



# Projekt aplikovaného výskumu

**Výskum možností integrácie výroby bioetanolu  
1. generácie na báze kukurice a 2. generácie na  
báze celulózy zo slamy, kukuričného kôrovia  
a krátkych vlákien zo spracovania zberového  
papieru**



# Projekt aplikovaného výskumu

- Názov projektu: Výskum možností integrácie výroby bioetanolu 1. generácie na báze kukurice a 2. generácie na báze celulózy zo slamy, kukuričného kôrovia a krátkych vlákien zo spracovania zberového papiera
- Čas riešenia projektu: október 2013 – september 2016
- Riešiteľská organizácia: Výskumný ústav papiera a celulózy a.s.
- Zodpovedný riešiteľ: Ing. Juraj Gigac, PhD.
- Spoluriešiteľská organizácia: FCHPT STU Bratislava
- Plánovaní realizátori: Enviral a.s. Leopoldov / VÚPC a.s. Bratislava



# Rozpočet projektu aplikovaného výskumu

- Požadovaná výška dotácie: 1 993 540,- eur
- Poskytovateľ stimulo: MŠVVŠ SR
- Výška vlastných prostriedkov: 500 000,- eur
- Celkové náklady: 2 493 540,- eur
- Z toho kapitálové výdavky: 113 887,- eur



# Plánované finančné prostriedky na jednotlivé roky riešenia

## Rozpočet riešiteľskej organizácie (eur):

	<b>Rok 2013</b>	<b>Rok 2014</b>	<b>Rok 2015</b>	<b>Rok 2016</b>
<b>Bežné priame náklady</b>	150 000,-	311 427,-	838 319,-	417 873,-
<b>Kapitálové výdavky</b>	0,-	44 443,-	69 444,-	0,-
<b>Nepriame náklady</b>	37 500,-	60 490,-	209 577,-	104 467,-
<b>Bežné náklady spolu</b>	187 500,-	371 917,-	1 047 896,-	522 340,-
<b>Požadovaná výška dotácie</b>	150 000,-	328 860,-	867 340,-	397 340,-
<b>Výška vlastných prostriedkov</b>	37 500,-	87 500,-	250 000,-	125 000,-
<b>Sumárny rozpočet žiadateľa</b>	187 500,-	416 360,-	1 117 340,-	522 340,-



# Plánované finančné prostriedky na jednotlivé roky riešenia

## Rozpočet spoluriešiteľskej organizácie (eur):

	<b>Rok 2013</b>	<b>Rok 2014</b>	<b>Rok 2015</b>	<b>Rok 2016</b>
<b>Bežné priame náklady</b>	0,-	16 000,-	104 000,-	80 000,-
<b>Kapitálové výdavky</b>	0,-	0,-	0,-	0,-
<b>Nepriame náklady</b>	0,-	4 000,-	26 000,-	20 000,-
<b>Bežné náklady spolu</b>	0,-	20 000,-	130 000,-	100 000,-
<b>Požadovaná výška dotácie</b>	0,-	20 000,-	130 000,-	100 000,-
<b>Výška vlastných prostriedkov</b>	0,-	0,-	0,-	0,-
<b>Sumárny rozpočet spoluriešiteľa</b>	0,-	20 000,-	130 000,-	100 000,-



# Plánované finančné prostriedky na jednotlivé roky riešenia

## Sumárny rozpočet projektu (eur):

	<b>Rok 2013</b>	<b>Rok 2014</b>	<b>Rok 2015</b>	<b>Rok 2016</b>
<b>Bežné priame náklady</b>	150 000,-	327 427,-	942 319,-	497 873,-
<b>Kapitálové výdavky</b>	0,-	44 443,-	69 444,-	0,-
<b>Nepriame náklady</b>	37 500,-	64 490,-	235 577,-	124 467,-
<b>Bežné náklady spolu</b>	187 500,-	391 917,-	1 177 896,-	622 340,-
<b>Požadovaná výška dotácie</b>	150 000,-	348 860,-	997 340,-	497 340,-
<b>Výška vlastných prostriedkov</b>	37 500,-	87 500,-	250 000,-	125 000,-
<b>Sumárny rozpočet projektu</b>	187 500,-	436 360,-	1 247 340,-	622 340,-



# Cieľ na celé obdobie riešenia

- Výskum novej technológie na výrobu bioetanolu 2. generácie na báze celulózy – integrovateľnej s technológiou výroby bioetanolu 1. generácie na báze škrobu
- Využitie synergických efektov z integrácie dvoch technologických celkov - základ konkurenčnej výhody integrovanej výrobnéj technológie
- Výber najvhodnejších lignocelulóзовých (LC) surovín - konkurencieschopná a trvalo udržateľná výroba
- Diverzifikácia surovinovej bázy - minimalizácia rizika zvýšenia cien surovín



# Výstup z riešenia a spoločenský prínos

- Vypracovanie efektívnej technológie výroby bioetanolu 2. generácie z LC surovín a jej experimentálne overenie v prevádzke
- Rozšírenie pracoviska o Sekciu chémie a technológie predspracovania a hydrolýzy lignocelulóзовých materiálov pre výrobu biopalív 2. generácie
- Vytvorenie siedmich nových pracovných miest v oblasti výskumu





# Časový harmonogram riešenia projektu

Názov etapy	Začiatok (mm/rok)	Koniec (mm/rok)
1 – Charakterizácia lignocelulóзовých surovín, výber a optimalizácia vhodných alternatív z hľadiska diverzifikácie a trvalej udržateľnosti surovinovej bázy	10/2013	04/2015
2 – Optimalizácia procesov predspracovania lignocelulóзовých surovín	11/2013	07/2015
3 – Optimalizácia podmienok hydrolýzy s ohľadom na výťažok cukrov a spracovateľnosť hydrolyzátu fermentáciou	01/2014	07/2016
4 – Zvýšenie efektívnosti výroby bioetanolu spracovaním vedľajších produktov	07/2014	07/2016
5 – Výber optimálneho procesu fermentácie hydrolyzáto	09/2014	08/2016
6 – Využitie efektov integrácie výroby bioetanolu 1. a 2. generácie	01/2015	08/2016
7 – Návrh novej technológie a overenie výsledkov výskumu pilotnými skúškami	02/2015	09/2016



## Očakávané výstupy riešenia

Názov etapy	Plánovaný termín (mm/rok)
Etapa 1 – Výstup: Koncepcia rotácie a diverzifikácie optimálnych surovinových zdrojov	04/2015
Etapa 2 – Výstup: Lignocelulózový materiál s veľkým špecifickým povrchom a výbornou dostupnosťou hydrolytickým činidlám	07/2015
Etapa 3 – Výstup: Fermentačne bezchybný hydrolyzát s vysokým výťažkom cukrov	07/2016
Etapa 4 – Výstup: Technologický postup zhodnotenia vedľajších produktov	07/2016
Etapa 5 – Výstup: Bioetanol 2. generácie z obnoviteľných zdrojov	08/2016
Etapa 6 – Výstup: Nový efektívny spôsob integrácie procesov výroby bioetanolu 1. a 2. generácie	08/2016
Etapa 7 – Výstup: Optimálna technológia na výrobu bioetanolu 2. generácie	09/2016



# Výsledky riešenia projektu v roku 2013

## Etapa 1 Charakterizácia lignocelulózových surovín

- Prvé výsledky riešenia projektu naznačili rozsah zdrojov lignocelulózovej (LC) suroviny z oblasti poľnohospodárskych pozberových zvyškov. Na základe týchto informácií sa konštatuje potreba orientácie aj na ďalšie zdroje:
  - priemyselné lignocelulózové suroviny, ako sú sekundárne vlákna zo zberového papiera a odpadové vlákna z papierní,
  - alternatívne lignocelulózové suroviny, ako sú špeciálne rastliny pestované na priemyselné spracovanie, ktoré vďaka ich vyšším hektárovým výnosom budú vhodne dopĺňať už spomínané základné suroviny.



# Výsledky riešenia projektu v roku 2013

## Etapa 2 – Optimalizácia procesov predspracovania LC surovín

- Rýchla, presná a reprodukovateľná metóda hodnotenia prístupnosti LC surovín pre hydrolytické enzýmy. Nová metóda sa využíva na hodnotenie prístupnosti predspracovaných LC surovín pred enzymatickou hydrolýzou.
- Metóda sa použila pri hodnotení účinku predspracovania na prístupnosť LC materiálu z rôznych poľnohospodárskych pozberových zvyškov spracovaných mletím za sucha, defibráciou za mokra a cyklickým zmrazovaním a rozmrazovaním.
- Najväčšia prístupnosť bola pozorovaná pri aplikácii hydro-mechanického účinku na LC surovinu v diskovom rafinéri.

V ďalšom období budeme venovať pozornosť kombinovaným postupom predspracovania vybraných LC surovín.



# Výsledky riešenia projektu v roku 2013

Spoločenské prínosy: Vytvorenie nových pracovných miest

- Rozšírenie pracoviska o Sekciu chémie a technológie predspracovania a hydrolýzy LC surovín pre výrobu biopalív 2. generácie a vytvorenie siedmich nových pracovných miest v oblasti výskumu. Sekcia je zameraná na výskum predspracovania LC surovín a hydrolýznych procesov v rámci technológie výroby bioetanolu 2. generácie. Ide o optimálne využitie poľnohospodárskych LC zvyškov ako sú slama, kukuričné kôrovie a vytriedené krátke vlákna zo zberového papiera.
- Špeciálny tím výskumných a technických pracovníkov - ktorý sa vytvára - sa bude špecializovať na riešenia úloh spojených s optimalizáciou procesu výroby bioetanolu 2. generácie.



# Náklady v roku 2013

<b>Náklady v roku 2013</b>	<b>Plánované</b>	<b>Skutočné</b>
<b>Bežné priame náklady</b>	150 000,-	150 000,-
<b>Mzdové náklady</b>	108 780,-	108 780,-
<b>Zdravotné a sociálne poistenie</b>	38 290,-	38 290,-
<b>Cestovné výdavky</b>	120,-	120,-
<b>Materiál</b>	360,-	360,-
<b>Odpisy</b>	410,-	410,-
<b>Služby</b>	270,-	270,-
<b>Energie, vodné, stočné a komunikácie</b>	1 770,-	1 770,-
<b>Kapitálové výdavky</b>	0,-	0,-
<b>Nepriame náklady</b>	37 500,-	37 500,-
<b>Bežné náklady spolu</b>	187 500,-	187 500,-
<b>Požadovaná výška dotácie</b>	150 000,-	150 000,-
<b>Výška vlastných prostriedkov</b>	37 500,-	37 500,-
<b>Sumárny rozpočet projektu</b>	187 500,-	187 500,-

Projekt bol riešený v mesiacoch október až december 2013. Riešenie bolo v súlade s plánovaným harmonogramom.



# Harmonogram plánovaných aktivít na rok 2014

Názov etapy	Začiatok (mm/rok)	Koniec (mm/rok)
<b>1 – Charakterizácia lignocelulóзовých surovín</b> Disponibilné zdroje poľnohospodárskych pozberových zvyškov a celulózo-papierenských odpadových drevných vlákien. Porovnanie chemického zloženia (celulóza, hemicelulózy, lignín, sprievodné látky) LC surovín. Výber optimálnych alternatív surovinových zdrojov z hľadiska diverzifikácie a trvalej udržateľnosti.	10/2013	04/2015
<b>2 – Optimalizácia procesov</b> Vypracovanie metódy na meranie akcesibility LC surovín pre hydrolytické enzýmy. Porovnanie mechanických, termomechanických a termochemických postupov predspracovania LC surovín. Optimalizácia technologických podmienok postupov predspracovania LC surovín.	11/2013	07/2015



# Harmonogram plánovaných aktivít na rok 2014

Názov etapy	Začiatok mm/rok	Koniec mm/rok
<b>3 – Optimalizácia podmienok</b> Prešetrenie vplyvu predspracovania na výťažok cukrov a tvorbu inhibítorov fermentácie. Vplyv komerčných hydrolytických enzýmov a LC surovín na účinnosť enzymatickej hydrolýzy. Optimalizácia technologických podmienok hydrolýzy a detoxikácie hydrolyzátov.	01/2014	07/2016
<b>4 – Zvýšenie efektívnosti výroby bioetanolu</b> Charakterizácia zloženia hydrolyzátov (obsahu lignínu a organických kyselín). Postupy separácie lignínu a kyseliny octovej z hydrolyzátov. Ekonomické zhodnotenie spôsobov využitia lignínu.	07/2014	07/2016
<b>5 – Výber optimálneho procesu</b> Vplyv inhibítorov na účinnosť fermentácie hydrolyzátov s ohľadom na spôsob predspracovania a druh LC suroviny. Vplyv podmienok a fermentujúcich mikroorganizmov na produkciu bioetanolu v procese fermentácie. Ekonomické zhodnotenie produkcie bioetanolu pri oddelenej hydrolýze a fermentácii a simultánnej sacharifikácii a kofermentácii.	09/2014	08/2016





# Výsledky riešenia projektu v roku 2014

- Určilo sa chemické zloženie, morfológia, podmienky pestovania a produkcie biomasy 11 druhov lignocelulóзовých surovín (LCS). Analýzy ich chemického zloženia potvrdili vhodnosť pre výrobu bioetanolu. Obsah polysacharidov bol viac ako 70 %, z toho 40-50 % tvorila celulóza.
- Porovnal sa vplyv mechanického, termicko-mechanického a termicko-chemického postupu predspracovania na prístupnosť LCS pomocou adsorpcie priamych farbív a výt'ážku monosacharidov po enzymatickej hydrolýze.
- Najúčinnějšía metóda zvýšenia prístupnosti a výt'ážku monosacharidov bola parná explózia v tlakovom reaktore.
- Mechanické predspracovanie nie je dostatočné, využije sa pre zmenšenie rozmerov suroviny. Cyklické zmrazovanie a rozmrazovanie zvyšuje prístupnosť LCS pre hydrolytické enzýmy. Je účinné aj v synergii s inými metódami predspracovania rôznych druhov LCS. Výsledky sú chránené patentovou prihláškou.



# Výsledky riešenia projektu v roku 2014

- Bola zavedená metóda stanovenia monosacharidov kvapalinovou chromatografiou HPLC. Druh LCS významne ovplyvnil výt'azok monosacharidov z enzymatickej hydrolýzy. Pri rovnakých podmienkach parnej explózie (230 °C, 10 min; SF 4,8) klesal v poradí: krátke vlákna zo spracovania zberového papiera 88 %, recyklované vlákna 83 %, pšeničná slama 74 %, kukuričné kôrovie 73 % a repková slama 59 %. Pri optimálnych podmienkach pedspracovania (190 °C, 10 min; SF 3,6) krátkych vlákien zo spracovania zberového papiera, pšeničnej slamy a kukuričného kôrovia sa dosiahli výt'azky 97 %, resp. 85 % a 83 %. Účinnosť enzymatickej hydrolýzy mechanicky pedspracovaných LCS bola výrazne nižšia.
- Použitím enzýmového preparátu Cellic CTec2 (Novozyme) sa dosiahli o 30 % vyššie výt'azky v porovnaní s enzýmovým preparátom Accellerase 1500 (Genencor).



# Výsledky riešenia projektu v roku 2014

- Separácia inhibítorov z predspracovanej LCS poskytuje zvýšený výtťažok monosacharidov a etanolu. Vedľajšie produkty z výroby bioetanolu sa efektívne zhodnocujú a zlepšujú ekonomiku procesu. Napr. recyklácia kyseliny octovej sa dá použiť pre katalýzu autohydrolýzy LCS v procese parnej explózie.
- Pri fermentácii hydrolyzátov sa použili modelové mikroorganizmy *Zymomonas mobilis* a *Saccharomyces sp.* Kmeň *Zymomonas mobilis*, preukázal vyššiu toleranciu k vyššej koncentrácii sacharidov. Fermentácia so *Zymomonas mobilis* bola najrýchlejšia pri teplotách 34 °C a 38 °C. Vstupné koncentrácie glukózy 100-150 g/L sú výhodné z hľadiska času fermentácie, nárastu biomasy i produkcie etanolu. Zaviedla sa a rozpracovala sa metodika stanovenia enzýmovej aktivity celuláz a endoglukanáz.



# Výstupy z riešenia projektu za rok 2014

## Patentové krytie výsledkov

- Boháček, Š., Fišerová, M., Gigac, J., Pažitný, A., Russ, A., Letko, M., Mikulášik, R., Ihnát, V.: "Spôsob zvyšovania akcesibility lignocelulózových materiálov hydrolytickým enzýmom pri výrobe biopaliva", Výskumný ústav papiera a celulózy, a.s. Bratislava. **PP50076 – 2014**, ÚPV SR.

## Popularizácia výsledkov

- Russ, A., Vojta, A., Letko, M.: Disponibilné zdroje na výrobu bioetanolu prvej a druhej generácie na Slovensku. Zborník zo záverečnej konferencie projektu EU HUSK 1001/2.5.2/0025. S. 33-40 (Bratislava, Slovenská republika, 29. apríla 2014). ISBN 978-80-971589-7-2.
- Mikulášik, R.: Skvapaľňovanie odpadových lignocelulózových materiálov. Zborník zo záverečnej konferencie projektu EU HUSK 1001/2.5.2/0025. S. 52-58 (Bratislava, Slovenská republika, 29. apríla 2014). ISBN 978-80-971589-7-2.



# Popularizácia výsledkov (2014)

- Letko, M., Gigac, J., Fišerová, M., Boháček, Š., Pažitný, A., Russ, A. 2014: Predspracovanie lignocelulóзовých materiálov – kľúčový proces pri výrobe bioetanolu druhej generácie. Zborník medzinárodnej konferencie Wood, Pulp & Paper, PA 2014, 12.-13. marec 2014, Bratislava, Slovensko, s. 218-223, ISBN: 978-80-89597-16-1.
- Russ, A., 2014: Agricultural Hydrolysis of lignocellulose materials- Analysis of hydrolysates by means of HPLC method. Workshop s ministrom vedy, výskumu a efektívnych inovácií Argentínskej republiky p. Linom Baranaom, s odbornými pracovníkmi ministerstva a veľvyslanectva Argentínskej republiky za účasti delegáta z Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky, 16. 9. 2014, Elektronický zborník prednášok VÚPC, a.s. Bratislava.
- Mikulášik, R., 2014: Utilization of lignin by-products from second generation (2G) bioethanol process. Workshop s ministrom vedy, výskumu a efektívnych inovácií Argentínskej republiky p. Linom Baranaom, s odbornými pracovníkmi ministerstva a veľvyslanectva Argentínskej republiky za účasti delegáta z Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky, 16. 9. 2014, Elektronický zborník prednášok VÚPC, a.s. Bratislava.
- Letko, M. 2014: Pretreatment of lignocellulosic materials. Prezentácia. Workshop s ministrom vedy, výskumu a efektívnych inovácií Argentínskej republiky p. Linom Baranaom, s odbornými pracovníkmi ministerstva a veľvyslanectva Argentínskej republiky za účasti delegáta z Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky, 16. 9. 2014, Elektronický zborník prednášok VÚPC, a.s. Bratislava.
- Pažitný, A., 2014: Agricultural residues, energy crops and wastes from pulp and paper industry - lignocellulosic materials utilized in bioethanol 2G production. Workshop s ministrom vedy, výskumu a efektívnych inovácií Argentínskej republiky p. Linom Baranaom, s odbornými pracovníkmi ministerstva a veľvyslanectva Argentínskej republiky za účasti delegáta z Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky, 16. 9. 2014, Elektronický zborník prednášok VÚPC, a.s. Bratislava.



# Naklady v roku 2014 (žiadateľská organizácia)

Rozpočet projektu pre žiadateľskú organizáciu za rok 2014 (v eurách)

	Plán			Skutočnosť		
	Dotácia	Vlastné	Spolu	Dotácia	Vlastné	Čerpanie spolu rok 2014
Bežné priame náklady	227538	70000	297538	227538	70000	297538
Mzdové náklady	149561	46788,4	196349	149561	46788,35	196349
Zdravotné a sociálne poistenie	52644,5	16469,5	69114	52644,5	16469,49	69114
Cestovné výdavky	2171,95	578,05	2750	2171,95	578,05	2750
Materiál	5686,56	1513,44	7200	5686,56	1513,44	7200
Odpisy	4482,12	1192,88	5675	4482,12	1192,88	5675
Služby	6871,26	1828,74	8700	6871,26	1828,74	8700
Energie, vodné, stočné a komunikácie	6120,95	1629,05	7750	6120,95	1629,05	7750
Bežné nepriame náklady	56879	17500	74379	56879	17500	74379
Bežné náklady spolu	284417	87500	371917	284417	87500	371917
Kapitálové výdavky	44443	0	44443	20278,1	0	20278,1
Požadovaná výška dotácie pre projekt	328860		328860	328860		304695
Výška vlastných prostriedkov žiadateľa		87500	87500		87500	87500
Sumárny rozpočet projektu (v eurách)	328860	87500	416360	328860	87500	392195



# Náklady v roku 2014 (spoluriešiteľ)

Rozpočet projektu pre spoluriešiteľskú organizáciu (STU Bratislava) za rok 2014 (v eurách)

	Plán			Skutočnosť		
	Dotácia	Vlastné	Spolu	Dotácia	Vlastné	Čerpanie spolu rok 2014
Bežné priame náklady	16000	0	16000	16400	0	16400
Mzdové náklady	2400	0	2400	2400	0	2400
Zdravotné a sociálne poistenie	845	0	845	844,77	0	844,77
Cestovné výdavky	0	0	0	0	0	0
Materiál	8255	0	8255	8844,18	0	8844,18
Odpisy	0	0	0	0	0	0
Služby	4000	0	4000	4000	0	4000
Energie, vodné, stočné a komunikácie	500	0	500	311,05	0	311,05
Bežné nepriame náklady	4000	0	4000	3600	0	3600
Bežné náklady spolu	20000	0	20000	20000	0	20000
Kapitálové výdavky	0	0	0	0	0	0
Požadovaná výška dotácie pre projekt	20000		20000	20000		20000
Výška vlastných prostriedkov žiadateľa	0	0	0		0	
Sumárny rozpočet projektu (v eurách)	20000	0	20000	20000	0	20000



# Náklady v roku 2014 (spolu)

Sumárny rozpočet projektu za rok 2014 (v eurách)

	Plán			Skutočnosť		Čerpanie spolu rok 2014
	Dotácia	Vlastné	Spolu	Dotácia	Vlastné	
Bežné priame náklady	243538	70000	313538	243538	70000	313938
Mzdové náklady	151961	46788,4	198749	151961	46788,35	198749
Zdravotné a sociálne poistenie	53489,5	16469,5	69959	53489,5	16469,49	69958,8
Cestovné výdavky	2171,95	578,05	2750	2171,95	578,05	2750
Materiál	13941,6	1513,44	15455	13941,6	1513,44	16044,2
Odpisy	4482,12	1192,88	5675	4482,12	1192,88	5675
Služby	10871,3	1828,74	12700	10871,3	1828,74	12700
Energie, vodné, stočné a komunikácie	6620,95	1629,05	8250	6620,95	1629,05	8061,05
Bežné nepriame náklady	60879	17500	78379	60879	17500	77979
Bežné náklady spolu	304417	87500	391917	304417	87500	391917
Kapitálové výdavky	44443	0	44443	20278,1	0	20278,1
Požadovaná výška dotácie pre projekt	348860	0	348860	348860	0	324695
Výška vlastných prostriedkov žiadateľa	0	87500	87500	0	87500	87500
Sumárny rozpočet projektu (v eurách)	348860	87500	436360	348860	87500	412195





# Kapitálové výdavky

V roku 2014 boli formou VO obstarané tri prístroje a zariadenia:

- kvapalinový HPLC chromatograf,
- laboratórna teplovzdušná trepačka s inkubátorom pre enzymatickú hydrolýzu 16 vzoriek,
- laboratórny reaktor na predspracovanie lignocelulóзовých surovín parnou explóziou s objemom 2 litre.



# Harmonogram plánovaných aktivít na rok 2015

Názov etapy	Začiatok (mm/rok)	Koniec (mm/rok)
<b>1 – Charakterizácia lignocelulóзовých surovín</b>  Výber optimálnych alternatív surovinových zdrojov z hľadiska diverzifikácie a trvalej udržateľnosti.	10/2013	04/2015
<b>2 – Optimalizácia procesov predspracovania lignocelulóзовých surovín</b>  Optimalizácia technologických podmienok postupov predspracovania LC surovín.	11/2013	07/2015



# Harmonogram plánovaných aktivít na rok 2015

Názov etapy	Začiatok mm/rok	Koniec mm/rok
<b>3 – Optimalizácia podmienok hydrolýzy</b> Prešetrenie vplyvu predspracovania na výťažok cukrov a tvorbu inhibítorov fermentácie. <b>Vplyv komerčných hydrolytických enzýmov a LC surovín na účinnosť enzymatickej hydrolýzy.</b> Optimalizácia technologických podmienok hydrolýzy a detoxikácie hydrolyzátov.	01/2014	07/2016
<b>4 – Zvýšenie efektívnosti výroby bioetanolu spracovaním vedľajších produktov</b> Charakterizácia zloženia hydrolyzátov (obsahu lignínu a organických kyselín). <b>Postupy separácie lignínu a kyseliny octovej z hydrolyzátov.</b> Ekonomické zhodnotenie spôsobov využitia lignínu.	07/2014	07/2016
<b>5 – Výber optimálneho procesu fermentácie hydrolyzátov</b> Vplyv inhibítorov na účinnosť fermentácie hydrolyzátov s ohľadom na spôsob predspracovania a druh LC suroviny. <b>Vplyv podmienok a fermentujúcich mikroorganizmov na produkciu bioetanolu v procese fermentácie.</b> Ekonomické zhodnotenie produkcie bioetanolu pri oddelenej hydrolýze a fermentácii a simultánnej sacharifikácii a kofermentácii.	09/2014	08/2016



# Harmonogram plánovaných aktivít na rok 2015

Názov etapy	Začiatok mm/rok	Koniec mm/rok
<p><b>6 – Maximálne využitie synergických efektov integrácie výroby bioetanolu prvej a druhej generácie</b></p> <p>Výber technologických zariadení využiteľných pri výrobe bioetanolu. Prínosy integrácie procesov výroby bioetanolu.</p>	01/2015	08/2016
<p><b>7 – Návrh novej technológie a overenie výsledkov výskumu pilotnými skúškami</b></p> <p>Návrh technológie výroby bioetanolu z LC surovín. Určenie optimálnych podmienok predúpravy, hydrolýzy, fermentácie, destilácie bioetanolu a separácie vedľajších produktov.</p>	02/2015	09/2016



# Kapitálové výdavky (plán 2015)

V roku 2015 sa plánovalo verejným obstarávaním realizovať dve podlimitné zákazky a nákup:

- laboratórny reaktor na predspracovanie lignocelulóзовých surovín parnou explóziou s vyššou produkciou,
- pilotná linka s parnou explóziou, enzymatickou hydrolýzou a fermentáciou hydrolyzátu (pre samostatnú sacharifikáciu a simultánnu sacharifikáciu a fermentáciu).



# Výsledky riešenia projektu v roku 2015

- Riešenie etapy 1 „Charakterizácia lignocelulóзовých surovín, výber a optimalizácia vhodných alternatív“ bolo v roku 2015 ukončené. Očakávaný výstup "Konceptia rotácie a diverzifikácie optimálnych surovinových vstupov" bol splnený. Ako majoritná surovina bolo vybrané kukuričné kôrovie a pšeničná slama najmä z dôvodu ich vysokej produkcie a dostupnosti pre výrobu bioetanolu druhej generácie v podmienkach Slovenskej republiky v porovnaní s ostatnými surovinami.
- Do koncepcie bol zahrnutý výber optimálnych alternatív surovinových zdrojov z hľadiska ich diverzifikácie a trvalej udržateľnosti. Pri výbere poľnohospodárskych pozberových zvyškov pre výrobu bioetanolu 2. generácie zohrávajú významnú úlohu pestovateľské možnosti, klimatické pomery, zloženie a konzistencia pôdy a v neposlednom rade aj pestovateľské tradície daného regiónu. Najpestovanejšou plodinou z hľadiska veľkosti osevných, resp. zberových plôch je pšenica siata ako vo vybraných slovenských (243 227 ha) tak aj v českých krajoch (149 141 ha), z čoho vyplýva vysoký záujem o jej pestovanie spojený s dlhoročnými pestovateľskými tradíciami. Z hľadiska množstva lignocelulózovej suroviny je však v rámci vybraných krajov Slovenskej republiky na prvom mieste kukuričné kôrovie (1 747 058 t), pričom vo vybraných krajoch Českej republiky je až na druhom mieste (498 930 t), nakoľko tieto kraje majú menšie osevné plochy kukurice siatej.



# Výsledky riešenia projektu v roku 2015

- Riešenie etapy 2 "Optimalizácia procesov predspracovania lignocelulózových surovín" bolo v roku 2015 ukončené. Na základe výsledkov experimentálnych prác konštatujeme, že očakávaný výstup "Lignocelulózový materiál s veľkým špecifickým povrchom a výbornou dostupnosťou hydrolytickým činidlám" bol splnený v plnom rozsahu.
- Pri predspracovaní lignocelulózových surovín (LCS) sa použila parná explózia, extrúzia a hydrotermálny proces v kombinácii s parnou explóziou. Predspracovaná surovina slúžila na štúdium enzymatickej hydrolýzy a prípravu hydrolyzátov na pokusy fermentácie. Najväčšia prístupnosť a najvyššia koncentrácia glukózy bola zistená pri teplote parnej explózie 215 °C. Vzhľadom na významné zvýšenie tvorby inhibítorov fermentačného procesu je optimálna teplota parnej explózie nižšia (195-205 °C).
- Predspracovaním pšeničnej slamy (PS) v modelovom jednozávitkovom extrudéri sa dosiahla najlepšia prístupnosť pri teplote 180 °C. Zmenšenie častíc LCS pred extrúziou významne zvýšilo prístupnosť a konverziu polysacharidov o 5-20 % v závislosti od teploty.



# Výsledky riešenia projektu v roku 2015

- Pri dvojstupňovom predspracovaní PS sa konverzia celulózy a xylánu zvyšovala s teplotou a časom predhydrolyzy v dôsledku zlepšenia prístupnosti PS voči enzýmom.
- Po predspracovaní LCS parnou explóziou, tlakovou hydrolyzou s horúcou vodou a extrúziou sa prístupnosť surovín vyhodnocuje pomocou pomeru adsorbovaných farbív, kde najvyššiemu pomeru zodpovedajú najvyššie koncentrácie glukózy po enzymatickej hydrolyze.
- Výsledky analýz prístupnosti LCS zavedenou metódou adsorpcie farbív sa veľmi presne zhodovali s analýzami koncentrácie glukózy metódou vysokoúčinnnej kvapalinovej chromatografie HPLC. Pre aplikáciu modifikovanej adsorpčnej metódy je nevyhnutné niekoľkohodinové pranie suroviny s cieľom odstránenia farebných, humínových látok.





# Výsledky riešenia projektu v roku 2015

- Výťažky monosacharidov z pôvodných aj premytých vzoriek pšeničnej slamy boli vyššie ako z kukuričného kôrovia. Najvyššie konverzie celulózy a xylánu sa v prípade pôvodných vzoriek pšeničnej slamy a kukuričného kôrovia dosiahli po predspracovaní pri teplote 200 °C. Vyššie konverzie sa dosiahli pri enzymatickej hydrolýze pšeničnej slamy ako kukuričného kôrovia. Konverzie pôvodných vzoriek boli vyššie v porovnaní s premytými vzorkami. Množstvo inhibítorov v hydrolyzátoch pôvodných vzoriek pšeničnej slamy bolo nižšie ako v hydrolyzátoch kukuričného kôrovia. V hydrolyzátoch premytých vzoriek boli inhibítory (fenolické látky) prítomné len v malých množstvách.
- So vzrastajúcim prídavkom komerčných enzýmových prostriedkov Cellic CTec2 a Cellic CTec3 sa zvyšovala koncentrácia glukózy a xylózy v hydrolyzátoch pšeničnej slamy. Enzýmová aktivita prostriedku Cellic CTec3 bola vyššia v porovnaní s prostriedkom Cellic CTec2 aj pre hydrolýzu celulózy a xylánu. Pri vyšších prídavkoch sa rozdiel medzi enzýmovými aktivitami prostriedkov Cellic Ctec2 a Cellic CTec3 znižoval. Odporúčaný prídavok enzýmových prostriedkov je 3-6 % na obsah celulózy v lignocelulózovej surovine.



# Výsledky riešenia projektu v roku 2015

- Obsah anorganických plnív, celulózy a hemicelulóz v krátkych vláknach zo spracovania zberového papiera najviac ovplyvňujú výsledky enzymatickej hydrolýzy. So zvyšovaním obsahu celulózy a xylánu pomocou separácie anorganických plnív sa zvyšovala konverzia polysacharidov a výtťažok monosacharidov.
- Zo zvyškov po hydrolýze možno regenerovať anorganické plnivá. Výhoda použitia odpadových krátkych vlákien zo spracovania buničiny, vláknitých kalov a separovaných vláknitých kalov zo spracovania zberového papiera na výrobu bioetanolu je v tom, že nie je potrebné predspracovanie a obsah inhibítorov v hydrolyzátoch je nízky. V prípade vláknitých kalov zo spracovania zberového papiera je vhodná separácia anorganického podielu a nutné je aj odstránenie mikrobiologického znečistenia, ktoré znižuje výtťažok monosacharidov.



# Výsledky riešenia projektu v roku 2015

- Dvojstupňový postup pedspracovania pozostával z predhydrolýzy vodou pri teplotách 140 °C, 160 °C a 180 °C a časoch 30 min, 60 min a 120 min, a následnej parnej explózie pevného podielu pri 200 °C. Koncentrácia monosacharidov v hydrolyzátach a výt'azok monosacharidov sa zvyšovali s teplotou predhydrolýzy a predlžovaním času predhydrolýzy len pre teploty 140 °C a 160 °C. Celkové množstvo inhibítorov v hydrolyzátach sa znižovalo so zvyšovaním teploty predhydrolýzy a predlžovaním času predhydrolýzy.
- Najvyššie výt'azky monosacharidov sa získali po predhydrolýze pri teplotách 140 °C a 160 °C, avšak pri teplote 160 °C bolo vo filtrátach po predhydrolýze viac xylánu. Preto odporúčame uskutočniť predhydrolýzu pšeničnej slamy pri 160 °C a čase 60 min, kedy bol výt'azok monosacharidov na pôvodnú pšeničnú slamu najvyšší. Dvojstupňový postup pedspracovania je zložitejší, ekonomicky a energeticky náročnejší ako samotná parná explózia.



# Výsledky riešenia projektu v roku 2015

- V extrudéri predspracované recyklované vlákna zo starých obalov dosahujú po enzymatickej hydrolýze vyššiu konverziu polysacharidov v porovnaní s predspracovanou pšeničnou slamou.
- Najvyššie koncentrácie glukózy a xylózy sa dosiahli v hydrolyzátoch pšeničnej slamy predspracovanej v modelovom laboratórnom extrudéri pri 180 °C.
- Zmenšením rozmerov častíc pšeničnej slamy pred predspracovaním sa zvýšila akcesibilita voči enzýmom.



# Výsledky riešenia projektu v roku 2015

- Celulázový enzýmový prostriedok bol účinnejší pri hydrolýze filtrátov po parnej explózii ako xylanázový napriek tomu, že filtrát obsahoval najmä oligosacharidy xylánu. Vyššia účinnosť celulázového enzýmového prostriedku ako xylanázového prostriedku sa potvrdila aj pri hydrolýze zmesi hydrolyzátu pevného podielu a filtrátu pšeničnej slamy po parnej explózii. Filtrát po parnej explózii sa hydrolyzoval kratší čas a preto je vhodné ho oddeliť od pevného podielu po predspracovaní a enzymatickú hydrolýzu filtrátu uskutočniť samostatne alebo filtrát pridať do hydrolyzátu pevného podielu a využiť tak zvyškový enzýmový prostriedok.



# Výsledky riešenia projektu v roku 2015

- Vplyv teploty predhydrolyzy pri hydrotermálnom spracovaní LCS na množstvo glukózy nie je tak významný ako na množstvo xylózy. Z hľadiska výt'azku xylózy a množstva inhibítorov sú optimálne podmienky predhydrolyzy 160 °C pri čase 60 min.
- Charakterizovalo sa zloženie hydrolyzátov z hľadiska obsahu lignínu a organických kyselín. Izolovaný lignín možno použiť na výrobu elektrickej energie alebo pri vykurovaní. Môže nájsť uplatnenie aj pri výrobe biosorpčných materiálov vhodných na odstraňovanie ťažkých kovov a organických látok z odpadových vôd. Vo filtrátoch mala najväčšie zastúpenie kyselina octová. Je možné ju využiť na zvýšenie účinnosti parnej explózie a hydrotermálneho spracovania LCS alebo v potravinárskom priemysle. Mravčia, octová a levulová kyselina sa môžu použiť v organickej syntéze.
- Bola zavedená a overená inovatívna metóda separácie a stanovenia filtrovateľnosti nerozpustného lignínového podielu po enzymatickej hydrolyze a fermentácii pedspracovanej LCS.



# Výsledky riešenia projektu v roku 2015

- Pre štúdium procesu fermentácie dodaných lignocelulóзовých hydrolyzátov boli používané mikroorganizmy *Zymomonas mobilis* CCM 2770, *Escherichia coli* KO11 (ATCC 55124), *Saccharomyces cerevisiae* „Kolin“ a *Saccharomyces cerevisiae* AB MAURI.
- Pre rýchly skrining a hodnotenie toxicity dodávaných vzoriek lignocelulóзовých substrátov bola vyvinutá a optimalizovaná metóda mikrokultivácie. Následne boli stanovené pre modelové mikroorganizmy inhibičné koncentrácie (spôsobujú 50 % a 100 % -nú inhibíciu rastu) pre inhibítory, ktoré sa najčastejšie vyskytujú v hydrolyzátach po predúprave. Testované boli: syringaldehyd, furfural, vanilín, kyseliny levulová, ferulová, octová, mravčia a octan sodný, pričom najtoxickejšie vo všeobecnosti boli fenolické látky pre všetky testované mikroorganizmy.
- Je nevyhnutné hydrolyzáty lignocelulóзовých materiálov doživovať o aditívne nutričné zložky (kvasničný extrakt, trypton) a minerálne soli. Doživovacie zložky boli pridávané individuálne pre každý mikroorganizmus, hydrolyzáty s odstráneným tuhým podielom boli miešané s doživovacím koncentrovaným roztokom v pomere 4:1.



# Výsledky riešenia projektu v roku 2015

- Výsledky mikrokultivácie ukázali, že parná explózia pri 195 °C je vhodná metóda predspracovania LCS. Vzniká tu akceptovateľný pomer skvasiteľných sacharidov a nízka koncentrácia nežiaducich inhibítorov. Kvasinky *Saccharomyces cerevisiae* AB MAURI aj Kolin sú schopné skvasovať aj pôvodné vzorky pripravené pri 195 °C bez premývania a bez odstránenia inhibítorov, avšak pri týchto pôvodných vzorkách sa dosahujú nižšie výťažky etanolu.
- Alternatívnou je metóda pri 215 °C, kde vzniká významný podiel glukózy ako monosacharidu, avšak tu je nevyhnutné zaradiť do technologického kroku premývanie hrubého materiálu vodou na odstránenie rozpustných inhibítorov. Výťažky etanolu v premytých vzorkách PS pripravených pri 215 °C boli nasledovné: *Saccharomyces cerevisiae* Kolin 30,3 g/l, *Zymomonas mobilis* 14,4 g/l, *Escheria coli* 9,8 g/l. Môžeme konštatovať, že kvasinky sú vhodnejšie pre biotechnologickú produkciu etanolu z lignocelulóзовých hydrolyzátov (vyššie výťažky, vyššia odolnosť voči inhibítorom). Kvasinky *Saccharomyces cerevisiae* Kolin a AB MAURI dosahujú výborný výťažok a produktivitu etanolu či už na hydrolyzátach pšeničnej slamy alebo kukuričného kôrovia.





# Výsledky riešenia projektu v roku 2015

- Zásadný rozdiel v technologickom procese a zariadeniach pre výrobu bioetanolu 2. generácie oproti 1. generácii je v nasledovných prevádzkových celkoch: 1.) *Predspracovanie vstupnej lignocelulózovej suroviny (LCS)*, 2.) *Hydrolyza celulózy a hemicelulózy*, 3.) *Fermentácia glukózy a xylózy*, 4.) *Filtrácia lignínu*. Ostatné strojnotechnologické zariadenia sú totožné so zariadeniami technológie výroby bioetanolu 1. generácie. Malý rozdiel je iba v kotolni pre spaľovanie lignínu a v bioplynovej stanici. Z doterajších poznatkov sa dá konštatovať, že filtrácia lignínu je veľmi dôležitou technologickou operáciou a jej zvládnutie posúva technológiu bioetanolu 2. generácie bližšie k realizovateľnosti vo veľkých výrobných kapacitách.
- Prednosti integrácie výroby bioetanolu 1. a 2. generácie spočívajú v synergických efektoch z využitia jestvujúcej infraštruktúry závodu na výrobu bioetanolu 1. generácie (skladovacie nádrže na bioetanol a jeho expedícia odberateľom), niektorých technologických zariadení, laboratórií a vysokej odbornosti personálu.



# Výsledky riešenia projektu v roku 2015

- Integrácia výroby bioetanolu 1. a 2. generácie bude možná najmä vo fázach za destiláciou sfermentovaných hydrolyzátov v rektifikačnej kolóne:
- prídavok kukuričných výpalkov z výroby bioetanolu 1. generácie k LCS vo výrobe bioetanolu 2. generácie (Očakávaný rast produkcie bioetanolu predikuje zväčšujúce sa množstvo výpalkov, ktoré sa stanú v krmivárskom priemysle ťažko predajnými),
- dehydratáciou azeotropickej zmesi bioetanolu pri tlaku 170 kPa a teplote 135-160 °C na molekulových sitách (zeolitové lôžka) sa získa bioetanol s čistotou 99,95 %,
- využitie tepelnej energie zo spaľovania lignínu na výrobu pary a elektrickej energie aj vo výrobe bioetanolu 1. generácie, čím sa nahradí externý zdroj elektrickej energie a tiež fosílna palivo zemný plyn (aj výroba bioetanolu 1. generácie sa tak stane "zelenou" a zvýši sa úspora emisií skleníkových plynov),
- spoločné čistenie odpadových vôd v biologickej čistiarni a výroba bioplynu zo zvyškov z oboch výrobných etanolu.



# Výsledky riešenia projektu v roku 2015

- Predspracovanie LC suroviny významne ovplyvňuje výťažok monosacharidov, produktivitu, kapitálové a prevádzkové náklady vo výrobe bioetanolu 2. generácie.
- Efektívne predspracovanie by malo mať nasledovné kritéria: zníženie nákladov a minimálne požiadavky na energiu, zachovanie hemicelulózovej frakcie, minimalizácia tvorby inhibítorov a využitie lignínu na produkciu cenných vedľajších produktov.
- Extrúzia je kontinuálny proces, v ktorom je surovina upravená a vytlačená pomocou závitovky a vyhrievaného plášťa extrudéra. Výhodou predspracovania extrúziou je nízka cena, lepšia kontrola a riadenie všetkých premenných procesu, nevznikajú degradačné produkty monosacharidov (inhibítory), dobrá adaptabilita k rôznym procesovým modifikáciám a vysoký prechodový výkon. Obsah vlhkosti je kritický faktor pri predspracovaní extrúziou, preto je nutné určiť optimálny rozsah pre každý druh LCS a typ extrudéra.
- Postupy predspracovania amoniakálnou explóziou, hydrotermálnym procesom, dvojstupňovým kyslým procesom a proces so zriedenou kyselinou majú vysoké náklady na výrobu bioetanolu. Predpokladáme, že to je jeden z hlavných dôvodov, prečo doteraz neboli využité v prevádzkovom rozsahu.



# Výsledky riešenia projektu v roku 2015

- Uskutočnil sa výber technologických zariadení využitelných pri výrobe bioetanolu, porovnali sa technicko-ekonomické parametre postupov predspracovania LCS, definovala sa integrácia niektorých procesov pre technológie výroby bioetanolu 1. a 2. generácie. Súčasťou riešenia bol návrh technických parametrov pilotného extrudéra na predspracovanie a pilotného reaktoru na enzymatickú hydrolýzu LCS a vypracovanie podkladov pre ich nákup formou verejného obstarávania.
- Návrh technológie na výrobu bioetanolu 2. generácie s parametrami optimalizovanými z pohľadu celkových výrobných nákladov a návratnosti investícií sa stanoví s ohľadom na predikované investičné náklady a prevádzkové náklady technológie výroby.
- Po zhromaždení základných vstupných údajov a ich analyzovaní sme pristúpili k príprave laboratórnych zariadení a k samotným laboratórnym experimentom. Na základe týchto laboratórnych experimentov získavame výstupné informácie, ktoré sú vstupnými údajmi pri tvorbe pilotnej technológie. Návrh nulte verzie vývojového diagramu novej technológie obsahuje ešte možné alternatívy, ktoré vychádzajú z našej informačnej databázy. Bude treba vybrať najlepšiu alternatívu na základe efektívnosti danej technológie a návratnosti investícií potrebných na jej realizáciu.



# Výsledky riešenia projektu v roku 2015

- Vychádza sa zo zberu surovín, ktoré majú byť zhutňované, aby sa logistické náklady minimalizovali. V ďalšom kroku sa skrátia dĺžkové rozmery lignocelulózovej suroviny LCS na veľkosti 2-10 mm. Pred týmto procesom je nevyhnutné LCS vyčistiť od nečistôt, ktoré by mohli spôsobovať problém v nasledujúcich procesoch. Takto vyčistená a rozmerovo prispôbena LCS sa impregnuje vodou. Po impregnácii môžu nasledovať procesy kryolýzy (v zimnom období), resp. nevyučuje sa proces silážovania. Následne sú zaradené separačné procesy, pomocou ktorých sa dá zvýšiť konzistencia LCS, aby sa vytvoril priestor na riadenie vstupnej konzistencie do procesu predspracovania. V predspracovaní bude treba optimalizovať podmienky autohydrolýzy, ktorá je katalyzovaná organickými kyselinami vznikajúcimi v priebehu procesu predspracovania predovšetkým z hemicelulóz.
- Samotný proces hydrolýzy môže prebiehať v troch možných alternatívach, a to ako samostatná hydrolýza hemicelulóz a samostatná hydrolýza celulózy, spoločná hydrolýza hemicelulóz a celulózy alebo ako simultánna hydrolýza a fermentácia. V prípade spoločnej hydrolýzy hemicelulóz a celulózy sa aplikuje kombinácia enzýmov schopná štiepiť LCS na glukózu a xylózu stačí jedno zariadenie na hydrolýzu, čo má vplyv na úsporu investičných nákladov.



# Výsledky riešenia projektu v roku 2015

- Simultánna hydrolýza a fermentácia má výhodu, že oba procesy prebiehajú v jednom zariadení, čo má vplyv na ďalšiu úsporu investičných nákladov. Tiež zaváži faktor, že reakčný produkt hydrolýzy sa spotrebováva, čo podporuje proces hydrolýzy, no v tomto prípade treba nájsť kompromis, čo sa týka reakčných podmienok oboch paralelne prebiehajúcich procesov.
- V prípade, že hydrolýza a fermentácia sú následné procesy, môže byť medzi ne zaradený separačný proces, ktorým sa môžu napríklad recyklovať enzýmy a určité nehydrolyzované zložky LCS.
- Po fermentácii nasleduje viacstupňová destilácia, prípadne rektifikácia. Potom nasleduje dehydratácia azeotropickej zmesi a následná denaturácia bioetanolu druhej generácie, ako finálneho produktu. Táto schéma sa bude priebežne optimalizovať, podľa možnosti aj zjednodušovať, aby sa minimalizovali investičné náklady, potrebné na realizáciu danej technológie. Pritom sa však nezabudne na prevádzkové náklady, ktoré sú podobne dôležité. Optimalizácii sa podrobia teda celkové náklady, aby sa dosiahla optimálna návratnosť investícií a následne aj ziskovosť finálnej technológie výroby bioetanolu druhej generácie.



# Výstupy z riešenia projektu za rok 2015

## **Realizačné výstupy:**

- Modelový laboratórny jednozávitovkový extrudér pre kontinuálne predspracovanie LCS.
- Inovatívna metóda separácie a stanovenia filtrovateľnosti nerozpustného lignínového podielu po enzymatickej hydrolýze a fermentácii predspracovanej LCS. Metóda modeluje podmienky v separačnej odstredivke.

## **Splnené očakávané výstupy z riešenia ukončených etáp 1 a 2:**

- Etapa 1: Konceptia rotácie a diverzifikácie optimálnych surovinových vstupov.
- Etapa 2: Lignocelulózový materiál s veľkým špecifickým povrchom a výbornou dostupnosťou hydrolytickým činidlám.



## Publikácie a popularizácia výsledkov (2015)

- Russ, A., Fišerová, M., Letko, M., Opálená, E.: Effect of steam explosion temperature on wheat straw enzymatic hydrolysis. *Wood Research* 61 (1): 65-74 (2016).
- Letko, M., Russ, A., Pažitný, A., Mikulášik, R.: Pretreatment and accesibility of lignocellulosic materials. International symposium "Selected processes at the wood processing 2015", s. 104-113, 9.-11. September 2015, Dudince, SR.
- Puškelová, J., Boháček, Š., Gigac, J., Fišerová, M., Brezániová, Z., Pažitný, A., Letko, M., Russ, A.: Krátke vlákna z odpadových vôd papierenského priemyslu - potenciálna surovina na výrobu bioetanolu druhej generácie. E-zborník, prednáška. Odborná konferencie SPPC "Odpadní vody v papírenském průmyslu", 11. november 2015, Mikulov, ČR.
- Russ, A., Fišerová, M., Letko, M., Opálená, E.: Enzymatic hydrolysis of wheat straw and corn stover pretreated by steam explosion. Workshop Enviral, Novozymes and VUPC, 31. august 2015, Leopoldov, SR.
- Brezániová, Z., Puškelová, J., Fišerová, M., Opálená, E., Letko, M. (2015): Comparison of Cellic CTec2 and Cellic CTec3 enzymatic activity. Workshop Enviral, Novozymes and VUPC, 31. august 2015, Leopoldov, SR.





# Naklady v roku 2015 (žiadateľská organizácia)

Rozpočet projektu pre žiadateľskú organizáciu za rok 2015 (v eurách)

	Schválený plán			Skutočnosť		
	Dotácia	Vlastné	Spolu	Dotácia	Vlastné	Čerpanie spolu rok 2015
Bežné priame náklady	638319,00	200000,00	<b>838319,00</b>	638319,00	200000,00	<b>838319,00</b>
Mzdové náklady	439264,00	137632,00	<b>576896,00</b>	439264,00	137632,00	<b>576896,00</b>
Zdravotné a sociálne poistenie	154620,00	48447,00	<b>203067,00</b>	154620,00	48447,00	<b>203067,00</b>
Cestovné výdavky	2033,00	637,00	<b>2670,00</b>	2033,00	637,00	<b>2670,00</b>
Materiál	19774,00	3608,00	<b>23382,00</b>	19774,00	3608,00	<b>23382,00</b>
Odpisy	8373,00	2624,00	<b>10997,00</b>	8373,00	2624,00	<b>10997,00</b>
Služby	4135,00	1295,00	<b>5430,00</b>	4135,00	1295,00	<b>5430,00</b>
Energie, vodné, stočné a komunikácie	10120,00	5757,00	<b>15877,00</b>	10120,00	5757,00	<b>15877,00</b>
Bežné nepriame náklady	159577,00	50000,00	<b>209577,00</b>	159577,00	50000,00	<b>209577,00</b>
Bežné náklady spolu	797896,00	250000,00	<b>1047896,00</b>	797896,00	250000,00	<b>1047896,00</b>
Kapitálové výdavky	69444,00	0,00	<b>69444,00</b>	1861,00	0,00	<b>1861,00</b>
Požadovaná výška dotácie pre projekt	797896,00	0,00	<b>797896,00</b>	799757,00	0,00	<b>799757,00</b>
Výška vlastných prostriedkov žiadateľa	0,00	250000,00	<b>250000,00</b>	0,00	250000,00	<b>250000,00</b>
Sumárny rozpočet projektu (v eurách)	867340,00	250000,00	<b>1117340,00</b>	799757,00	250000,00	<b>1049757,00</b>



# Náklady v roku 2015 (spoluriešiteľ')

Rozpočet projektu pre spoluriešiteľskú organizáciu (STU Bratislava) za rok 2015 (v eurách)

	Schválený plán			Skutočnosť		
	Dotácia	Vlastné	Spolu	Dotácia	Vlastné	Čerpanie spolu rok 2015
Bežné priame náklady	104000,00	0,00	<b>104000,00</b>	104000,00	0,00	<b>104000,00</b>
Mzdové náklady	28800,00	0,00	<b>28800,00</b>	28800,00	0,00	<b>28800,00</b>
Zdravotné a sociálne poistenie	10138,00	0,00	<b>10138,00</b>	9201,00	0,00	<b>9201,00</b>
Cestovné výdavky	4070,15	0,00	<b>4070,15</b>	4070,00	0,00	<b>4070,00</b>
Materiál	45680,31	0,00	<b>45680,31</b>	46617,00	0,00	<b>46617,00</b>
Odpisy	0,00	0,00	<b>0,00</b>	0,00	0,00	<b>0,00</b>
Služby	15000,00	0,00	<b>15000,00</b>	15000,00	0,00	<b>15000,00</b>
Energie, vodné, stočné a komunikácie	311,54	0,00	<b>311,54</b>	312,00	0,00	<b>312,00</b>
Bežné nepriame náklady	26000,00	0,00	<b>26000,00</b>	26000,00	0,00	<b>26000,00</b>
Bežné náklady spolu	130000,00	0,00	<b>130000,00</b>	130000,00	0,00	<b>130000,00</b>
Kapitálové výdavky	0,00	0,00	<b>0,00</b>	0,00	0,00	<b>0,00</b>
Požadovaná výška dotácie pre projekt	130000,00	0,00	<b>130000,00</b>	130000,00	0,00	<b>130000,00</b>
Výška vlastných prostriedkov žiadateľa	0,00	0,00	<b>0,00</b>	0,00	0,00	<b>0,00</b>
Sumárny rozpočet projektu (v eurách)	130000,00	0,00	<b>130000,00</b>	130000,00	0,00	<b>130000,00</b>



# Náklady v roku 2015 (spolu)

Sumárny rozpočet projektu za rok 2015 (v eurách)

	Schválený plán			Skutočnosť		
	Dotácia	Vlastné	Spolu	Dotácia	Vlastné	Čerpanie spolu rok 2015
Bežné priame náklady	742319,00	200000,00	<b>942319,00</b>	742319,00	200000,00	<b>942319,00</b>
Mzdové náklady	468064,00	137632,00	<b>605696,00</b>	468064,00	137632,00	<b>605696,00</b>
Zdravotné a sociálne poistenie	164758,00	48447,00	<b>213205,00</b>	163821,00	48447,00	<b>212268,00</b>
Cestovné výdavky	6103,15	637,00	<b>6740,15</b>	6103,00	637,00	<b>6740,00</b>
Materiál	65454,31	3608,00	<b>69062,31</b>	66391,00	3608,00	<b>69999,00</b>
Odpisy	8373,00	2624,00	<b>10997,00</b>	8373,00	2624,00	<b>10997,00</b>
Služby	19135,00	1295,00	<b>20430,00</b>	19135,00	1295,00	<b>20430,00</b>
Energie, vodné, stočné a komunikácie	10431,54	5757,00	<b>16188,54</b>	10432,00	5757,00	<b>16189,00</b>
Bežné nepriame náklady	185577,00	50000,00	<b>235577,00</b>	185577,00	50000,00	<b>235577,00</b>
Bežné náklady spolu	927896,00	250000,00	<b>1177896,00</b>	927896,00	250000,00	<b>1177896,00</b>
Kapitálové výdavky	69444,00	0,00	<b>69444,00</b>	1861,00	0,00	<b>1861,00</b>
Požadovaná výška dotácie pre projekt	927896,00	0,00	<b>929759,00</b>	929757,00	0,00	<b>929757,00</b>
Výška vlastných prostriedkov žiadateľa	0,00	250000,00	<b>250000,00</b>	0,00	250000,00	<b>250000,00</b>
Sumárny rozpočet projektu (v eurách)	997340,00	250000,00	<b>1247340,00</b>	929759,00	250000,00	<b>1179757,00</b>



# Kapitálové výdavky

- V roku 2015 sa prijímateľ stimulov podieľal na financovaní projektu aplikovaného výskumu vlastnými zdrojmi vo výške 10,03 % z celkových plánovaných oprávnených nákladov na realizáciu projektu. Pre projekt aplikovaného výskumu boli v sledovanom roku použité dotácie vo výške 37,21 % z celkových plánovaných oprávnených nákladov na projekt.
- Nevyčerpané zostali kapitálové náklady, nakoľko verejné obstarávanie zariadení vygenerovalo dodávateľov, ktorí boli síce najlacnejší, no doba realizácie a dodania je dlhá, hlavne z dôvodu finalizácie mnohých projektov hradených z eurofondov, ktoré by v prípade nevyčerpania do konca roka 2015 boli pre Slovenskú republiku navždy stratené. Množstvo objednávok na dodávateľa zo strany spoločností čerpajúcich eurofondy zapríčinil, že dodávky pilotných zariadení budú realizované v prvom kvartáli roku 2016.



# Harmonogram plánovaných aktivít na rok 2016

Názov etapy	Začiatok mm/rok	Koniec mm/rok
<b>3 – Optimalizácia podmienok hydrolýzy</b> Prešetrenie vplyvu pedspracovania na výťažok cukrov a tvorbu inhibítorov fermentácie. Vplyv komerčných hydrolytických enzýmov a LC surovín na účinnosť enzymatickej hydrolýzy. <b>Optimalizácia technologických podmienok hydrolýzy a detoxikácie hydrolyzátov.</b>	01/2014	07/2016
<b>4 – Zvýšenie efektívnosti výroby bioetanolu spracovaním vedľajších produktov</b> Charakterizácia zloženia hydrolyzátov (obsahu lignínu a organických kyselín. Postupy separácie lignínu a kyseliny octovej z hydrolyzátov. <b>Ekonomické zhodnotenie spôsobov využitia lignínu.</b>	07/2014	07/2016
<b>5 – Výber optimálneho procesu fermentácie hydrolyzátov</b> Vplyv inhibítorov na účinnosť fermentácie hydrolyzátov s ohľadom na spôsob pedspracovania a druh LC suroviny. Vplyv podmienok a fermentujúcich mikroorganizmov na produkciu bioetanolu v procese fermentácie. <b>Ekonomické zhodnotenie produkcie bioetanolu pri oddelenej hydrolýze a fermentácii a simultánnej sacharifikácii a kofermentácii.</b>	09/2014	08/2016



# Harmonogram plánovaných aktivít na rok 2016

Názov etapy	Začiatok mm/rok	Koniec mm/rok
<p><b>6 – Maximálne využitie synergických efektov integrácie výroby bioetanolu prvej a druhej generácie</b></p> <p>Výber technologických zariadení využiteľných pri výrobe bioetanolu. Prínosy integrácie procesov výroby bioetanolu.</p>	01/2015	08/2016
<p><b>7 – Návrh novej technológie a overenie výsledkov výskumu pilotnými skúškami</b></p> <p>Návrh technológie výroby bioetanolu z LC surovín. Určenie optimálnych podmienok predúpravy, hydrolýzy, fermentácie, destilácie bioetanolu a separácie vedľajších produktov.</p>	02/2015	09/2016



# Kapitálové výdavky (plán 2016)

V roku 2016 budú obstarané dve zariadenia:

- Zákazka 1: Pilotný extrudér na predspracovanie biomasy.
- Zákazka 2: Pilotný reaktor na enzymatickú hydrolýzu predspracovanej biomasy.



# Výsledky riešenia projektu v roku 2016

- Pri porovnaní rôznych metód pedspracovania bez prídavku chemikálii s ohľadom na prístupnosť štruktúry lignocelulózovej suroviny k hydrolytickým enzýmom a tvorbu inhibítorov fermentácie sa ukázala metóda parnej explózie ako perspektívna, ekologická a efektívna z hľadiska dosiahnuteľných výt'ážkov monosacharidov pri enzymatickej hydrolýze. Porovnal sa vplyv lignocelulózových surovín (pšeničná slama, kukuričné kôrovie, slama repky olejnej, recyklované vlákna a krátke vlákna zo spracovania zberového papiera) pedspracovaných parnou explóziou na účinnosť enzymatickej hydrolýzy. Najvyššie výt'ážky monosacharidov a konverzie polysacharidov sa dosiahli z lignocelulózových surovín, ktoré obsahovali najmenej lignínu (krátke vlákna zo spracovania zberového papiera a recyklované vlákna).
- Určil sa vplyv podmienok pedspracovania extrúziou na účinnosť enzymatickej hydrolýzy a tvorbu inhibítorov fermentácie. Stanovil sa vplyv rôznych druhov škrobu na prevádzkovateľnosť extrudéra. Posúdil sa vplyv parametrov extrudéra a teploty extrúzie na výt'ážok monosacharidov po enzymatickej hydrolýze. Testoval sa vplyv prídavku škrobov, povrchovo aktívnych látok, alkálií, kondicionovania, extrakcie a premývania pšeničnej slamy pedspracovanej extrúziou na výt'ážky monosacharidov a konverziu polysacharidov.





# Výsledky riešenia projektu v roku 2016

- Porovnali sa dvojstupňové postupy predspracovania pšeničnej slamy s jednoduchými z hľadiska prístupnosti štruktúry k hydrolytickým enzýmom a vzniku inhibítorov. Určil sa vplyv povrchovo aktívnych látok, hmotnostnej koncentrácie pšeničnej slamy a prídavku monosacharidov na enzymatickú hydrolýzu. FTIR spektroskopie sa použila pre predikciu účinnosti enzymatickej hydrolýzy pomocou NIR spektier predspracovanej pšeničnej slamy. Navrhli sa postupy predspracovania lignocelulózovej suroviny, ktoré umožnia prípravu fermentačne nezávadného hydrolyzáta s vysokým výťažkom monosacharidov.
- Pre zabezpečenie kontinuálnej prevádzky modelového laboratórneho jednozávitovkového extrudéra s hladkým vnútorným povrchom plášťa sa odskúšali procesné prostriedky ako sú rôzne druhy škrobov, etylénglykol, glycerín a neionogenné povrchovo aktívne látky. Kontinuálna prevádzka extrudéra sa dosiahla prídavkom škrobov k lignocelulózovej surovine, nakoľko spôsobujú zníženie drsnosti, zvýšenie klzkosti a tým zlepšili posun spracovávanej suroviny extrudérom. Zemiakový škrob, ktorý mal najvyššiu väzbovosť vody a viskozitu, a aj menej viskózný kukuričný škrob umožňovali spracovať PS aj s prídavkom hydroxidu sodného, ktorý vlákna zdrsňuje.



# Výsledky riešenia projektu v roku 2016

- Po pedspracovaní pšeničnej slamy extrúziou s prídavkom škrobu sa pohybovala konverzia polysacharidov od 29,9 do 37,5 %, v závislosti na parametroch extrudéra a podmienkach. Pre dosiahnutie konverzie polysacharidov na podobnej úrovni ako po pedspracovaní pšeničnej slamy parnou explóziou pri teplote 200 °C, kedy sa dosiahla konverzia polysacharidov 74 %, pridával sa pri extrúzii hydroxid sodný. Jeho prídavkom došlo k zlepšeniu prístupnosti štruktúry pšeničnej slamy k hydrolytickým enzýmom.
- Zistilo sa, že so 6 % prídavkom neionogénnej povrchovo aktívnej látky Tweenu 80 pri extrúzii je možné znížiť prídavok hydroxidu sodného o 1% pri dosiahnutí rovnakých výsledkov enzymatickej hydrolýzy. Porovnal sa prídavok hydroxidu sodného a vápenatého pri extrúzii pšeničnej slamy na účinnosť enzymatickej hydrolýzy, ktorá sa zvyšovala v poradí: 6 % hydroxidu vápenatého < 3 % hydroxidu sodného + 3 % hydroxidu vápenatého < 6 % hydroxidu sodného. Hydroxid vápenatý je lacnejší ako hydroxid sodný, pri jeho použití sú menšie požiadavky na bezpečnosť a možno ho ľahko získať z hydrolyzátu. Ani pri dvojnásobne vyššom prídavku hydroxidu vápenatého sa nedosiahli také výsledky enzymatickej hydrolýzy ako pri extrúzii s prídavkom hydroxidu sodného.



# Výsledky riešenia projektu v roku 2016

- Zvýšenie účinnosti enzymatickej hydrolýzy extrudovanej pšeničnej slamy s prídavkom hydroxidu sodného sa dosiahlo aj zaradením procesu extrakcie. Zistilo sa, že predĺžovaním času extrakcie sa zvyšovala konverzia celulózy od 75,8 do 80 %, xylánu od 69,7 do 79,4 % a polysacharidov od 72,9 do 79,0 %.
- Porovnávala sa hmotnostná bilancia sacharidov pšeničnej slamy po extrúzii s prídavkom 6 % hydroxidu sodného a hmotnostná bilancia sacharidov pšeničnej slamy po parnej explózii a po následnej enzymatickej hydrolýze. Kvapalný podiel po extrúzii obsahoval až 4-násobne vyšší obsah lignínu ako kvapalný podiel po parnej explózii, ktorý však obsahoval 4-násobne vyšší obsah xylózy a jej oligomérov. Po enzymatickej hydrolýze pevného podielu extrudovanej pšeničnej slamy sa dosiahla 75,8 % konverzia celulózy, 69,7 % konverzia xylánu a 72,9 % konverzia polysacharidov. Po enzymatickej hydrolýze pevného a kvapalného podielu po parnej explózii sa dosiahla 78,1 % konverzia glukózy, 66,4 % konverzia xylánu a 74 % konverzia polysacharidov. Zloženie pevného podielu po enzymatickej hydrolýze pšeničnej slamy predspracovanej extrúziou a parnou explóziou je približne rovnaké, vzhľadom na rozdiely v chemickom zložení pšeničnej slamy.



# Výsledky riešenia projektu v roku 2016

- Porovnali sa účinnosti jednostupňových a dvojestupňových postupov predspracovania pšeničnej slamy na výt'azky monosacharidov a konverziu polysacharidov. Z dvojestupňových postupov sa ako najlepší ukázal postup zložený z parnej explózie pri zníženej teplote a alkalickej extrakcie s prídavkom kvapalného podielu po parnej explózii, kedy sa dosiahla konverzia celulózy 97,9 %, xylánu 67,8 % a polysacharidov 86,2 %. Jednostupňový postup alkalická extrúzia s prídavkom 6 % hydroxidu sodného a následnou extrakciou a parná explózia pri optimálnej teplote mali podobnú účinnosť. Najnižšia účinnosť enzymatickej hydrolýzy sa dosiahla jednostupňovým postupom parnej explózie pri zníženej teplote.
- Pri 15 % prídavku neionogénnej povrchovej látky Tween 80 k extrudovanej slame možno znížiť dávku enzýmového prostriedku približne o 10 až 12 %. Podobný účinok mal aj na enzymatickú hydrolýzu pšeničnej slamy predspracovanej parnou explóziou. Pri tomto prídavku Tweenu 80 možno znížiť dávku enzýmového prostriedku Cellic CTec3 približne o 5 až 8 %. Vplyv Tweenu 80 na účinnosť enzymatickej hydrolýzy pšeničnej slamy predspracovanej extrúziou bol vyšší ako pri predspracovaní parnou explóziou, čo pravdepodobne súvisí s nižšou prístupnosťou pšeničnej slamy predspracovanej extrúziou k enzýmom.



# Výsledky riešenia projektu v roku 2016

- Výsledky PCA analýzy NIR spektier pôvodnej a extrudovanej pšeničnej slamy ukázali dostatočne dobrú rozlíšiteľnosť tried pôvodnej, extrudovanej nepremytej a premytej extrudovanej pšeničnej slamy. Pomocou PLS analýzy v určenom regióne vlnočtov bol zistený vzťah medzi nameranými koncentraciami monosacharidov v hydrolyzátoch a vypočítanými koncentraciami z NIR spektier extrudovanej pšeničnej slamy s vysokým koeficientom determinácie 0,897-0,999. Možnosť predikcie prístupnosti celulózy v lignocelulózovej surovine a účinnosti enzymatickej hydrolýzy sa potvrdila pomocou FTIR spektier predspracovanej pšeničnej slamy s dobrou pravdepodobnosťou vtedy, ak sa hodnotil jeden druh predspracovania.
- Očakávaný výstup "Fermentačne nezávadný hydrolyzát s vysokým výťažkom cukrov" bol v roku 2016 v plnej miere splnený. K ďalším výstupom z riešenia etapy sú aj 2 publikácie v karentovanom časopise a 1 publikácia v recenzovanom vedeckom časopise.



# Výsledky riešenia projektu v roku 2016

- Izoloval sa nerozpustný lignínový podiel (NLP) z hydrolyzátov pšeničnej slamy pomocou flokulantov. Pripravili sa sorbenty z izolovaného NLP a charakterizovali sa dostupnými metódami (SEM a TGA analýza). Sorbenty boli použité na detoxifikáciu hydrolyzátov pšeničnej slamy predspracovanej parnou explóziou. Boli vyskúšané dve metódy detoxifikácie. Išlo o miešanie zmesi hydrolyzát/sorbent a pretláčanie resp. pretekánie hydrolyzátu súvislou vrstvou sorbentu v kolóne. Porovnaním metód sa zistil odlišný priebeh absorpcie fenolických látok.
- Stanovilo sa zloženie kvapalných podielov po extrúzii pšeničnej slamy s prídavkom NaOH.
- Vypracovala sa SWOT analýza procesu detoxifikácie hydrolyzátov/filtrátov LCS.
- Očakávaný výstup „Návrh technologického postupu zhodnotenia vedľajších produktov“ bol splnený.



# Výsledky riešenia projektu v roku 2016

- Bola rozpracovaná a v priebehu výskumu overovaná rýchla skreeningová metóda s využitím čítačky platní, ktorá umožňuje posúdiť:
  - vhodnosť konkrétneho lignocelulózového materiálu,
  - zmeny v technológii (predspracovanie – inhibítory),
  - výživové nároky a fermentačné charakteristiky produkčného mikroorganizmu na lignocelulózovú surovinu.
- Miera inhibície modelových produkčných mikroorganizmov na rast a fermentačné charakteristiky bola sledovaná na viacerých úrovniach:
  - predspracovania lignocelulózovej suroviny (parná explózia, extrúzia),
  - tvorby inhibítorov,
  - vplyvu výživových komponentov,
  - enzýmovej hydrolýzy (enzým, nezhydrolyzovaná lignocelulózová surovina).
- Boli porovnané batch fermentácie s režimom simultánnej sacharifikácie a fermentácie (SSF). Navrhol sa režim čiastočnej hydrolýzy (stekutenia) lignocelulózovej suroviny s následným SSF režimom.
- Dosiahnuté výsledky s modelovými mikroorganizmami boli verifikované s použitím glukózu/xylózu využívajúcimi kmeňmi *Saccharomyces cerevisiae*.



# Výsledky riešenia projektu v roku 2016

- Očakávaný výstup „Bioetanol druhej generácie z obnoviteľných zdrojov“ bol dosiahnutý.
- Získali sa nové poznatky v oblasti technológie predspracovania lignocelulóзовých surovín a prínosov integrácie procesov výroby bioetanolu, ktoré významne prispeli k splneniu očakávaného výstupu „Nový efektívny spôsob integrácie procesov výroby bioetanolu prvej a druhej generácie“.
- Bola vytvorená technológia výroby bioetanolu druhej generácie (2G) predovšetkým z pšeničnej slamy a kukuričného kôrovia, ktorá sa môže efektívne integrovať do výroby bioetanolu prvej generácie (1G) z kukuričných zŕn v spoločnosti Enviral, Leopoldov. Navrhol sa nový dvojstupňový postup predspracovania lignocelulóзовej suroviny.
- Pre zistenie možností zlepšenia technickej a ekonomickej uskutočniteľnosti výroby 2G bioetanolu a prínosov integrácie procesov výroby 1G a 2G bioetanolu sme použili literárne poznatky získané pri komplexnom štúdiu najdôležitejších faktorov v procese výroby 2G bioetanolu s ohľadom na konštrukčné možnosti, výrobné a trhové faktory.





# Výsledky riešenia projektu v roku 2016

- Vplyv rôznych faktorov na výrobný proces, náklady a ziskovosť bol objasnený v technicko-ekonomickom vyhodnotení údajov zo simulácií vykonaných pre samostatné výroby 1G a 2G bioetanolu ako aj pre integrovanú výrobu 1G a 2G bioetanolu.
- Navrhol sa efektívny spôsob integrácie procesov výroby 1G a 2G bioetanolu, ktorý obsahuje zaradenie nového dvojstupňového postupu predspracovania lignocelulózovej suroviny.
- Návrh využíva prednosti kombinácie parnej explózie pri zníženej teplote s alkalickou extrakciou pri optimálnych podmienkach. Konverzia celulózy je 98 % a konverzia xylánu 68 %, pri zníženej tvorbe inhibítorov. Integrovanou výrobou bioetanolu 1G a 2G je možné znížiť zaťaženie životného prostredia na úroveň podobnú ako v prípade samostatnej výroby bioetanolu 1G. Aj preto je výhodnejšia integrovaná výroba bioetanolu. Efektivitu integrovanej výroby bioetanolu navyše významne zvyšuje fermentácia pentóz namiesto výroby bioplynu.



# Výsledky riešenia projektu v roku 2016

- Odporúča sa ďalej skúmať možnosti zníženia spotreby energie, spotreby hydroxidu sodného a environmentálnych dopadov v integrovanom procese výroby bioetanolu. Jednou z možností je recyklácia hydroxidu sodného ultrafiltráciou hydrolyzátu pomocou keramických membrán v niekoľkých cykloch, kde sa okrem 40 % zníženia spotreby hydroxidu sodného, 75 % zachytenia lignínu ušetrí až 50 % vody.
- Použitím neionogénnych povrchovoaktívnych látok pri predspracovaní lignocelulózovej suroviny sa zistilo zlepšenie prístupnosti štruktúry k hydrolytickým enzýmom a zníženie spotreby hydroxidu sodného zo 6 % na 5 %.
- Na základe analýzy dostupných informácií z existujúcich pilotných a demonštračných prevádzok a na základe informácií získaných z laboratórnych zariadení sa navrhli a vyrobili pilotné zariadenia na predspracovanie LCS a na hydrolýzu a fermentáciu predspracovanej LCS.
- Overili sa výsledky laboratórnych experimentov pomocou pilotných zariadení a určili sa optimálne podmienky prevádzkovania kľúčových jednotkových operácií.



# Výsledky riešenia projektu v roku 2016

- Na základe najlepších experimentálnych výsledkov získaných pomocou laboratórnych a pilotných modelových zariadení, ako aj všetkých dostupných informácií z existujúcich pilotných a demonštračných prevádzok sa navrhla nová technológia na výrobu bioetanolu druhej generácie.

## *Technológia zahŕňa tieto hlavné technologické uzly:*

Prevádzkový sklad vstupnej suroviny

Úprava a predčistenie biomasy

Predspracovanie LCS

Enzymatická hydrolýza a zníženie viskozity

Fermentácia

Propagácia kvasiniek

Stripovanie

Rektifikačná kolóna

Dehydratácia etanolu

Denné skladovanie etanolu

Separácia lignínu –

Sušenie lignínu

Odparovacia stanica

Biologická ČOV – (bioplynová stanica)



# Výsledky riešenia projektu v roku 2016

- Na základe najlepších experimentálnych výsledkov získaných pomocou laboratórnych a pilotných modelových zariadení, ako aj všetkých dostupných informácií z existujúcich pilotných a demonštračných prevádzok sa navrhla nová technológia na výrobu bioetanolu druhej generácie.
- Vypracovala sa technologická schéma novej technológie výroby bioetanolu 2G z biomasy vrátane detailnej principiálnej technologickej schémy a generelu (dispozičného plánu výstavby), ktorý bol modelovaný na presne vymedzenom pozemku.
- Očakávaný výstup „Optimálna technológia na výrobu bioetanolu druhej generácie“ bol dosiahnutý.



# Výstupy z riešenia projektu za rok 2016

## Realizačné výstupy:

- Pilotný jednozávitovkový extrudér pre kontinuálne predspracovanie LCS v roku 2016.
- Pilotný hydrolyzér pre diskontinuálnu enzymatickú hydrolyzu predspracovaných LCS v roku 2016.
- Inovatívna metóda dvojstupňového predspracovania LCS parnou explóziou a alkalickou delignifikáciou, ktorá umožňuje maximálnu tvorbu hemicelulóz, zníženú tvorbu inhibítorov, separáciu lignínu, zvýšenú akcesibilitu a vysoké výťažky monosacharidov a bioetanolu (2016).
- PP 50083 – 2016 "Spôsob zvyšovania výťažku monosacharidov pri výrobe biopaliva z lignocelulózových materiálov", autorov Pažitný, A., Russ, A., Kuňa, V., Balberčák, J., Ihnát, V., Stankovská, M., Boháček, Š., Gigac, J., Medo, P., Schwartz, J., Výskumný ústav papiera a celulózy, a.s. v Bratislave. (ÚPV SR, 06.12.2016).
- V rámci Operačného programu výskumu a inovácií financovaného zo štrukturálnych fondov podala spoločnosť VÚPC ako spoluautor projekt na tému v oblasti nízko emisných biopalív v podmienkach SR.



# Výstupy z riešenia projektu za rok 2016

## **Splnené očakávané výstupy z riešenia ukončených etáp:**

Etapa 3: Fermentačne nezávadný hydrolyzát s vysokým výťažkom cukrov.

Etapa 4: Technologický postup zhodnotenia vedľajších produktov.

Etapa 5: Bioetanol druhej generácie z obnoviteľných zdrojov .

Etapa 6: Nový efektívny spôsob integrácie procesov výroby bioetanolu prvej a druhej generácie.

Etapa 7: Optimálna technológia na výrobu bioetanolu druhej generácie.



## Publikácie a popularizácia výsledkov (2016)

### **ADF-vedecké práce v domácich nekarentovaných časopisoch:**

Russ, A., Fišerová, M., Letko, M., Opálená, E. (2016): Effect of steam explosion temperature on wheat straw enzymatic hydrolysis. Wood Research 61 (1): 65-74.

Brezániová, Z., Fišerová, M., Stankovská, M., Gigac, J., Opálená, E., M. Puškelová, J. (2016): Effect of prehydrolysis on enzymatic hydrolysis of two-stage pretreated wheat straw. Wood Research 61(5): 697-708.

### **AFL-postery z domácich konferencií:**

Vidová, M.; Rosenberg, M.; Rebroš, M.; Fišerová, M.; Gigac, J.; Krasňan, V.; Markošová, K.; Hronská, H.: Characterization of inhibitors and evaluation of their impact on the microbial bioethanol production from lignocellulosic substrates. SSCHE16 - 43rd International Conference of SSCHE, May 23 - 27, 2016, Hotel Hutník, Tatranské Matliare, Slovak Republic.

### **AGI-záverečné správy o vyriešených úlohách:**

Stankovská, M., Brezániová, Z., Russ, A., Fišerová, M., Gigac, J., Boháček, Š., Puškelová, J., Brezánová, Z., Opálená, E., Letko, M., Galová, J., Schwartz, J., Cvičela, P.: Optimalizácia podmienok hydrolýzy. Projekt aplikovaného výskumu "Výskum možností integrácie výroby bioetanolu prvej generácie na báze kukurice a druhej generácie na báze celulózy zo slamy, kukuričného kôrovia a krátkych vlákien zo spracovania zberového papiera". Výskumná správa na záverečnú oponentúru za rok riešenia 2016, str. 1-98, VS 3245/2016, VÚPC a. s. Bratislava, 2016.

Brezániová, Z., Gigac, J., Fišerová, M., Boháček, Š., Letko, M., Russ, A., Puškelová, J., Pažitný, A., Schwartz, J., Opálená, E., Gallová, J.: Ekonomické zhodnotenie spôsobov využitia lignínu. Projekt aplikovaného výskumu "Výskum možností integrácie výroby bioetanolu prvej generácie na báze kukurice a druhej generácie na báze celulózy zo slamy, kukuričného kôrovia a krátkych vlákien zo spracovania zberového papiera". Výskumná správa na záverečnú oponentúru za rok riešenia 2016, str. 1-55, VS 3246/2016, VÚPC a. s. Bratislava, 2016.



## Publikácie a popularizácia výsledkov (2016)

Rosenberg M., Rebroš M., Krištofiková Ľ., Hronská H., Vidová M., Laho Ľ.: Ekonomické zhodnotenie produkcie bioetanolu pri oddelenej hydrolýze a fermentácii a simultánnej sacharifikácii a kofermentácii. Projekt aplikovaného výskumu “Výskum možností integrácie výroby bioetanolu prvej generácie na báze kukurice a druhej generácie na báze celulózy zo slamy, kukuričného kôrovia a krátkych vlákien zo spracovania zberového papiera”. Výskumná správa na záverečnú oponentúru za rok riešenia 2016, str. 1-119, VS 3247/2016, VÚPC a. s. Bratislava, 2016.

Gigac, J., Fišerová, M., Boháček, Š., Stankovská, M., Brezániová, Z., Ihnát, V., Russ, A., Opálená, E., Zuzánková, A.: Prínosy integrácie výroby bioetanolu. Projekt aplikovaného výskumu “Výskum možností integrácie výroby bioetanolu prvej generácie na báze kukurice a druhej generácie na báze celulózy zo slamy, kukuričného kôrovia a krátkych vlákien zo spracovania zberového papiera”. Výskumná správa na záverečnú oponentúru za rok riešenia 2016, str. 1-32., VS 3248/2016, VÚPC a. s. Bratislava, 2016.

Schwartz, J., Boháček, Š., Gigac, J., Fišerová, M., Letko, M., Puškelová, J., Balberčák, J., Kuňa, V., Russ, A., Brezániová, Z., Opálená, E.: Určenie optimálnych podmienok predúpravy, hydrolýzy, destilácie bioetanolu a separácie vedľajších produktov. Projekt aplikovaného výskumu “Výskum možností integrácie výroby bioetanolu prvej generácie na báze kukurice a druhej generácie na báze celulózy zo slamy, kukuričného kôrovia a krátkych vlákien zo spracovania zberového papiera”, Výskumná správa na záverečnú oponentúru za rok riešenia 2016, str. 1-77, VS 3249/2016, VÚPC a. s. Bratislava, 2016.





## Publikácie a popularizácia výsledkov (2016)

Gigac J. a kol.: Projekt aplikovaného výskumu “Výskum možností integrácie výroby bioetanolu prvej generácie na báze kukurice a druhej generácie na báze celulózy zo slamy, kukuričného kôrovia a krátkych vlákien zo spracovania zberového papiera”, Súhrnná správa (príloha č. 6) na záverečnú oponentúru za rok riešenia 2016, str. 1-41, VÚPC a. s. Bratislava, 2016.

Gigac J. a kol.: Projekt aplikovaného výskumu “Výskum možností integrácie výroby bioetanolu prvej generácie na báze kukurice a druhej generácie na báze celulózy zo slamy, kukuričného kôrovia a krátkych vlákien zo spracovania zberového papiera”, Súhrnná správa (príloha č. 7) na záverečnú oponentúru za rok riešenia 2016, str. 1-66, VÚPC a. s. Bratislava, 2016.

Gigac J. et al.: Applied Research Project “Research of Possibilities to Integrate First Generation Bio Ethanol Production Based on Corn with Second Generation Bio Ethanol Production Based on Cellulose of Straw, Corn Residues and Short Fibres from Waste Paper Processing”, (Annex 7) Research Report for Final Evaluation of Project Solution During Year 2016, pp. 1-66, VUPC a.s. Bratislava, 2016.

### **BDE-odborné práce v zahraničných nekarentovaných časopisoch:**

Fišerová, M., Puškelová, J., Brezániová, Z., Gigac, J. (2016): Využitie krátkych vlákien pri výrobe bioetanolu /Utilization of short fibers in the production of bioethanol/. Papír a celulóza 71(9): v tlači.

### **GAI-výskumné štúdie a priebežné správy:**

Stankovská, M., Fišerová, M., Gigac, J., Pažitný, A.: Vplyv podmienok predspracovania pšeničnej slamy extrúziou na enzymatickú hydrolýzu. Prezentácia v Enviral a.s. Leopoldov, 28.07.2016.

Gigac, J., Fišerová, M., Stankovská, M., Pažitný, A.: Vplyv postupov predspracovania pšeničnej slamy na enzymatickú hydrolýzu. Prezentácia v Enviral a.s. Leopoldov, 28.07.2016.



## Publikácie a popularizácia výsledkov (2016)

### **AGJ-autorské osvedčenia, patenty, objavy:**

PP 50083 – 2016 "Spôsob zvyšovania výťažku monosacharidov pri výrobe biopaliva z lignocelulóзовých materiálov,.. Autori: Pažitný, A., Russ, A., Kuňa, V., Balberčák, J., Ihnát, V., Stankovská, M., Boháček, Š., Gigac, J., Medo, P., Schwartz, J. Podávateľ: Výskumný ústav papiera a celulózy, a.s. v Bratislave. (ÚPV SR, 06.12.2016).



# Naklady v roku 2016 (žiadateľská organizácia)

Rozpočet projektu pre žiadateľskú organizáciu za rok 2016 (eurách)

	Schválený plán			Skutočnosť		Čerpanie spolu rok 2016
	Upravený rozpočet - Dotácia	Upravený rozpočet - Vlastné	Upravený rozpočet – Spolu	Dotácia	Vlastné	
Bežné priame náklady	317873.00	100000.00	417873.00	317873.00	100000.00	497873.00
Mzdové náklady	222400.00	69966.00	292366.00	222400.00	69966.00	317566.00
Zdravotné a sociálne poistenie	78284.00	24628.00	102912.00	78284.00	24628.00	111783.00
Cestovné výdavky	1597.00	503.00	2100.00	1597.00	503.00	5238.00
Materiál	5858.00	1842.00	7700.00	5858.00	1842.00	42764.00
Odpisy	2758.00	867.00	3625.00	2758.00	867.00	3625.00
Služby	4181.00	1314.00	5495.00	4181.00	1314.00	13060.00
Energie, vodné, stočné, komunikácie	2795.00	880.00	3675.00	2795.00	880.00	3837.00
Bežné nepriame náklady	79467.00	25000.00	104467.00	79467.00	25000.00	124467.00
Bežné náklady spolu	397340.00	125000.00	522340.00	397340.00	125000.00	622340.00
Kapitálové výdavky	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Požadovaná výška dotácie pre projekt	397340.00	0.00	397340.00	397340.00	0.00	397340.00
Výška vlastných prostriedkov žiadateľa	0.00	125000.00	125000.00	0.00	125000.00	125000.00
Sumárny rozpočet projektu (v eurách)	397340.00	125000.00	522340.00	397340.00	125000.00	522340.00



# Náklady v roku 2016 (spoluriešiteľ')

Rozpočet projektu pre spoluriešiteľskú organizáciu (STU Bratislava) za rok 2016 (eurách)

	Schválený plán			Skutočnosť		Čerpanie spolu rok 2016
	Upravený rozpočet - Dotácia	Upravený rozpočet - Vlastné	Upravený rozpočet – Spolu	Dotácia	Vlastné	
Bežné priame náklady	80000.00	0.00	80000.00	80000.00	0.00	80000.00
Mzdové náklady	25200.00	0.00	25200.00	25200.00	0.00	25200.00
Zdravotné a sociálne poistenie	8226.00	0.00	8226.00	8226.00	0.00	8226.00
Cestovné výdavky	3138.00	0.00	3138.00	3138.00	0.00	3138.00
Materiál	35064.00	0.00	35064.00	35064.00	0.00	35064.00
Odpisy	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Služby	8210.00	0.00	8210.00	8210.00	0.00	8210.00
Energie, vodné, stočné, komunikácie	162.00	0.00	162.00	162.00	0.00	162.00
Bežné nepriame náklady	20000.00	0.00	20000.00	20000.00	0.00	20000.00
Bežné náklady spolu	100000.00	0.00	100000.00	100000.00	0.00	100000.00
Kapitálové výdavky	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Požadovaná výška dotácie pre projekt	100000.00	0.00	100000.00	100000.00	0.00	100000.00
Výška vlastných prostriedkov žiadateľa	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sumárny rozpočet projektu (v eurách)	100000.00	0.00	100000.00	100000.00	0.00	100000.00



# Náklady v roku 2016 (spolu)

Sumárny rozpočet projektu za rok 2016 (eurách)

	Schválený plán			Skutočnosť		Čerpanie spolu rok 2016
	Upravený rozpočet - Dotácia	Upravený rozpočet - Vlastné	Upravený rozpočet – Spolu	Dotácia	Vlastné	
Bežné priame náklady	397873.00	100000.00	497873.00	397873.00	100000.00	497873.00
Mzdové náklady	247600.00	69966.00	317566.00	247600.00	69966.00	317566.00
Zdravotné a sociálne poistenie	87155.00	24628.00	111783.00	87155.00	24628.00	111783.00
Cestovné výdavky	4735.00	503.00	5238.00	4735.00	503.00	5238.00
Materiál	40922.00	1842.00	42764.00	40922.00	1842.00	42764.00
Odpisy	2758.00	867.00	3625.00	2758.00	867.00	3625.00
Služby	11746.00	1314.00	13060.00	11746.00	1314.00	13060.00
Energie, vodné, stočné, komunikácie	2957.00	880.00	3837.00	2957.00	880.00	3837.00
Bežné nepriame náklady	99467.00	25000.00	124467.00	99467.00	25000.00	124467.00
Bežné náklady spolu	497340.00	125000.00	622340.00	497340.00	125000.00	622340.00
Kapitálové výdavky	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Požadovaná výška dotácie pre projekt	497340.00	0.00	497340.00	497340.00	0.00	497340.00
Výška vlastných prostriedkov žiadateľa	0.00	125000.00	125000.00	0.00	125000.00	125000.00
Sumárny rozpočet projektu (v eurách)	497340.00	125000.00	622340.00	497340.00	125000.00	622340.00



# Čerpané finančné prostriedky za jednotlivé roky riešenia

Sumárny rozpočet čerpaných prostriedkov v projekte (eur):

	<b>Rok 2013</b>	<b>Rok 2014</b>	<b>Rok 2015</b>	<b>Rok 2016</b>
<b>Bežné priame náklady</b>	150 000,-	313 938,-	942 319,-	497 873,-
<b>Kapitálové výdavky</b>	0,-	20 278,-	1 861,-	0,-
<b>Nepriame náklady</b>	37 500,-	77 979,-	235 577,-	124 467,-
<b>Bežné náklady spolu</b>	187 500,-	391 917,-	1 177 896,-	622 340,-
<b>Požadovaná výška dotácie</b>	150 000,-	324 695,-	929 757,-	497 340,-
<b>Výška vlastných prostriedkov</b>	37 500,-	87 500,-	250 000,-	125 000,-
<b>Sumárny rozpočet projektu</b>	187 500,-	412 195,-	1 179 757,-	622 340,-



## Vlastné zdroje za rok 2016 a celé obdobie riešenia

V roku 2016 sa prijímateľ stimulov podieľal na financovaní projektu AV vlastnými zdrojmi vo výške 5,01 % z celkových plánovaných oprávnených nákladov na realizáciu projektu. V sledovanom roku boli použité dotácie vo výške 19,95 % z celkových plánovaných oprávnených nákladov na projekt. Za celé obdobie riešenia sa prijímateľ stimulov podieľal na financovaní projektu vlastnými zdrojmi vo výške 20,05 % z celkových plánovaných oprávnených nákladov na realizáciu projektu. Pre projekt boli za celé obdobie riešenia použité dotácie vo výške 79,95 % z celkových plánovaných oprávnených nákladov na projekt.



## Kapitálové výdavky za rok 2016 a celé obdobie riešenia

Celkové plánované kapitálové výdavky boli 113 887 eur. Nevyčerpaná zostala časť plánovaných kapitálových nákladov, nakoľko v rámci procesu verejného obstarávania sa podarilo znížiť plánovanú cenu nakupovaných zariadení na 65 254 eur z čoho z projektových nákladov sa hradila iba alikvotná časť vo výške 22 139 eur pripadajúca na obdobie riešenia projektu a zvyšných 40 115 eur sa hradilo z vlastných prostriedkov. Rozdiel medzi plánovanými kapitálovými výdavkami a vyčerpanými prostriedkami vo výške 91 748 EUR sa vrátil do štátneho rozpočtu SR. Za celé obdobie riešenia žiadateľ VÚPC obstaral cez verejné obstarávanie 5 prístrojov/zariadení: vysokoúčinný kvapalinový chromatograf na stanovenie monosacharidov v hydrolyzátoch, laboratórna trepačka s inkubátorom, laboratórny reaktor pre parnú explóziu, pilotný extrudér na predspracovanie lignocelulózovej suroviny a pilotný reaktor na hydrolýzu predspracovanej lignocelulózovej suroviny.