

Zaměření výzkumu pro využití sacharosy k nepotravinářským účelům v ČR

NON-FOOD APPLICATIONS OF SUCROSE – RESEARCH IN CZECH REPUBLIC

Zdeněk Bubník, Ladislav Čurda, Pavel Kadlec, Jitka Moravcová, Karel Melzoch, Evžen Šárka, Jan Šmidrkal – VŠCHT Praha
Josef Pulkrábek – Česká zemědělská univerzita v Praze
Jaromír Chochola – Řepařský institut s. r. o., Semčice

Cukrovka je českou nejproduktivnější plodinou

Cukrovka díky současným výkonným geneticky jednoklíčkovým odrudám (více méně tolerantním k chorobám a škůdcům) a při výrazném podílu intenzivních pěstitelských technologií je bezpochyby nejproduktivnější plodinou mírného zeměpisného pásma. I ve světě stále patří mezi 15 nejvýznamnějších plodin. Dosahuje dnes více než desetinásobku výnosu cukru oproti počátku svého pěstování před více než 170 lety. Vyprodukovaný cukr a vedlejší produkty jsou cennou obnovitelnou surovinou pro potravinářský a fermentační průmysl, pro produkci pohonných látek (ethanolu), ale i pro malotonážní chemii. Cukrovka je však také jednou z nejnáročnějších plodin s přísně vyhraněnými požadavky na pěstitelská opatření.

Cukrovka bývala královnou polí

Malý pohled do historie: V prvním roce existence Československé republiky vzniklo mj. rčení „o bílém zlatu republiky“. Příjem z vývozu cukru do zahraničí byl v té době jediným aktívem zahraničního obchodu. Československo tehdy patřilo mezi řepařskou a cukrovarnické velmoci, neboť uspokojovalo světovou spotřebu cukru z plných 15 %. Cukrovka byla dominující plodinou – královnou polí. Do zahraničí se vyváželo české řepné osivo, které patřilo mezi špičkové. Českoslovenští specialisté budovali cukrovary nejen v Evropě, ale i v zámoří. Mnoho specialistů ze zahraničí se k nám jezdilo učit pěstovat řepu a vyrábět z ní cukr.

Postavení cukrovky v zemědělských soustavách

Cukrovka je důležitý prvek osevního postupu, neboť jako rostlina tvořící zásobní kořen vykazuje odlišný životní cyklus a je z jiné botanické čeledi než obiloviny. Je rostlinou hluboko-kořenící, proto vynáší živiny ze spodních vrstev půdy a příznivě působí na půdní strukturu. Může hrát úlohu ozdravující plodiny v obilnářských osevních postupech. Přerušuje jako jařina rozšířené osevní postupy s ozimí, jako listnatá plodina střídá často pěstované obilniny, a obohacuje tím obraz krajiny. Zařazení cukrovky do osevního postupu snižuje infekční tlak chorob, zvláště při vysokém podílu obilnin. Po cukrovce pěstovaná obilnina vykazuje vyšší výnosy a nižší náklady na ochranu a hnojení (např. při pěstování pšenice je nižší fusariosová infekce a tvorba toxinů, jako je DON (deoxynivalenol), v zrnu). Přispívá k bohatší a rozmanitější populaci výskytu divokých zvířat a rostlin. Plochy cukrovky skýtají na jaře možnost hnízdění ptá-

ků jako např. čejky či skřivana, což ozimy neumožňují. Během léta a podzimu poskytují porosty cukrovky stín a mírní teplotní extrém, což má význam zvláště pro jižní obilnářské regiony.

Cukrovka jako sluneční elektrárna

Cukrovka v přeneseném pojetí funguje jako výkonná sluneční elektrárna, produkující a uskladňující získanou energii ve své biomase. Díky energii slunečního záření vytváří z vody a oxidu uhličitého fotosyntetickým procesem průmyslové suroviny, především cukr, dále krmivo a po zaorání nezkrmeného chrástu a posklizňových zbytků i vydatné zelené hnojení. Produkční potenciál současných odrud cukrovky přesahuje 240 GJ.ha⁻¹.

Významný je i ekologický efekt pěstování cukrovky. Kyslík, který vyprodukuje jeden hektar této plodiny, stačí k dýchání 62 lidí po dobu jednoho roku. Vyprodukovaný cukr (sacharosa) je chemicky nejčistší potravinou v plejádě zemědělských produktů.

Cukrovka jako zdroj obsahových látek

Cukrovka (*Beta vulgaris* L., subsp. *esculenta* Salisb., var. *altissima* Döll., syn. *saccharifera* Alef.) nese chemotaxonomické znaky čeledě *Chenopodiaceae*. Obsahuje kromě vysokého obsahu cukru relativně vysoký obsah glutaminu, kyseliny glutamové, asparagové, γ -aminomáselné a betainu. Přednostně akumuluje nitráty, je citlivá na nedostatek stopových prvků, především B, Mn a Mo. Příznivá je reakce cukrovky na přihnojování chloridovými formami draselných solí (doprovázených sodíkem), typická pro halofyty. Prozrazuje prapůvod předků této plodiny z přímořských oblastí, jejichž půda i atmosféra jsou prosyceny chloridovými ionty. Především je však charakteristická svým specifickým obsahovým složením prošlechtěné průmyslové plodiny. V bulvě má v průměru >16 % sacharosy. Kromě sacharosy jsou z cukrů dále zastoupeny zejména D-glukosa, D-fruktosa, D-galaktosa a rafinosa, z organických kyselin pak kyseliny citrónová, jablečná a α -ketoglutarová.

Z chemicko-technologického hlediska rozdělujeme látky obsažené ve sklizených bulvách cukrovky na dřev a řepnou šťávu. Řepnou dřev se rozumí souhrn všech ve vodě nerozpustných látek. Řepná bulva obsahuje asi 76 % vody a 24 % sušiny, z toho je asi 6 % řepné dřevě a 18 % ve vodě rozpustných látek. Hlavní část dřevě (70–90 %) tvoří pentosany, pektinové látky a celulóza. Tyto tři skupiny látek jsou zastoupeny přibližně ve stejných poměrech. Zbytek tvoří lignin, rostlinné bílkoviny, stopové množství jiných organických látek, asi 4 %

ve vodě nerozpustných organických kyselin. Dřeň obsahuje asi 0,5 % imbibiční vody. Mezi obsahem dřene ve sklizené bulvě a její cukernatostí je přímá kladná závislost. Sacharosa tvoří přibližně 87 % ve vodě rozpustných látek. Všechny ostatní rozpustné látky se označují souhrnně jako necukry, jinak také jako doprovodné látky.

Ekonomika produkce cukrovky – základní suroviny pro další zpracování

Pro úvahy o možnostech alternativního využití cukrovky jsou důležité tyto podklady:

1. Technologicky reálné komodity, jejich tržní potenciál v množství a v ceně.
2. Náklady na výrobu uvažovaných komodit.
3. Cena vstupní suroviny – cukrovky.

Vývoj nákladů souvisí především se změnami kurzu koruny a se vzestupem ceny energií. Proto klesají ceny osiv, udržují se ceny prostředků na ochranu rostlin a rostou ceny hnojiv a nafty (v položce náklady pomocných činností). Od roku 1998 vzrostly náklady o 8 500 Kč.ha⁻¹, tj. o 21 % a z toho vyplývá roční nárůst o cca 2 %. Lze předpokládat, že i do budoucna bude nárůst nákladů pozvolný. Náklady na tunu řepy (přepočteno na cukernatost 16 %) klesají – v roce 1998 činily 854 Kč.t⁻¹, v roce 2007 780 Kč.t⁻¹. Zisková marže u cukrovky musí být (i s ohledem na další zemědělské komodity) minimálně 15 %, a tak je nutno počítat do budoucna s cenou cukrovky (při cukernatosti 16 %) jako suroviny pro alternativní využití kolem 900 Kč.t⁻¹. Současně je nutno hledat cesty k omezení růstu nákladů (úspory u prostředků na ochranu rostlin, snižování mzdových nákladů) a ke zvýšení výnosů.

Jednou z cest jak snížit náklady na produkci cukrovky může být i uplatnění geneticky modifikovaných transgenních odrůd s vyšší přidanou hodnotou. U cukrovky jsou genetické modifikace využívány především pro získání herbicidní tolerance ke glyfosátu (herbicid Roundup) a glufosinátu (herbicid Liberty) a virové rezistence k viru BNYVV vyvolávajícímu rizománii. Na Univerzitě ve Wageningenu se úspěšně podařilo geneticky modifikovat cukrovku pro produkci fruktanů (polymerů D-fruktosy), využitelných v potravinářství pro zdravou výživu a dále jako organický polymer pro výrobu avivážních prostředků či biodegradovatelných plastů. Transgenní odrůdy v ČR nejsou zatím povoleny, nicméně o použití geneticky modifikované cukrovky pro nepotravinářské účely musíme do budoucna uvažovat.

Při úvahách o alternativním využití cukrovky je nutno kalkulovat i s cenou vedlejších produktů – sušených cukrovarských řízků (pelet) a lihovarských výpalků. Obě tyto ceny jsou silně závislé na ceně podobných výrobků na trhu. Pro cukrovarské pelety jsou to pelety z citrusových plodů a (až v druhé řadě) krmné obilí, pro výpalky je to cena draselných hnojiv.

V současné době se cena cukrovarských pelet pohybuje okolo 170 EURO.t⁻¹, má však silně klesající tendenci. Cena výpalků je 150 Kč.t⁻¹ fco. O výpalcích se asi nedá uvažovat jinak, než jako o lokální komoditě uplatňující se ve vztahu cukrovár/lihovar versus pěstitel.

Cukrovarské pelety se naopak standardně obchodují a mají velký dopad na celkovou ekonomiku. Produkce je cca 5 % na řepu, a tak jejich příspěvek k obratu ze řepy je při dnešní ceně cca 200 Kč.t⁻¹ řepy. Je však potřeba počítat spíše s rozpětím 120–220 Kč.t⁻¹. Náklady na výrobu pelet neznáme; jedná se to-

tiž o informace výrobci nezveřejňované. Musí se počítat s investicí do sušárny, do skladu, náklady na energii a na dopravu, což může dělat tak 30–50 % prodejní ceny. Tento příspěvek je nutno zohlednit při úvahách o energetickém využití cukrovky technologiemi 2. generace – BtL. Je nutno porovnávat krmivářské a energetické zhodnocení řepné dřene. Kalkulovat by bylo možno i agrotechnický přínos (jako je to často u luskovin) – zvýšení hektarových výnosů ostatních plodin v osevním postupu (cca 1 000 Kč.ha⁻¹).

Navrhované zaměření výzkumu, vývoje a inovací

Zajištění základní suroviny pro další zpracování

Východiskem bude analýza chemického a technologického složení rostlin současného sortimentu odrůd v souladu s náměty řešící dílčí možnosti využití cukrovky. Je třeba posoudit genotypy získané od šlechtitelů a pokusit se vybrat ty, které mají jiné složení, než tradiční odrůdy pěstované na produkci cukru – vhodnější k zamýšlenému účelu. Složení následně vypěstovaných rostlin bude analyzováno s ohledem na zaměření projektu.

Cíl 1 – Analýza sortimentu genotypů na chemické a technologické složení rostliny

Přínosy:

1. Přehled o variabilitě chemického a technologického složení řepné rostliny. Následné využití k posouzení efektivnosti výroby dané substance.
2. Přehled o vlivu počasí a vybraných prvků technologie pěstování na sledované ukazatele.
3. Při poklesu ploch cukrovky na produkci cukru je možné nepotravinářské využití.

Výstupy: Databáze chemického a technologického složení testovaných genotypů.

Analýza současného stavu vývoje geneticky modifikovaných odrůd cukrovky ve světě a v ČR a definování vlivu modifikace na chemické složení cukrovky s cílem vybrat vhodné transgenní odrůdy a ověřit jejich pěstování v podmínkách ČR.

Cíl 2 – Optimalizace pěstitelské technologie s ohledem na způsob dalšího využití cukrovky včetně uplatnění geneticky modifikovaných transgenních odrůd

Přínosy:

1. Využití genotypy s jiným složením rostliny.
2. Prosazení GMO odrůd pro nepotravinářské využití produkce.
3. Zlevnění produkce základní suroviny pro nepotravinářské využití.
4. Při poklesu ploch cukrovky na produkci cukru může nepotravinářské využití této plodiny zajistit a stabilizovat užitečnou exploataci našich nejurodnějších půd fotosynteticky nejvýkonnější plodinou. Zúročí se tím i bohaté zkušenosti pěstitelů a moderní vybavení zemědělských podniků a cukrovarů.

Výstupy:

1. Ekonomika produkce základní suroviny.
2. Technologický postup pěstování a využití produkce odpovídající podmínkám trvale udržitelného rozvoje.
3. Vývoj geneticky modifikované cukrovky s odolností vůči mrazu, která by umožnila zpracování téměř v průběhu celého roku.

Využití cukrovky pro energetické účely

Cílem je posouzení možnosti biotechnologické výroby butanolu (palivo 2. generace z obnovitelných zdrojů) z dostupných meziproductů cukrovarnického průmyslu (lehká šťáva, těžká šťáva, surový cukr, melasa) a získání praktických poznatků o vlastnostech a chování biobutanol-benzinových směsí a vlivu těchto směsí na provoz motorových vozidel a emise škodlivin. Výběr vhodného mikroorganismu a vyšlechtění kmenu, který by tvořil minimum ethanolu, acetonu a isopropylalkoholu, čímž by výtěžnost butanolu mohla být i kolem 60 % na použitý cukerný substrát. Studium přípravy kultury klostridií v propagační stanici a zavedení membránových modulů, které by umožnily recyklaci bakterií do kontinuálního reaktoru. Tím by se mohla zvýšit podstatně rychlost procesu, ne však koncentrace produktu ve vystupujícím médiu. Druhá fáze výzkumu se týká vlastního fermentačního procesu. Ten je striktně anaerobní, klostridie neznášejí v médiu kyslík. Při fermentaci nejprve vznikají kyseliny máselná a octová a po několika hodinách se z nich začnou tvořit alkoholy podle typu používaného mikroorganismu. Ve vsádce trvá fermentace bez odstraňování rozpouštědel kolem tří dnů, ale využitím membránového modulu nebo i imobilizovaných bakteriálních buněk by bylo možno produktivitu podstatně zvýšit. Posledním stupněm výroby butanolu je jeho izolace z média, ke které se výhradně používá destilace. Ta by nemusela být tak náročná, protože butanol nemusí být zcela čistý. Výhodou oproti ethanolu je fakt, že získaný butanol je prakticky bezvodý. Butanol má vyšší energetický obsah než ethanol, a proto jeho přídavek do benzínu může být maximálně 10 %. Zjištění možného stupně nečištění butanolu ethanolom by spadalo též do řešení projektu.

Cíl 3 – **Produkce biobutanolu a využití výpalků**

Přínosy:

1. *Využití stávajících kapacit cukrovarů, dvěma hlavními produkty zajistit ekonomiku produkce.*
2. *Částečná nábrada fosilní energie trvale dorůstající energií z cukrové řepy bude mít pozitivní efekt na ochranu životního prostředí.*
3. *Při poklesu ploch cukrovky na produkci cukru může nepotravinářské využití této plodiny zajistit a stabilizovat užitečnou exploataci našich nejnáděnějších půd fotosynteticky nejvýkonnější plodinou. Zúročí se tím i bobaté zkušenosti pěstitelů a moderní vybavení zemědělských podniků a cukrovarů.*
4. *Vyrobí kvalitní krmivo a/nebo hnojivo za přijatelnou cenu.*

Výstupy:

1. *Vypracování a ověření biotechnologie výroby butanolu z cukrovarnických meziproductů.*
2. *Studium doby přežívání některých fytopatogenních organismů za mezofilních podmínek ve fermentoru.*
3. *Energetická bilance výroby.*
4. *Ekonomická efektivnost výroby butanolu a využití výpalků.*

Posouzení možnosti výroby bioplynu a vedlejšího produktu, pelet, pro krmivářské účely. Surovinou může být cukrovka desintegrována na drobné částice, které budou následně fermentovány. Proces může být realizován buď v klasických bioplynových jednotkách nebo v uzpůsobeném anaerobním stupni čistírných odpadních vod, kde před vstupem je řepná drť míchaná s recyklem vyčištěné tekutiny. Problematickou může být likvidace digestátu, neboť při vyšším zpracování řepy by to vyžado-

valo ohromnou kompostárnu. Druhou možností je zpracování cukrovarnické šťávy a využití vyslazených řízků, kterých nebude na českém trhu nadbytek, na krmivo. Sušení řízků by současně mohlo být vhodným využitím části vyrobeného tepla. Vzniklého digestátu bude max. 2 % zpracované řepy, což usnadní jeho využití, likvidoval by se pravděpodobně jako klasické čistírenské kaly. Anaerobní reaktor včetně následných separací bude jednodušší, neboť nenastane problém při separaci mikroorganismů v kalu a digestátu. Třetí alternativou je desintegrovanou cukrovku vylisovat, šťávu zpracovat obvyklým způsobem na sacharosu a získanou biomasu přímo spalovat v bioplynových jednotkách. Výtěžnost sacharosy bude samozřejmě menší, ale může být vyvážena energetickým ziskem z bioplynu. Nároky na osevň plochu cukrovky by tím přirozeně stouply.

Cíl 4 – **Produkce bioplynu a sušených cukrovarských řízků (pelet)**

Přínosy:

1. *Využití stávajících kapacit cukrovarů, dvěma hlavními produkty zajistit ekonomiku produkce.*
2. *Částečná nábrada fosilní energie trvale dorůstající energií z cukrové řepy (bioplynu) bude mít pozitivní efekt na ochranu životního prostředí.*
3. *Při poklesu ploch cukrovky na produkci cukru může nepotravinářské využití této plodiny zajistit a stabilizovat užitečnou exploataci našich nejnáděnějších půd fotosynteticky nejvýkonnější plodinou. Zúročí se tím i bobaté zkušenosti pěstitelů a moderní vybavení zemědělských podniků a cukrovarů.*
4. *Vyrobí kvalitní krmivo a/nebo hnojivo za přijatelnou cenu.*

Výstupy:

1. *Využití šťávy z řepy pro produkci bioplynu a zpracování zbylé části rostliny na krmivo – pelety ze sušených vyslazených řízků.*
2. *Využití vylisované šťávy na výrobu sacharosy a suché výlisky na produkci bioplynu.*
3. *Doba přežívání některých fytopatogenních organismů za mezofilních podmínek ve fermentoru.*
4. *Energetická bilance výroby.*
5. *Ekonomická efektivnost výroby bioplynu a pelet.*

Využití cukrovky jako suroviny pro produkci prebiotik

Prebiotika jsou nestravitelné potravní doplňky, které pozitivně ovlivňují zdraví člověka selektivní stimulací růstu a nebo aktivity jednoho nebo omezeného počtu bakterií (probiotik) v tlustém střevě. Prebiotika tak mohou přispívat ke zvýraznění pozitivních účinků probiotických bakterií (např. snížení aktivity patogenů ve střevě, snížení rizika některých typů rakoviny, zlepšení odolnosti vůči infekcím a alergeniům, zlepšení stavu pacientů se zánětlivým onemocněním tlustého střeva, snížení koncentrace cholesterolu v krvi). Jako prebiotika se průmyslově využívají různé typy oligosacharidů, nejvíce rozvinutá je produkce oligosacharidů v Japonsku, kde jich v roce 2003 bylo vyrobeno 75 000 t a téměř polovina z nich na bázi sacharosy. Prebiotika se uplatňují nejen v lidské výživě, ale i ve výživě hospodářských zvířat. Navrhovaný postup přípravy prebiotických oligosacharidů na bázi sacharosy spočívá ve využití transferasové aktivity enzymu β -galaktosidasa. Na sacharosu bude takto navázána jedna nebo více molekul galaktosy, které budou získány hydrolýzou laktosy pomocí stejného enzymu. Vedle sa-

charosy bude proto další surovinou laktosa ze syrovátky, která ve velkém množství odpadá při výrobě sýrů. Po základním ověření podmínek reakce a vlastností získaných oligosacharidů bude navržen postup pro průmyslovou výrobu šaržovým nebo kontinuálním způsobem s využitím membránového reaktoru nebo imobilizovaného enzymu. Studovány budou rovněž postupy pro zvýšení čistoty prebiotika. V další fázi budou ověřeny aplikace získaného produktu.

Cíl 5 – Biotechnologická produkce prebiotik

Přínosy:

1. Přeměna sacharosy na prebiotikum s pozitivním dopadem na zdraví konzumentů.
2. Prebiotikum na bázi sacharosy bude mít vedle prebiotických účinků nekariogenní vlastnosti, nižší energetickou hodnotu a nižší sladivost.
3. Prebiotický preparát je výrobek s vysokou přidanou hodnotou.
4. Náklady na použitý enzym budou sníženy využitím membránového reaktoru nebo imobilizací enzymu.
5. Čistota získaného produktu bude zvýšena pomocí kontinuální chromatografie nebo nanofiltrací.

Výstupy:

1. Nové poznatky o struktuře a vlastnostech nových prebiotik.
2. Technologický postup enzymové přípravy prebiotických oligosacharidů na bázi sacharosy.
3. Ověřená aplikace získaných prebiotik ve fermentovaných mléčných výrobcích.

Využití sacharosy jako suroviny pro produkci tenzidů

Estery sacharosy s vyššími mastnými kyselinami (acylsacharosy, cukroestery) jsou alternativou k tenzidům, které jsou v současné době používány do pracích prášků. Jejich velkou výhodou je, že jsou biodegradabilní a nepoškozují tak životní prostředí. Nejprve budou připraveny acylsacharosy obsahující kyseliny s 8 - 18 uhlíky v řetězci, bude stanovena jejich struktura a povrchově aktivní vlastnosti. Dále budou studovány jejich aplikační vlastnosti v pracích prostředcích. Na základě těchto vlastností bude navržena a ověřena receptura pracího prostředku, ve kterém bude acylsacharosa jako tenzid. Další možností je použití acylsacharosy jako emulgátoru do kosmetických přípravků a jako emulgátoru pro výrobu mlék pro výživu mláďat hospodářských zvířat. Tato mléka jsou emulze rostlinného oleje ve vodě a mohou nahradit část (zdůrazňuji pouze část) např. kravského mléka pro výživu telat (selat, jehňat).

Cíl 6 – Produkce tenzidů

Přínosy:

1. Přeměna sacharosy na biologicky rozložitelné tenzidy do pracích prostředků.
2. Přeměna sacharosy na emulgátory do kosmetických prostředků.
3. Přeměna sacharosy na emulgátory pro výrobu mléka pro výživu mláďat hospodářských zvířat.

Výstupy:

1. Nové poznatky o vlastnostech acylsacharos.
2. Technologický postup přípravy tenzidů na bázi sacharosy.
3. Aplikace acylsacharos v pracích prostředcích a emulgátorech do kosmetických prostředků a mlék pro výživu mláďat hospodářských zvířat.

Využití sacharosy jako suroviny pro produkci bioplastů

Biodegradabilní plasty (bioplasty) jsou polymery, které se působením enzymů v daném časovém úseku (definovaném normou) a v definovaném prostředí (kompost, anaerobním kal, moře) štěpí na biomasu, CO₂ a vodu. Obvyklá doba rozkladu je 45–60 dnů. V současnosti se v ČR nevyrábějí a jsou sem dováženy v malém množství např. v podobě „kompostovatelných tašek“. Pokud jde o sacharosy jako vstupní surovinu, připadá v úvahu výroba kyseliny l-mlečné a její polymerizace na poly-l-mlečnan, ze kterého se dají vyrábět obaly na potraviny. Pokud je použit pro kopolymerizace, výrobkem jsou zemědělské a zahradnické fólie nebo lamináty. Kontinuální fermentační technologie na kyselinu mléčnou je klasickou biotechnologií, zahrnující kromě kvasné transformace sacharosy s výtěžkem 90–95 % pomocí vhodného produkčního mikroorganismu, řadu progresivních separačních technik, jako je ultrafiltrace či elektrodiálýza.

Ceny polymerů na bázi kyseliny L-mlečné jsou zatím vyšší než ceny podobných materiálů na bázi škrobu, nicméně v případě masivní výroby kyseliny mléčné, případně dotované výroby, by mohlo dojít k jejich zlevnění, a tak by se otevřely nové perspektivy využití. V současné situaci, kdy stále vzrůstá naléhavost ekologického nakládání s obalovými odpady, by se používání biodegradovatelných polymerů ve správně volených aplikačních oborech mohlo stát nezanedbatelným příspěvkem k ochraně životního prostředí.

Cíl 7 – Produkce bioplastů

Přínosy:

1. Zvýšené využití kapacit stávajících cukrovarů.
2. Dojde k průmyslovému využití plodiny bohaté na sacharidy, která podléhá kvótování Evropské unie.
3. Bude produkováno ve zvýšené míře levné velkoobjemové krmivo (řízky), tzn. v podobné výši jako před krácením kvót cukru v České republice.
4. Výroba bioplastů bude mít za důsledek šetrnější chování k životnímu prostředí.

Výstupy:

1. Využití sacharosy z řepy pro produkci bioplastů a zbylé části rostliny zpracovat na krmivo – pelety ze sušených vyslazených řízků.
2. Testování vyrobených bioplastů z hlediska fyzikálních vlastností a biodegradability.
3. Marketingová studie týkající se potřeby obalů z bioplastů a podmínek pro jejich využití v České republice.
4. Porovnání ekonomické efektivity výroby bioplastů pro výrobu ze sacharosy a z bramborového škrobu.

Využití moderních izolačních postupů při zpracování řepy

Alternativou ke klasickému postupu výroby cukru v cukrovařech je nahrazení epurace v prvním kroku membránovými filtračními technikami a ve druhém kroku procesy kontinuální chromatografické separace. Tyto moderní izolační techniky, zejména membránové procesy (nanofiltrace a ultrafiltrace), mohou tvořit i jednu ze základních operací při všech technologických uvažovaných v tomto projektu. Umožňují totiž od sebe rozdělit sacharosy, D-glukosu a D-fruktosu ve vodných roztocích, sacharosy a betain z melasy, ale i získat betain z řepných výpalků produkovaných při fermentaci cukrovky. Žádná efek-

tivní současná technologie se bez membránových procesů neobejde, proto bude tato část projektu zasahovat i do ostatních zde uvedených částí.

Cíl 8 – *Moderní izolační postupy*

Přínosy:

1. *Izolace biologicky cenných látek z meziproductů (surová, lebká a těžká šťáva, melasa) cukrovarnické výroby a z následných fermentačních medií či výpalků. Možnost pokampaňové výroby.*
2. *Vyšší zhodnocení surovin a odpadů cukrovarnického průmyslu pro oblasti nepotravinářských aplikací (kosmetické a farmaceutické výroby, výroba krmiv a hnojiv).*
3. *Nabízení klasického epuračního postupu membránovými technikami zcela vypouští nutnost spalování koksu a vápna. Významný je přínos ekologický i ekonomický – odpadá zde zpracování vápence a vypouštění s tím spojeného oxidu uhličitého.*

Výstupy:

1. *Vypracování postupů na izolaci vybraných látek z meziproductů a odpadů cukrovarnického průmyslu. Zaměření na nejmodernější postupy jako jsou membránové procesy (ultra a nanofiltrace) a kontinuální chromatografické separace (včetně modelování a simulace procesu).*
2. *Návrhy a experimentální ověření nových separačních postupů v cukrovarnické technologii s cílem snížení ekonomických nákladů a ekologických dopadů – model bezodpadové výroby a jeho bilanční propočty.*
3. *Zhodnocení energetické náročnosti a celkového ekonomického přínosu výroby látek nebo jednotkové operace.*

Složení pracovních týmů

Na řešení budou spolupracovat Vysoká škola chemicko-technologická v Praze (VŠCHT), Česká zemědělská univerzita v Praze (ČZU), Řepařský institut Semčice (ŘI) a Zemědělský výzkumný ústav Kroměříž (ZVÚ):

- cíl 1 – Analýza sortimentu genotypů na chemické a technologické složení rostliny – ČZU, ŘI, ZVÚ, VŠCHT;
- cíl 2 – Uplatnění geneticky modifikovaných transgenních odrůd s vyšší přidanou hodnotou – ČZU, ŘI, ZVÚ, VŠCHT;
- cíl 3 – Produkce biobutanolu a využití výpalků – VŠCHT, ČZU;
- cíl 4 – Produkce bioplynu a sušených cukrovarských řízků (pelet) – VŠCHT, ČZU;
- cíl 5 – Biotechnologická produkce prebiotik – VŠCHT;
- cíl 6 – Produkce tenzidů – VŠCHT;
- cíl 7 – Produkce bioplastů – VŠCHT;
- cíl 8 – Moderní izolační postupy – VŠCHT.

Závěr

Sacharosa se jako unikátní chemikálie nevyužívá

Sacharosa je nejdostupnější organickou sloučeninou s nízkou molekulovou hmotností a s relativně nízkou cenou, která je srovnatelná s cenou velkotonážně vyráběných běžných chemikálií. Pro chemické transformace sacharosy se nabízí řada možností, respektující jak výhodné, tak i nevýhodné fyzikálně-chemické vlastnosti sacharosy. K výhodám patří, že se jedná o krystalic-

kou látku, která není hygroskopická, je chirální a enantiomerně čistá, je z obnovitelných zdrojů a je biodegradabilní. K nevýhodám je nutno počítat, že se jedná o sloučeninu vysoce polární, která je polyfunkční a labilní v kyselém prostředí a rozpustná jen ve vodě či ve vysoce vroucích rozpouštědlech. Průmyslové využití sacharosy jako unikátní chemikálie je v současné době vzdálené, a to zejména z ekonomických důvodů a také proto, že se prozatím nenašel žádný produkt, po kterém by byla obrovská poptávka a sacharosa byla jeho jedinou surovinou. Nicméně je tato oblast intenzivně studována, zatím pouze jako základní výzkum.

Přítom ale existuje mnoho důležitých látek, které se dají ze sacharosy vyrobit

Kvalifikovaná cukrochemie nabízí celou škálu sloučenin, i průmyslových, pro které je sacharosa výchozí surovinou: sladidla (glucitol, mannitol, fruktosa, sukralosa), hydroxymethylfurfural, produkty fermentace (kyselina octová, kyselina citronová, glycerol), oligosacharidy (palatinosa, leukrosa, fruktooligosacharidy), dextran, kyselina glutamová a další. Některé technologie dříve byly instalovány i v ČR, dnes prakticky neexistují.

Cukrovka má silnou surovinovou konkurenci

Hydrolyza sacharosy na invertní cukr (směs D-glukosy a D-fruktosy) je tradiční a historická technologie, která se využívala i v ČR. Ale její perspektiva je jednoznačně určena cenou D-glukosy a D-fruktosy, pro které existují jiné, levnější zdroje poskytující oba cukry čisté a nikoliv pouze jejich směs, která se musí složitě dělit. V případě D-glukosy je to škrob, pro D-fruktosu kukuřice. I pro výrobu bioplastů je škrob vhodnou a dokonce doposud levnější surovinou. Jinými slovy, v komoditě zemědělských produktů má cukrovka jako průmyslová surovina vážnou konkurenci, která je stále ještě ekonomicky silnější. Toto konstatování platí i pro technologie uvažované v předkládaném návrhu.

Jistou nadějí dává, že škrob je poměrně drahý a pěstování kukuřice v naší republice nebude nikdy dostatečně masivní, protože vysoká koncentrace kukuřice v osevním postupu nepříznivě ovlivňuje (narozdíl od cukrovky) některé následné plodiny. Z tohoto pohledu by pak mohla být zajímavá i výroba D-fruktosy.

O technologiích rozhoduje ekonomika

Perspektiva i sebelepší a účinné technologie závisí na ekonomice celého procesu, proto součástí projektu budou ekonomické bilance vycházející z odhadu cenového vývoje v nejbližších deseti letech. Odhad nemusí být zcela správný, jak ukazuje nejnovější vývoj cen pšenice v souvislosti s výrobou bioetanolu a růstem ceny ropy.

Silná patentová ochrana již existujících technologií

Použití sacharosy jako suroviny pro chemický nebo farmaceutický průmysl je v popředí zájmu od období mezi světovými válkami a intenzita výzkumu se vždy zvyšuje paralelně s cenou ropy. Za tu dobu byly patentovány stovky nejrůznějších technologií, takže je obtížné nalézt originální dosud nezkoumanou cestu. Prostor se otevírá pro biotechnologie.

Potenciálním výrobcem bude spíše menší podnik

Velcí hráči na trhu mají svoje vývojové laboratoře a podle našich zkušeností v této oblasti se spoléhají spíše na svoje vlastní výsledky. Perspektivní zpracovatelé cukrovky pro nepotravinářské účely budou spíše z kategorie malých až středních podniků, které mohou být organizačními jednotkami cukrovarů nebo zemědělských podniků. Z ekonomického hlediska pak odpadnou náklady na dopravu a bude možno lépe využívat energii.

Souhrn

Práce shrnuje výzkumné projekty, jenž jsou zaměřeny na využití sacharosy k nepotravinářským účelům. Jednotlivé dílčí projekty byly připraveny na vybraných pracovištích vysokých škol v ČR a výzkumných ústavů oboru a zahrnují problematiku od vstupní suroviny (např. analýza genotypů cukrovky, geneticky modifikované odrůdy), přes nové generace biopaliv (biobutanol, bioplyn) až k výzkumu a vývoji prebiotik a biodegradabilních tenzidů a plastů. Významná část projektu je věnována i novým separačním metodám se sníženou zátěží životního prostředí a vyššímu využití odpadů cukrovarnické a lihovarnické výroby (např. bezodpadové postupy). U všech částí projektu jsou popsány základní cíle a očekávané výstupy. Výsledky projektu by se měly stát podkladem pro vývoj výrobních postupů a jejich zavádění do praxe. Následným efektem by mělo být opětné rozšiřování ploch pro pěstování cukrovky, zejména v oblastech, kde na základě regulace EU byla výroba cukru pro potravinářské aplikace, a tím i pěstování cukrovky, zastavena.

Klíčová slova: sacharosa pro nepotravinářské výroby, geneticky modifikované odrůdy cukrovky, analýza genotypů cukrovky, biobutanol, bioplyn, prebiotika, biodegradabilní tenzidy, biodegradabilní plasty, moderní isolační postupy.

Literatura

- MORAVCOVÁ J.: Sacharosa jako průmyslová surovina. *Chem. listy*, 95, 2001, s. 202–211.
- LICHTENTHALER F. W., PETERS S.: Carbohydrates as green raw material for the chemical industry. *C. R. Chimie*, 7, 2004, s. 65–90.
- JANSEN R., STIBBE C.: Impact of plant breeding on the profitability of sugar beet production. *Int. Sugar J.*, 109, 2007, s. 227–233.
- CHOCHOLA J.: Ekonomické aspekty pěstování řepy na bioetanol. *Listy cukrov. řepař.*, 123, 2007 (7/8), s. 211–215.
- PULKRÁBEK J. ET AL.: Konkurenceschopnost produkce a ekonomika plodin využitelných pro výrobu bioetanolu. *Listy cukrov. řepař.*, 123, 2007 (7/8), s. 216–220.
- BARTOCCI F.: Presentazione dell'impianto di separazione cromatografica in realizzazione nello zuccherificio di Jesi. (Výstavba stanice chromatografické separace v cukrovaru Jesi) *Ind. Saccar. Ital.*, 100, 2007, s. 12–25.
- GEBLER J., ČÍŽ K.: Současný stav a výhled produkce bioetanolu ve světě. *Listy cukrov. řepař.*, 123, 2007 (7/8), s. 243–247.
- ŠÁRKA E. ET AL.: Možnost využití saturačních kalů při výrobě papíru. *Listy cukrov. řepař.*, 123, 2007 (12), s. 386–387.
- BUSSMANN P. ET AL.: Chromatographic sugar separation using SMB technology. In *CITS Proceedings, Rostock 2007*, Verlag Bartens Berlin, Germany, 2008, s. 49–56.
- HENKE S., KUBÁT M., BUBNÍK Z.: The new simulated moving bed pilot plant-modelling, simulation and application. *J. of Food Engineering*, 87, 2008 (1), s. 26–33.
- DITL P., SKŘIVÁNEK J.: Limitní možnosti obnovitelných zdrojů energie v ČR. *Listy cukrov. řepař.*, 124, 2008 (2), s. 54.
- TRNKA J.: Koncepce rozvoje biopaliv v ČR. *Listy cukrov. řepař.*, 124, 2008 (5/6), s. 148–149.

- VISPUTE T. P., HUBER G. W.: Breaking the chemical and engineering barriers to lignocellulosic biofuels. *Int. Sugar J.*, 110, 2008, s. 138–149.
- EVES T.: Cellulosic ethanol: the future of biofuels is here today. In *SPRI Conference*, 28th Sept.–1st Oct. 2008, Delray Beach, USA.
- ŠÁRKA E. ET AL.: The particle size of carbonation mud, and possibilities for influencing it. *J. of Food Engineering*, 87, 2008 (1), s. 45–50.
- POLEMATIDIS I. ET AL.: Biogasification of sugarbeet processing by-products. *Sugar Ind./Zuckerind.*, 133, 2008, s. 317–322.
- O'CONNOR P., VAN DER MEIJ R.: Catalytic conversion of cellulosic biomass. *Int. Sugar J.*, 110, 2008, s. 156–159.
- VON FELDE A.: Trends and developments in energy plant breeding – special features of sugarbeet. *Sugar Ind./Zuckerind.*, 133, 2008, s. 342–345.
- ČÍŽ K.: Alternativní sladidla. *Listy cukrov. řepař.*, 124, 2008 (9/10), s. 278–279.
- VAN DER MAAREL M. J. E. C.: Bioconversion of starch and sucrose into value-added products. In *4th European Biotenology Meeting*, 15–16 April, 2008, Detmold, Germany (abstract in: *Sugar Ind./Zuckerind.*, 133, 2008, s. 400).
- BUBNÍK Z. ET AL.: Modelling and simulation of nonwaste production process in a sugar factory. In *10th International Congress on Engineering and Food – ICEF10*, April 20–24, 2008, Vina del Mar, Chile.
- AHRING B. K., LANGVAD N.: Sustainable low cost production of lignocellulosic bioethanol – „The carbon slaughterhouse“. *Int. Sugar J.*, 110, 2008, s. 184–190.
- VON FELDE A.: Biogas aus Zuckerrüben – Chance für die Zuckerrwirtschaft. In *3rd Norddeutscher-Zuckerrübenstag*, 9th October 2008, Wunstorf, Germany.

Bubník Z., Čurda L., Kadlec P., Moravcová J., Melzoch K., Šárka E., Šmidrkal J., Pulkrábek J., Chochola J.: Non-food applications of sucrose – research in the Czech Republic

The work summarizes research projects, which are focused on non-food applications of sucrose. Individual projects have been prepared by selected workplaces at universities or research institutes in the Czech Republic. The solution covers the whole problem; i.e. raw material (e.g. analysis of sugar beet genotype, genetically modified crops), new generation biofuels (biobutanol, biogas), and research and development of prebiotics and biodegradable tensides and plastics. An important task deals with ecological friendly technologies (such as new separation processes) and higher exploitation of waste material from sugar and ethanol production (non-waste technologies implementation). Fundamental goals and expected outputs are described in all parts of the project. Project results should become a foundation for a development of new production processes and their introduction to practice. The next effect should be a re-enlargement of sugar beet sowing areas, especially in regions where the EU regulations limited sugar production for food applications and subsequently the beet cultivation has been discontinued.

Key words: non-food applications of sucrose, genetically modified sugar beet, analysis of sugar beet genotype, biobutanol, biogas, prebiotics, biodegradable tensides, biodegradable plastics, modern separation processes.

Kontaktní adresa – Contact address:

prof. Ing. Zdeněk Bubník, CSc., Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Fakulta potravinářská a biochemické technologie, Ústav chemie a technologie sacharidů, Technická 5, 166 28 Praha 6 Dejvice, Česká republika, e-mail: zdenek.bubnik@vscht.cz