



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV PROCESNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF PROCESS ENGINEERING

KONOPI JAKO ALTERNATIVNÍ PALIVO

HEMP AS AN ALTERNATIVE FUEL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Petra Jaworská

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Igor Hudák

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav procesního inženýrství
Studentka:	Petra Jaworská
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	Ing. Igor Hudák
Akademický rok:	2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Konopí jako alternativní palivo

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Dlouhodobý trend spotřeby fosilních paliv pro vytápění je neudržitelný a na lidstvo neustále jsou kladeny stále větší nároky ve smyslu úspory energií a dlouhodobému snižování emisí (NO_x, CO₂, atd.). Jednou z možností jak odvrátit současný trend je zaměřit se na plodiny ekologického zemědělství, ze kterých je možné získat plynná nebo kapalná biopaliva. Jednou z netradičních plodin, která může sloužit jako zdroj paliva, nebo může být dále využita např. ve stavebnictví, je konopí.

Cílem práce je zpracovat rešerši na téma produkce a zpracování technického konopí s důrazem na získávání paliva. Úkolem studenta je porovnat paliva získaná z konopí na základě jejich specifických vlastností (výhřevnost, spalné teplo, hustota atd.) a dále pak srovnat konopná paliva s relevantním vzorkem jiných standardizovaných paliv. Součástí práce je také analýza současné dotační politiky různých zemí světa a zhodnocení udržitelnosti využití tohoto typu paliv.

Cíle bakalářské práce:

- 1) Rešeršní práce v oblasti produkce a zpracování technického konopí.
- 2) Analýza složení paliva podle dle jednotlivých odrůd konopí, porovnání výhřevností jednotlivých paliv.
- 3) Porovnání vlastností paliva z konopí se standardizovanými palivy (např. MEŘO, LTO, atd.).
- 4) Zpracovat přehled dotačních podmínek pro tento typ paliva v různých zemích.
- 5) Zhodnocení udržitelnosti do budoucna (např. dle finančních nákladů).

Seznam doporučené literatury:

KARAK, Niranjana. Vegetable Oil-Based Polymers: Properties, Processing and Applications. 1 edition. Cambridge, UK; Philadelphia: Woodhead Publishing, 2012. ISBN 978-0-85709-710-1.

MCKEON, Thomas A. Chapter 11 - Emerging Industrial Oil Crops. In: Industrial Oil Crops [online]. B.m.: AOCS Press, 2016 [vid. 2016-září-29], s. 275–341. ISBN 978-1-893997-98-1. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781893997981000117>

THAKUR, Vijay Kumar a Amar Sing SINGHA, ed. Biomass-Based Biocomposites. B.m.: Smithers Rapra Technology, 2013. ISBN 978-1-84735-981-0.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Petr Stehlík, CSc., dr. h. c.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

Abstrakt

Bakalářská práce pojednává formou literární rešerše o možnostech využití rostliny konopí jako energetické plodiny a jejím vývoji a udržitelnosti v budoucnu. V České republice je produkce konopných biopaliv teprve v počátcích, ale s přibývajícím zájmem o alternativní zdroje energie se předpokládá jejich rozvoj. Konopná biomasa a její pozitivní vlastnosti při výrobě biopaliv platí pro kapalné, plynné i tuhé formy. V zastoupení kapalných paliv konopí představuje nový alternativní zdroj bionafty, kterou lze využívat v klasických naftových motorech.

Briketování konopného pazdeří se velice rozmohlo i na našem území. Brikety vykazují skvělé vlastnosti při spalování v porovnání s jinými zdroji. Vysoká výhřevnost, nízká pořizovací cena a šetrnost k životnímu prostředí dává inspiraci vzniku novým pěstitelským oblastem.

Druhou nejvíce využívanou formou paliva, hned po briketování je palivo plynné. Bioplyn vzniká v klasických biofermentorech, zpracovávající konopnou biomasu často s příměsí kejdy. Vlastnosti bioplynu jsou také velice uspokojivé. Vzhledem k velkému počtu bioplynových stanic v ČR má rozvoj výroby konopného bioplynu značný potenciál.

Díky velké produkci biomasy konopí během roku se stává tato plodina i přes finančně náročnější zpracování, jednou z nejvýhodnějších alternativních surovin pro výrobu biopaliv.

Abstract

Bachelor thesis as literary research deals with possibilities of using hemp as an energy crop and its development and sustainability in the future. Production of hemp bio-fuels in Czech Republic is in the beginning but increasing interest in alternative energy sources presumes development in this branch. Producing bio-fuels made of hemp biomass brings many positive benefits in liquid, gas or solid states. Liquid biodiesel made of hemp presents alternative source of energy that can be used in common diesel engines.

Hemp hurds briquettes are the most used hemp fuel in our country. Hemp briquettes has perfect properties in comparison to other sources. High heat of combustion, low purchase price and environmental friendliness gives motivation to create new growing branches.

Second most common use is biogas fuel. Biogas is produced in usual biofermenter using hemp biomass often with admixture of slurry. Hemp biogas properties are also very satisfactory. In Czech Republic is huge potential in development and production of hemp biogas due to large number of biogas plants.

Despite financially demanding processing of the hemp biomass the amount of biomass grow during one year makes this plant one of the most profitable alternative source for production of bio-fuels.

Klíčová slova

Konopí seté, Technické konopí, Biomasa, Biopaliva, Alternativní paliva.

Keywords

Cannabis sativa, Industrial hemp, Biomass, Biofuels, Alternative fuels.

Bibliografická citace

JAWORSKÁ, P. *Konopí jako alternativní palivo*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 48 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Igor Hudák.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně s použitím odborné literatury, a veškeré literární a obrazové prameny správně a úplně citovala.

V Brně dne

.....

Petra Jaworská

Poděkování

Především bych chtěla poděkovat panu Ing. Igorovi Hudákovi za cenné rady, odborné vedení a čas který mi věnoval při zpracování mé bakalářské práce. Dále bych ráda poděkovala své rodině a přátelům, za podporu během studia.

Obsah

Úvod.....	10
1 Konopí.....	11
1.1 Konopí seté (Cannabis Sativa)	11
1.2 Pěstování.....	12
1.2.1 Časový plán pěstování.....	12
1.3 Pěstování v České republice	12
1.4 Zpracování	13
1.4.1 Sklizeň.....	14
1.4.2 Sečení	14
1.4.3 Rosení a namáčení stonků.....	14
1.4.4 Oddělení vlákna od semen	14
1.4.5 Uložení	14
2 Biomasa.....	15
2.1 Rozdělení biomasy podle vlastností	15
2.2 Rozdělení biomasy z energetického hlediska.....	15
2.3 Konopná biomasa	16
2.4 Technologie zpracování.....	17
2.5 Charakteristické vlastnosti biomasy pro spalování	18
2.5.1 Vlhkost	18
2.5.2 Spalné teplo a výhřevnost	18
2.5.3 Těkavé látky	20
2.5.4 Popel.....	20
3 Biopaliva	21
3.1 Pevná biopaliva.....	21
3.2 Kapalná biopaliva	22
3.2.1 Rostlinný olej	23
3.2.2 Konopný olej.....	23
3.2.3 Bionafta	24
3.3 Plynná biopaliva	27
4 Finanční náročnost	33

5	Vývoj.....	34
5.1	Konopná biomasa v České republice.....	35
	Závěr.....	36
	Seznam použité literatury.....	38
	Seznam obrázků.....	42
	Seznam tabulek.....	43
	Seznam symbolů.....	44
	Seznam zkratk.....	45
	Chemické sloučeniny.....	46
	Seznam příloh.....	47
	Příloha A.....	48

Úvod

V současnosti je naše přírodní prostředí zatěžováno nadměrnou tvorbou škodlivých látek, vznikajících při stále vyšší produkci v důsledku populační exploze. Zároveň schopnost naší planety se s touto situací přirozeně vypořádat, je neustále snižována kácením tropických pralesů, které pohlcují škodlivé plyny, především CO₂. Proto je snahou o nápravu vývoj technologií umožňující spalování obnovitelných zdrojů, které nezpůsobují ve výsledku tak velké znečištění CO₂. Při spalování rostlinné biomasy je samozřejmostí vznik skleníkových plynů, stejně jako u všech ostatních spalovacích procesů, využívajících zejména fosilní paliva. Jsou zde ale dva zásadní rozdíly. Biomasa nepřispívá ke globálním teplotním změnám a je obnovitelným zdrojem energie. Rostliny v průběhu svého růstu většinou pohltnou oxid uhličitý z atmosféry ve stejném množství jaký vyprodukují při svém spalování. Konopí je však ještě efektivnější, neboť během svého růstu pohltnou až dvakrát více oxidu uhličitého než je uvolněno do ovzduší při jeho spalování. Proto technické konopí představuje světové řešení v boji proti klimatickým hrozbám. Je tedy výhodné jej v průmyslu co nejvíce rozšířit. Konopná biomasa je ekonomicky dobře využitelná v zemích s nedostatkem energetických zdrojů a chudých oblastech, a to především v zemích třetího světa.

Motivace k zpracování této rešerše je vytvořit přehled již existující ale i zatím nerozšířené produkce a zpracování technického konopí pro lepší pochopení tématu a lepší orientaci na současném trhu. Zároveň chci seznámit technickou veřejnost s velkým potenciálem této rostliny, aby se mohli zaměřit na rychlejší rozvoj technologií spojených s využitím konopí a přinést tak finančně dostupnou alternativu k ekologickému získávání energií, jak pro průmysl, tak pro běžnou lidskou činnost.

1 Konopí

Konopí je jednoletou, původně dvoudomou bylinou, z čeledi konopovité (Cannabaceae), pocházející ze Střední Asie. Má kulovitý kořen rostoucí do hloubky 0,3–0,4 m a dorůstá výšky 0,8 až 4 m. Pěstováním a šlechtěním se rozšířilo do celého světa, kde v celkovém součtu můžeme charakterizovat až 11 druhů této rostliny. Mezi nejznámější dva druhy konopí, které je nutné rozlišit, řadíme Konopí indické, známé pro své halucinogenní účinky a často zaměňované Konopí seté, jenž bylo vyšlechtěno pro technické účely v polovině 80. let 20. století. Konopí seté, nazývané také konopí technické, vykazuje minimální obsah omamné látky THC, a to obvykle pod 0,2 % (v sušině). Množství účinných látek je ale variabilní a dále se odvíjí od odrůdy, podmínek, lokality růstu, apod. [1, 2, 3]

1.1 Konopí seté (Cannabis Sativa)

Vlastnosti rostliny se liší od každé její části. Zelená čerstvá konopná vlákna se skládají z celulózy (55 %), hemicelulózy (16 %), pektinových látek z (18 %) a ligninu (4 %). Stonek může být rozdělen do dvou částí, a to na lýková vlákna (35 %) a dřevité jádro, neboli pazdeří (65 %). Lýková vlákna konopí obsahují vyšší množství celulózy (57–77 %) ve srovnání s jinými zemědělskými plodinami jako jsou kukuřičná píce a pšeničná sláma. Nicméně pazdeří obsahuje méně celulózy (40–48 %) a vyšší množství ligninu (21–24 %) v porovnání s lýkovými vlákny. Střední a dolní část rostliny má vyšší množství celulózy, zato na horní části stonku je větší koncentrace hemicelulózy. Koncentrace hemicelulózy zcela závisí na době sklizně konopné biomasy. Důsledkem velmi brzké sklizně nedozrálé rostliny je vyšší obsah hemicelulózy ve stonku. Na Obr. 1 je možné vidět jednotlivé části rostliny. [2]



Obr. 1: Cannabis Sativa L.[3]

1.2 Pěstování

Konopí roste prakticky ve všech klimatických podmínkách až do nadmořské výšky 5000 m.n.m. v Himalájích a k polárnímu kruhu v Rusku, ovšem s adekvátně nižšími výnosy. Daří se jí především v hlinitých a hlinitopíščitých půdách a výhodu v pěstování mají také teplejší oblasti. Za neúrodné půdy mohou být považovány převážně půdy mělké a kamenité, trvale zamokřené či vysušené.

V ohledu na pěstování je tato konopná plodina nenáročná, především, jeli pěstována ve velkém objemu, za účelem průmyslového zpracování. Rychle se přizpůsobuje novým podmínkám a dokonce zúrodnuje a čistí zemědělskou půdu. Lze ji pěstovat na půdách vyčleněných z výroby potravin, má-li být ale dosaženo příznivého ekonomického efektu, půdy nemohou být příliš chudé. Konopí vyžaduje poměrně vysoké množství vláhy a živin. Sklizeň rostlin z jednoho hektaru s výnosem deseti tun stonků a devíti tun semene odčerpá z půdy asi 123 kg K, 114 kg N, 245 Ca a 86 kg P. Pokud není půda dostatečně vyhnojena statkovými a minerálními hnojivy nebo jinak zásobena humusem, musí se přihnojovat dalšími organickými hnojivy. Velmi významné je hnojení dusíkem, které má velice příznivý vliv na výnos fytohmoty. Hnojení 60 kg dusíku na hektar navýší výnosy o 15%, množství 120 kg/ha dusíku až o 25%. Efektivně se může pěstovat i v České republice po organicky hnojených předplodinách, případně i víckrát po sobě, a to v nadmořských výškách od 450 do 500 metrů. V příznivých podmínkách tato rostlina dosahuje výnosů až 15 t suché hmoty na hektar.

Konopí je odolné vůči mnoha chorobám a škůdcům. Není potřebná žádná chemická ochrana, tím jsou sníženy finanční náklady a časová náročnost při pěstování této plodiny. Zároveň dochází menšímu chemickému znečištění půdy. [4–6]

1.2.1 Časový plán pěstování

Důkladná příprava půdy a dobré načasování setí je velice důležité pro rychlý a kvalitní růst rostlin. Pokud tomu tak není, velikost ztrát může činit až 60 % zasetých semen. Začíná se orbou na podzim, u technického konopí zpravidla do hloubky 25 – 30 cm. Rostlina je sice mrazuvzdorná do – 4 °C, ale výsev se doporučuje provádět při teplotách 10 – 12 °C, což připadá obvykle na období od poloviny dubna do začátku května. V počátcích konopí roste velice rychle, rostlina má brzy listy a při jejím hustším výsevu potlačuje plevel.

Pokud je rostlina pěstována na vlákno, její vegetační doba je v rozmezí od 90 do 120 dní při šířce řádků 10 až 20 cm. Sklizeň na vlákno začíná již v polovině srpna. Vegetační doba při pěstování na semeno je od 120 do 150 dní, při šířce řádku kolem 60 cm. [1, 2, 8, 9]

1.3 Pěstování v České republice

Konopí není na území České republiky původním druhem, pochází z Ukrajiny. Jeho pěstování bylo u nás velmi populární až do 30. let 20. století. Pěstovalo se především pro získání semene a pevného vlákna. Půdy s konopím zabíraly větší plochu, než je tomu dnes. V roce 1921 plochy čítaly přes 12 tisíc hektarů, bohužel toto číslo se s přibývajícím časem zmenšovalo až na dnešních několik set hektarů. Došlo k tomu následkem prosazení zákona zakazujícího pěstování konopí v USA v roce 1937. Posléze tento zákon začaly prosazovat i další země, mezi které patřila i Česká republika. Pěstování konopí na vlákno a semeno bylo v bývalém Československu velice rozšířené. Půdy s konopím zabíraly ale větší plochu, než je tomu dnes. V roce 1921 plochy čítaly přes 12 tisíc hektarů, bohužel toto číslo se s přibývajícím časem zmenšovalo až na dnešních

několik set hektarů rozprostírajících se na českém území. V posledních letech (cca od roku 2001) nastává opětovný rozvoj pěstování konopí v u nás s cílem využití konopné biomasy pro energetické i jiné účely.

Až do roku 2003 neexistovala v České republice tírna na zpracování konopí, a to i přesto, že v okolních evropských státech bylo toto průmyslové odvětví již na vysoké úrovni. Velkou překážkou bylo především vyjednávání s Evropskou Unií s úmyslem získání dotací. Následně se v r. 2003 zprovoznila nová tírna LENKA Kácov a s ní začala narůstat i konopná produkce v ČR. Naneštěstí byla její činnost roku 2008 ukončena. Lze říci, že produkce technického konopí v dnešních letech není v České republice nijak velká.

Výnosy odrůd, pěstovaných v České Republice, se pohybují mezi 5 až 13 t suché hmoty na hektar. Číselně představují tyto hodnoty: vlákna 0,5 – 1,2 t/ha, pazdeří 1,5 – 4,0 t/ha a semena 0,8 – 1,4 t/ha. [6, 7]

V ČR byly od roku 1999 povoleny dva základní druhy konopí. Jednalo se o odrůdu JUSO 11 a BENIKO B. Obě odrůdy jsou charakteristické menším obsahem psychoaktivních látek než povoluje česká norma, tj. méně než 0,3 %. Jejich výnosy suché hmoty představují 8,5 až 12 t/ha. Využitelné vlákno ve stoncích čítá 2,1 až 3 tuny na hektar. Ve srovnání se lnem je zisk kvalitního vlákna na 1 hektar až třikrát větší. Se vstupem České republiky do Evropské Unie se mohou na české území dovážet a vysévat nově vyšlechtěné rostliny zařazené do seznamu povolených odrůd splňující normy EU. Aktuálně je ve Státní odrůdové knize zapsána pouze odrůda BENIKO B. [8, 9]

Odrůda JUSO 11

Je konopí původem z Ukrajiny vyznačující se vysokým výnosem a odolností. Stonek dorůstá délky 2,5 m, za lepších podmínek a v závislosti na vyhnojené půdě a dostatečných srážkách až 3,0 – 3,5 m. Výnosy sušiny celé rostliny čítají 8 až 16 t/ha. [8]

Odrůda BENIKO B

Rostlina polského původu vyšlechtěná z rostlin blízkých ukrajinským odrůdám. Odrůda BENIKO B byla vyšlechtěná na nízký obsah THC látek stejně jako odrůda JUSO 11. Průměrná délka stonku je 2,5 až 3 m. [8]

1.4 Zpracování

Efektivní zpracování konopí ve velkém měřítku je poměrně nová záležitost. Existuje několik typů strojů pro sečení a zároveň různé postupy pro následné zpracování. Metody zpracování jsou v neustálém vývoji a firmy se stále snaží přijít s novou myšlenkou finanční a energetické úspornosti při zpracování této rostliny. [2]

1.4.1 Sklizeň

Doba sklizeň závisí především na tom, pro jaké využití bude fytomasa sklizena. Obecně platí, že pozdní sklizeň je nejvýznamnější pro získání biomasy o vysoké kvalitě na výrobu biopaliv. Bylo zjištěno, že měsíce září - říjen jsou optimální pro sklizeň konopí, které má být použito za účelem výroby bioplynu. Podzimní sklizeň s průměrným výnosem biomasy 15,87 t/ha a 296 GJ/ha, je ale nevhodná pro přímé spalování, z důvodu vyššího procenta vody obsažené v rostlinách. Pro přímé spalování, či využití biomasy pro výrobu tuhých paliv, jsou optimální měsíce sklizeň březen – duben. Průměrný výnos konopné biomasy v měsících březen – duben je 10,91 t/ha a 246 GJ/ha. [2]

1.4.2 Sečení

K sečení je potřebná speciální technika. Stroje musí být navrženy tak, aby odolávaly náporu dlouhých a pevných stonků konopí, které se mohou na žací stroj namotat a jejich uvolnění je velice pracné. Existují různé typy strojů, dle potřeb zemědělců a velikosti polí (stroje s pracovní šířkou 1,1 m, ale i 2,1 m a s denní kapacitou 2,5 ha). Konopí se seče ve výšce deseti centimetrů nad zemí. Nižší kosení způsobuje snížení kvality vlákna, což přispívá ke ztrátám výnosu až 40 kg/ha. [10]

1.4.3 Rosení a namáčení stonků

V konopném stonku se kromě kůry, lýkových vláken a pazdeří nachází i organický lep, který tyto součásti spojuje. Oddělení těchto částí je bez jakéhokoliv narušení velmi náročné a na vláknech i přesto zůstávají zbytky pazdeří, tím je jejich kvalita pro další použití dosti nízká. Základním způsobem oddělení stonku od pazdeří před tírenským zpracováním jsou metody rosení na řádku nebo namáčení v nádržích, které spočívají v infikování rostlin mikroskopickými houbami z vody, či půdy. Tyto mikroorganismy urychlují následné uvolnění vláken.

Firmy se nebrání novým postupům a snaží se přijít na co nejlepší a nejméně náročný způsob zpracování. Jenom málo firem je schopno zpracovávat stonek mechanicky, aniž by předtím muselo dojít k rosení, či máčení. Konopí je po jednom týdnu velmi dobře usušené a připravené ke sbalíkování a svozu do tíren. [11]

1.4.4 Oddělení vlákna od semen

Opožděný sběr konopí může způsobit nadměrné odsypávání semen, která by mohla být využita za dalšími účely. Před uskladněním konopí je ale potřeba rostliny semen zbavit.

Za slunečného počasí se konopí odzrňuje přímo na polích nebo bezprostředně po svozu v tírnách, s kapacitou 1,2–1,5 t slámy za hodinu. V průběhu oddělování semen od stonku dochází zároveň i k odstranění listů. [12]

1.4.5 Uložení

Konopí oproti ostatním obilovinám není potřeba dosoušet, jelikož technologie zpracování zahrnuje i přirozené dosoušení rostlin na plántáčích.

Po zkosení v plné zralosti květeny a po rosení jsou rostliny po 1–2 dnech posbírány, svázané a poskládány do kuželovitých snopů, kde se nechají dosušit v průběhu následujících 10–15 dní, až do doby, kdy jejich maximální vlhkost čítá 16 %. V teplých oblastech se konopí ponechává k sušení na polích, a v deštivých oblastech se preferuje jako uskladnění silážování. Po dosoušení se rostliny sváží do stodol nebo se uloží na hromadu. [2, 10, 13]

2 Biomasa

Biomasa je organického původu, konkrétně se skládá z těl organizmů rostlin, živočichů, bakterií, hub a sinic. Tato hmota vzniká především na základě dopadající sluneční energie. Proto je biomasa velice vhodným zdrojem pro energetické využití. Zjednodušeně lze říci, že energie získaná skrze biomasu je druhotný produkt dopadajícího slunečního záření na naši Zemi. Největší význam při využití biomasy jako zdroj energie mají celulóza, pryskyřice, škrob, lignin a olej. Využitelnou biomasu lze dělit do následujících kategorií.

2.1 Rozdělení biomasy podle vlastností

- Suchá biomasa – suchou biomasu lze snadno spalovat přímo. Jedná se především o slámu, dřevo a dřevní odpady.
- Mokrý biomasa – představuje tekuté odpady a nelze ji spalovat přímo. Využívá se především pro výrobu bioplynu.
- Speciální biomasa – zpracovává se za cílem výroby bionafty a lihu.

2.2 Rozdělení biomasy z energetického hlediska

Odpadní biomasa

Představuje biomasu získanou především ze zemědělské prvovýroby, odpadů rostlinného zpracovatelského průmyslu a exkrementů hospodářských zvířat. Odpadní biomasu řadíme do čtyř základních skupin:

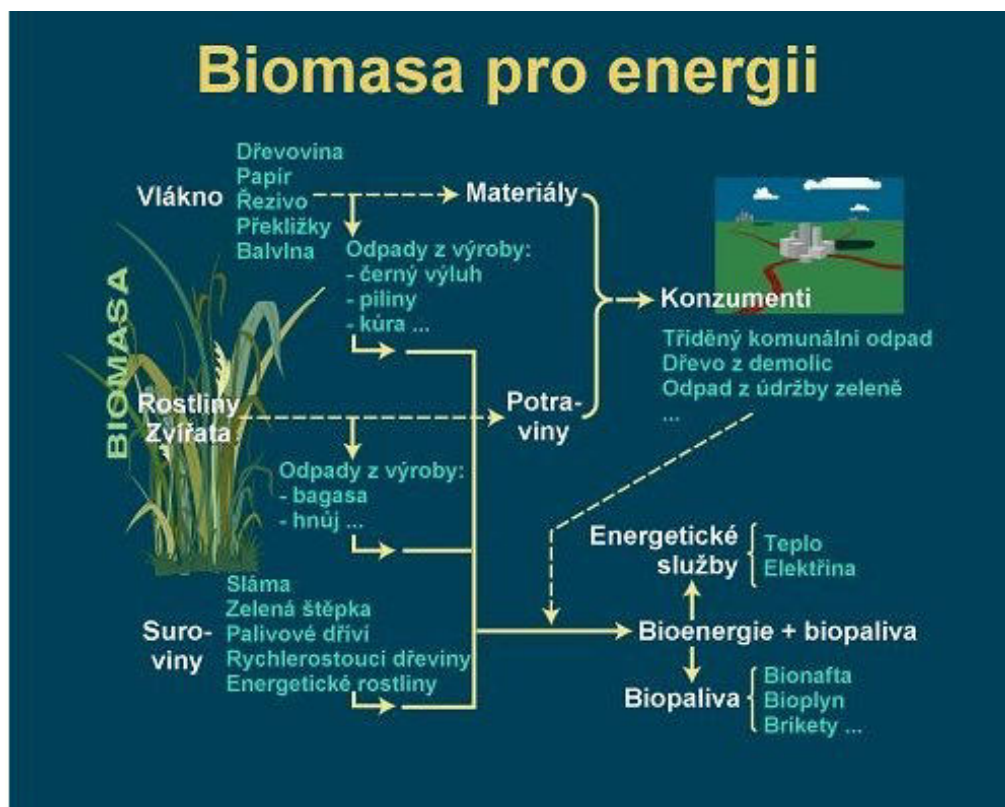
- Rostlinné odpady
- Lesní odpady
- Odpady ze živočišné výroby
- Komunální organické odpady

Energetické rostliny

Energetické rostliny představují biomasu cíleně pěstovanou k energetickým účelům. Základní rozdělení energetických plodin a jejich příklady jsou uvedeny v Tab. 1. V Obr. 2 lze vidět přehled využití biomasy jako zdroje energie. [14]

Tab. 1: Dělení energetických rostlin [14]

Lignocelulóзовé	Dřeviny (vrby, topoly, olše, akáty)
	Obiloviny (celé rostliny)
	Travní porosty (trvalé travní porosty, sloní tráva)
	Ostání rostliny (konopí seté, čirok, šťovík krmný)
Olejnaté	Řepka olejná, slunečnice
Škrobno-cukernaté	Brambory, cukrová řepa, cukrová třtina, kukuřice



Obr. 2: Přehled využití biomasy jako zdroje energie [15]

2.3 Konopná biomasa

Konopí disponuje spoustou dobrých vlastností, díky nimž se stává skvělou volbou v bioenergetické produkci. Díky své rychlosti růstu (až 50 cm za měsíc) se vyznačuje vysokým výtěžkem biomasy, až 15 t/ha, což je až trojnásobně větší hodnota v porovnání s výtěžkem slámy z obilovin. Nadměrné listy jsou ztraceny během sklizně, kde poté na místě fungují jako hnojivo pro zlepšení kvality půdy. Rostlina představuje téměř nulový dopad na životní prostředí, ve srovnání s jinými surovinami lignocelulózní biomasy pěstovanými za účelem výroby biopaliv. Konopná biomasa obsahuje větší množství karbohydrátů a relativně nižší množství ligninu, z čehož vyplývá, že je šetrnější k životnímu prostředí a je vhodnou volbou pro bioenergetické zpracování.

Konopí má mnoho průmyslových, ale i domácích využití. Podobně jako jiné energetické plodiny, tak i rostlina konopí je energeticky využitelná celá. Pazdeří lze využít k výrobě tepla a elektřiny, olej získaný z konopných semen lze využít jako palivo a celulózní odpady mohou být přeměněny na pyrolitický olej a etanol. Zpracování různých druhů biomasy je cílené z ekonomických důvodů na využití odpadů. Takové palivo je nazýváno palivem druhé generace. U konopí se jedná především o zpracování pazdeří, i přes to, že palivově efektivnější je spalování semen, či celých rostlin. Ty jsou využívány v kosmetickém, farmaceutickém a potravinářském průmyslu, kde je jejich uplatnění mnohokrát hodnotnější. [2, 13, 16]



Obr. 3: Konopná biomasa v oblasti Chraštic v roce 2007 [17]

2.4 Technologie zpracování

Tab. 2 prezentuje využití biomasy v procesu zpracování, přiřazuje způsob přeměny a možný energetický výstup.

Tab. 2: Využití rostlinné biomasy k energetickým účelům [18]

Využití biomasy	Způsob přeměny biomasy	Energetický výstup
Termochemická přeměna biomasy (suché procesy)	Spalování	Teplo vázané na nosič
	Zplyňování	Generátorový plyn
	Pyrolýza	Generátorový plyn
Biochemická přeměna biomasy (mokrý procesy)	Alkoholové kvašení	Etanol, metanol
	Metanové kvašení	Metan (bioplyn)
Fyzikální a Chemická přeměna biomasy	Mechanicky (štípání, drcení, lisování, briketování, peletování, mletí apod.)	Pevná paliva, biooleje
	Chemicky (esterifikace surových bioolejů)	Metylester (bionafta)
Získávání odpadního tepla při zpracování biomasy	Kompostování, čištění odpadních vod apod.	teplo

2.5 Charakteristické vlastnosti biomasy pro spalování

Základními charakteristikami biomasy za účelem spalování jsou:

- vlhkost
- výhřevnost
- chemické složení hořlaviny (těkavé látky)
- obsah popelovin (popel)

2.5.1 Vlhkost

Vlhkost lze jednoduše popsat, jako vodu obsaženou v biomase. Má značný vliv na výhřevnost paliva, tudíž je jedním ze základních parametrů při určování vhodnosti paliva. Biomasa je charakteristická vysokým a měnícím se obsahem vody, která značně ovlivňuje její energetické vlastnosti. Obsah vlhkosti v biomase přispívá ke snížení kalorimetrické hodnoty, což negativně ovlivňuje kvalitu spalovacího procesu. Jsou zde poté vyšší nároky na spotřebovanou energii na její odpaření a taktéž spalování paliva s vyšším obsahem vlhkosti může vést ke snížení teploty spalování. [19, 20]

Z energetického hlediska se vlhkost vyjadřuje na základě relativní vlhkosti, a to vztahem:

$$w = \frac{m_p - m_o}{m_p} * 100 [\%] \quad (1)$$

kde w je vlhkost [%],

m_p je počáteční váha vzorku [kg],

m_o je váha vzorku po vysušení [kg]. [19, 20]

Vstupní vlhkost konopného pazdeří se pohybuje kolem 8,6 %. Tuto hodnotu lze porovnat v následující tabulce s dalšími energetickými rostlinami, či dřevinami. [19, 20]

Tab. 3: Procentuální obsah vody v běžných energetických plodinách [21]

Druh paliva	Obsah vody [%]		
Dřevo obecně	20	Sláma kukuřice	10
Buk	15	Sláma řepy	10
Smrk	15	Lněné stonky	10
Dřevní štěpka	30	Sláma obilovin	10

2.5.2 Spalné teplo a výhřevnost

Definice spalného tepla a výhřevnosti dle Svobody (1997) zní:

„Spalné teplo Q_s je teplo uvolněné úplným spálením jednotkového množství plynu stechiometrickým množstvím kyslíku nebo vzduchu za konstantního tlaku a teploty, přičemž všechny produkty spalování ochlazené na výchozí teplotu jsou v plynném stavu kromě vody, která při výchozí teplotě z kondenzuje. Jako výchozí (referenční) teplota spalování se uvažuje 25 °C.“ [22]

„Výhřevnost Q_i je teplo uvolněné úplným spálením jednotkového množství plynu stechiometrickým množstvím kyslíku nebo vzduchu za konstantního tlaku a teploty, přičemž všechny produkty spalování ochlazené na výchozí teplotu jsou v plynném stavu.“ [22]

Spalné teplo a výhřevnost jsou důležitou charakteristikou paliva. Mění se v závislosti na množství vlhkosti v palivu (Obr. 4) a na obsahu hořlavých složek. Celulózová a ligno-celulózová biomasa, do níž lze řadit i konopí seté, mají v suchém stavu téměř podobné hodnoty výhřevnosti, pohybující se v rozmezí 16 - 20 MJ/kg.

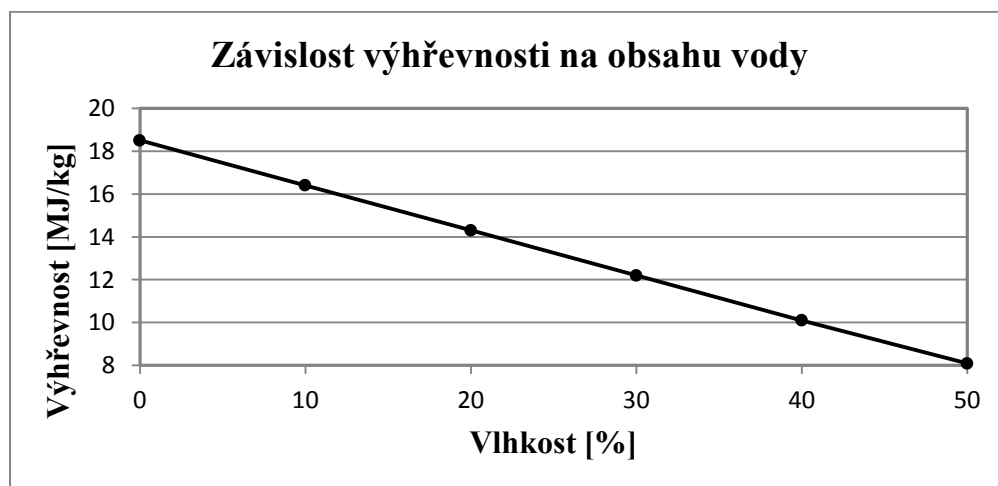
Výhřevnost konopného pazdeří dosahuje 18 až 19 MJ. Největší potenciál z hlediska spalování má semeno. Jeho výhřevnost se pohybuje kolem 25 MJ/kg a olej v něm obsažený dosahuje až 35 MJ/kg. Výnosnost semene je pouze 1 t/ha a má výborné využití v potravinářském průmyslu jako léčivá rostlina. Proto by jeho spalování bylo neekonomické a pro spalnou biomasu se využívá pouze pazdeří.

Výhřevnost lze určit ze vztahu:

$$Q_i = Q_s - 2,453 \cdot [w + 9 \cdot H_2]. \quad (2)$$

kde Q_i je výhřevnost $[MJ \cdot kg^{-1}]$,
 Q_s je spalné teplo $[MJ \cdot kg^{-1}]$,
 w je relativní vlhkost paliva $[kg \cdot kg^{-1}]$,
 H_2 je obsah vodíku $[kg \cdot kg^{-1}]$.

Dále hodnota $[2,453 \cdot w]$ vyjadřuje skupenské teplo potřebné k odpaření vody obsažené v palivu. Hodnota $[2,453 \cdot 9 \cdot H_2]$ vyjadřuje skupenské teplo obsažené v páře, které vzniklo spálením vodíku z paliva. [19]



Obr. 4: Graf závislosti výhřevnosti na obsahu vody v palivu [20]

Tab. 4: Průměrná výhřevnost konkrétních paliv ve srovnání s Konopím setým [18, 23, 24]

Plodiny (100 % sušina)	MJ/kg	Fosilní paliva	MJ/kg
Konopí seté	18,06	Hnědé uhlí	14,50 – 16,50
Len (sláma)	18,58	Brikety	22,00
Řepka ozimá (sláma)	17,48	Černé uhlí	28,00
Růže (Rosa sp. R-03)	16,24	Zemní plyn	33,50
		Koks	26,00
Dřevní štěpka dle vlhkosti	MJ/kg	Motorová nafta	42,61
Lesní štěpka o vlhkosti 60	9,20	Autobenzín	43,59
Lesní štěpka o vlhkosti 20	14,30		
		LTO	42,30
Měrné palivo	29,31	MEŘO	37,7

Z Tab. 4 vyplývá, že Konopí seté může konkurovat i fosilnímu palivu, jako je hnědé uhlí, ale s menším dopadem na životní prostředí. Výhřevnost konopí a lnu je velice podobná. Mají obdobné vlastnosti, a proto možnosti zpracování a využití jako biopaliva jsou pro obě tyto plodiny stejné.

2.5.3 Těkavé látky

Biomasa obsahuje relativně velký obsah těkavých látek (70–80 %) ve srovnání s černým uhlím (10–50 %). Jsou uvolňovány při zahřátí paliva nad 1000 °C. Přibližně 67 % tepelné energie uvolněné z paliva pochází z fáze hoření těchto těkavých látek. Efektivní spalování paliva tohoto typu vyžaduje speciální konstrukci spalovací komory. [19]

2.5.4 Popel

Popel vzniká jako sekundární produkt v důsledku reakcí minerálních složek biomasy s kyslíkem za vysokých teplot. Jeho množství je závislé na podmínkách spalování. Obsah popela v biomase je však výrazně menší, než ve většině uhlí a vyznačuje se nižšími teplotami měknutí, obvykle v rozmezí 750–1000 °C, zatímco teploty pro popel z uhlí se pohybují okolo 1000 °C a více. Tato teplota tavení je velice důležitým bodem. Z chemického hlediska je popel biomasy tvořen směsí oxidů anorganických prvků: K₂O, Na₂O, CaO, MgO, Fe₂O₃, SiO₂ a P₂O₅. Popel z tuhých biopaliv obsahuje také velké množství alkalických složek, především soli sodíku a draslíku. Tyto sloučeniny způsobují razantní pokles teploty tavitelnosti popela. Stejně jako vlhkost je popel nežádoucí složkou, ať už z hlediska výhřevnosti, či chování paliva. [20]

Obsah popela v palivu se vyjadřuje na základě vztahu:

$$A = \frac{m_p}{m_d} [-] \quad (3)$$

kde A je obsah popela [-],
 m_p je hmotnost popela [g],
 m_d je hmotnost suchého vzorku paliva [g].

3 Biopaliva

Biopaliva jsou dělena z obecného hlediska na tři základní skupiny:

- Tuhá
- Kapalná
- Plynná

Na rozdíl od dřeva mají kapalná i plynná biopaliva vyrobená z energetických rostlin značně širší využití. Mohou být například zpracována jako pohonné hmoty využitelné v dopravě. [25]

3.1 Pevná biopaliva

Fytomasu lze zpracovávat lisováním na dva typy tuhých paliv, a to na pelety nebo brikety. Brikety z biomasy zastupují typ tuhého biopaliva s výbornými vlastnostmi a zároveň s výhřevností konkurující konvenčním palivům používaných k vytápění. Pro briketování je vhodná široká škála zemědělských produktů, jejich zbytkové části, či energetické plodiny pěstované za tímto účelem. Za velmi výhodné z energetického i ekonomického hlediska se jeví rostliny šťovíku a traviny a mezi odpadní fytomasu patří pázdeří lnu a konopí, řepková a obilná sláma. [26]

Brikety jsou vyráběny za vysokých tlaků a teplot lisováním do tvaru válečku o průměru 4–10 cm nebo do hranolů a šestistěnů. Maximální výrobní délka brikety by neměla překročit 30 cm. Proces výroby probíhá v tzv. briketovacích lisech bez přídavku pojiv, lepidel nebo přídavných směsí. Při briketování lignocelulóзовé biomasy však působí za vyšších teplot jako pojivo plastifikovaný lignin. Briketovacími lisy lze vyrobit 85–100 kg briket za hodinu. [20, 27]

Od velikosti tlaku při lisování se odvíjí výsledná objemová hmotnost briket, a tím jejich mechanická odolnost (velikost síly potřebné na porušení). Hlavním parametrem pro výrobu briket je vlhkost vstupního materiálu, která by se měla pohybovat od 5 do 15 %. S rostoucí vlhkostí kvalita briket klesá, především výhřevnost paliva. Pokud by obsah vody překročil hranici 20 %, materiál by byl neslisovatelný. Důležitou vlastností substrátu při lisování je velikost vstupní frakce. Příliš dlouhé kusy rostlin jsou hůře slisovatelné a slisování takových kusů by nemuselo být úspěšné. Důraz by měl být kladen také na čistotu materiálu. U fytomasy nečistoty představují především zeminu, přimíchanou v průběhu sklizení fytomasy. [26, 28]

Vlastnosti briket

Brikety jsou bezprašné a velice praktické na manipulaci. Mají vysokou objemovou hmotnost v rozmezí 800–1200 kg/m³. Obsah popele se pohybuje od 0,5–3 %. Při dokonalém spalování popel představuje pouhé procento spáleného paliva. Zároveň se uvolňuje téměř zanedbatelné množství škodlivin za vzniku vodní páry a bezbarvého CO₂. Hodnota výhřevnosti u briket vyrobených z fytomasy je v rozmezí 12–19 MJ/kg. Odvíjí se od druhu vstupního substrátu. U klasických dřevěných briket se výhřevnost pohybuje kolem 15 MJ/kg. Průměrná vlhkost materiálu je 8 %. [20, 27]

Brikety z konopí

Pro proces briketování konopí se využívá odpadního produktu pázdeří. Tento materiál je získáván oddělením od vlákna během zpracování stonku na vlákno (Obr. 5). Pro další zpracování je nutné,

aby velikost lisovatelných částic dosahovala maximální hodnoty 20 cm. Vlhkost pazdeří na začátku procesu je 8,6–9 %. Lisovací tlak použitý při lisování konopného pazdeří je mezi 37–42 MPa.

Konopné brikety obsahují 2,5 % popelovin. Popel obsahující významné množství draslíku, hořčíku, vápníku a fosforu lze dále výhodně použít jako minerální hnojivo. Výhřevnost konopných briket je srovnatelná s výhřevností uhlí a pohybuje se kolem hodnoty 18 MJ/kg. Objemová hmotnost brikety je v rozmezí 850–860 kg/m³. Síla na porušení odpovídá výše uvedeným tlakovým hodnotám a má velikost 82–96 N. [28, 29]



Obr. 5: Konopné pazdeří a brikety [30]

3.2 Kapalná biopaliva

Využití biomasy jako paliva pro dopravu může značně snížit závislost států na dovážené ropě. Celosvětová produkce biopaliv velice roste. Za období 1980 – 2005 produkce stoupla ze 4,4 na 50,1 miliónů tun paliva. Za razantní rozšíření kapalných biopaliv v dopravě v Evropě se zasloužila Evropská Unie, v jejíž nařízeních bylo i mimo jiné nahrazení klasických pohonných hmot alternativními palivy z 20 %, a to do roku 2020. Toho lze v nejjednodušším případě docílit přimícháváním bionafty do konvenční nafty a bioetanolu do benzínu. Vzhledem k velké produkci biopaliv se věnuje větší pozornost vývoji biopaliv druhé generace, vyrobených z odpadní biomasy, do které lze zařadit i konopí. Vzhledem k tomu, že je konopí velice cennou surovinou v široké škále odvětví (semena pro své výživové hodnoty, protein, vlákna pro svou pevnost ve stavebnictví a nejen to) byla by tato varianta zpracování ekonomicky velice výhodná po všech stránkách. [31]

Konopí představuje významný zdroj paliva. Vyprodukuje vysoký obsah biomasy, po jejíž fermentaci mohou vzniknout nízkouhlíková paliva, jako jsou bioetanol a biobutanol. Ve skutečnosti je konopí jednou z mála rostlin, z jejíž produkce lze získat vysoké výnosy jak oleje, tak zároveň i bionafty, či bioetanolu. [32]

3.2.1 Rostlinný olej

Jedná se o nejsnáze vyrobiteľné biopalivo, které se ve formě oleje přímo extrahuje ze semen rostlin. Jako velmi rozšířené a známé vzhledem k průmyslovému využití lze uvést řepkový olej, palmový olej, lněný olej apod. Další výroba oleje zahrnuje filtraci, či případně odkalení a následné tankování. Celkové energetické náklady čítají pouhé 3 % z celého energetického výnosu.

Velmi výhodné, vzhledem k vlastnostem, je využití surového oleje přímo, bez dalšího zpracování. Ve srovnání s naftou, má vylisovaný rostlinný olej vyšší viskozitu a vyšší bod vzplanutí. Jelikož rostlinný olej není chemicky agresivní jako bionafta, lze jím naftu a bionaftu efektivně zcela nahradit. Jedinou nevýhodu představuje fakt, že se snižující se okolní teplotou roste viskozita oleje. Olej musí být poté zahříván primárně chladicí kapalinou z motoru nebo elektrickým topením, aby byla viskozita na požadované hodnotě.

Koncept použití rostlinného oleje jako motorové palivo se datuje již od roku 1885, kdy Dr. Rudolf Diesel vyvinul první dieslový motor fungující na bázi rostlinného oleje. Diesel demonstroval svůj motor na světové výstavě v Paříži v roce 1900, kde představil motor spalující arašídový olej.

Dnes běžně užívané spalovací systémy nejsou příliš přizpůsobeny surovým olejům. Aby byl olej využit v aktuálních spalovacích motorech je potřeba jeho viskozitu snížit, a to chemicky, či tepelně. Jinou variantou je výroba nových již přizpůsobených motorů, pracujících na bázi alternativních paliv. Motory využívající rostlinné oleje jako palivo, tzv. Elsbettovy motory, již byly zkonstruovány, ale prozatím jsou využívány jen minimálně. Mimo energetický průmysl jsou oleje využívány při výrobě olejů do lamp, mýdel, kosmetiky, laků apod. [18, 25, 33, 34]

3.2.2 Konopný olej

Semena konopí jsou tvořena z 20 až 25 % bílkovinami, 25 až 35 % olejem a 10 až 15 % sacharidů. Přesné složení oleje je závislé na odrůdě rostliny a klimatických podmínkách. Olej z konopí se řadí díky vysokému obsahu nenasycených mastných kyselin (Tab. 5) mezi jeden z nejlepších stolních olejů a nutričních doplňků. Hlavní význam mají kyselina linolová (omega 6) a kyselina linolenová (omega3). [18]

Tab. 5: Procentuální obsah hlavních mastných kyselin v konopném oleji [6]

Palmitová	Stearová	Olejová	Linolová	Linolenová
6,6 %	2,6 %	14,9 %	56,7 %	19,2 %

V dnešní době je cenným produktem konopných semen především olej. Výsledkem lisování, které probíhá za studena nebo za tepla, je až 350 litrů oleje z jedné tuny konopných semen a jako odpad vznikají pokrutiny. Pokrutiny se díky svým skvělým výživovým hodnotám dále mohou použít jako krmivo pro dobytek. [25, 35]

Semeno se musí před lisováním zbavit slupek. Olej je poté extrahován pod tlakem, který je tvořen pomalou rotací šnekové hřídele, která vymačkává olej ze semen a odděluje zbytky semen od oleje. Celý proces probíhá bez přístupu kyslíku, aby se zamezilo oxidaci. Při lisování oleje dosahují lisovací tlaky 1600 – 3000 barů. Během procesu na semena působí horká pára, která docílí narušení semene a výsledný obsah oleje v semeni klesá na 4 – 7 %. [8, 25]

Lisování za tepla probíhá při teplotě 170 °C, která pro získání oleje za technickým využitím zcela vyhovuje. Rafinovaný a vyčištěný olej je bezbarvý, čistý a výrazně nezapáchá. Hustota konopného oleje odpovídá hodnotám klasických rostlinných olejů. Bod vzplanutí je vyšší než u bionafty a pohybuje se kolem hodnoty 232 °C. Další fyzikální a chemické vlastnosti lze porovnat s vlastnostmi bionafty v Tab. 6.

Je vysychavý a neobsahuje přírodní antioxidanty, proto se uplatňuje především v kosmetickém průmyslu. Lze ho využít pro spalování v upravených spalovacích motorech nebo zpracovat na metylester (bionaftu). Přítomnost chlorofylu zvyšuje riziko oxidace. Další jeho užití je možné v oblasti barev, laků, plastů apod. Náklady na pěstování konopí pro produkci oleje se ve srovnání s produkcí konopného vlákna téměř nemění. [8, 16, 18, 25, 32]

3.2.3 Bionafta

Bionafta je čistým a obnovitelným zdrojem alternativní energie. Stavebními kameny jsou z chemického hlediska tzv. FAME (Fat Acid Methyl – Ester), neboli monoalkylestery s dlouhými řetězci mastných kyselin zvané estery mastných kyselin.

Již v roce 1937 Belgičan Chavanne si nechal jako první patentovat postup výroby bionafty. Stěžejním procesem výroby je transesterifikace založená na reakci rostlinného oleje s alkoholem (etanolem, metanolem, butanolem) zároveň s alkalickým katalyzátorem (NaOH, KOH). Katalyzátory pro transesterifikaci mohou být kyseliny, hydroxidy alkalického kovu (alkálie), enzymatické či heterogenní katalyzátory. Na výstupu reakce zůstane bionafta a jako vedlejší produkt glycerol. Důležitými parametry pro transesterifikační reakci jsou molární poměr alkoholu s olejem, reakční teplota, koncentrace katalyzátoru, rychlost míchání a obsah volných mastných kyselin. Další příznivou cestou pro výrobu bionafty je také bezkatalytická transesterifikace pomocí nadkritické fluidní technologie.

Bionafta může být vyrobena z jakýchkoliv místních obnovitelných olejnatých plodin, jakou je i konopí. Nejznámějším a zatím nejrozšířenějším zdrojem pro výrobu bionafty je řepka olejná. Transesterifikací řepkového oleje následně vzniká metylester řepkového oleje, tzv. MEŘO. [31, 32]

Příprava konopné bionafty

Plně rafinovaný konopný olej se převede na bionaftu typickou dvojestupňovou katalyzovanou transesterifikační reakcí. Na začátku je připraven roztok methoxidu rozpuštěním hydroxidu draselného v methanolu. Vzniklý roztok se následně smíchá s konopným olejem za přítomnosti katalyzátoru o 1 % hm. Molární poměr konopného oleje k methanolu je 1:6. Směs je zahřívána a míchána při 50 °C po dobu dvaceti minut. Poté je směs ponechána procesu usazování do chvíle, kdy je dokončena fázová separace. Vzhledem k tomu, že je glycerol téměř nesmísitelný s olejovou fází, je pro docílení vyšší přeměny odstraněn již po první reakci. Poté je přidán další roztok methoxidu obsahujícího KOH. Nastává druhá transesterifikační reakce za stejných podmínek jako předchozí, ale po kratší dobu. Po dokončení jsou přebytečné složky, katalyzátory a vedlejší produkty odstraněny. Důležité hodnoty paliva se získávají ze suchého palivového produktu. Při téměř optimálních podmínkách se výtěžnost konopné bionafty pohybuje kolem 97 %. Ztráta produktu během procesu je tedy nepatrná. [32]

Vlastnosti bionafty

Bionafta má podobné vlastnosti jako motorová nafta. Může být použita v topných a energetických systémech, stejně jako v běžných dieslových motorech, bez jakýchkoliv úprav. U těchto systémů se předpokládají vhodné vlastnosti ke spalování bionafty, ale také povolení od výrobce k využívání těchto paliv. Pokud by se bionafta použila v nevhodných motorech, mohla by poškodit těsnění a hadice, což by vedlo i k poškození motoru. I přes to, že motor při spalování bionafty má větší spotřebu, tedy i nižší výkon než klasická nafta, je vzhledem k ostatním vlastnostem biopalivo výhodnější. Zatímco samovznětlivost, výstupní výkon a kroutící moment motoru nejsou výrazně ovlivněny, může bionafta prodloužit životnost motorů, vzhledem k jejím lepším mazacím vlastnostem, než je tomu u klasické nafty. Mezi další výhody bionafty můžeme zařadit i nižší dýmovitost, až o 50 % v porovnání s jinými palivy. Bionafta se velice osvědčila a používá se v Evropě již přes 20 let. [20, 25, 31, 33]

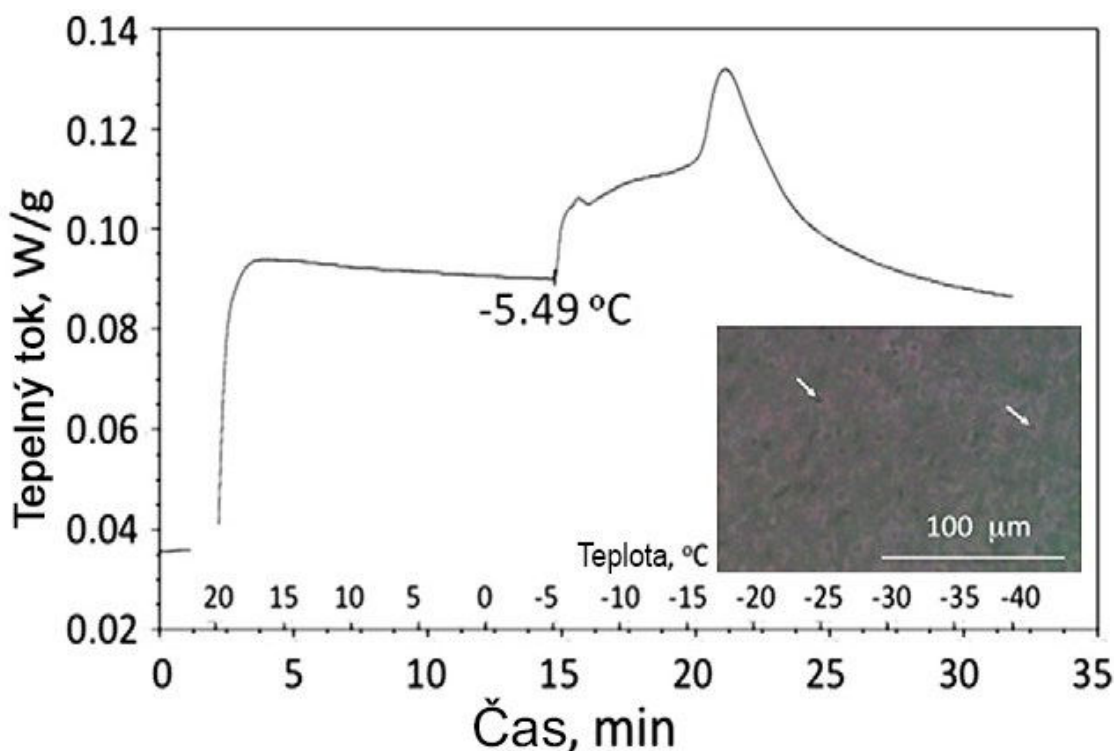
Konopná bionafta představuje nákladově nejefektivnější a hodnotné palivo z celkové světové produkce plodin pěstovaných k výrobě paliv. Je bezpečná pro přepravu i uskladnění, protože je biologicky rozložitelná stejně jako cukr a desetkrát méně toxická než kuchyňská sůl. V momentě, kdy je palivo spalováno v motoru, bionafta nahradí zápach nafty za příjemnou vůni konopné rostliny. [33]

Tab. 6: Fyzikální a chemické vlastnosti konopného oleje a konopné bionafty [32]

	Volný glycerin (% hmoty)	Celkový glycerin (% hmoty)	Bod vzplanutí (°C)	Hustota při 15 °C (kg/m ³)	Kinematická viskozita při 40 °C (mm ² /s)	Obsah síry (ppm)
Konopná bionafta	<0,005	0,10	162	884	3,48	0,4
Rafinovaný konopný olej	–	–	232	918	26,46	1,6
Norma dle ASTM	0,02	0,24	130 (min. hornota)	860–900	1,9–6,0	15 (max. hodnota)

- Bod vzplanutí souvisí s bezpečnostní stránkou paliva, jeho manipulací a skladováním. Vypovídá o množství nezreagovaného alkoholu v palivu. U konopné bionafty je o 32 °C vyšší než je normovaná hodnota.
- Obsah síry v palivu je spojen s emisemi, které vyprodukuje síra. Konopí na rozdíl od ostatních rostlin neobsahuje takové množství síry.
- Hustota konopné bionafty odpovídá hodnotám konvenční nafty.
- Kinematická viskozita je důležitá pro správný chod motoru, a to především při průchodu paliva z nádrže do motoru. U bionafty je obecně vyšší než u konvenční nafty. Kinematická viskozita konopné bionafty při 40 °C odpovídá hodnotě 3,48 mm²/s. Celkové množství kyseliny je pod normou. Pokud by bylo množství kyseliny příliš vysoké, docházelo by k nadměrné korozi motoru.

- Bod zákalu: Na Obr. 6 je záznam z termogramu konopné bionafty představující počátek krystalizace paliva s klesající teplotou. V pravém dolním rohu obraz znázorňující tvorbu krystalů při $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ s měřítkem $100\text{ }\mu\text{m}$. Lze vidět počáteční bod krystalizace na hodnotě $-5,49\text{ }^{\circ}\text{C}$. Počáteční teplota představuje započetí krystalizace paliva, avšak krystaly se již začínají tvořit kolem teploty $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pod touto hranicí jejich velikost a množství narůstá. [32]

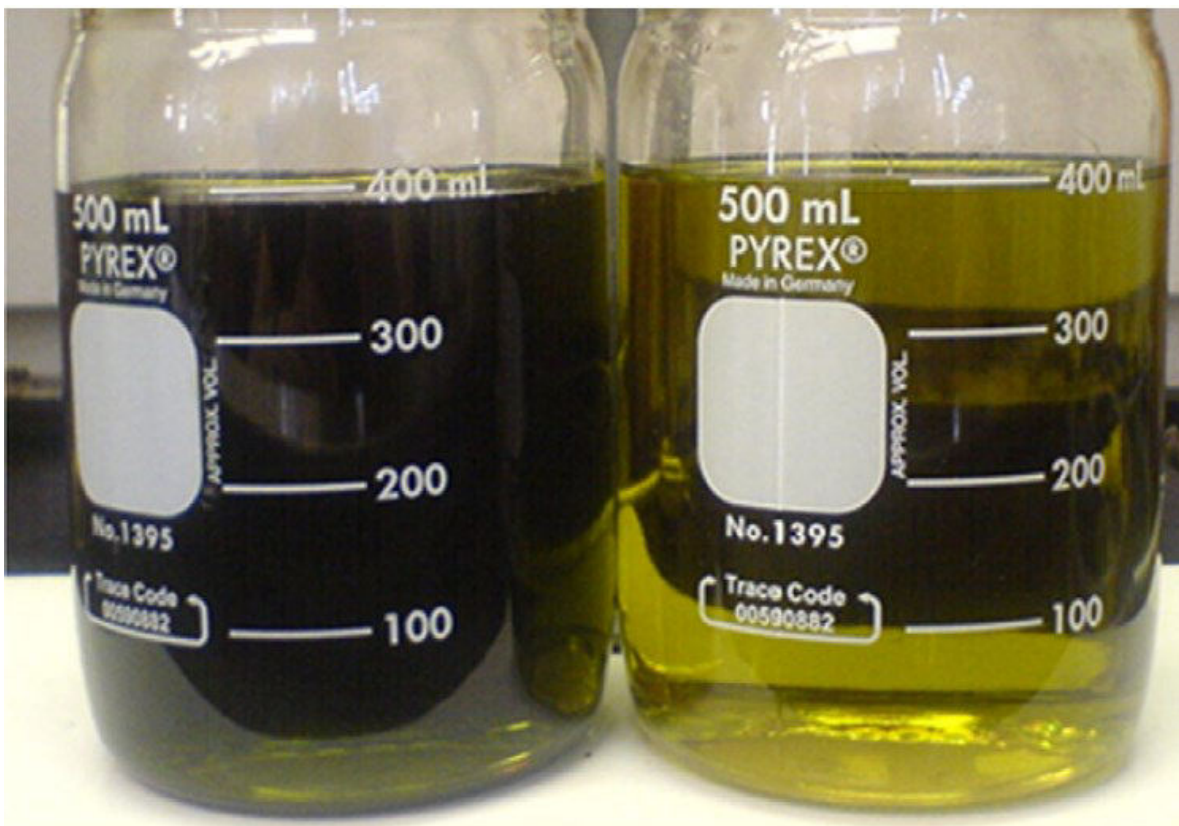


Obr. 6: Termogram konopné bionafty [32]

Bionafta o vysoké kvalitě vykazuje hodnoty bodu zákalu mezi 0 až $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ a kinematické viskozity přibližně $4\text{ mm}^2/\text{s}$. Nízký bod zákalu a kinematická viskozita konopné bionafty jsou velmi žádoucími vlastnostmi pro proudění za studena. Mohou být způsobeny vysokým obsahem polynenasycených mastných kyselin, které konopný olej obsahuje.

Vzhledem k vysoké hladině řetězců nenasycených mastných kyselin je možné očekávat, že oxidační stabilita paliva bude relativně nízká. Proto jsou v palivu potřebné přísady udržující oxidační stabilitu bionafty získané z konopí na požadované hodnotě.

Na Obr. 7 je možná sledovat zbarvení olejového a bionaftového konopného paliva. Tmavě zelená tekutina na levé straně obrázku je konopný olej, zatímco světle zelená tekutina bionafta.



Obr. 7: Vizuální srovnání konopného biooleje a bionafty [32]

3.3 Plynná biopaliva

Jedním z nejvíce perspektivních zdrojů energie mezi plynnými palivy a palivy vůbec je bioplyn vyrobený z energetických rostlin anaerobní fermentací. Jedná se o směs plynů s převládající složkou metanu, který je i hlavním výhřevným plynem celé směsi. Výhřevnost biopaliv obsahující 50 – 70 % metanu se pohybuje v rozmezí 18 – 26 MJ/m³. [20, 36, 37]

Prozatím nejrozšířenější rostlinou pro výrobu bioplynu je silážovaná kukuřice. Tu však nelze pěstovat na svazích se sklonem nad 8 %. Také při nedodržení specifických postupů v průběhu pěstování dochází k vodní erozi půdy, která má negativní dopad na sousedící obce. Oproti tomu konopí lze pěstovat na téměř jakýchkoliv svazích. Nevykazuje negativní vlastnosti při pěstování jako kukuřice, a to za větších výnosů. [38]

Doporučená sklizeň fytomasy pro výrobu bioplynu je v době, kdy obsahuje 60 – 75 % vody. Sklizená biomasa je zpracována na siláž, či senáž nebo ve většině případů je převezena přímo do bioplynových stanic. Pro vysoké výnosy kvalitní konopné biomasy za účelem výroby bioplynu je výhodné fytomasu přihnojovat dusíkem. Celkové roční množství dusíku však nesmí překročit 170 kg/ha. Výzkumy vlivu doby sklizně na výtěžnost metanu poukázaly na to, že tento vliv je nevýznamný. Mnohem významnější je volba zpracování rostlin před procesem výroby bioplynu. [36, 39]

Klíčovými faktory ovlivňující výrobu bioplynu jsou organické látky obsažené ve fytomase, zejména sacharidy, proteiny a lipidy. Při procesu výroby bioplynu dochází pomocí

mikroorganismů k rozkladu těchto organických látek obsažených v biomase za vzniku bioplynu a digestátu. Děj lze nazývat fermentací, či digescí a probíhá za nepřístupu vzduchu v nádržích zvaných biofermentory. Nádrže jsou neustále vyhřívány a substrát v nich míchán. Během procesu je odbouráno 50 – 70 % organické sušiny vstupního substrátu. Možné jsou dva druhy procesu dělené dle obsahu sušiny v biomase, a to proces mokré fermentace, pracující s pevnými a kapalnými substráty a proces suché fermentace využívající substráty především pevné. [36, 37, 40]

Dle teploty vhodné pro mikroorganismy lze procesy rozdělit na:

- 5–30 °C (psychofilní)
- 30–40 °C (mezofilní)
- 45–60 °C (termofilní)
- 60+ °C (extrémně termofilní)

S vyššími teplotami roste i účinnost hygienizace substrátu, avšak až 85 % bioplynových stanic pracuje s procesy mezofilními probíhající při teplotě 38 °C. [37]

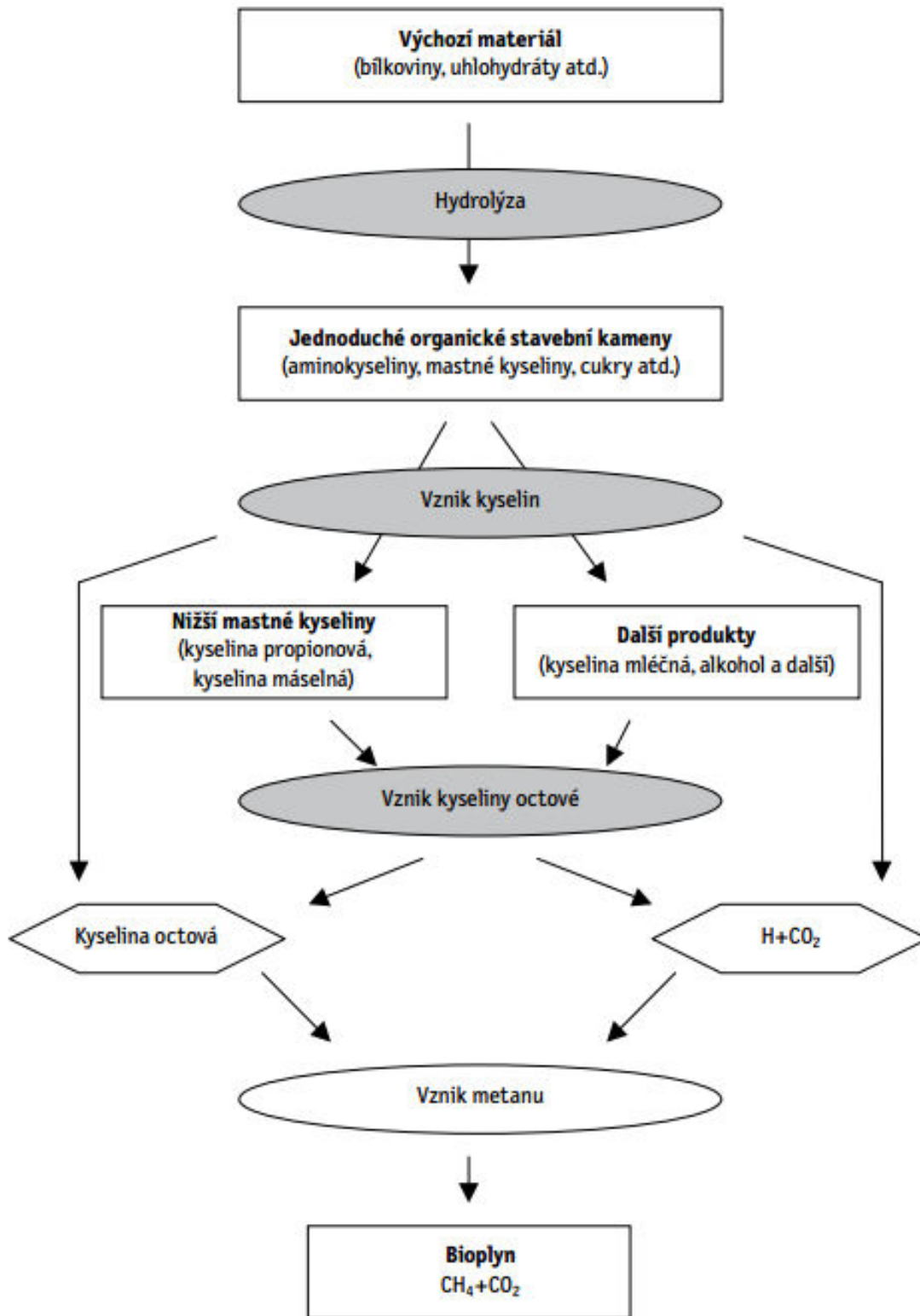
Proces anaerobní digescce lze rozdělit na čtyři po sobě následující fáze: hydrolýzu, acidogenezi, acetogenezi a metanogenezi.

Během hydrolýzní fáze dochází k rozložení polysacharidů, bílkovin a tuků na jednodušší organické sloučeniny, především aminokyseliny, mastné kyseliny, monosacharidy apod. s následným, uvolněním vodíku a oxidu uhličitého. Tento biochemický proces vykonávají bakterie uvolňující extracelulární enzymy působící na substrát.

Meziprodukty vzniklé hydrolýzou se v acidogenní fázi pomocí kyselinotvorných bakterií štěpí na nižší mastné kyseliny (octovou, máselnou a propionovou, valerovou, alkoholy, amoniak, oxid uhličitý a vodík).

Třetí fází výroby je acetogeneze, při níž dochází k endotermickým reakcím. Alkoholy, aromatické látky, aminokyseliny a mastné kyseliny jsou přeměněny zejména na kyselinu octovou, oxid uhličitý a vodík. Tento proces vyžaduje symbiózu metanogenních a autogenních mikroorganismů z důvodu vysokého obsahu vodíku, který autogenním bakteriím nesvědčí (není pro ně vhodný).

Poslední fází rozkladu je metanogeneze probíhající ve striktně anaerobních podmínkách, které vyžadují metanogenní bakterie. Změna pH, oxidačního potenciálu, či náhlé změny teplot nejsou pro tyto bakterie příznivé. Vstupními složkami reakce jsou oxid uhličitý, vodík a kyselina octová. Schéma procesu vyobrazuje Obr. 8. [31, 37, 40]



Obr. 8: Schéma procesu výroby bioplynu [37]

Vzniklá směsice plynů obsahuje velké procento metanu, o něco nižší procento oxidu uhličitého a další již méně zastoupené složky. Konkrétní obsah složek v bioplynu je sepsán v Tab. 7. [37]

Vedlejším produktem je fermentační zbytek, tzv. digestát, který lze využít jako nejlepší hnojivo pro pěstování další biomasy za účelem produkce bioplynu. Živiny se tak vrátí zpět do půdy a sníží se náklady na minerální hnojení. [40]

Tab. 7: Přehled složek zastoupených v bioplynu [41]

Složka	Zastoupení [% obj.]
Metan	– 80
Oxid uhličitý	20 – 42
Voní pára	0 – 10
Dusík	0 – 5
Kyslík	0 – 2
Vodík	0 – 1
Čpavek	0 – 1
sulfan	0 – 1

Vzhledem k vyššímu obsahu celulózy a ligninu ve stoncích konopí, které jsou obtížněji odbouratelné bakteriemi při procesu, musí být konopí nasekáno. Hrubým sekáním na kusy dlouhé 1–2 cm nebo jemným sekáním na kusy dlouhé 1–5 mm. Mimoto mohou nastat problémy při odvodu biomasy s následným ucpáním čerpadel, proto je výhodné i vysokosučinové substráty ředit hnojůvkou, močůvkou a balastovou vodou. Nasekáním konopných rostlin na kusy o velikosti 1–2 mm lze získat 290 m³/t metanu. [20, 36]

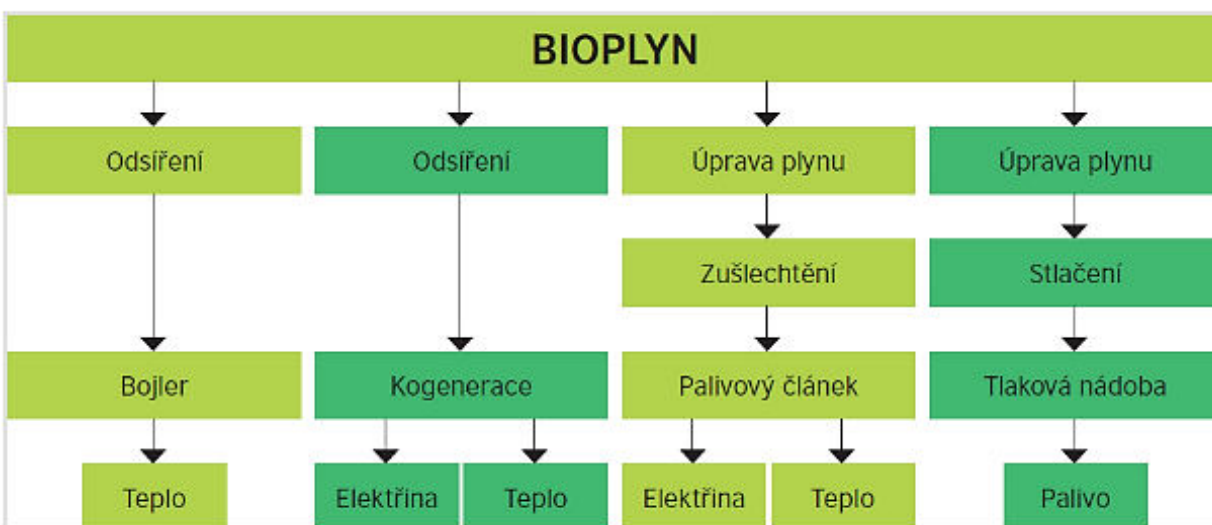
Tab. 8: Výtěžnosti bioplynu a metanu z odrůd Futura 75 a USO 31 [36]

	Bioplyn [l]	Bioplyn [l/g SOH]	Metan [%]	Metan [l, bez inokulum]	Metan [l/g s přidáním SOH]
Inokulum	0,1	0,011	20,3	0,02	0,002
Hrubě nasekané Futura 75	2,8	0,370	48,21	1,33	0,177 0,007
Zjemně nasekané Futura 75	4,0	0,482	51,03	2,036	0,246 0,023
Zjemně nasekané USO 31	4,3	0,422	51,18	2,206	0,216 0,011
Uso 31 – listy	6,5	0,616	59,25	3,852	0,365 0,01

Bioplyn se dá obecně využít:

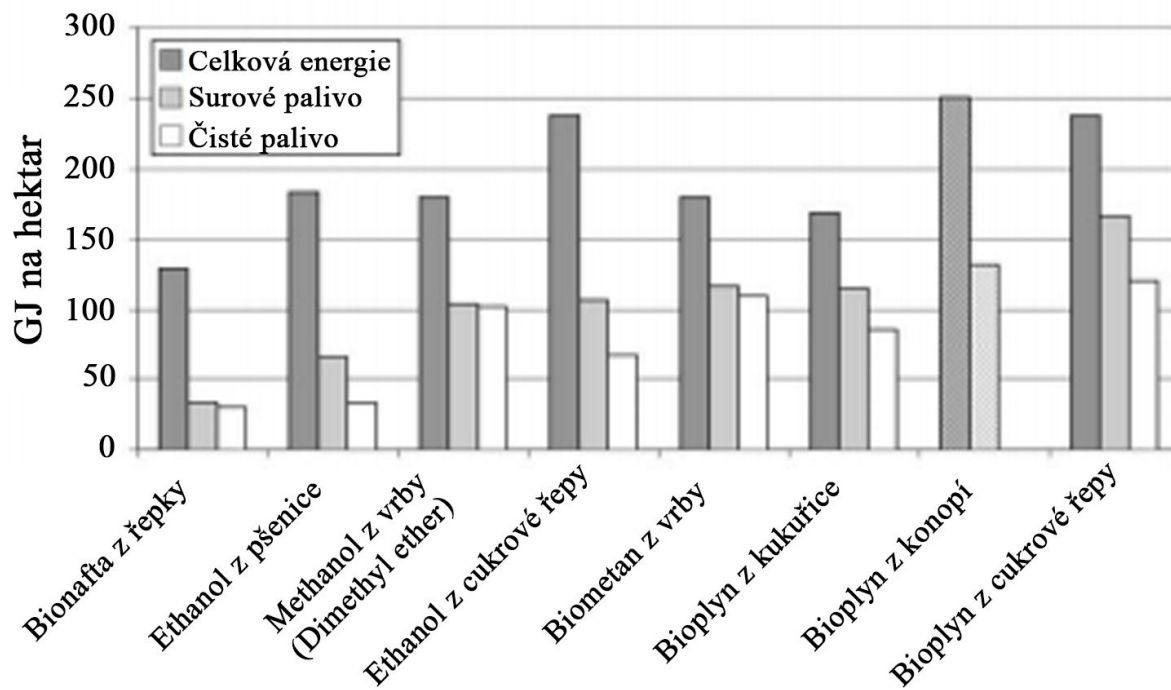
- V kogeneračních jednotkách pro výrobu elektřiny a tepla,
- pro výrobu tepla v parních kotlích,
- jako pohon dopravních automobilů a techniky (po vyčištění od oxidu uhličitého).

V plynu přítomná vodní pára a sirovodík mohou působit nepříznivě při dalším zužitkování bioplynu a musí být následně odstraněny. Nejprve je plyn zbaven vodní páry a poté odsířen. Aby byl bioplyn důsledně zbaven vodní páry a nánosů musí projít tzv. mokrým sušením pomocí vodní mlhy, kdy je plyn ochlazen na 5 °C. Stručné seznámení s úpravami a následným využitím bioplynu lze vidět na Obr. 9. [40]



Obr. 9: Možnosti zpracování a použití bioplynu [42]

Na Obr. 10 je uvedeno srovnání konopného bioplynu s ostatními alternativními palivy.



Obr. 10: Srovnání efektivity výroby bioplynu z konopí s dalšími alternativními palivy [43]

4 Finanční náročnost

Důležitým faktorem pro využití energetických plodin je cena vypěstované fytomasy jako paliva a náklady na pěstování. Další faktory ovlivňující finanční náročnost plodiny se odvíjí od druhu konopí a účelu následného zpracování fytomasy. [39]

Základní výkupní ceny jsou:

1 kg semen 20–25 Kč

1 kg pazdeří 15–20 Kč

1 t stonku 3000 Kč [7]

Při produkci konopí pro výrobu bioplynu mají důležitý vliv hektarové výnosy. Hodnoty finanční náročnosti konopí lze srovnat s nejvíce využívanou surovinou pro výrobu bioplynu, kukuřicí. Hodnoty uvedené v příloze A zahrnující přípravu půdy, výrobní náklady atd., jsou zprůměrované v rámci České republiky. Jsou zde uvedeny dvě varianty pro obě rostliny, a to pěstování pomocí standartních technologických postupů a intenzivních technologických postupů. [39]

K ekonomickému zhodnocení je potřeba brát v úvahu i pozitivní vliv na životní prostředí. V České republice se daří udržet finanční náklady nižší díky záměrnému pěstování konopí v regionech v maximálním okruhu 70–100 km, který by měl zahrnovat jak pěstitelské oblasti s konopím, tak i zpracovatelská centra. Lze tím snížit velké výdaje za přepravu do dalekých zpracovatelských podniků. [44]

Dotace

Do doby, než se Česká republika stala členem Evropské Unie, byly udělovány dotace na pěstování konkrétních druhů energetických plodin, do nichž spadalo i konopí. Na každou plodinu byl vyčleněn jiný rozpočet. Touto dotací byl výrazně podpořen rozvoj nových alternativních zdrojů biopaliv a technologií s tím spojených. Roku 2004, kdy Česká republika vstoupila do Evropské Unie, byly tyto dotace v ČR pozastaveny. [45]

Pěstování energetických plodin je aktuálně dotováno ze zdrojů EU. Jednou z nejvýznamnějších plateb pro zemědělce je tzv. jednotná platba na plochu zemědělské půdy (SAPS), která je určena zemědělcům pěstujícím plodiny minimálně na 1 ha orné půdy. Pro rok 2016 byla schválena částka dotace 3514 Kč/ha. [46]

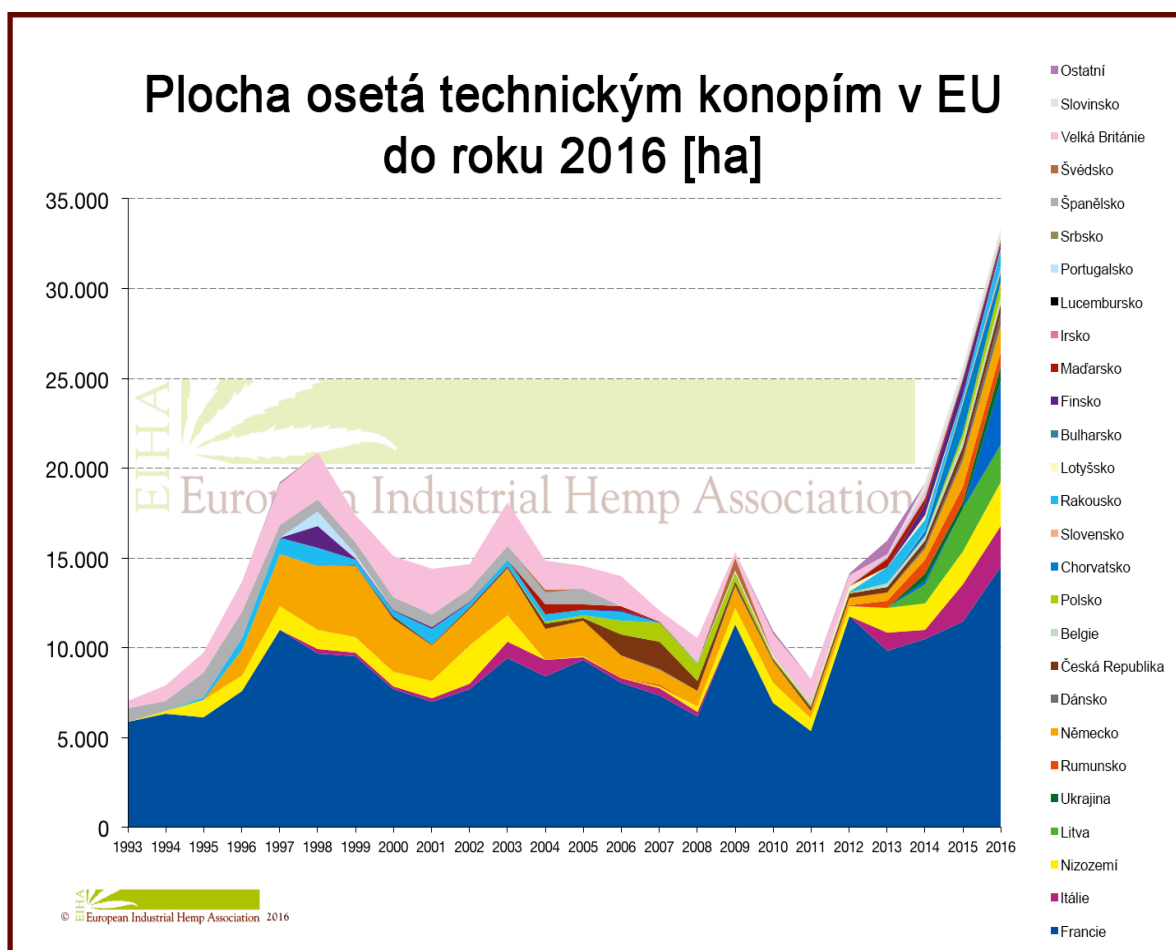
Podpora je přiřazována v závislosti na využití ploše půdy k pěstování a ne vzhledem k finanční náročnosti a cílenému využití rostliny. V těchto chvílích zemědělci často volí pro pěstování energetických rostlin již léta ověřené a zpracovatelsky nenáročné plodiny. Tím se rozvoj v pěstování a zpracování konopí razantně snížil, vzhledem k nákladům, které jsou větší než jaké lze vidět u jiných energetických rostlin. [45]

Z fondů Evropské Unie lze také získat finanční podporu z Programu rozvoje venkova pro období 2014–2020, který mimo jiné přispívá k inovaci zemědělských a zpracovatelských podniků zaměřených na zpracování biomasy jako zdroje paliva. Celková investice do českého zemědělství v tomto období představuje 96 miliard korun. [47]

5 Vývoj

Konopí bylo v Evropě poprvé legalizováno roku 1993. V průběhu tří let bylo rozšířeno ve většině členských států Evropské Unie. Největší pokles v pěstování byl zaznamenán v průběhu roku 2011. Pole, na nichž bylo pěstováno konopí, čítaly rozlohu pouhých 8000 hektarů. Pokles ale netrval dlouho a do roku 2016 produkce konopí razantně vzrostla. Konopná pole se aktuálně rozprostírají na ploše 33000 hektarů. V následujících letech se očekává mírný nárůst této hodnoty. Mezi hlavní pěstitelské státy lze zařadit Francii, Rumunsko, pobaltské státy a Nizozemí. U zaoceánských oblastí to jsou především Kanada, USA a Nový Zéland.

Mimo rostoucí zájem o konopná semena v potravinářském průmyslu se zvětšuje poptávka po konopných vláknech a pazdřích, využitelných v automobilovém průmyslu, energetice apod. Evropské konopné vlákno je jediné přírodní vlákno na celém světě, které je certifikováno pro udržitelný rozvoj. [48]



Obr. 11: Nárůst osetých ploch konopím do roku 2016 [48]

5.1 Konopná biomasa v České republice

Využití konopí pro energetické účely je v České republice neekonomické. Pro sklizeň nestačí běžné žací stroje, ale je potřeba zakoupit stroje speciální pro sklizeň konopí, které jsou schopny zpracovat stonky dlouhé až 5 m. Od této sklizně se odvíjí i výnos sklizené biomasy na jeden hektar. Vzhledem k tomu, že zde není produkce konopí natolik rozšířená, se rostliny sklízí běžnými žacími stroji, které jsou schopny zpracovat stonky dlouhé pouze 1–2 m. Nejjednodušší pro tyto stroje je provádět sklizeň před tvorbou vlákna rostliny. Období sklizně odpovídá prvnímu až druhému červencovému týdnu, kdy rostlina dorůstá výšky pouhých dvou metrů. Včasná sklizeň se odráží na celkové kvalitě biomasy a jejím výnosu. Výnos této sklizené biomasy se pohybuje kolem 10–14 tun sušiny na hektar.

Nejvýnosnější z energetického hlediska je v ČR spalování celé konopné rostliny. Běžně se tato vláknitá rostlina zpracovává na vlákno a pazdeří, které se dále jako odpad využije pro spalování. U nás je tento proces vzhledem k nedostatku speciální techniky finančně náročný. Pokud se konopná biomasa nepoužije ke spálení, je ekonomicky výhodnější ji poskytnout zahraničním státům, které jsou pro další zpracování této biomasy lépe technicky vybaveny. [38]

Závěr

V práci byly shrnuty vlastnosti samotné rostliny i vlastnosti konkrétních biopaliv z ní vyrobených. Konopí je velmi významnou a kvalitní alternativní surovinou, pro jejíž využití se vyvíjejí stále nové technologie pro její pěstování a zpracování, např. sklízecí stroje a technologie. Pořizovací náklady na speciální sklízecí a zpracovatelské stroje na konopnou biomasu jsou dosti vysoké, proto je jejich počet velmi nízký. V Evropě je pouhých 5 originálních sklízecích strojů, z nichž jeden je v České republice.

Vzhledem k finanční náročnosti během pěstování a sklizení je potřebné získávat z konopné biomasy co největší a nejkvalitnější výnosy. Těchto výnosů lze dosáhnout při podzimní sklizni. Biomasa má vyšší procento vlhkosti a je vhodná pro výrobu bioplynu. Vysoká vlhkost je nepříznivá pro přímé spalování, a proto je pro tento proces výhodnější jarní sklizeň.

V procesu spalování lze konopné rostliny spalovat celé. Spalování celé rostliny je ale velmi neekonomické. Semena konopí mají znamenitou výživovou hodnotu díky velkému obsahu mastných kyselin (omega 3 a omega 6). Mají významné uplatnění v potravinářském a farmaceutickém průmyslu, a proto by jejich spalování bylo zcela nemístné. I přes to, že konopný olej lisovaný ze semen použitý jako biopalivo má vysokou kvalitu a výhřevnost, jsou semena v energetickém průmyslu využívána minimálně.

Nejlepší variantou pro spalování je využití pouze odpadového materiálu rostliny získaného při zpracování stonku na vlákno. Tímto odpadem je pazdeří, které může být následně lisováno do topných pelet a briket, jejichž mechanické vlastnosti se vyrovnají vlastnostem briket dřevěných. Popel vzniklý při spalování konopí lze dále využít jako plnohodnotné minerální hnojivo. Výhřevnost konopných briket se pohybuje kolem 18 MJ/kg. Ve srovnání s výhřevností dřevěných briket (15 MJ/kg) je hodnota výhřevnosti konopí výrazně vyšší. Dřevo je velmi cennou a žádanou surovinou ve stavebnictví, a proto je výroba dřevěných briket z dlouhodobého hlediska neperspektivní. Konopí by jej tak mohlo v oblasti spalování plnohodnotně zastoupit.

Výhřevnost konopných briket může zcela konkurovat i fosilním palivům, konkrétně hnědému uhlí. Další výhodou upřednostňující konopný zdroj energie je i výkupní cena. Vzhledem k čistějšímu hoření, než je tomu u fosilních paliv, nemusí být placena ekologická daň, která u uhlí zapříčiňuje rapidní nárůst ceny.

Bionafta představuje velice významné alternativní palivo. Lze ji použít v klasických vznětových motorech které mají povolení od výrobce. Pokud by byla bionafta použita v nesprávném motoru, mohlo by dojít k poškození těsnění.

Bionafta z konopí představuje nákladově jedno z nejefektivnějších a nejhodnotnějších paliv z celkové světové produkce biopaliv. Konopná bionafta je bezpečná pro přepravu i uskladnění z důvodu vysokého bodu vzplanutí. Nízká viskozita (3,48 mm²/s) je výhodná při proudění paliva za studena. Při spalování uvolňuje menší množství síry než je tomu u jiných rostlinných zdrojů bionafty. Je tedy velice šetrná k životnímu prostředí a mohla by se stát částečným řešením problému skleníkových plynů. Konopná bionafta je považována za kvalitní typ biopaliva, ale prozatím není její výroba příliš rozšířená.

Bioplyn lze využít k výrobě elektrické energie a tepla, často kogenerační výrobou, a jako palivo. Hlavní složkou bioplynu, určující jeho výhřevnost je obsah metanu. Mnohem výhodnější proces výroby bioplynu z konopí je v případě, kdy je substrát nasekán na kusy. Při jemném nasekání je výtěžnost metanu cca o 3 % vyšší než při hrubém nasekání. Z jemně nasekané konopné biomasy o velikosti 1–2 mm lze získat až 290 m³/t metanu. Obsah metanu v bioplynu vyrobeného z nasekaných listů konopí dosahuje hodnoty 59,25 %. Výhodou nasekaného substrátu je i snížení výskytu ucpání čerpadla materiálem.

Pěstování konopí pro výrobu bioplynu je finančně náročnější než u pěstování kukuřice. Vyšší náklady představují náklady na osivo. Použitím digestátu namísto průmyslových hnojiv lze snížit produkční náklady na hodnotu odpovídající nákladům kukuřice. Také vzhledem k protieroznímu charakteru konopí jsou náklady na ochranu půdy značně nižší, než při pěstování kukuřice, u které je poplatek za zneúrodnování půdy nutností.

Postupný technologický a průmyslový růst by měl během následujících let přispět k rozvoji metod zpracování konopí. U nákladů s tím spojených se očekává snížení. Konopný průmysl by tak mohl být dostupnější.

Seznam použité literatury

- [1] BIOM, C. Z. Konopí seté. *Biom.cz* [online]. 2011, **13**(7). ISSN 1801-2655. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/konopi-sete>
- [2] MUHAMMAD SAIF UR REHMAN, NAIM RASHID, AMEENA SAIF, TARIQ MAHMOOD a JONG-IN HAN. *Potential of bioenergy production from industrial hemp (Cannabis sativa): Pakistan perspective*. 2012
- [3] *Využití látek z konopí v současné medicíně* [online]. [vid. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://phantomas-cz.blogspot.com/2016/01/vyuziti-latek-z-konopi-v-soucasne.html>
- [4] VOMÁČKA, Vít. *Pěstování a využití konopí setého (Cannabis sativa L.)*. B.m., 2014. Mendelova univerzita v Brně.
- [5] INFO@NETDIRECT.CZ, CMS: NetDirect MediaCentrik; Design: NetDirect Team; *Nazeleno.cz* [online]. 2008 [vid. 2017-03-16]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/vytapeni-1/biomasa/jak-funguje-spalovani-biomasy-priklad-konopi.aspx>
- [6] STRAŠIL, Zdeněk a Tomáš STŘEDA. *Pěstování rostlin pro nepotravinářské účely - speciální část*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2014. ISBN 978-80-7509-005-8.
- [7] *Rozhovor s šéfem Hemp Production - Konopa.cz občanské sdružení* [online]. [vid. 2017-05-25]. Dostupné z: <http://www.konopa.cz/pestovani/rozhovor-s-sefem-hemp-production.html>
- [8] SLADKÝ, Václav. *Konopí, šance pro zemědělství a průmysl*. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací, 2004. ISBN 80-7271-145-8.
- [9] SHOP.CZ, Konopný. *Technické konopí v České republice. Konopný shop* [online]. [vid. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.konopnyshop.cz/technicke-konopi-v-ceske-republice.html>
- [10] Energetyczne wykorzystanie biomasy z konopi uprawianych na terenach zrekultywowanych. *wnp.pl* [online]. [vid. 2017-02-24]. Dostupné z: http://energetyka.wnp.pl/energetyczne-wykorzystanie-biomasy-z-konopi-uprawianych-na-terenach-zrekultywowanych,241887_2_0_0.html
- [11] CHRAŠTICKÉ EKOCENTRUM. KONOPÍ, Biomasa pro život. In: *Konopí pro život 2*. 2008. ISBN 978-80-254-1149-0.
- [12] *O tírnách, aneb dolování vláken z konopí - Konopa.cz občanské sdružení* [online]. [vid. 2017-02-24]. Dostupné z: <http://www.konopa.cz/zpracovani/o-tirnach-aneb-dolovani-vlaken-z-konopi.html>

- [13] GAJEWSKI, Jakub. *Uprawa konopi siewnej – stan obecny i perspektywy rozwoju uprawy tej rośliny*. B.m., 2016. Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Sulechowie.
- [14] *Ekowatt* [online]. [vid. 2017-02-25]. Dostupné z: <https://ekowatt.cz/uspory/biomasa.shtml>
- [15] Biomasa - využití, zpracování, výhody a nevýhody, energetické využití v ČR. *OEnergetice.cz* [online]. 6. únor 2017 [vid. 2017-02-25]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/technologie/obnovitelne-zdroje-energie/biomasa-vyuziti-zpracovani-vyhody-a-nevyhody/>
- [16] RUMAN, Michal a Linda KLVAŇOVÁ BLÄTTLER. *Konopí: staronový přítel člověka*. Chvaleč: Konopa, 2008. ISBN 978-80-254-1825-3.
- [17] RUMAN, Michal. *Jak funguje spalování biomasy?Příklad konopí* [online]. 2008 [vid. 2017-04-06]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/vytapeni-1/biomasa/jak-funguje-spalovani-biomasy-priklad-konopi.aspx>
- [18] SOUČKOVÁ, Helena a Jan MOUDRÝ. *Nepotravinářské využití fytomasy*. České Budějovice: Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta, 2006. ISBN 80-7040-857-X.
- [19] GŁODEK, Ewa. *Spalanie i współspalanie biomasy* [online]. 2010. Dostupné z: www.oze.opole.pl/zalacznik.php?id=364&element=470
- [20] JANDAČKA, Josef a Milan MALCHO. *Biomasa ako zdroj energie* [online]. 2007. Dostupné z: <http://biomasa-info.sk/docs/PriruckaBiomasaZdrojEnergie.pdf>
- [21] Přehled energetických plodin, jejich vlastnosti a přepočty jednotek. *TZB-info* [online]. [vid. 2017-03-19]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/98-prehled-energetickyh-plodin-jejich-vlastnosti-a-prepocety-jednotek>
- [22] SVOBODA, Alexandr. *Plynárenská příručka: Plynárenská příručka: 150 let plynárenství v Čechách a na Moravě*. Praha: GAS s.r.o., 1997. 1192 s. ISBN 80-902339-6-1.
- [23] Výhřevnosti paliv. *TZB-info* [online]. [vid. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/11-vyhrevnosti-paliv>
- [24] KÁRA, Jaroslav. Využití bioalkoholu. *Biom.cz* [online]. 2001, 3(12). ISSN 1801-2655. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-bioalkoholu>
- [25] QUASCHNING, Volker. *Obnovitelné zdroje energií*. Praha: Grada, 2010. ISBN 978-80-247-3250-3.
- [26] *Jak vybrat vhodný lis pro briketování zemědělských odpadů | Briklis, spol. s r.o.* [online]. [vid. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://www.briklis.cz/jak-vybrat-briketovaci-lis/pro-briketovani-zemedelskeho-odpadu/>

- [27] STUPAVSKÝ, Vladimír a Tomáš HOLÝ. Brikety z biomasy - dřevěné, rostlinné, směsné brikety. *Biom.cz* [online]. 2010, **12**(1). ISSN 1801-2655. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/brikety-z-biomasy-drevene-rostlinne-smesne-brikety>
- [28] PLÍŠTIL, David. Využití technického konopí pro energetické účely. *Biom.cz* [online]. 2004, **6**(11). ISSN 1801-2655. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-technickeho-konopi-pro-energeticke-ucely>
- [29] *Konopí jako zdroj energie - Magazin Legalizace* [online]. [vid. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://www.magazin-legalizace.cz/cs/articles/detail/252-konopi-jako-zdroj-energie>
- [30] *Vzorky briket, spalitelné odpady | Briklis, spol. s r.o.* [online]. [vid. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://www.briklis.cz/vzorky-briket/>
- [31] TRÁVNÍČEK, Petr, Ivan VITÁZEK, Tomáš VÍTĚZ, Luboš KOTEK a Petr JUNGA. *Technologie zpracování biomasy za účelem energetického využití*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2015. ISBN 978-80-7509-206-9.
- [32] LI, Si-Yu, James D. STUART, Yi LI a Richard S. PARNAS. *The feasibility of converting Cannabis sativa L. oil into biodiesel*. B.m.: Bioresource Technology. 2010
- [33] Hemp fuel. *Hemp.com* [online]. [vid. 2017-04-25]. Dostupné z: <http://www.hemp.com/hemp-education/uses-of-hemp/hemp-fuel/>
- [34] MCKEON, Thomas. Chapter 11 - Emerging Industrial Oil Crops. In: [online]. B.m.: AOCS Press, 2016. ISBN 978-1-893997-98-1. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781893997981000117>
- [35] *Konopný olej, jeho užívání a účinky - Lékárna.cz* [online]. [vid. 2017-04-20]. Dostupné z: <https://www.lekarna.cz/clanek/konopny-olej-jeho-uzivani-a-ucinky/>
- [36] ADAMOVIČS, A., V. DUBROVSKIS a R. PLATAČĚ. *Productivity of industrial hemp and its utilization for anaerobic digestion*. Latvia, 2014. Latvia University of Agriculture.
- [37] KRATOCHVÍLOVÁ, Zuzana, Jan HABART, Václav SLADKÝ, František JELÍNEK, Tomáš ROSENBERG, Vladimír STUPAVÝ a Tomáš DVOŘÁČEK. *Průvodce výrobou a využitím bioplynu* [online]. B.m.: České združení pro biomasu. 2009. Dostupné z: http://biom.cz/upload/6e01d6d4c4835ec93cda508772f3bf6e/pruvodce_vyrobou_vyuzitim_bioplynu.pdf
- [38] BJELKOVÁ, Marie. Rozhovor s paní Marií Bjelkovou, Ing. Ph.D., výzkumným pracovníkem oddělení luskovin a technických plodin společnosti Agritec, výzkum šlechtění a služby, s.r.o. 20. duben 2017
- [39] HONZÍK, Roman, Marie BJELKOVÁ, Jaime MUÑOZ a Vojtěch VÁŇA. Pěstování konopí setého *Cannabis sativa L.* pro výrobu bioplynu. In: . B.m.: Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., 2012. ISBN 978-80-7427-127-4.

- [40] Anaerobní technologie. *Bioprofit* [online]. 2007 [vid. 2017-05-01]. Dostupné z: http://www.bioplyn.cz/at_popis.htm
- [41] Bioplyn a bioplynové stanice v ČR. *OEnergetice.cz* [online]. 31. srpen 2015 [vid. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/technologie/plynarenstvi/bioplyn-a-bioplynove-stanice-v-cr/>
- [42] *Technologie bioplynových stanic* [online]. [vid. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://www.bioplynovestanice.cz/technologie-tps/>
- [43] KREUGER, E., F. ESCOBAR, S.-E SVENSSON a L. BJÖRNSSON. *Biogas production from hemp - evaluation of the effect of harvest time on methane yield*. Lund, Alnarp, 2007. Department of Biotechnology, Lund University and University of Agricultural Sciences, Alnarp.
- [44] ŠIROKÁ, Marie. Konopí seté – energetická a průmyslová plodina třetího tisíciletí. *Biom.cz* [online]. 2009, 11(1). ISSN 1801-2655. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/konopi-sete-energiticka-a-prumyslova-plodina-tretiho-tisicileti>
- [45] *Konopářský svaz* [online]. [vid. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.konopi.info/default.asp?ch=146&typ=1&val=34724&ids=3870>
- [46] NOVOPACKÝ, Autor Jan. Sazby SAPS, Greening a Mladý zemědělec. *ČMSZP* [online]. 18. říjen 2016 [vid. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://cmszp.cz/mze/2016/sazby-saps-greening-a-mlady-zemedelec/>
- [47] *Program rozvoje venkova 2014-2020 - Státní zemědělský intervenční fond* [online]. [vid. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.szif.cz/cs/prv2014>
- [48] *14th International Conference of the European Industrial Hemp Association (EIHA), 7-8 June 2017* [online]. [vid. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.eiha-conference.org/pressrelease?id=183>

Seznam obrázků

Obr. 1:	Cannabis Sativa L.[3].....	11
Obr. 2:	Přehled využití biomasy jako zdroje energie [15]	16
Obr. 3:	Konopná biomasa v oblasti Chraštic v roce 2007 [17].....	17
Obr. 4:	Graf závislosti výhřevnosti na obsahu vody v palivu [20]	19
Obr. 5:	Konopné pazdeří a brikety [30]	22
Obr. 6:	Termogram konopné bionafty [32].....	26
Obr. 7:	Vizuální srovnání konopného biooleje a bionafty [32].....	27
Obr. 8:	Schéma procesu výroby bioplynu [37]	29
Obr. 9:	Možnosti zpracování a použití bioplynu [42]	31
Obr. 10:	Srovnání efektivity výroby bioplynu z konopí s dalšími alternativními palivy [43] ...	32
Obr. 11:	Nárůst osetých ploch konopím do roku 2016 [48].....	34

Seznam tabulek

Tab. 1: Dělení energetických rostlin [14].....	15
Tab. 2: Využití rostlinné biomasy k energetickým účelům [18].....	17
Tab. 3: Procentuální obsah vody v běžných energetických plodinách [21].....	18
Tab. 4: Průměrná výhřevnost konkrétních paliv ve srovnání s Konopím setým [18, 23, 24].....	20
Tab. 5: Procentuální obsah hlavních mastných kyselin v konopném oleji [6].....	23
Tab. 6: Fyzikální a chemické vlastnosti konopného oleje a konopné bionafty [32].....	25
Tab. 7: Přehled složek zastoupených v bioplynu [41].....	30
Tab. 8: Výtěžnosti bioplynu a metanu z odrůd Futura 75 a USO 31 [36]	30

Seznam symbolů

Symbol	Význam	Jednotka
A	obsah popela	–
m_d	hmotnost suchého vzorku paliva	kg
m_o	váha po vysušení	kg
m_p	počáteční váha vzorku nebo hmotnost popela	kg
Q_i	výhřevnost	J/kg
Q_s	spalné teplo	J/kg
w	relativní vlhkost paliva	%

Seznam zkratek

Zkratka	Význam
ASTM	Organizace zabývající se technickými standardy materiálů, produktů atd.
ČR	Česká republika
EU	Evropská unie
FAME	Fat Acid Metyl - Ester
LTO	výhřevnost
MEŘO	MEthylester řepkového oleje
m.n.m.	mentrů nad mořem
Obr.	obrázek
ppm	parts per million (počet částic na jeden milion)
SAPS	jednotná platba na plochu orné půdy
SOH	suchá organická hmota
Tab.	Tabulka
THC	tetrahydrocannabinol
USA	United States of America = Spojené státy americké

Chemické sloučeniny

Sumární vzorec	Název
H	Vodík
H ₂	Molekula vodíku
Ca	Vápník
CaO	Oxid vápenatý
CO ₂	Oxid uhličitý
CH ₄	Methan
Fe ₂ O ₃	Oxid železitý
K	Draslík
KOH	Hydroxid draselný
K ₂ O	Oxid draselný
MgO	Oxid hořečnatý
N	Dusík
Na ₂ O	Oxid sodný
NaOH	Hydroxid sodný
P	Fosfor
P ₂ O ₅	Monomer oxidu fosforečného
SiO ₂	Oxid křemičitý

Seznam příloh

Příloha A - Tabulka porovnání výnosnosti a finančních nákladů konopí a kukuřice při výrobě bioplynu

Příloha A

Tabulka porovnání výnosnosti a finančních nákladů konopí a kukuřice při výrobě bioplynu

Hodnocené plodiny	Výnos fytomasy z 1 ha		Průměrná výtěžnost CH ₄ , Nm ³ /t sušiny fytomasy	Průměrný výnos CH ₄ , Nm ³ /ha	Celk. náklady produkce fytomasy v přepočtu na 1 ha [Kč/ha za rok]		Celk. náklady v přepočtu na 1 t produkce fytomasy [Kč/t suš.]		Měrné náklady v přepočtu na výtěžek metanu [Kč/Nm ³ CH ₄]		Prům. ztráty při silážování, % sušiny	Cena metanu ze siláže korig. ztrátou suš. siláže [Kč/Nm ³ CH ₄]
	Původní hmota [t]	Sušina [t]			Odběr na poli	Včetně konzervace a uskladnění	Odběr na poli	Včetně konzervace a uskladnění	Odběr na poli	Včetně konzervace a uskladnění		
Kukuřice setá (stand. tech.)	40	12,8	282	3 610	21 380	23 797	1 670	1 859	5,92	6,59	4	6,87
Kukuřice setá (intenz. tech.)	55	17,6	282	4 963	24 587	27 367	1 397	1 555	4,95	5,51	4	5,74
Konopí seté (stand. tech)	32	10,2	271	2 764	19 650	21 870	1 926	2 144	7,10	7,91	6	8,38
Konopí seté (intenz. tech.)	36	12,9	271	3 496	21 926	24 404	1 699	1 892	6,27	6,98	6	7,40