



Agronomická  
fakulta



# Hydrotermické zpracování materiálů

Mendelova  
univerzita  
v Brně



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

## Cíle kapitoly

- Úvodní popis problematiky hydrotermické úpravy materiálů
- Popis děje hydrotermické úpravy za účelem výroby kapalných biopaliv
- Popis děje hydrotermické úpravy za účelem úpravy materiálu pro jeho další energetické využití

## **Klíčová slova**

- Energie, úprava, hydrotermický

# 1. Úvod

Hydrotermická úprava materiálů je založena na fyzikálních (resp. fyzikálně-chemických) principech, které využívají společného působení tlaku, zvýšené teploty a vlhkosti, čímž dochází ke strukturálním změnám materiálu (nejčastěji biomasy).

Hydrotermická úprava materiálů, případně jejich zpracování, je prováděno za různými účely.

# 1. Úvod

V zásadě se v současné době využívá v následujících oblastech:

- Hydrotermická úprava krmiv
- Hydrotermická úprava dřeva
- Hydrotermické zpracování biomasy za účelem výroby kapalných paliv
- Hydrotermická předúprava biologických materiálů za účelem dalšího energetického využití

# 1. Úvod

Prvními dvěma oblastmi se v této kapitole nebudeme hlouběji zabývat, a to z toho důvodu, že proces hydrotermické úpravy krmiv a popis procesu hydrotermické úpravy dřeva za účelem zlepšení mechanických vlastností jsou náplní jiných předmětů vyučovaných na Mendelově univerzitě. Obecně lze však říci, že hydrotermická úprava krmiv se provádí za účelem zušlechtění krmiv, a to především z hlediska zvýšení nutriční hodnoty, chutnosti a přijatelnosti krmiv pro hospodářská zvířata.

# 1. Úvod

Hydrotermická úprava dřeva za neenergetickým účelem se používá zejména pro:

- snížení řezných sil a zlepšení kvality řezu při loupání a krájení dýh
- uvolnění vnitřních napětí
- změnu barvy dřeva
- sterilizaci
- změnu tvaru přířezu ohýbáním

## Hydrotermické zpracování – kapalná biopaliva

Při výrobě kapalných paliv se stále hledají nové cesty, které by alternativně nahradily stávající procesy výroby kapalných paliv z fosilních zdrojů, především ropy. V současné době je velmi aktuální téma alternativních kapalných biopaliv, která jsou vyrobena ze škrobnatých nebo cukernatých zemědělských plodin (v případě bioetanolu) nebo metylesteru různých druhů olejů (v případě bionafty). Je vedena diskuze, zda z hlediska energetické bilance je vůbec výhodné tato paliva vyrábět. Z tohoto důvodu se stále hledají směry, kde by tyto nedostatky byly odstraněny.



## 2. Hydrotermické zpracování – kapalná biopaliva

Jedním z takových směrů může být výroba biopaliv z lignocelulózových odpadů nebo vedlejších rostlinných produktů s využitím hydrotermického rozkladu, kde výstupem budou alkoholová biopaliva. Tato biotechnologická úprava biologických lignocelulózových materiálů je například od roku 2001 řešena ve Výzkumném ústavu rostlinné výroby v.v.i. Praha na experimentálním zařízení MHZ-30/2.

## 2. Hydrotermické zpracování – kapalná biopaliva

Toto zařízení sestává ze sestavy plnicích, převáděcích a výtlačných šnekových lisů, které umožňují transport hydrolyzních odpadů v hydromodulu 5:1 do protitlaku asi 1,6 MPa v kontinuálních hydrolyzérech, kde je dosahována teplota hydrolyzovaných odpadů v intervalu 170 – 200 °C s expozicí 10 – 20 minut. Zařízení umožňuje nástřik kyseliny chlorovodíkové do vsázky, a to až na úroveň pH 3,5.

## 2. Hydrotermické zpracování – kapalná biopaliva

Pro úpravu lignocelulózových odpadů je vstupní část hydrolyzního zařízení doplněna drtiči a pro úpravu dřevních odpadů a slámy extruderem. Výstup z hydrolyzérů je veden do soustavy expanderů a parní fáze z expandérů je kondenzována v tepelném výměníku a vedena do zásobníku kondenzátu.

## 2. Hydrotermické zpracování – kapalná biopaliva

Kondenzát je zdrojem chemických látek, zejména furalu, který se v kondenzační fázi vyskytuje v závislosti na obsahu hemicelulóz ve zpracovávaných odpadech při teplotě hydrolýzy nad 180 °C. Fural je možné z kondenzátu separovat a rektifikovat a představuje jeden z výstupních produktů. Toto technologické řešení minimalizuje v hydrolýzním produktu látky, které brzdí následné fermentační procesy.

## 2. Hydrotermické zpracování – kapalná biopaliva

Hydrolyzát je v odvodňovacím lisovacím zařízení rozdělen na směs sacharidů, které jsou zpracovány fermentací na tzv. „bioetanol“ a na nehydrolyzovaný tuhý podíl s převahou ligninu, který po rafinaci představuje další výstupní produkt tohoto procesu. Cílem experimentů s výše specifikovaným zařízením bylo potvrzení hypotézy, že termickou tlakovou hydrolýzou je možné na tomto zařízení připravit z lignocelulóзовých odpadů a dalšího rostlinného materiálu hydrolýzní sacharidy pro výrobu tzv. „biologických paliv II. generace“. Pro příklad jsou výtěžnosti bioetanolu při zpracování různých materiálů uvedeny v následujících tabulkách.

## 2. Hydrotermické zpracování – kapalná biopaliva

Teplota °C	Tlak MPa	Expozice min.	Výtěžnost cukrů [kg·Mg <sup>-1</sup> suš.]	Výtěžnost bioetanol (98 %) [dm <sup>3</sup> ·Mg <sup>-1</sup> suš.]
185	1,1	10	257	174
195	1,4	12	329	223
198	1,5	12	382	259
195	1,5	14 (recykl)	431	292
198	1,5	14 (recykl)	510	329

*Hydrolyza drcené slámy*

## 2. Hydrotermické zpracování – kapalná biopaliva

<b>Odpad</b>	<b>Teplota °C</b>	<b>Tlak MPa</b>	<b>Expozice min.</b>	<b>Výtěžnost cukrů [kg·Mg<sup>-1</sup> suš.]</b>	<b>Výtěžnost bioetanol [dm<sup>3</sup>·Mg<sup>-1</sup> suš.]</b>
Dřevo	185	1,1	12	209	142
Dřevo (recykl)	205	1,6	12	347	215
Papír	195	1,4	12	352	238
Papír	205	1,6	12	397	269
Papír + sláma	205	1,6	12	448	303

*Hydrolýza dalších odpadů*

## 2. Hydrotermické zpracování – kapalná biopaliva

Na základě experimentů s využitím nezreagované ale již rozštěpené tuhé fáze je možno v přepočtu na množství substrátu na počátku, získat minimálně dalších 8 % hydrolýzních cukrů s převahou glukózy. Z tohoto množství hydrolýzních cukrů je možno získat 0,26 kg bioetanolu, což představuje cca 0,33 l bezvodého alkoholu (98% alkohol). Z 1 Mg pšeničné slámy je možno zpracováním v tomto zařízení získat 330 l bezvodého alkoholu.



## 2. Hydrotermické zpracování – kapalná biopaliva

Účelem je, aby uvedené zařízení bylo součástí tzv. centra pro výrobu fytopaliv, které se skládá z několika technologických celků:

- linka k výrobě topných pelet,
- briketovací linka,
- linka pro tepelně tlakovou hydrolýzu biomasy včetně linky pro výrobu bezvodého bioetanolu

## 2. Hydrotermické zpracování – kapalná biopaliva

Experimenty s hydrotermickou úpravou materiálu za účelem výroby biopaliva jsou prováděny i ve světě. Jako příklad lze uvést země jako:

- Portugalsko
- Dánsko
- Japonsko
- USA
- a další

## 2. Hydrotermické zpracování – kapalná biopaliva

### *Portugalsko*

V Portugalsku například probíhaly experimenty s hydrotermickou úpravou slavnatého materiálu. Tento materiál byl nejdříve rozstříhán na kousky o velikosti 1 – 3 cm a následně rozemlet. K hydrotermické úpravě docházelo v zařízení při teplotě 180 °C. Kapalná a pevná část byla od sebe oddělena pomocí centrifugy. Následně byl materiál inokulován speciálním kmenem kvasinek, který zintenzívil samotné alkoholové kvašení.

## 2. Hydrotermické zpracování – kapalná biopaliva

### *Dánsko*

Pro experimenty v Dánsku bylo zvoleno sušené seno vojtěšky. Experimenty byly prováděny při teplotách 175 – 215 °C. Materiál byl separován pomocí vakuové filtrace. Následně bylo provedeno alkoholové kvašení, kde poměr konverze dosahoval až 62 %.

## 2. Hydrotermické zpracování – kapalná biopaliva

### *Japonsko*

V Japonsku se zaměřili na výzkum produkce biopaliv ze zbytků potravin a další zdrojů, které jsou charakteristické pro jižní Asii. Jedná se například zbytky manioku, cukrové třtiny a nebo zbytků rýže.

## 2. Hydrotermické zpracování – kapalná biopaliva

*USA*

Za účelem výroby biopaliv druhé generace se hledají i alternativní zdroje biomasy. Jako perspektivní se považují různé druhy řas. Ve Spojených státech například experimentovali z řasami druhu *Chlorella pyrenoidosa*. V tomto případě byl experiment proveden při teplotě 280 °C a tlaku 0,69 MPa.

## 2. Hydrotermické zpracování – kapalná biopaliva

Experimentům se samozřejmě věnují i další vyspělé průmyslové země jako Německo nebo Velká Británie. Pro výrobu kapalných biopaliv lze využít celou řadu odpadních materiálů. Mimo výše uvedené lze mezi tyto materiály řadit i biologický odpad z údržby zeleně, obilné slupky, různé rostlinné zbytky apod.

### 3. Hydrotermické zpracování – energetické využití

Jak již bylo zmíněno výše vzhledem k působení vysokého tlaku, teploty a vlhkosti dochází k narušení struktury materiálu. Tento efekt zapříčiní, že po této úpravě budou jednotlivé látky lépe dostupné pro organismy, které tyto látky využívají. To může být výhodné například při anaerobní fermentaci, kdy jednotlivé kmeny bakterií tyto látky lépe zpracují.



### 3. Hydrotermické zpracování – energetické využití

Hydrolyzovaná biomasa vykazuje stabilní parametry složení a umožňuje zkrácení reakční doby při anaerobní fermentaci a snížení potřebného objemu biomasy pro bioplynové transformace, čímž přispívá k vyšší efektivitě provozu bioplynových stanic. To vede k vyšší produkci bioplynu a ke kratší době zdržení vstupního materiálu v reaktoru.

### 3. Hydrotermické zpracování – energetické využití

#### Hydrotermická úprava čistírenských kalů

Anaerobní fermentace čistírenských kalů se využívá v mnoha čistírnách odpadních vod ke stabilizaci organické složky. Redukce hmoty, zvýšená produkce metanu nebo zlepšení vlastností kalu pro následné odvodnění jsou hlavními rysy tohoto procesu.

Zpracování čistírenského kalu může být mezofilní či termofilní. U mezofilního procesu je delší doba zdržení a nižší produkce metanu, nicméně je energeticky méně náročný než proces termofilní a je více stabilnější.

Termofilní proces, ale má výhodu v intenzivnější hygienizaci.

### 3. Hydrotermické zpracování – energetické využití

Avšak existují postupy, které vedou ke zvýšení rozpustnosti komplexu částic a tím pádem k lepší dostupnosti živin pro organismy v rámci anaerobní fermentace. Může tak dojít k vyšší produkci methanu jak v případě mezofilního, tak v případě termofilního procesu. Jedním z těchto postupů je i hydrotermická úprava čistírenský kalů. Pro srovnání při anaerobní fermentaci surového čistírenského kalu došlo při jednom z pokusů k produkci bioplynu 202 ml bioplynu na gram vstupního materiálu v sušině. Po hydrotermické úpravě poté produkce bioplynu vzrostla na 339 ml bioplynu na gram vstupního materiálu v sušině, a to při přibližně stejné koncentraci metanu.

### 3. Hydrotermické zpracování – energetické využití

#### **Hydrotermická úprava kejdy hospodářských zvířat**

Kejda hospodářských zvířat je tradičně využívána při hnojení zemědělské půdy a je důležité, aby tento způsob přirozeného hnojení byl upřednostňován. Zároveň však kejda hospodářských zvířat díky obsahu důležitých mikroorganismů pro začátek anaerobní fermentace je hojně využívána pro kofermentaci s jinými materiály, jako například kukuřičná siláž, senáž apod. I v případě kejdy hospodářských zvířat lze však pomocí hydrotermické úpravy docílit zvýšení produkce bioplynu.

### 3. Hydrotermické zpracování – energetické využití

V tabulce je uvedena pro příklad produkce bioplynu v případě použití surového materiálu a materiálu po hydrotermické úpravě.

Materiál	Surový		Upravený	
	Produkce bioplynu [ml·g <sup>-1</sup> ]	Koncentrace CH <sub>4</sub> [%]	Produkce bioplynu [ml·g <sup>-1</sup> ]	Koncentrace CH <sub>4</sub> [%]
Hovězí kejda	182	66,6	238	54,7
Prasečí kejda	385	65,9	420	70,1

*Produkce bioplynu v případě upraveného a neupraveného vstupního materiálu*

## 3. Hydrotermické zpracování – energetické využití

### Hydrotermická úprava biologického odpadu

Biologický odpad může pocházet z různých zdrojů. Je to například odpad z restaurací a jídelen, z úpravy městské zeleně, ale také z komunálního odpadu, jenž obsahuje významné procento biodegradabilních složek. Biologické odpady mají značný potenciál pro anaerobní fermentaci. Nicméně je nutné podotknout, že biologický odpad obsahuje často inhibující prvky, které brzdí proces anaerobní fermentace.

### 3. Hydrotermické zpracování – energetické využití

Pro snížení inhibujících prvků může být využita i hydrotermická úprava daného bioodpadu. Inhibujících látek existuje celá řada, patří mezi ně i například těkavé mastné kyseliny, které můžou ve vyšších koncentracích působit na mikroorganismy toxicky. Dále to ale můžou být i těžké kovy.

Metoda hydrotermické úpravy biologického odpadu pocházejícího z komunálního odpadu byla například využita v pilotní jednotce v Číně. Výsledky z experimentu jsou uvedeny v následující tabulce.

### 3. Hydrotermické zpracování – energetické využití

<b>Materiál</b>	<b>Těkavé mastné kyseliny [mg·l<sup>-1</sup>]</b>	<b>pH</b>
Surový biologický odpad	10092 ± 1006	4,41 ± 0,21
Biologický odpad po hydrotermální úpravě	9035 ± 1787	4,77 ± 0,44
Po anaerobní fermentaci (186 dní): surový	706 ± 143	7,69 ± 0,04
Po anaerobní fermentaci (186 dní): upravený	159 ± 56	7,55 ± 0,04

*Hodnoty těkavých mastných kyselin u surového biologického odpadu a u upraveného biologického odpadu*



### 3. Hydrotermické zpracování – energetické využití

Z výsledků vyplývá, že hydrotermická úprava napomáhá k odbourávání těkavých mastných kyselin. Větším problémem ale mohou být v případě biologického odpadu vytrádky z odpadu komunálního právě těžké kovy, kde vliv hydrotermické úpravy je minimální.



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



***Tato publikace je spolufinancována z Evropského sociálního fondu a státního rozpočtu České republiky.***

***Byla vydána za podpory projektu OP VK CZ.1.07/2.2.00/28.0302 Inovace studijních programů AF a ZF MENDELU směřující k vytvoření mezioborové integrace.***