

Možnosti využití řepné vlákniny, pektinu a celulosy z vyslazených řízků

POSSIBILITIES OF BEET FIBER, PECTIN AND CELLULOSE FROM PULP

Pavel Kadlec – Ústav sacharidů a cereálií VŠCHT Praha

Obecně je známo, že při zpracování řepy je mezi výslednými produkty, vedle bílého cukru, řada cenných dalších vedlejších produktů a odpadů, které je možno využít a zhodnotit lépe než jako odpady. Tyto možnosti jsou celkově znázorněny na obr.1. Aby se získaly další výnosy a současně se snížily provozní náklady, musí cukrovary hledat takové příležitosti, které by valorizovaly vedlejší produkty nebo zhodnotily výrobky z cukru o zvýšené hodnotě, např. speciality nebo deriváty vycházející z cukru nebo z dalších látek obsažených ve vedlejších produktech. Řepné vyslazené řízky (obr.2) se dosud převážně používají jako krmivo pro hospodářská zvířata, ať již přímo, silážované nebo sušené. Další využití vyslazených řízků může být ve formě biopaliv po jejich fermentaci na bioplyn nebo při přímém spalování suchých řízků. Zda budou ovšem vyslazené řepné řízky zařazeny v EU mezi obnovitelná paliva, o tom se vedou teprve politické diskuze mezi Evropským parlamentem, Evropskou komisí a národními vládami.

Vzhledem k chemickému složení polysacharidů ve vyslazených řepných řízcích, zejména pektinu a pektinových frakcí, jsou vyslazené řízky cennou a dostupnou surovinou pro přípravu bioproduktů, a to jak látek s významnými, zdraví podporujícími

bioaktivními vlastnostmi, tak i biologicky odbouratelnými plasty, které by mohly v budoucnu vyrábět řepné biorafinerie. Možnosti nových vedlejších produktů z vyslazených řízků by pak vylepšily udržitelnost výroby cukru z řepy se současným snížením energetických nákladů. Z nových aplikací pak mohou čerpat výhody jak spotřebitelé, tak i zpracovatelé a pěstitelé plodin, obsahujících pektin a celulosu.

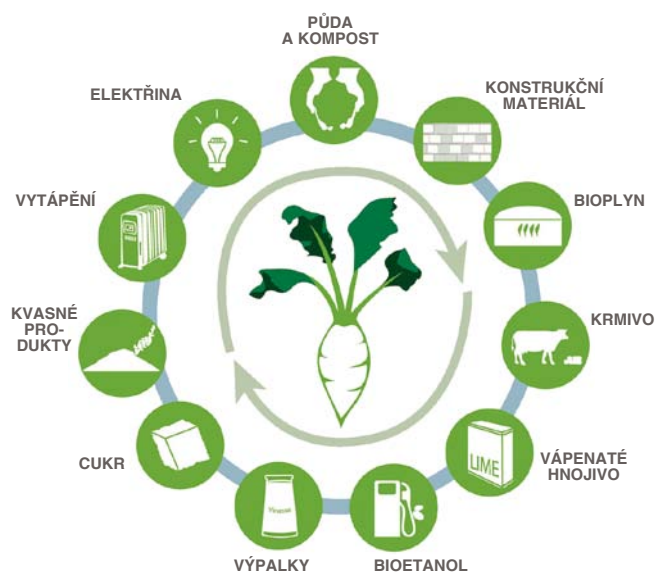
Cílem této přehledové kompilační práce je seznámit čtenáře se závěry z prací publikovaných s touto tematikou v posledních 10–15 letech, převážně v časopisech jiných, než speciálně cukrovarnických a řepařských zaměřených.

Nové bioaktivní produkty vycházející z pektinu

Studiu a vývoji nových bioaktivních produktů s řepným pektinem se systematicky věnovali vězumníci z USDA (*US Department of Agriculture*) ve Wyndmooru (Pennsylvania, USA), ve spolupráci s univerzitou ve Wyndmooru, jmenovitě Fishman, Hotchkiss a další. Řada jejich prací s dalšími spolupracovníky poukazuje na to, že pektin a pektinové frakce jsou potenciálními prebiotiky, které chrání před patologickou bakteriální nákazou, upravují specifický prostatický antigen u pacientů s opakujícími se vyššími rakovinnými markery, indukují apoptózu (rozklad) rakovinných buněk prostaty a tlustého střeva a systematicky vážou těžké kovy, které se uvolňují močovými cestami (obr. 3.). Pektin byl rovněž použit jako skelet (výztuha) u poškozených kostí a pojivových tkání a matrice pro specifické léky obnovující tkáň tlustého střeva. Bioprodukty ovšem vyžadují použití čistého vysokomolekulárního pektinu (1).

Jednu z prvních souhrnných prací o extrakci a charakteristice řepných polysacharidů zpracovali FISHMAN, COOKE a HOTCHKISS (2). Sušina vyslazených řízků obsahuje 65–80 % potenciálně využitelných polysacharidů. Tito autoři separovali a rozdělili polysacharidy vyslazených řízků na tři frakce. První frakce, po kyselé extrakci, byla označena jako pektin. Druhá frakce, skládající se ze dvou dílčích frakcí rozpustných v alkalickém prostředí, se nazývala polysacharidy rozpustné v alkalickém prostředí a zbývající rozpustná frakce se získala po derivatizaci s karboxymethylovými skupinami. Tento princip frakcionace polysacharidů z vyslazených řízků byl použit i v dalších vězumných studiích popisovaných dále v textu a schematicky je znázorněn na obr. 4. Globální struktura jednotlivých frakcí získaných z čerstvých vyslazených řízků byla vyhodnocena po mikrovlnné extrakci. Tento šetrný způsob mikrovlnné extrakce byl použit z důvodu

Obr. 1. Cukrová řepa dnes slouží k výrobě řady produktů



Pramen: www.sustainablesugar.eu

minimalizace možného rozkladu polysacharidů. Frakce byly charakterizovány podle složení sacharidů pomocí vysokotlaké vylučovací chromatografie (*High Performance Size Exclusion Chromatography* HPSEC) s hmotnostní a viskozitní detekcí a pomocí mikroskopie atomárních sil. Mikroskopie atomárních sil je mikroskopická technika, která se používá k trojrozměrnému zobrazování povrchu. Obraz povrchu se zde sestavuje postupně, bod po bodu. Metoda dosahuje velmi vysokého rozlišení. Tato mikroskopie odhalila, že pektin tvoří integrovanou síť, skládající se ze sférických (kulovitých) částí a vláken. Frakce rozpustná v alkalickém prostředí se na rozdíl od pektinu agreguje, ale netvoří síť (2).

Pokračování ve studiu extrakce a struktury polysacharidů o vysoké molární hmotnosti s cílem využít tyto polysacharidy též jako emulzifikátory v jogurtech a předejít možné separaci složek ovoce a mléčné bílkoviny bylo předmětem práce FISHMANA ET AL. (3). Autoři zde popsali poloprovozní způsob mžikové parní extrakce (*Steam Assisted Flash Extraction* SAFE) polysacharidů z vyslazených řízků a jejich separace do tří frakcí, podobně jako v práci (2). První frakcí byl pektin, extrahovaný v kyselém prostředí. Druhou frakcí byly polysacharidy rozpustné v alkalickém prostředí. Třetí frakce získaná po extrakci zbytku vyslazených řízků byla převedena do roztoku derivatizací s chloracetátem sodným ($\text{CH}_2\text{ClCO}_2\text{Na}$). Frakce byly analyzovány a charakterizovány pomocí vysokotlaké vylučovací chromatografie HPSEC s on-line detektorem rozptylu světla, dále s detektory viskozity, indexu lomu a spektrofotometrickými detektory pracujícími na principu absorpce záření v oblasti vlnových délek (UV/V) (250, 278, 310 nm) a detektory UV/V v kombinaci s detektorem indexu lomu. Touto kombinovanou detekcí se podařilo získat informace o distribuci kyseliny ferulové a bílkovin vázaných na polysacharidy. Výsledky potvrdily, že proteiny ve vazbě s polysacharidy mají vhodné emulzifikační vlastnosti (3).

V dalším navazujícím projektu USDA ve spolupráci s Ústavem výzkumu mléčných výrobků a funkčních potravin (*Dairy and Functional Foods Research*) ve Wyndmooru a univerzitou ve Wyndmooru (Pennsylvania, USA) studovali výzkumníci těchto organizací kombinovaný účinek mléčných bílkovin a polysacharidů v nových potravinových doplňcích, vyznačující se vlastnostmi, které každá z těchto složek jako samotná nemá. Projevuje se to v nutriční hodnotě, textuře i ve stabilitě výsledných produktů (4). Mléčné bílkoviny jsou častými emulzifikátory (činidly, které pomáhají, aby se olej a voda neseeparovaly), zatímco polysacharidy se používají jako zahušňovače a želírující činidla v řadě různých potravinářských produktů od majonéz po mražené krémy. Aby bylo dosaženo žádaných vlastností těchto potravinových doplňků, autoři vše studovali na molekulární úrovni. Výzkum ukázal, že pro interakce mezi syrovátkovými bílkoviny (jako hlavní složkou mléčných bílkovin) a řepným pektinem (jedním z nejuniverzálnějších polysacharidů), je nejdůležitější předejít bílkovin a pektinu samostatně ještě před jejich smícháním. Molekulární interakce mezi beta-laktoglobulinem (beta-LG) a řepným pektinem byly studovány jak při jejich smíchání, tak i po předchozím předejítí při pH 6,75 a nízké iontové síle ($50 \text{ mM} \cdot \text{l}^{-1}$). Byla provedena analýza hydrodynamických vlastností jednotlivých frakcí biopolymeru způsobená interakcemi mezi beta-LG a řepným pektinem po jejich smíchání při relevantních fyziologických podmínkách, které vedly ke vzniku komplexních látek o vysoké molekulární hmotnosti. Po smíchání separátně předejítých komponent se větší část molekul beta-LG agregovaných jako oligomery (v důsledku předejítí) disociovala v malé oligomery

Obr. 2. Řepné vyslazené řízky jsou cennou surovinou pro výrobu bioproduktů



a vytvořila pak s molekulami řepného pektinu větší komplexy. Výsledky rovněž ukázaly na možnou existenci malého množství (méně než 1 %) nekovalentních vazeb s kyselinou ferulovou z řepného pektinu, které vykazovaly silnější afinitu k beta-LG než k pektinu. Tato studie pomohla k vysvětlení interakcí mezi mléčnými bílkoviny a pektinem, což se projevilo jak ve zlepšení kvality potravin a nápojů, tak i jejich vzhledu. Tato nová informace je důležitá i z dietetického hlediska, jak se potenciálně v budoucnu stravovat.

Stejní autoři jako u práce (4) studovali podobnou technikou molekulární interakce mezi beta-LG a pektinem s krátkými methoxylovými zbytky (*low methoxyl pectin* LMP) o stupni esterifikace 36,8 % (5). Byly stanoveny podmínky rozpustnosti směsí o hmotnostním poměru 3:1 při pH okolo 6,5 a detailně charakterizovány hydrodynamické vlastnosti nových polymerních frakcí. Tyto nové polymerní frakce byly porovnány s kontrolní směsí, vzniklou přímým smícháním 6,1 % (hmot.) nativního diméru molekul beta-LG s komplexy molekul LMP o molární hmotnosti 250 a 55 kDa. Tepelná denaturace beta-LG (při teplotě 80 °C po dobu 10 min) podstatně zvyšuje jejich zastoupení v komplexech s agregáty molekul LMP (asi 10,4 %). Předejítí LMP však zhoršuje jejich schopnost vázat se na beta-LG a zvyšuje množství nevázaných molekul beta-LG. Dále byl studován vliv sacharosy na interakce mezi beta-LG a LMP, z kterého byla odstraněna sacharosa. Tyto studie ukázaly, že sacharosa silně podporuje tvorbu komplexů, zvláště mezi předem zahřátým beta-LG a LMP. Vzniklé struktury komplexů byly méně flexibilní a méně otevřené v přítomnosti sacharosy. Bylo potvrzeno, že sacharosa silně podporuje stabilitu tepelně ošetřených agregátů beta-LG a LMP (5).

Zatímco pektin je běžnou složkou používanou v džemech a jiných potravinách, kratší pektinové řetězce mají antirakovinnou aktivitu, která způsobuje blokování metastázových rakovinných buněk. Je ale málo známo, že pektin vázaný na sacharido-bílkovinný komplex hraje významnou roli při léčení rakoviny a jiných chronických nemocí, nebo jak se absorbuje ve střevě. Kratší postranní řetězce pektinu ovlivňují umrtvení rakovinných buněk střev. K řešení této problematiky začali výzkumníci z USDA spolupracovat s pracovníky britského *Institute of Food Research, Norwich Research Park*, Colney, Norwich, UK (6). Autoři této aplikace zdůrazňují především důležitost vyčištění

modifikovaného pektinu, což je nutné pro strukturální základ jeho antirakovinné aktivity. Pektin byl extrahován z řepy a z citrusů a tyto extrakty byly porovnány. Pektin extrahovaný z vyslazených řepných řízku ovlivňoval životaschopnost rakovinných buněk. Alkalické prostředí zvyšuje antirakovinný účinek řepného pektinu cestou apoptózy. Apoptóza, neboli programovaná buněčná smrt, je mechanismus sloužící k eliminaci nepotřebných či poškozených buněk. Alkalické prostředí snižuje stupeň esterifikace a zvyšuje poměr rhamnogalakturonanu I k homogalakturonanu. Nižší stupeň esterifikace nehraje v antirakovinné aktivitě důležitou roli. Avšak enzymové odstranění galaktosy (a v menší míře i arabinosy) z pektinu snižuje vliv na rakovinné buňky, neboť neutrální sacharidy z rhamnogalakturonanu jsou důležité pro bioaktivitu pektinu (6).

Další práce autorů z USDA, HOTCHKISS ET AL. (7), navazuje na předchozí projekty a popisuje extrakční izolační postup polysacharidů pektinu, hemicelulosa a celulosy z řepných vyslazených řízku. Jednou z bílkovin, která je vázána v řepném pektinu, je extensin. Extensiny jsou pružné, tyčinkovité, na hydroxyprolin bohaté glykoproteiny rostlinné buněčné stěny. Řepný pektin je vynikajícím emulgátorem oleje ve vodě, který se aplikuje v nápojích; s přísadkou 9 % bílkovin jej lze použít k mikrokapsulaci lipofilních potravinových doplňků. Autoři se podrobně věnovali charakterizaci komplexů a kovalentních konjugátů mezi řepným pektinem a mléčnou bílkovinou beta-LG. Tyto nové hybridní systémy významně zlepšují emulgační stabilitu oleje ve vodě. Tato struktura je, ve srovnání s ostatními druhy pektinu, pro bioaktivitu optimální. Řepné polysacharidy a bílkoviny představují potenciál pro nové vedlejší produkty cukrovarnické výroby v podobě vynikajících funkčních potravinových a krmivářských doplňků.

Jednou z nenovějších prací kolektivu autorů okolo HOTCHKISS ET AL. (8) je proměření strukturální charakterizace pektinu z červené řepy. Řada spotřebitelů konzumuje čerstvou červenou řepu ve formě salátů, příloh nebo džusů, ale v literatuře je dosud málo informací o vlastnostech červené řepy z nutričně zdravotního hlediska. Výzkumníci z University ve Wyndmoor (PA, USA) podrobně popsali strukturální složení vlákniny z červené řepy, která zbývá po výrobě džusu. Některé látky

obsažené v sacharidové vláknině a bílkovinách jsou vhodné jak z hlediska podpory střevní mikroflóry, tak i z hlediska prevence některých chronických onemocnění. Vláknina červené řepy účinkuje také jako stabilizátor emulzí a zahušťovadlo. Výlisky, které zůstávají po extrakci červené řepy, obsahují 50,8 % vlákniny, která je převážně nerozpustná (40,1 % nerozpustná a 10,7 % rozpustná), dále sacharosu (8,07 %), fruktosu (1,14) a glukosu (2,33), bílkoviny (10,2 %) a lipidy (3,02 %). Malto-oligosacharidy a methyl esterifikované, acetylované a ferulované rhamnogalakturonanové oligosacharidy s rozvětvenými řetězci arabino-galacto-oligosacharidů byly detekované pomocí analyzátorů MALDI-TOF-MS a NMR. Pektin z červené řepy po kyselé extrakci s pomocí mikrovln při teplotě 80 °C po dobu 10 min měl vysokou molární hmotnost 1036 kDa a viskozitu podobnou pektinu z cukrové řepy, který byl extrahován za stejných podmínek. Spirálovité struktury byly získané z červeného pektinu mikrovlnnou extrakcí za 3 min při teplotě 120 °C a z výlisků červené řepy, z rozpustné a nerozpustné frakce vlákniny. Při delších dobách extrakce a mikrovlnné extrakci při pH 1 se získá kompaktní pektin z červené řepy s kulovitou strukturou částic, s nižší molární hmotností a nižší viskozitou. Tyto strukturální vlastnosti napovídají, že výlisky z červené řepy po výrobě džusu mají funkci stabilizátoru emulzí, zahušťovacího činidla a prebiotika (8).

Využití celulosové frakce z vyslazených řízku

Na počátku studií role polysacharidů z vyslazených řepných řízku sepsali autoři z USDA, HOTCHKISS, FISHMAN a LIU, kapitolu do knihy *Sustainability of the Sugar and Sugar-ethanol Industries* (9). Popsali zde mikrovlnnou extrakci vyslazených řepných řízku, kdy byly získány frakce pektinu, polysacharidů rozpustných v alkalickém prostředí a celulosa, která se dále přeměnila v karboxymethylcelulosu. Schéma této frakcionace je znázorněno na obr. 4.

Fyzikálně chemické vlastnosti těchto rozpustných polysacharidů (molární hmotnost, poloměr setrvačnosti a hodnoty viskozity) byly porovnány s vlastnostmi jednotlivých frakcí po extrakci a s hodnotami v literatuře.

Další podrobnější výsledky, fyzikálně-chemická charakterizace celulosové frakce z vyslazených řízku a studium struktury karboxymethylcelulosa (*carboxymethylcellulose* CMC) získané z vyslazených řízku, byly cílem práce (10). Zbytek vyslazených řízku, po mikrovlnné extrakci pektinu a polysacharidů rozpustných v alkalickém prostředí, obsahuje celulosu. Z této celulosy byla připravena působením chloracetátu sodného ($\text{CH}_2\text{ClCO}_2\text{Na}$) v alkalickém prostředí karboxymethylcelulosa (CMC). Průměrná molární hmotnost této frakce se pohybovala mezi 96 000–220 000 Daltonů, průměrná vnitřní viskozita (což je míra příspěvku rozpuštěné látky k viskozitě roztoku) byla mezi 1,9–4,1 $\text{dl}\cdot\text{g}^{-1}$ a stupeň substituce byl 1,38–0,59. Frakce CMC byla analyzována pomocí vysokotlaké vylučovací chromatografie HPSEC s hmotnostní detekcí a pomocí mikroskopie atomárních sil. Karboxymethylcelulosa získaná z vyslazených řízku obsahovala agregované lineární částice spolu se sférickými částicemi. Na základě provedené fyzikální charakteristiky se zjistilo, že CMC získaná z vyslazených řízku se vyrovná nebo je dokonce lepší než komerčně dostupná CMC. Tento výzkum naznačil pěstitelům i zpracovatelům cukrové řepy, jak dále zhodnotit vedlejší produkt z výroby cukru, aniž by se zvyšovaly náklady na výrobu cukru.

Obr. 3. Řepný pektin jako potravinový doplněk



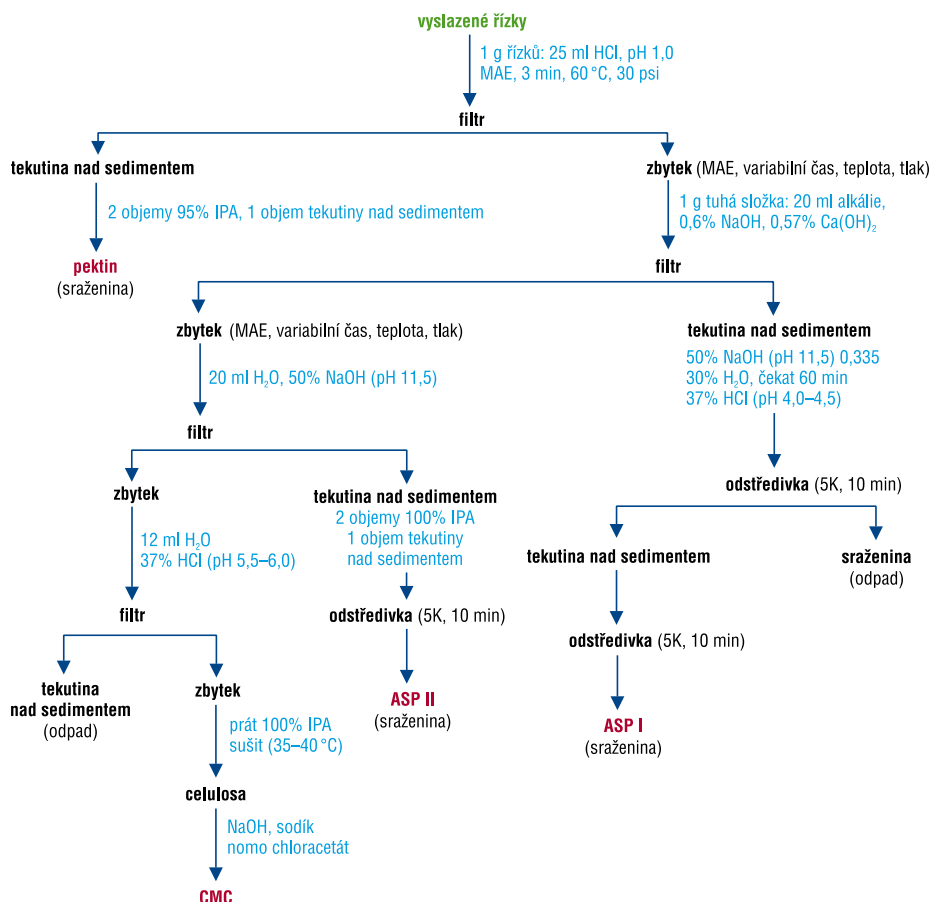
V práci (11) byly vyhodnoceny změny, ke kterým došlo u tří vzorků řepných vyslazených řízků, které byly sušeny různými metodami (v bubnové sušárně, v parní sušárně a v roštové skříňové sušárně). Usušené vzorky byly extrahovány horkou vodou při teplotě 90 °C po dobu 6 h a analyzovány na obsah pektinových polysacharidů. Většina extrahovaných látek, včetně kyseliny ferulové, je pevně vázána v těchto pektinových polysacharidech. Řízky sušené parou obsahovaly 34,1 g pektinu ve 100 g sušiny (což je asi 2× více než u zbývajících způsobů sušení) a 34,2 g arabinosu ve 100 g sušiny. Průměrná molární hmotnost pektinových polysacharidů byla 175 kDa, a to je nižší hodnota než u komerčního řepného pektinu (538 kDa). Tyto hodnoty jsou podobné, jako u pektinových polysacharidů získaných při autoklávné extrakci mokrých vyslazených řízků. Lze to vysvětlit tím, že pektinové polysacharidy jsou při podmínkách parního sušení (0,25–0,3 MPa, 150–180 °C) snáze extrahovatelné a rozpustné. Tímto způsobem lze získat polysacharidy s vysokým obsahem kyseliny ferulové a arabanů, aniž by se muselo pracovat s vysokým tlakem a s přidavkem chemikálií.

Přehledný článek o posledním vývoji technologií využití lignocelulosových surovin s možnostmi získání ligninu a dalších cenných vedlejších produktů v blízké budoucnosti uveřejnil CHUDASAMA (12). Novým směrem ve využití lignocelulosových surovin je produkce čistého ligninu a dalších užitečných chemických látek a finálních produktů – jako je např. kyselina mukonová, pyrogallol, uhlíko-vlákninové kompozity a další cenné látky.

Termoplasty vycházející z vyslazených řízků

Aplikace nových bioproduktů zahrnují i bioplasty a filmy vycházející z pektinu nebo ze zemědělských odpadů bohatých na pektinové látky. Kompozitní materiál, nebo zkráceně kompozit, je obecně vzato materiál ze dvou nebo více substancí s rozdílnými vlastnostmi, které dohromady dávají výslednému výrobku nové vlastnosti, které nemá sama o sobě žádná z jeho součástí. Obvykle jedna ze součástí dodává výrobku pevnost a druhá slouží jako pojivo. Výroba nového termoplastického materiálu z pektinu je nákladově srovnatelná s výrobou plastů z petrochemických surovin. Kompozity připravené ze syntetického polymeru jako základní matrice s přírodní vlákninou jako plnidlem se mohou široce používat jak ve stavitelství, tak i v ostatních oborech. Přírodní vláknina se nejprve přemění v termoplastickou hmotu a pak se extruduje společně se syntetickým polymerem. Docílí se tak výsledný kompozit s vyššími mechanickými vlastnostmi

Obr. 4. Frakcionace řepných vyslazených řízků mikrovlnnou extrakcí (MAE) na pektin, polysacharidy rozpustné v alkalickém roztoku (ASP) a celulosu přeměněnou na karboxymethyl celulosu (CMC) (9)



Pozn.: IPA – isopropyl alkohol, psi – jednotka tlaku (1 psi = 6894,757 Pa)

a silnou odolností vůči vodě díky dokonalému rozptýlení a dobré adhezi obou fází mezi sebou, což je vítané z hlediska přenosu napětí z polymerních substrátů na přírodní vláknité materiály.

V práci (13) byly vyslazené řízky nejprve extrudovány a zpracovány v prostředí glycerolu a vody na termoplastickou hmotu. Tato hmotu se v další fázi smíchala s polybutylen adipátem ko tereftalátu a znovu byla extrudována do tvaru desek. Byl studován vliv polymerického difenyl-methan-diisokyanátu jako kompatibilizátoru a vliv obsahu termoplastického extrudátu vyslazených řízků na reologické vlastnosti, fázovou morfologii, mechanické vlastnosti a absorpci vody extrudovanými deskami. Kompatibilizace je pojem známý v chemii polymerů. Kompatibilizací systému se vytvoří stabilnější fázová morfologie, dojde k interakcím mezi dvěma dříve nemísitelnými složkami. Tímto způsobem se zlepšují především mechanické vlastnosti směsi.

Navazující významné výsledky vyplynuly z další systematické spolupráce vědců z USDA, s univerzitou ve Wyndmooru a s *Washington State University* v Pullmanu (Louisiana, USA) (14). Výzkum a aplikace nových kompozitů z vyslazených řízků prováděli autoři v rámci národních programů *USDA-ARS Quality and Utilization of Agricultural Products* (www.nps.ars.usda.gov) a *Dairy and Functional Foods Unit, Eastern Regional Research Center* ve Wyndmooru 19038–8598; (215) 233–6486. Společně vyvinuli termoplastickou hmotu, vyráběnou z vyslazených řepných

Obr. 5. Nové materiály v interiéru ukázkového vozu Škoda Octavia, foto: Škoda AUTO (16)



řízků a biodegradabilního polymeru polymléčné kyseliny (*polylactic acid* PLA) pomocí dvoušnekového extruderu. PLA je komerčně dostupný polymer vyráběný ze sacharidů z kukuřice, cukrové řepy, třtiny, prosa a jiných rostlin a extruze je efektivní zpracovatelský proces, široce používaný v potravinářství a při výrobě plastů a kompozitních materiálů. Cílem tohoto výzkumu bylo stanovit množství pektinu, které by bylo nutné pro přípravu kompozitu, a jak obsah pektinu ovlivňuje výsledné vlastnosti kompozitu. Aby se při extruzi zvýšila plasticita, resp. tekutost zpracovávaných materiálů, byly při extruzi pektinu z vyslazených řízků použity jako plastifikátory voda a glycerol. U kompozitu s kyselinou polymléčnou byly stanoveny mechanické a tepelné vlastnosti, které potvrdily jeho vhodnost k přípravě plastické balicí membrány s vhodnými mechanickými vlastnostmi. Výrobek připravený z 50 % vyslazených řízků a 50 % polymléčné kyseliny je biologicky odbouratelný termoplasticky kompozit, je bílý a porézní, vyznačuje se odolností proti vodě a má podobné vlastnosti jako porézní jednoúčelové obaly potravin, připravené z petrochemických surovin (polystyrén, polypropylén, polyethylén). Jeho hlavní výhodou je biologická odbouratelnost a skutečnost, že výchozí surovinu – vyslazené řízky – produkuje řepný cukrovarnický průmysl ve velkém množství, což může být významné z hlediska ekonomické životaschopnosti celého zemědělsko průmyslového odvětví.

Další z prací, využívajících vyslazené řízky k výrobě bioplastů, je od autora z německého *Fraunhofer Institute for Environmental, Safety and Energy Technology* (15). V tomto případě se jedná o kompozit z polymléčné kyseliny, polybutylen sukcinátu (jantaranu) a vyslazených řepných řízků.

I v Česku byl vyvinut udržitelný ekologický materiál vycházející z vyslazených řízků, dodaných společností Tereos TTD. Materiál vyvinulo Oddělení Technického výzkumu Škoda AUTO ve spolupráci s Technickou univerzitou v Liberci. Automobilka jej používá na dveřních panelech a přístrojové desce v interiéru vozů (obr. 5.) (16).

Další možnosti využití vyslazených řízků

Využití vyslazených řízků ovšem může být daleko širší a mnohostrannější, než jak vyplývá z výše uvedených prací. Existují i další projekty ze současné doby, zabývající se izolací biomasy z řepných řízků, separací celých řepných buněk a získání jak pektinu, tak i nanocelulose a využití těchto látek např. ve formě gelů nebo tekutých krystalů jako nutraceutika a recyklovatelných materiálů z řepy, což řeší projekt SURE (*SUGar Beet REvolution: Enzymatic Biorefining of Sugar Beet Pulp to Nutraceuticals and Recyclable Materials*), který koordinuje *Technical University of Denmark* DTU ve spolupráci se švýcarským výzkumným ústavem pro aplikované vědy a technologie *Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology* (17).

Známé je využití lisovaných vyslazených řízků při výrobě papíru. Z minulosti se touto problematikou zabýval VACCARI se spolupracovníky, jejich výsledky pojednávající o výrobě papíru z vyslazených řízků a saturačního kalu jsou shrnuté v práci (18). Z poslední doby to je informace

od nizozemského výrobce papíru *Crown van Gelder*, který začal dodávat na trh papír vyrobený z 20 % z řepných řízků. Společnost je tak prvním výrobcem, který produkuje „cukrový papír“ na průmyslové úrovni. Nová produktová řada byla vyvinuta ve spolupráci s kooperativou *Royal Cosun* a je v ní použito méně dřevních vláken, čímž se, v porovnání s klasickým papírem, snižuje dopad na životní prostředí o 16 % (19).

Souhrnně představil možnosti a zhodnocení hydrolyzačních produktů polysacharidů funkcionalizací a krystalizací MATHLOUTHI na plenární přednášce mezinárodní konference *Polysaccharides-Glycoscience* v roce 2019 v Praze (20) a v neposlední řadě rovněž DE BRUIJN na stejné konferenci v roce 2022 (21).

Souhrn

Polysacharidy z cukrovky mají řadu bioaktivních účinků podporujících lidské zdraví. Pektiny extrahované z vyslazených řízků extruzí a modifikované účinkem tepla a úpravou hodnoty pH vykazují aktivitu směrem k některým rakovinným buňkám. Významný je rovněž kombinovaný účinek mléčných bílkovin (beta-LG) a řepného pektinu v nových potravinových doplňcích, vyznačujících se zlepšenou emulzifikací, nutriční hodnotou, texturou i stabilitou potravin. Aplikace nových bioproduktů zahrnují též bioplasty a filmy vycházející z řepného pektinu a biodegradabilního polymeru polymléčné kyseliny. Výsledky teoretického a aplikovaného výzkumu v oblasti využití pektinu z vyslazených řepných řízků, vyplývající především z přehledu prací a projektů amerického USDA-ARS a amerických univerzit, by mohly být vodítkem i pro naše výzkumné instituce a cukrovnické společnosti, jak v současné ekonomicky složité době využít potenciál vyslazených řepných řízků, samozřejmě ve spolupráci s farmaceutickým průmyslem nebo se zpracovateli plastických hmot.

Klíčová slova: vyslazené řízky, polysacharidy, pektin, celuloza, prebiotika, potravinové doplňky, plasty.

Literatura

- HOTCHKISS, A. T. ET AL.: New bioactive and biobased product applications of pectin. In SCHOLS, H. A.; VISSER, R. G. F.; VORAGEN, A. G. J. (EDS.): *Pectins and Pectinases*. Wageningen, The Netherlands: Wageningen Academic Publisher, 2009, s. 305–312.
- FISHMAN, M.; COOKE, P. H.; HOTCHKISS, A. T.: Extraction and characterization of sugar beet polysaccharides. In CHENG, H. ET AL. (ED.): *Green Polymer Chemistry: Biocatalysis and Biomaterials*. Washington, DC: ACS Symp. Series, American Chemical Society, 2010, 1043, s. 71–86.
- FISHMAN, M. ET AL.: Physico-chemical characterization of protein associated polysaccharides extracted from sugar beet pulp. *Carbohydrate Polymers*, 92, 2013, s. 2257–2266.
- QI, P. X. ET AL.: Investigating molecular interactions between beta-lactoglobulin and sugar beet pectin by multi-detection HPSEC. *Carbohydrate Polymers*, 107, 2014, s. 198–208.
- QI, P. X. ET AL.: Investigation of the molecular interactions between beta-lactoglobulin and low methoxyl pectin by multi-detection high performance size exclusion chromatography. *Food Hydrocolloids Journal*, 2016, doi: 10.1016/j.foodhyd.2016.09.016.
- MAXWELL, E. G. ET AL.: Modified sugar beet pectin induces apoptosis of colon cancer cells via interaction with the neutral sugar side-chains. *Carbohydrate Polymers*, 136, 2015, s. 923–929, doi: 10.1016/j.carbpol.2015.09.063. <http://handle.nal.usda.gov/10113/62612>.
- HOTCHKISS, A. T. JUN. ET AL.: Sugar beet pulp fiber is a source of bioactive food and feed ingredients. *Int. Sugar J.*, 121, 2019 (1451), s. 826–831.
- HOTCHKISS, ET AL.: Structural characterization of red beet fiber pectin. *Food Hydrocolloids*, 129, 2022, s.107549, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107549>.
- HOTCHKISS, A. T.; FISHMAN, M.; LIU, L. S.: The role of sugar beet pulp polysaccharides in the sustainability of the sugar beet industry. In EGGLESTON, G. (ED): *Sustainability of the Sugar and Sugar-ethanol Industries*. Amer. Chem. Soc. Symp. Series, Washington, DC: American Chemical Society, 2010, 1058, s. 283–290.
- FISHMAN, M. ET AL.: Physico-chemical characterization of a cellulosic fraction from sugar beet pulp. *Cellulose*, 2011, 18(3), s. 787–801.
- ABE, T.; NAGURA, T.; UCHINO, H.: Steam drying markedly increases the solubility of feruloylated arabinan-rich pectin polysaccharide in sugar beet pulp. *Sugar Ind.*, 146, 2021 (10), s. 582–590.
- CHUDASAMA, A.: Exploiting lignocellulosic feedstocks for lignin and chemicals. *Int. Sugar J.*, 123, 2021 (1469), s. 332–337.
- LIU, B. ET AL.: Morphology and properties of thermoplastic sugar beet pulp and poly(butylene adipate-co-terephthalate) blends. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 50, 2011, (24), s.13859–13865.
- LIU, B. ET AL.: Utilization of pectin extracted sugar beet pulp for composite application. *J. Biobased Mater. Bioenergy*, 6, 2012, s. 1–8.
- KOPITZKY, R.: Poly(Lactic Acid)–Poly(Butylene Succinate)–Sugar Beet Pulp Composites; Part I: Mechanics of Composites with Fine and Coarse Sugar Beet Pulp. *Polymers*, 13, 2021, 2531; <https://doi.org/10.3390/polym131525314.0/>.
- ŠKODA AUTO sází u svých vozů na ekologické materiály a zkoumá biologické suroviny. Tisková zpráva ŠKODA Auto, Mladá Boleslav, 22. 9. 2021, 3 s.
- Project SURE: *Sugar Ind.*, 47, 2022 (9), s. 436.
- VACCARI, G. ET AL.: Overview of the environmental problems in beet sugar processing: possible solutions. *Journal of Cleaner Production*, 13, 2005 (5), s.499–507.
- Nizozemsko – papír z řepných řízků. *Listy cukrov. řepář.*, 137, 2020 (12), s. 408.
- MATHLOUTHI, M.: Valorization of plant polysaccharides hydrolysis products by functionalization and crystallization. *Proc. of the 15th Int. Conf. on Polysaccharides-Glycoscience*, Prague 2019.
- DE BRUIJN, J. M.: The role of polysaccharides in sugar beet processing. *Proc. of the 18th Int. Conf. on Polysaccharides-Glycoscience*, Prague 2022.

Kadlec P.: Possibilities of Beet Fiber, Pectin and Cellulose from Pulp

Polysaccharides from sugar beet are well known for their bioactive health-promoting properties and use in biobased products. Pectins extracted from pulp and modified by heating and treatment of pH value are active in preventing pathogenic bacterial adhesion and the occurrence of cancer cells. The combined effect of milk proteins (beta-LG) and beet pectin in new food supplements is also significant, with improved emulsification, nutritional value, texture and food stability. Applications of new bioproducts also include bioplastics and films based on beet pectin and biodegradable polylactic acid polymer. The results of theoretical and applied research into the use pectin from pulp resulting chiefly from a review of works and projects of the USDA-ARS and American universities, could be a guide for our research institutions and sugar industry on how to use the potential of pulp, in the current economically difficult times, of course in cooperation with the pharmaceutical industry or with plastics converters.

Key words: pulp, polysaccharides, pectin, cellulose, prebiotics, food ingredients, plastics.

Kontaktní adresa – Contact address:

prof. Ing. Pavel Kadlec, DrSc., Vysoká škola chemicko-technologická, Ústav sacharidů a cereálií, Technická 5, 166 28 Praha 6 – Dejvice, Česká republika, e-mail: pavel.kadlec@vscht.cz