprava/2009/energie/25.htm](http://www.eru.cz/user_data/files/statistika_elektro/rocní_zprava/2009/energie/25.htm)
- [5] ŠEBOR, POSPÍŠIL, ŽÁKOVEC: Technicko – ekonomická analýza vhodných alternativních paliv v dopravě, VŠCHT Praha, 2006
- [6] ČERMÁKOVÁ, Jiřina, TENKRÁT, Daniel: Efektivní zhodnocení bioplynu, Biom.cz [online]. 2011-08-22 [cit. 2012-03-14]. Dostupné z [www: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/efektivni-zhodnoceni-bioplynu>](http://biom.cz/cz/odborne-clanky/efektivni-zhodnoceni-bioplynu). ISSN: 1801-2655.
- [7] STRAKA, F., ET AL. Bioplyn. Praha: GAS s.r.o., 2006. 706 s.
- [8] KRÁTKÝ: Laboratorní zařízení pro výrobu biopaliv, Sborník konference studentské tvůrčí činnosti STČ 2010. ČVUT v Praze, 2010. 16 s.
- [9] prezentační materiály NWT, a.s. Hulín.
- [10] KRÁTKÝ, JIROUT: Biomass Size Reduction Machines for Enhancing Biogas Production, Chemical engineering and technology, December 2010