

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra mikrobiologie, výživy a dietetiky



Škrob ve výživě člověka

Bakalářská práce

Autor práce: Anastázie Paclová

Obor studia: Výživa a potraviny (ATZD)

Vedoucí práce: Ing. Vladimír Plachý, Ph.D.

© 2018 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Škrob ve výživě člověka" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 20.4.2018

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala všem, kteří se na vytvoření mé bakalářské práce nějakým způsobem podíleli. Děkuji především vedoucímu své práce panu Ing. Vladimíru Plachému, Ph.D. za odborné vedení, ochotu, cenné rady a velmi vstřícný přístup při řešení mé bakalářské práce.

Škrob ve výživě člověka

Souhrn

Tato bakalářská práce popisuje význam a celkovou roli škrobu ve výživě člověka. Na začátku práce jsou shrnuté všeobecné znalosti o chemickém složení a struktuře škrobu, kde je popsán odlišný obsah – poměr amylozy a amylopektinu ve škrobu z hlediska různého botanického původu, kdy za normálních podmínek převažuje amyloza nad amylopektinem. Zároveň jsou ale zmíněny již existující mutantní genotypy různých obilovin, jako je např. vysoce amyložní kukuřice nebo vosková (waxy) kukuřice. Důraz je kladen hlavně na jejich odlišnou strukturu a vlastnosti.

V další kapitole se v práci pojednává o fyziologickém trávení a vstřebávání škrobu, kde je popsán chemický děj zvaný amylolyza. Následně jsou popsány jednotlivé frakce škrobu, které jsou obecně řazeny mezi stravitelné – využitelné škroby a nestravitelné – nevyužitelné. Do nestravitelných škrobů je řazen tzv. rezistentní škrob, který se dále dělí na čtyři podskupiny. Jeho nejvýznamnější úloha probíhá v tlustém střevě a z hlediska jeho vlastností a funkcí bývá řazen mezi vlákninu, a tedy i mezi funkční potraviny, které jsou zmíněny v jedné z podkapitol. Do využitelné – stravitelné skupiny patří dva typy škrobů, a to pomalu a rychle stravitelné škroby (RDS a SDS), které mají (mimo jiné) odlišnou dobu vstřebávání v těle a v rámci toho i odlišný dopad na změny hladiny glukózy v krvi, což úzce souvisí s glykemickým indexem (GI), kterému je následně věnována další samostatná kapitola. V této kapitole je uvedena základní charakteristika GI a přehled potravin s nízkým, středním a vysokým GI, dále výhody potravin s nízkým GI a také jsou zde zmíněny metody stanovení GI. Následující část práce je věnována potravinám s vysokým obsahem škrobu, kde je zmíněna světová produkce škrobu a produkce škrobu v EU a USA. Dále jsou popsány konkrétní rostlinné zdroje škrobu, aplikace a využití škrobu v potravinářství a výskyt v jednotlivých potravinách.

Závěrečná část bakalářské práce je zasvěcena principu extruze a jejímu vlivu na vlastnosti škrobu. Uvedena je základní charakteristika a využití extruze v jednotlivých oblastech, přičemž konkrétně je popsána cukrovinkářská a cereální technologie, kde jsou vylíčeny i jednotlivé příklady výrobků. Následně jsou popsány výhody extruzní technologie a vlivu extruze na obsah SDS a RS v potravinách.

Klíčová slova: škrob, nutriční hodnota, extruze, výživa člověka, glykemický index

Starch in human nutrition

Summary

This bachelor thesis describes the importance and overall role of starch in human nutrition. In the first part, the main focus is on the overall knowledge of the chemical composition and structure of starch; it also describes how the content differs - the ratio of amylose and amylopectin in starch caused by different botanical origins; under normal conditions, amylose prevails over amylopectin in most types of starches. Furthermore, it mentions the already existing mutant genotypes of different cereals, such as high amylose corn or waxy corn. The emphasis is mainly placed on their different structure and their properties.

The next chapter deals with physiological digestion and absorption of starch, where the chemical process called amylolysis is described. It also deals with different fractions of starches, which are based on their usability, generally classified among digestible - usable starches and indigestible - unusable starches. Indigestible starches include a so-called "resistant starch", which is further divided into four subgroups. Its most important role is situated in the large intestine, and in terms of its properties and functions, it is ranked as a fiber; so it ranks among functional foods that are mentioned in one of the subchapters. The useable - digestible group includes two types of starches, slowly and rapidly digestible starch (RDS and SDS) which absorb at different times in the body, and they also have a different effect on changes in blood glucose levels, which is closely related to the glycemic index (GI). The next chapter focuses on the basic characteristics of the GI and the overview of foods with low, medium and high GI, and the benefits of low GI foods and methods of GI determination. The following part focuses on food high on starch, the production of starch in the world, and the starch production in the EU and in the US. In this part, specific natural plant sources of starch are mentioned, applications - use of starch in the food industry and its occurrence in individual foods.

The final part of the bachelor thesis is devoted to the principle of extrusion and its influence on starch properties. It focuses on the basic characteristics and the use of extrusion in different areas, especially in the confectionery and cereal technologies, followed by different examples of products. The main emphasis of the last part is on the advantages of the extrusion technology and the effect of extrusion on the levels of SDS and RDS in food.

Keywords: starch, nutritional value, extrusion, human nutrition, glycemic index

Obsah

1	Úvod	1
2	Cíl práce	2
3	Literární přehled	3
3.1	Chemické složení škrobu	3
3.1.1	Škrob	3
3.1.2	Složky škrobu	5
3.1.2.1	Amylóza.....	6
3.1.2.2	Amylopektin	7
3.2	Fyziologické trávení škrobu	8
3.2.1	Stravitelnost škrobu	9
3.2.2	Stravitelné škroby	10
3.2.2.1	Rychle stravitelný škrob (RDS)	10
3.2.2.2	Pomalou stravitelné škroby (SDS)	11
3.2.2.3	Rezistentní škrob (RS).....	12
3.2.3	Typy rezistentních škrobů	12
3.2.3.1	Rezistentní škrob 1 (RS1).....	12
3.2.3.2	Rezistentní škrob 2 (RS2).....	13
3.2.3.3	Rezistentní škrob 3 (RS3).....	13
3.2.3.4	Rezistentní škrob 4 (RS4).....	13
3.2.4	Příklady faktorů ovlivňujících hydrolýzu škrobu	13
3.2.4.1	Struktura škrobových granulí a její vliv na hydrolýzu.....	13
3.2.4.2	Povrch škrobových granulí	14
3.2.4.3	Typy škrobů – typ krystalinity A, B, C	14
3.2.5	Funkční potraviny.....	15
3.3	Glykemický index (GI)	16
3.3.1	Metody stanovení glykemického indexu	19
3.3.1.1	Klinické <i>in vivo</i> testy	19
3.3.1.2	Laboratorní metoda <i>in vitro</i>	20
3.4	Potraviny s vysokým obsahem škrobu	21
3.4.1	Světová produkce škrobu	21
3.4.2	Použití škrobu v potravinách a jeho přirozené zdroje	23
3.4.2.1	Síťování škrobu	24
3.4.2.2	Vylepšení zdrojů obsahujících škrob	24
3.4.2.3	Funkce škrobu v potravinářských aplikacích	25

3.4.3	Jednotlivé zdroje škrobu – charakteristika a využití v potravinách .	26
3.4.3.1	Kukuřice koňský zub = kukuřice typu dent.....	26
3.4.3.2	Vosková kukuřice ("waxy" kukuřice).....	26
3.4.3.3	Vysoce amyložní kukuřice	27
3.4.3.4	Tapioka (též kasava či maniok).....	27
3.4.3.5	Brambory.....	28
3.4.3.6	Pšenice	28
3.4.3.7	Čirok	28
3.4.3.8	Rýže	29
3.4.3.9	Další zdroje.....	29
3.5	Princip extruze jako jedné z termických modifikací a vliv extruze na vlastnosti škrobu.....	30
3.5.1	Využití extruze v jednotlivých oblastech	31
3.5.2	Suroviny používané při extruzi potravin	31
3.5.3	Cukrovinkářská technologie a příklady výrobků vzniklých extruzí ..	32
3.5.4	Cereální technologie a příklady výrobků vzniklých extruzí.....	34
3.5.5	Výhody extruzní technologie	35
3.5.6	Vliv extruze na obsah SDS a RS v potravinách	36
3.5.7	Farmaceutické využití	37
4	Závěr.....	38
5	Seznam použité literatury	39

1 Úvod

Škrob, jakožto zásobní polysacharid v těle rostlin, je řazen mezi sacharidy a je důležitým zdrojem energie ve výživě člověka. Škrob je tvořen dvěma složkami s odlišnou strukturou - obsahem amylozy a amylopektinu v jednotlivých rostlinných zdrojích. Je důležité si objasnit jejich strukturu a obsah škrobu v dané odrůdě, jelikož to má významný dopad na jejich odlišné vlastnosti a následné použití v potravinách. Na základě toho pak samozřejmě vznikly oproti běžně se vyskytujícím obilovinám i speciálně vyšlechtěné odrůdy. Tyto mutantní genotypy jsou šlechtěné buď pro vyšší obsah amylozy, v tom případě nesou názvy jako vysoce amyložní kukuřice či amylokukuřice, nebo jsou naopak šlechtěné pro vysoký obsah amylopektinu (až 99%) a v tomto případě se nazývají voskové (waxy) odrůdy.

Škrob tvoří několik frakcí, přičemž jednotlivé frakce jsou rozdílně tráveny a vstřebávány, mají odlišnou funkci v těle člověka, a i různé pozitivní/negativní vlivy, např. vůči glykemickému indexu (jelikož jsou tvořeny jediným monosacharidem a tím je glukóza) nebo na mikroflóru v tlustém střevě. Velmi významné, z hlediska výživy člověka, je mít tušení o existenci pomalu a rychle stravitelných sacharidů (SDS a RDS), protože jak už je slyšet v názvu, tak jsou tráveny a následně absorbovány různou rychlostí v tenkém střevě. RDS výrazně zvyšují hladinu glukózy v krvi a inzulínovou odezvu a mohou tak mít nepříznivý dopad na lidské zdraví, naopak SDS můžou chránit proti různým chronickým onemocněním. U RDS se uvádí, že zvyšují pravděpodobnost vzniku diabetes mellitus a prediabetes, kardiovaskulárních chorob nebo obezity. Z tohoto hlediska je doporučeno konzumovat hlavně potraviny s nízkým glykemickým indexem, mezi které patří například luštěniny, zelenina, mléčné výrobky.

Škroby patří z hlediska nutriční hodnoty mezi fyziologicky a hospodářsky nejvýznamnější polysacharidy. Jejich nutriční hodnota souvisí se strukturou molekuly a s její modifikací upravující biologickou hodnotu – tepelnou, chemickou nebo mechanickou. Z termických modifikací je velmi významná extruze, jejíž důležité parametry jsou teplota a tlak. Extruze se hojně využívá v mnoha oblastech spadajících do potravinářství a krmivářství. Je to hlavně díky tomu, že extruzní technologie s sebou přináší řadu výhod (snížení materiálových nákladů, snížení spotřeby energie, snížení investičních a mzdových nákladů apod.).

2 Cíl práce

Posouzení nutričních vlastností škrobu a jeho využití v rámci racionální stravy.

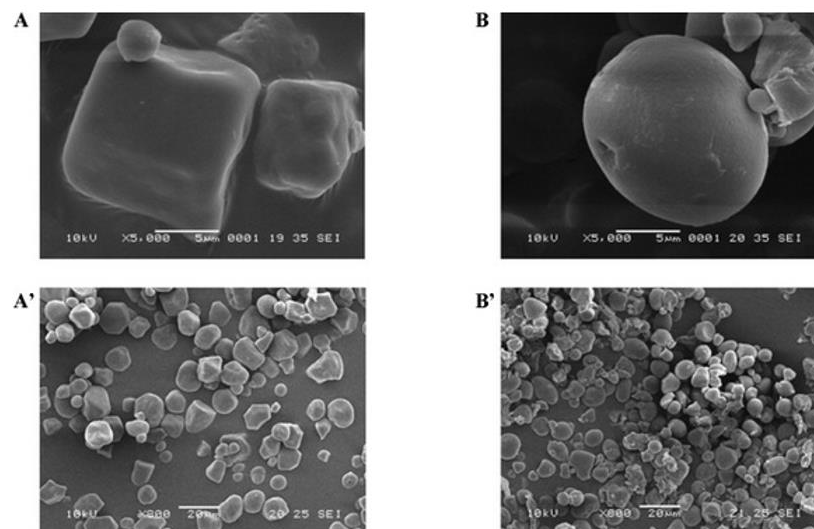
3 Literární přehled

3.1 Chemické složení škrobu

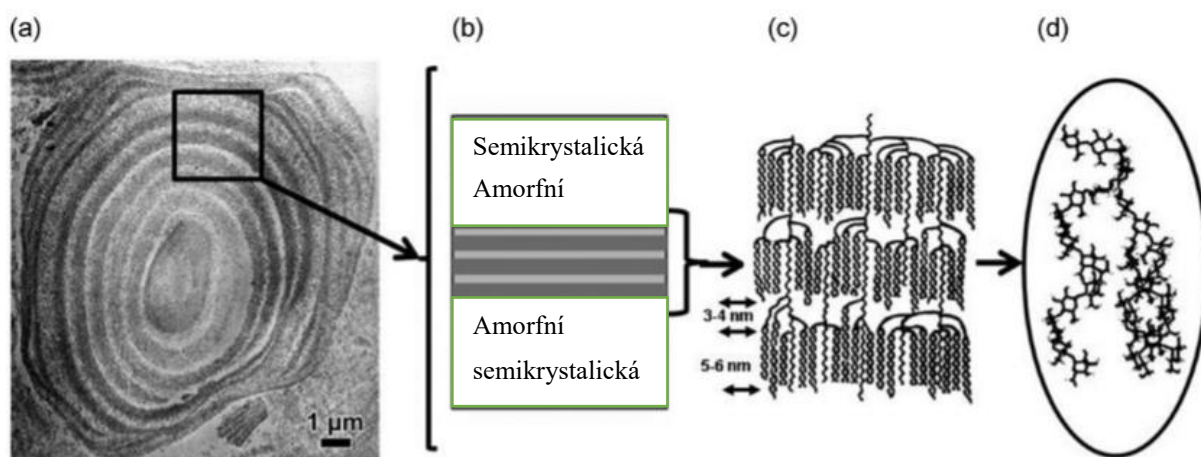
3.1.1 Škrob

Škrob (amylum) je polysacharid, což znamená, že jeho polymerační stupeň odpovídá $n > 10$, tedy má více než 10 monomerních jednotek. Škrob je vytvářen zelenými rostlinami, většinou vyššího řádu, a slouží jako prostředek pro dlouhodobé skladování energie. Celkově jsou sacharidy vytvářeny v buňkách zelených rostlin z oxidu uhličitého a vody za přítomnosti slunečního záření (Šárka et al., 2013). Škrob je uložen intracelulárně, tedy v cytoplazmě a syntetizuje se ve formě škrobových granulí. Tento děj probíhá ve speciálních organelách, plastidech, a to na dvou možných místech. Během fotosyntézy se v základní plazmatické hmotě chloroplastů (stromatu) vytváří hlavní složka škrobu α -amylóza jako dočasně skladovatelná forma glukózy, zatímco dlouhodobě skladovatelný škrob se vytváří v amyloplastech. α -amylóza může být syntetizována i jako dlouhodobě skladovatelná forma, ale v jiných částech rostlin jako jsou například listy, semena a kořeny. Obecně se škrobové granule vyskytují hlavně v kořenech, semenech a hlízách, ale stejně tak i ve stoncích, listech, ovoci, a dokonce i v pylu. V zrnech obilovin tvoří škrob 60-75 % sušiny obilok a toto množství kolísá v rámci botanického druhu a jednotlivých odrůd rostlin (Pérez et Bertoft, 2010).

Místo, kde je iniciována biosyntéza škrobu je nazýváno hilum, kolem něhož se ukládají apozicí nové vrstvy na staré. Granule mohou zaujímat mnoho tvarů a velikostí (koule, elipsoidy, polygony, destičky a nepravidelné tubuly) (obr. 1). Jejich průměry jsou v rozmezí od 0,1 do 200 mikrometrů v závislosti na jejich botanickém původu. Obecně je rozdíl v morfologii natolik dostatečný, aby umožnil jednoznačnou charakterizaci botanického původu již během optické mikroskopie. Škrobové granule jsou tvořeny semikrystalickými a amorfními strukturami, jejichž střídání se označuje jako letokruhy škrobových zrn, přičemž krystalinita se pohybuje od 15 do 45 % a hustota je přibližně 1,5 g/cm³ (obr. 2). Většina škrobových polymerů je v amorfním stavu (v průměru 70 %). Škrob lze v granulované formě snadno izolovat gravitací, sedimentací, centrifugací a filtrací. Může být podroben různým chemickým, fyzikálním a enzymatickým modifikacím s následným praním a zpracováním (Pérez et Bertoft, 2010).



Obrázek 1: Skenovací elektronová mikroskopie (SEM) -fotografie různých tvarů škrobových granulí kukuřice (A a A') ve srovnání s jinými možnými tvary (B a B') (Santana et al., 2014).



Obrázek 2: Od letokruhů po amylopektin. Schématické znázornění několika úrovní ultrastruktury škrobu: (a) Ultrathinová část voskovitého kukuřičného škrobu - granule po 7 dnech hydrolýzy H_2SO_4 a barvení uranyl acetátem a citrátem olovnatým; (b) střídání semikrystalických a amorfních struktur; (c) shlukování amylopektinu; (d) rozvětvení dvojité šroubovice na jednu šroubovici amylopektinu (Pérez et Bertoft, 2010).

3.1.2 Složky škrobu

Škrob je biopolymer neboli biomakromolekula, což je látka, která vzniká kondenzací z více stejných či různých nízkomolekulárních látek a skládá se ze dvou hlavních složek: amylozy a amylopektinu. V tomto případě se jedná o homosacharid – homopolymer, to znamená, že se skládá pouze z molekul jediného monosacharidu, a tím je glukóza. Amylóza je primárně lineární polysacharid z α -D-glukóz, což znamená že vytváří přímý nerozvětvený polysacharid, který je tvořen z několika set glukózových jednotek vázaných v poloze 1→4 vazbou α -glykosidickou a tvoří zhruba 15 - 33 % ve většině rostlin (Hoover, 2001). Amylopektin je naopak vysoce rozvětvená molekula, tvořena mnoha tisíci molekulami glukózy (vázané především $\alpha(1\rightarrow4)$ -glykosidickými vazbami), která svým bohatým větvením vykazuje hluboký účinek na fyzikální a biologické vlastnosti. Amylóza a amylopektin mají skutečně odlišné vlastnosti. Amylóza má totiž vysokou tendenci k retrogradaci (= změna struktury a vlastností škrobu, př. když rýže stydne, obnovuje se původní struktura, která je méně stravitelná), což se projevuje vylučováním ve formě prášku z vodného roztoku po určité době stání a dále produkuje houževnaté skvrny a silné filmy. Oproti tomu amylopektin, jenž je dispergován ve vodě, je větší a produkuje gely a dlouhé filmy (Hizukuri et al., 1970).

Ve většině běžných typů škrobů endospermů obilovin se relativní hmotnostní procenta amylozy a amylopektinu pohybují zhruba mezi 67 až 85 % obsahu amylopektinu a 15 až 33 % obsahu amylozy. Nicméně některé mutantní genotypy kukuřice (*Zea mays*), ječmene (*Hordeum vulgare*) a rýže (*Oryza sativa*) obsahují až 70 % amylozy, v tomto případě mohou nést názvy jako amylokukuřice, amyloječmen apod. Jiné genotypy, nazvané voskové, mohou obsahovat pouze kolem 1 % amylozy (např. kukuřice, ječmen, čirok). Jde o speciálně vyšlechtěné odrůdy (Buléon et al., 1998) (tab. 1, tab. 2).

Tabulka 1: Hodnoty početně průměrné molární hmotnosti (Mn) a hmotnostně průměrné molární hmotnosti (MW) pro škrob, konkrétně amylozu v uvedených potravinách (Buléon et al., 1998).

Škrob: amylóza	Mn x 10 ⁻⁵	MW x 10 ⁻⁵
Brambora	1.3	9
	4.6	8.7
Pšenice	0.6	3.9
	2.8	5.8

Tabulka 2: Hodnoty poloměru gyrace (Rg) a MW pro škrob, konkrétně amylopektinu v uvedených potravinách (Buléon et al., 1998).

Škrob:

amylopektin	Rg (nm)	MW x 10 ⁻⁶
Brambora	144	47
	160	195
Kukuřice	205	75-100
	260	333

3.1.2.1 Amylóza

Amylóza je tedy lineární molekula, dnes již s velmi dobře popsányými vlastnostmi. Její molekuly však mohou být i rozvětveny, jak je dnes už dobře známo $\alpha(1\rightarrow6)$ vazbami. Některé molekuly amyλόzy, zejména molekuly s velkou molekulovou hmotností, mohou mít až deset nebo více větví. Ve studené vodě je nerozpustná (rozpustná pouze v horké) a její zabarvení v roztocích je modré. Nejstarší kritéria pro linearitu spočívala v náchylnosti molekuly k dokončení hydrolýzy enzymem β -amylázou. Působením amylyolytických enzymů se kyselou hydrolýzou amyλόza štěpí až na glukózu. Tento enzym rozděluje $(1\rightarrow4)$ vazby z neredukujícího konce řetězců uvolňujících β -maltosylové jednotky, ale nemůže štěpit $(1\rightarrow6)$ vazby. Při degradaci čistou β -amylázou se lineární makromolekuly zcela převádějí na maltózu (disacharid tvořen dvěma molekulami D-glukózy), zatímco rozvětvené řetězce poskytují β -limitní dextrin (oligosacharid) sestávající ze zbývajících vnitřní polysacharidové struktury jádra s vnějšími řetězci. Výsledkem tedy je, že klesá molekulová hmotnost a vznikají nízkomolekulární dextriny, které jsou rozpustné ve vodě, ale ještě stále nerozpustné v alkoholu (Banks et Greenwood, 1975).

Rozsáhlou studii o struktuře amyλόzy vyvinuli Shibamura et al. (1994) na následném použití β -amylázy a isoamylázy. Neexistují zatím žádné známé efektivní metody pro separaci lineárních a rozvětvených amyλόz, tudíž všechny výsledky týkající se rozvětvení amyλόzy byly získány za předpokladu, že existují dvě zcela odlišné struktury, jedna přísně lineární a druhá charakterizovaná 40 % limitem β -amylolýzy (Shibamura et al., 1994).

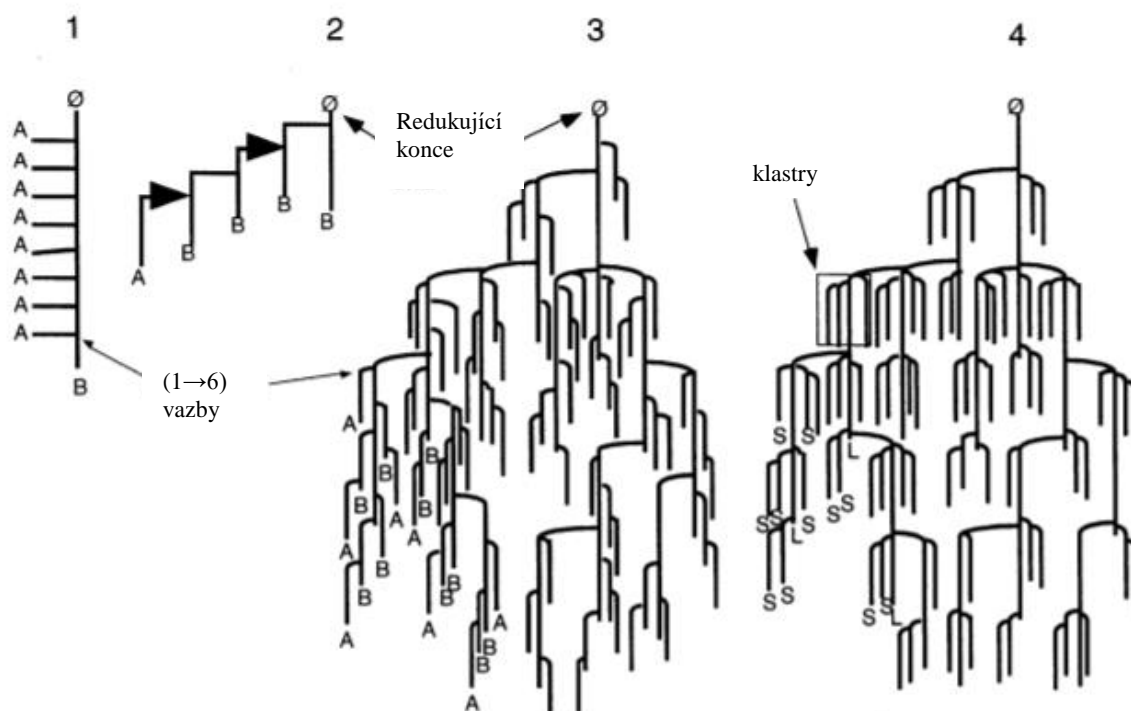
Tato nízká hodnota naznačuje, že tyto vedlejší větve jsou velmi často umístěny blízko redukujícího konce, nebo mají více rozvětvených postranních řetězců. β -Limitní dextriny rozvětvených amyloz vykazují také blízké vlastnosti původním amylozám, jako je například schopnost vazby jódu či molekulová hmotnost, přičemž zůstávají stále zcela odlišné od amylopektinu. Toto pozorování jednoznačně ukazuje na rozdíl mezi amylozou a amylopektinem. Ve skutečnosti mezi těmito dvěma typy α -glukanů není pozorována žádná strukturální spjitost. Množství rozvětvených molekul je v rozmezí od 25 – 55 % procent na molekulární bázi (Buléon et al., 1998). Použitím frakcionovaných amyloz bylo dokázáno, že úroveň větvení se průběžně zvyšuje, a to v závislosti na molekulové hmotnosti (Banks et Greenwood, 1975).

Průměrný počet sekundárních řetězců, které jsou připojeny přes příležitostné (1 \rightarrow 6) vazby k rozvětveným molekulám je v širokém rozmezí 4-18. Hizukuri et al. shledávají průměrný počet těchto řetězců v rozmezí od dvou do osmi větví na molekulu. Boční řetězce mohou obsahovat i více než 100 glukosylových jednotek v délce (Buléon et al., 1998; Shibanuma et al., 1994).

3.1.2.2 Amylopektin

Amylopektin je vysoce rozvětvená složka škrobu, jenž je ve vodě nerozpustná. V horké vodě však mazovatí a vzniká tak škrobový maz, který se jodem za studena barví do červeno-fialova. Jedná se o polysacharid, který je tedy tvořen řetězci α -D-glukózy, respektive glukózových zbytků, spojených hlavně α (1 \rightarrow 4)-glykosidickými vazbami stejně jako u amylozy, ale může být spojen i α (1 \rightarrow 6)-glykosidickými vazbami, a to v místech rozvětvení řetězců (zastoupení těchto vazeb se pohybuje okolo 5 – 6 %). Stupeň polymerace je tak výrazně vyšší než u amylozy, a proto i molekulová hmotnost bude větší. Molekulová hmotnost u amylozy se pohybuje kolem 10^5 - 10^6 a u amylopektinu je v rozmezí 10^7 - 10^8 . Množství rozsáhlého větvení je společným znakem jak amylopektinu, tak glykogenu. V obou případech mluvíme o rezervních polysacharidech – polyglukanech, ale glykogen je na rozdíl od škrobu zásobním polysacharidem v těle živočichů, nikoliv rostlin. Glykogen je mnohem více větvená molekula, než je škrob. Základní uspořádání řetězců u škrobu může být popsáno jako řetězce A, B, C, kdy vnější řetězec (A) je ten, který je glykosidicky vázaný v jejich potenciálně redukční skupině přes C₆ uhlík zbytkové glukózy k vnitřnímu řetězci (B). Vnitřní řetězce jsou zase definovány jako řetězce nesoucí jiné řetězce jako větve. A C je hlavní řetězec amylopektinu. Poměr A - řetězců ku B - řetězcům, který je označován jako stupeň větvení, je důležitým

parametrem. Při použití enzymatických experimentů bylo prokázáno, že poměr A : B je 0,8 až 2,2 na bázi molárního zlomku a 0,4 až 1,0 na bázi hmotnostního zlomku. Nicméně část B - řetězců musí nést více než jeden řetězec A (Manners, 1989) (Obr. 3).



Obrázek 3: Schéma molekulární struktury amylopektinu podle jednotlivých autorů: (1) Haworth, (2) Staudinger, (3) Meyer, (4) Amylopektin překreslen do klastrové struktury (klastry = shluky krátkých řetězců u amylopektinu) (Buléon et al., 1998).

3.2 Fyziologické trávení škrobu

Sacharidy patří společně s tuky a bílkovinami mezi hlavní živiny. Jsou důležitým zdrojem energie pro lidi na celém světě. Ovlivňují mnoho metabolických a fyziologických pochodů v těle, včetně mozkové činnosti a fyzické výkonnosti. Sacharidy jsou v těle tráveny a následně absorbovány různou rychlostí v tenkém střevě. Závisí to na jejich botanickém původu a formě dané potraviny. Strava, která obsahuje velké množství rychle stravitelných sacharidů, jež zvyšují hladinu glukózy v krvi a inzulínovou odezvu, může mít nepříznivý dopad na lidské zdraví. Naopak strava, která je bohatá na pomalu stravitelné sacharidy, může chránit proti různým chronickým onemocněním (Šárka et al., 2013).

Škroby patří z hlediska nutriční hodnoty mezi fyziologicky a hospodářsky nejvýznamnější polysacharidy. Jejich nutriční hodnota souvisí se strukturou molekuly a s její modifikací upravující biologickou hodnotu – tepelnou, chemickou nebo mechanickou. Škroby jsou štěpeny převážně v tenkém střevě, a to konkrétně α -amylázou na disacharid maltózu, který je tvořen dvěma glukózovými jednotkami a řadí se mezi oligosacharidy. Maltóza se dále štěpí enzymem maltázou na monosacharid glukózu, který je pak využit jako zdroj energie. Rychlost trávení škrobu a do jaké míry bude stráven v tenkém střevě je určen jeho vlastnostmi a ty závisí zejména na třech základních faktorech: (a) na fyzickém stavu celého zrna nebo částečně rozemleté formy (což je ovlivněno i původem – zdrojovou rostlinou), (b) na povaze krystalické formy škrobového zrna a na poměru amylózy k amylopektinu (např. škroby obilovin jsou snadno stravitelné, naproti tomu nezralé banány a brambory nejsou snadno stravitelné a luštěniny leží někde mezi nimi), (c) na jakémkoliv druhu zpracování potravin, které vede k retrogradaci, například vařené a vychladlé brambory (Fuentes-Zaragoza et al., 2010). Mezi další faktory se řadí například délka řetězce amylózy, molekulární struktura amylopektinu a přítomnost amylózo-lipidových komplexů (Julian et al., 2014).

3.2.1 Stravitelnost škrobu

Amylolýza škrobu je chemický děj, odehrávající se převážně v tenkém střevě člověka. Je realizována již zmíněnou α -amylázou (α -1,4 glukán-4-glukanohydrolázou) ze slinivky břišní (*pankreas*), hydrolyzující vazby α -D-(1→4). Jedná se tedy o enzym, řadící se mezi hydrolázy. Na rozdíl od hydrolýzy amylózy, která je náhodně štěpena na maltooligosacharidy, působení α -amylázy na amylopektin už náhodné není. Mezi jeho výsledné produkty patří maltóza, maltotrióza a větvené α -hraniční dextriny obsahující všechny původní vazby α -D-(1→6) spolu se sousedními vazbami α -D-(1→4). Amylóza se tráví pomaleji a také v menší míře než větvený amylopektin. Jednotlivými pokusy bylo prokázáno, že glykemická odezva amylózy je menší, než je tomu u stejného množství amylopektinu (Byoung-Wook et al., 2008).

Škrob přijímaný z potravy dělíme podle jeho vlivu na lidské zdraví a podle úrovně stravitelnosti pomocí aktivity enzymů do tří kategorií: rychle stravitelné škroby (RDS = rapidly digestible starch), pomalu stravitelné škroby (SDS = slowly digestible starch), které jsou za normálních podmínek zcela stráveny v tenkém střevě a rezistentní škroby (RS = resistant starch), které jsou odolné vůči amylolytickým enzymům v tenkém střevě (Fuentes-Zaragoza et al., 2010; Sajilata et al., 2006) (tab. 3).

Tabulka 3: Škrob a jeho trávení v tenkém střevě (Bradová et al., 2015).

Frakce škrobu	Trávení v tenkém střevě
RDS	RDS + rychle uvolněná glukóza (FSG) = rychle dostupná glukóza (RAG)
SDS	SDS + pomalu uvolněná glukóza = pomalu dostupná glukóza (SAG)
RS	Nepodléhá trávení v tenkém střevě

Z hlediska nutriční hodnoty se škroby dělí na stravitelné – využitelné a rezistentní – nevyužitelné, které mají podobnou funkci jako vláknina, kam bývají často i zařazovány. Ve srovnání s vlákninou však nepůsobí tak hrubým chuťovým vjemem. Stravitelné škroby jsou tráveny enzymy lidského těla a jsou zcela hydrolyzovány (RDS, SDS), oproti tomu nestravitelné škroby (RS) nejsou tráveny enzymy lidského těla a vstupují tak do tlustého střeva, kde podléhají fermentaci díky střevní mikroflóře za tvorby sekundárních produktů - mastných kyselin s krátkými řetězci (SCFAs = short-chain fatty acids) a plynů (vodík, oxid uhličitý a methan) (Fuentes-Zaragoza et al., 2010; Sajilata et al., 2006).

3.2.2 Stravitelné škroby

3.2.2.1 Rychle stravitelný škrob (RDS)

RDS je snadno a rychle tráven enzymy gastrointestinálního původu. RDS jsou degradovány přibližně do 20 minut po enzymatické aktivitě na glukózu a skládají se z amorfního a rozptýleného škrobu (Nugent, 2005). Úroveň RDS úzce souvisí s hodnotou glykemického indexu, protože se u něj předpokládá, že zvyšuje pravděpodobnost vzniku cukrovky (diabetes mellitus – úplavice cukrová) a prediabetes, kardiovaskulárních chorob nebo obezity. RDS můžeme charakterizovat křivkou s vysokým maximem a následným rychlým poklesem z hlediska ovlivňování hladiny glukózy v krvi. Metabolické a hormonální odezvy odpovídají postprandiální glykémii (hladině glukózy v krvi po jídle), jejíž vzestup začíná až s určitým odstupem po začátku jídla a maxima dosahuje mezi 30. až 60. minutou (postprandiální hyperglykemie). Poté se vrací k původním hodnotám někdy v rozmezí 2. – 3. hodiny. Konkrétní průběh určuje jak rychlost vstřebávání glukózy ze střeva (zejména glykemický index), tak rychlost jejího odstraňování z krve do buněk (především schopnost vyloučit přiměřené množství inzulínu). Tyto škroby se nacházejí ve velkém množství v chlebu nebo v bramborách (Bradová et al., 2015; Englyst et al., 2003)

3.2.2.2 Pomalu stravitelné škroby (SDS)

SDS je tráven enzymatickou aktivitou v tenkém střevě člověka za dobu pohybující se v rozmezí 20 až 120 minut (Englyst and Hudson, 1996). SDS způsobuje pomalý nárůst postprandiální hladiny glukózy v krvi, a zároveň udržuje její hladinu na konstantní úrovni. Pozitivní důsledky SDS se projevují ve fyzické a duševní výkonnosti organismu, v pocitu sytosti a umožňují řízení diabetu. Maximální obsah SDS činí 44 % a byl zjištěn ve škrobu z voskové (neboli waxy = odrůdy rostlin, jejichž zrna mají po rozříznutí voskovitý vzhled a obsahují jenom rozvětvené řetězce škrobu) rýže, jinými slovy u škrobu s velmi vysokým obsahem amylopektinu, takže zde hraje roli hlavně zvýšení podílu vazeb α -D-(1→6). Podobné hodnoty byly také pozorovány u zmazovatělého škrobu pocházejícího z voskového čiroku, který byl rozštěpen pomocí enzymu isoamylázy. Dalším příkladem SDS může být nativní kukuřičný škrob nebo škrob s optimalizovanou retrogradací apod. U cereálních výrobků ovlivňuje tvorbu SDS stupeň zmazovatění, který závisí na obsahu vlhkosti těsta, teplotě a době tepelného procesu, jemuž jsou výrobky podrobeny. Pokud hovoříme například o potravinách s velmi nízkým obsahem vlhkosti (např. sušenky), tak je stupeň zmazovatění snížen, tudíž škrob obsahuje jak zmazovatělý škrob, tak i nedotčená škrobová zrna, což má za důsledek vyšší obsah SDS v porovnání s běžnými pekařskými výrobky (Englyst et al., 2003). Opakem jsou výrobky, kde se k přípravě těsta používá značně vyšší podíl vody (například chleba). V tomto případě bude poměr SDS : RDS 1 : 10, oproti výchozímu poměru 1 : 1 v mouce (Englyst and Hudson, 1996).

SDS lze rozdělit do dvou skupin podle odlišné struktury molekuly amylopektinu. Do první skupiny se řadí SDS, kde se nachází amylopektin s vyšším stupněm větvení obsahujícím velmi krátké řetězce, a který příliš nepodléhá retrogradaci. A druhá skupina SDS obsahuje naopak amylopektin s větším podílem vnitřních dlouhých řetězců, který retrogradaci podléhá a je tráven pomaleji. Obsah pomalu stravitelného škrobu se stanovuje enzymovou metodou (Liljeberg et al., 1996).

Pro všechny rostlinné zdroje bývá charakteristický určitý tvar a struktura krystalů škrobových granulí. Uvádí se tři typy škrobů – typ A (cereální škroby), typ B (škroby z hlíz, např. bramborový škrob) a typ C (leguminózní škroby = kombinace typu A + B). SDS zahrnují fyzikálně nedostupný amorfní škrob a syrový škrob s krystalickou strukturou typu A a C, který bývá typický právě pro obiloviny. Nebo se může jednat o krystalickou strukturu typu B, a to buď v podobě granulí nebo v retrogradované podobě ve vařeném jídle (Nugent, 2005).

3.2.2.3 Rezistentní škrob (RS)

RS je část vlákniny, která není rozkládána v tenkém střevě. Termín "rezistentní škrob" poprvé použil Englyst (1982), kdy ho popsal jako malou frakci škrobu, která je odolná vůči hydrolýze α -amylázou a pullulanázou (lipoprotein štěpící větvící se škroby). V roce 1992 byla definice RS upravena jako množství škrobu a produktů degradace škrobu, které nejsou absorbovány v tenkém střevě zdravého člověka. Rezistentní škrob se dělí na čtyři skupiny, kterými jsou RS1, RS2, RS3 a RS4 (Nugent, 2005; Sajilata et al., 2006).

U rezistentního škrobu je z hlediska nutriční hodnoty důležitá schopnost fermentace mikroorganismy v tlustém střevě na monokarboxylové kyseliny s krátkým alifatickým řetězcem (short chain fatty acids – SCFAs). Až na výjimky, které tvoří některé vysoce odolné RS, jako například ze skupiny RS4. Tyto kyseliny jsou velice důležité z pohledu výživy epitelálních buněk tlustého střeva, přičemž např. nedostatek butyrátů zvyšuje riziko rakoviny, jejíž výskyt je v České republice poměrně značný. SCFAs mají také pozitivní efekt na absorpci hořčíku (Mg) a vápníku (Ca), pravděpodobně díky jejich vyšší rozpustnosti v kyselějším prostředí (Lopez et al., 2000; Yonekura and Suzuki, 2005). Významný je rovněž i jejich příznivý vliv na rovnováhu bakteriálních druhů, tzn. především bifidobakterií (rod *bifidobacterium*) a laktobacilů (rod *lactobacillus*). Tyto probiotické kultury obývající trávicí trakt člověka, zamezují rozvoji patogenních bakterií (Kleessen et al., 1997), což se projevuje zlepšením bakteriálního metabolismu solí žlučových kyselin (Haralampu, 2000). Metabolismus SCFAs může přispívat ke zlepšení kontroly glykémie a také zlepšení metabolismu lipidů u diabetiků, což úzce souvisí s tím, že RS snižuje postprandiální glukózovou a inzulínovou odezvu. Denní příjem RS obecně u lidí (nikoliv konkrétně u vegetariánů apod.) nenabývá vysokých hodnot – asi 3,2 g v porovnání s doporučenou dávkou, která je 5 g. Je obsažen např. zejména v luštěninách a z nich izolovaných škrobech (Šárka et al. 2013).

3.2.3 Typy rezistentních škrobů

3.2.3.1 Rezistentní škrob 1 (RS1)

Tento typ škrobu je mechanicky nepřístupný trávicím enzymům a nachází se uvnitř celých nebo částečně pomletých zrn nebo semen, kde je chráněný před působením pankreatické α -amylázy (Aylin, 2011; Haralampu, 2000). Obsah RS1 se vypočte dle vztahu : $RS1 = TS$ (total starch = celkový škrob) – (RDS + SDS) – RS2 – RS3 (Sajilata et al., 2006).

3.2.3.2 Rezistentní škrob 2 (RS2)

RS2 je nativní, tepelně neupravená granule škrobu, která je obsažena v rostlině. Jeho krystalinita je málo náchylná k hydrolyze, protože tato škrobová zrna jsou v přirozeném stavu chráněna před trávením konformací nebo strukturou škrobových zrn. Před štěpením je tedy odolný díky svému prostorovému uspořádání. RS2 je jedinečný, díky schopnosti zachování své struktury a odolnosti i při zpracování a přípravě mnoha typů potravin. RS2 se nachází v nezralých banánech, v syrových bramborech nebo v kukuřičném škrobu s vysokým obsahem amylozy. Obsah RS2 se vypočte dle vztahu: $RS2 = TS - (RDS + SDS) - RS1 - RS3$ (Fuentes-Zaragoza et al., 2010; Sajilata et al., 2006).

3.2.3.3 Rezistentní škrob 3 (RS3)

RS3, též nazýván jako retrogradovaný rezistentní škrob, který se v hojném množství nachází v potravinách člověka. Tvoří se vlivem určitých technologických postupů a nachází se například v chlebu, v některých typech kukuřičných lupínků, ve vařených a následně zchlazených bramborách (v podobě bramborového salátu) nebo v luštěninách. RS3 je termostabilní (za zvýšených teplot se jeho struktura nemění, nerozkládá) a to umožňuje jeho použití jako přísady do celé řady běžných potravin (Haralampu, 2000). Obsah RS3 se vypočte dle vztahu: $RS3 = TS - (RDS + SDS) - RS2 - RS1$ (Sajilata et al., 2006).

3.2.3.4 Rezistentní škrob 4 (RS4)

RS4 je skupina škrobů, která je významná svými technologickými vlastnostmi, kvůli nimž je chemicky modifikována (Aylin, 2011). Mezi chemické úpravy, kterými je možné připravit RS4 patří například konverze, substituce nebo tvorba křížových vazeb, které mohou zabránit trávení blokováním přístupu pro enzymy štěpící škroby a tvoří atypické vazby (Fuentes-Zaragoza et al., 2010; Sajilata et al., 2006).

3.2.4 Příklady faktorů ovlivňujících hydrolyzu škrobu

3.2.4.1 Struktura škrobových granulí a její vliv na hydrolyzu

Bramborový a kukuřičný škrob s vysokým obsahem amylozy jsou velmi odolné a neúplně absorbovány v trávicím traktu, zatímco většina obilných škrobů je pomalu strávena a následně absorbována. Škroby různého botanického původu mají rozdílný mechanismus chemických reakcí podléhající hydrolyze v závislosti na velikosti zrn. Čím menší je velikost

škrobového zrna, tím se rychlost hydrolyzy zvyšuje. V pořadí to vypadá zhruba takto: pšeničný škrob > kukuřičný škrob > luštěninový škrob > bramborový škrob, tzn. že pšeničný škrob se bude hydrolyzovat nejrychleji a bramborový škrob nejpomaleji (Butterworth et al., 2011).

Dalším morfologickým parametrem je tvar škrobových granulí, který také ovlivňuje hydrolyzu škrobu. Tvary granulí mohou být různé od kulovitých až po mnohostěnné, což velmi ovlivňuje jejich specifický povrch. Navíc, seskupení granulí snižuje možnost amylázy vázat se na plochu zrna, a to má za následek snížení specifického povrchu (Butterworth et al., 2011; Singh et al., 2010).

3.2.4.2 Povrch škrobových granulí

Povrchové vlastnosti škrobových zrn také ovlivňují jejich enzymatické trávení. Jamky, drážky a drobné uzliny mají vliv na pronikání amylázy ke glykosidovým vazbám škrobu (Singh et al., 2010). Škroby brambor nebo škroby s vysokým obsahem amylózy mají hladší povrch a obsahují tak méně jam nebo pórů, což vede k jejich odolnosti štěpení vůči amyláze (Butterworth et al., 2011).

3.2.4.3 Typy škrobů – typ krystalinity A, B, C

Jednotlivé typy škrobů (typ A, B, C) liší se chemickým složením, ultrastrukturou amylopektinu, způsobem jeho uložení ve škrobovém zrnu a dalšími vlastnostmi, ovlivňují jejich hydrolyzu (Aylin, 2011). Typ B je více odolný vůči působení amylázy než typ A. Vytváří delší řetězce a stabilnější šroubovice a díky této struktuře jsou odolnější vůči enzymatické hydrolyze (Singh et al., 2010). Každé zpracování, které postupně rozrušuje škrobovou krystalinitu nebo celistvost rostlinné buňky, zvyšuje enzymovou dostupnost a snižuje obsah RS, zatímco rekrystalizace a chemické úpravy vedou ke zvýšení RS. RS1 je fyzikálně nepřístupný škrob a jedná se například o škrob v luštěninách. RS2 je nativní škrob s typem krystalinity B nebo C, který je obsažen například v syrových bramborech, v banánech, nebo se jedná o vysoce amyložní kukuřičný škrob. U RS1 a RS2 platí, že po vhodné tepelné úpravě surovin, jsou pomalu ale zcela stravitelné. RS3 je retrogradovaná amyloža, která vzniká uvolněním amyložy do roztoku po zmazovávání škrobu, jehož příčinou po ochlazení vznikají dvojité šroubovice, stabilizované vodíkovými vazbami. Tato reakce vede k tomu, že ani po běžné tepelné úpravě potravin obsahující RS3 nedochází k disociaci amyložní krystalinity, a proto krystalinická amyloža zůstává velmi rezistentní vůči enzymové hydrolyze, takže brání trávení úplně (Hoover and Zhou, 2003).

3.2.5 Funkční potraviny

V dnešní době je strava ve vyspělých zemích s rozvinutým zpracovatelským průmyslem charakterizována vysokou spotřebou technologicky upravených potravin. Pro výrobu těchto potravin se řada složek, které jsou původně obsažené v různých surovinách, v rámci technologického procesu odstraňuje nebo se mění jejich nutriční hodnota. V tomto ohledu je zajímavé zmínit jeden pojem, a to jsou tzv. „funkční potraviny“. Jedná se o potraviny, při jejichž výrobě byla použita některá z přísad, u kterých je prokázáno, že mají pozitivní účinek na lidský organismus (regulují tělesné funkce či fyzickou výkonnost, podporují imunitu, zamezují onemocnění apod.). Obecně tak lze říci, že funkční potraviny mají vyšší fyziologický účinek. Mezi funkční přísady pro tyto potraviny patří přísady na bázi sacharidů, kterými jsou vláknina, oligosacharidy či alkoholické cukry. Z velké skupiny polysacharidů, které tvoří onu zmíněnou vlákninu potravy, sem patří hlavně rezistentní škrob (Kvasničková, 2000).

Dá se říct, že neexistuje žádná přesně daná definice vlákniny, neboť se neustále mění nově přijaté poznatky o vláknině. Problémy s definicí vlákniny vznikají z nedostatku přesně daných a spolehlivých metod určující všechny složky vlákniny včetně jejich množství. V roce 2000 navrhla American Association of Cereal Chemists (AACC) definici pro vlákninu, která tvrdí, že do vlákniny se řadí všechny jedlé části rostlin nebo analoga sacharidů, které jsou rezistentní k trávení a absorpci v tenkém střevě lidského těla s kompletní nebo částečnou fermentací v tlustém střevě. Vlákna tedy zahrnuje jak polysacharidy, tak oligosacharidy, lignin a přidružené rostlinné substance (Nugent, 2005).

V roce 2001 byla tato definice vlákniny upřesněna jako frakce jedlých částí rostlin nebo jejich extrakty či analoga sacharidů, které jsou rezistentní k trávení a absorpci v tenkém střevě lidského těla s kompletní nebo částečnou fermentací v tlustém střevě. Takto definovaná vláknina zahrnuje už pouze polysacharidy, oligosacharidy a lignin. Pozitivní vliv vlákniny je například ve snížení hladiny cholesterolu v krvi, snížení hladiny glukózy v krvi a prodloužení pocitu sytosti (Tungland and Meyer, 2006).

V posledních letech se zájem o potraviny bohaté na vlákninu u spotřebitelů zvyšuje. Proto se čím dál tím častěji mluví o RS, řadí se již mezi složky vlákniny. Celkové působení RS v těle člověka je fyziologicky podobné rozpustné vláknině. Jejich shodné účinky můžeme pozorovat například v pozitivním vlivu na střevní činnost, ve zvyšování objemu stolice a snižování střevního pH. RS stejně jako rozpustná vláknina splňuje funkci substrátu pro střevní mikroflóru (Fuentes-Zaragoza et al., 2010; Hódsági, 2011).

3.3 Glykemický index (GI)

V 80. letech 20. století tradoval názor, že polysacharidy obecně vyžadují relativně dlouhou dobu pro trávení v gastrointestinálním traktu, což příznivě ovlivňuje obsah glukózy v krvi díky nízké odezvě. Na druhé straně se očekávalo, že sacharidy s nízkou molekulovou hmotností (např. glukóza, sacharóza) se tráví a absorbují poměrně rychle a způsobují tak vyšší glykemickou odezvu. Proto u lidí s diabetem byla zakázána konzumace potravin obsahujících sacharidy s nízkou molekulovou hmotností. Později se však ukázalo, že velikost molekuly sacharidu není až tak dobrým indikátorem metabolické odezvy. Byla identifikována řada faktorů, které mají rozhodující význam pro glykemickou odezvu. To se týkalo zrovna i potravin obsahujících škrob, kde se zjistilo, že jednotlivé škroby mohou zvyšovat glukózu v krvi různou rychlostí (pomalu až rychle) (Björck and Asp, 1994).

V roce 1996 Englyst definoval rychle dostupnou glukózu jako součet RDS a volné glukózy a zjistil, že je tu souvislost mezi množstvím těchto frakcí a glykemickým indexem. Podle fyziologické klasifikace patří frakce RDS a SDS do skupiny glykemických sacharidů, zatímco RS je považován za neglykemický sacharid (Englyst et al., 1996; Sáyago-Ayerdi et al., 2011)

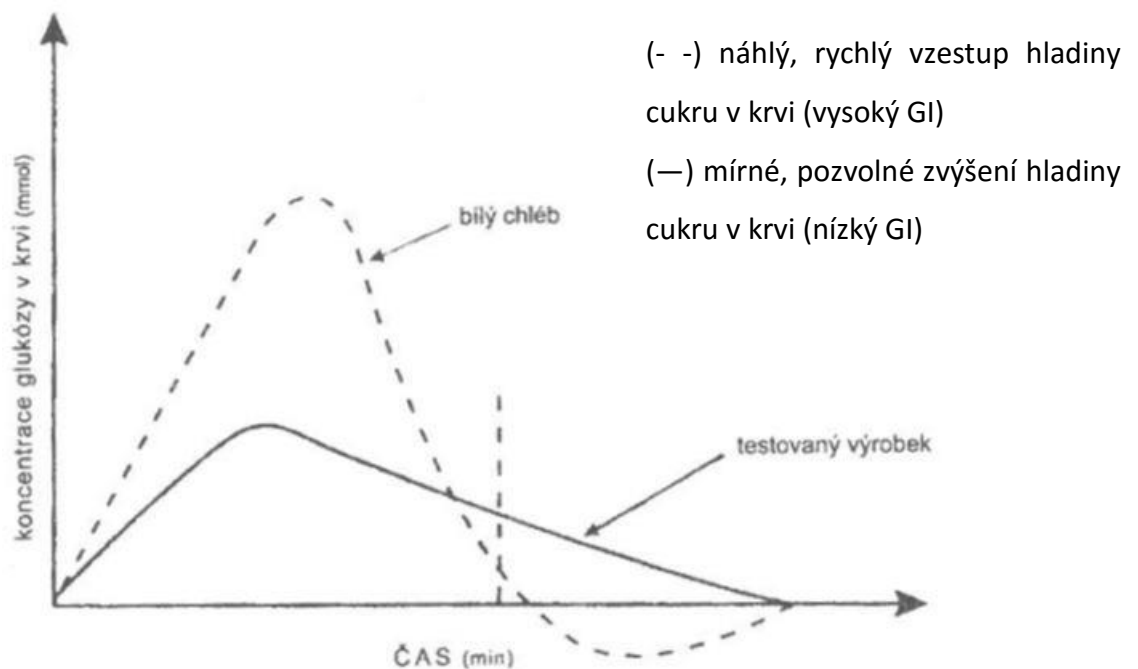
Glykemický index (GI = glyceimic index) je fyziologicky používaný pojem, jenž rozděluje potraviny podle jejich obsahu sacharidů. Klíčovým bodem v metabolismu sacharidů je totiž molekula glukózy. Ve vztahu k rychlosti, s jakou je glukóza z potraviny dostupná po konzumaci jídla se mění hladina krevního cukru v těle (glykémie). Za normálních podmínek je v lidském těle tato hladina stálá a udržována regulačními mechanismy. Dočasně se hladina krevního cukru zvyšuje po jídle a v závislosti na čase pak vytváří křivku, jejíž rozsah a prudkost vzestupu či sestupu jsou odvozeny právě od dostupnosti glukózy z dané potraviny a ovlivněny regulačními mechanismy hormonální soustavy člověka. Dostupnost glukózy z určité potraviny je hlavním činitelem ve smyslu ovlivnění nutriční hodnoty sacharidů (Bradová et al., 2015).

GI je ve skutečnosti tedy odrazem schopnosti určité potraviny přispět ke zvýšení postprandiální koncentrace glukózy v krvi a hladiny krevního inzulínu a velmi dobře popisuje odlišnou dynamiku uvolňování glukózy do krve. GI tedy zjednodušeně vyjadřuje danou rychlost, za jakou se komplexní sacharidy obsažené v přijímané potravine přemění v gastrointestinálním traktu na monosacharid glukózu, který se už snadno dostane do krevního oběhu. GI je vlastně relativní hodnocení této rychlosti vůči glukóze, která má index hodnoty 100 a vypočítá se tedy poměrem obsahu plochy pod glykemickou křivkou znázorňující změnu koncentrace glukózy v určitém časovém intervalu (první hodinu měření probíhá každých 15

minut, pak každých 30 minut běžně po dobu 2-3 hodin) po konzumaci testované potraviny a plochy pod glykemickou křivkou referenční látky ekvivalentního obsahu sacharidů, přičemž se u referenční látky počítá s hodnotou GI = 100 (Bradová et al., 2015; Kvasničková, 2000).

$$GI = \text{plocha (testovaný výrobek)} / \text{plocha (referenční látka)} \times 100$$

Referenční látkou je buď čistá glukóza nebo bílý chléb. Potraviny, které uvolňují glukózu do krevního oběhu rychleji než již zmíněné referenční látky, mají vysokou hodnotu GI, což znamená vyvolání rychlé glykemické odpovědi. Opakem jsou potraviny, které uvolňují glukózu do krevního řečiště pomaleji, a proto budou mít nízkou hodnotu GI. Nízký GI vede ke zlepšení glykemické a inzulinemické odezvy (Björck and Asp, 1994).

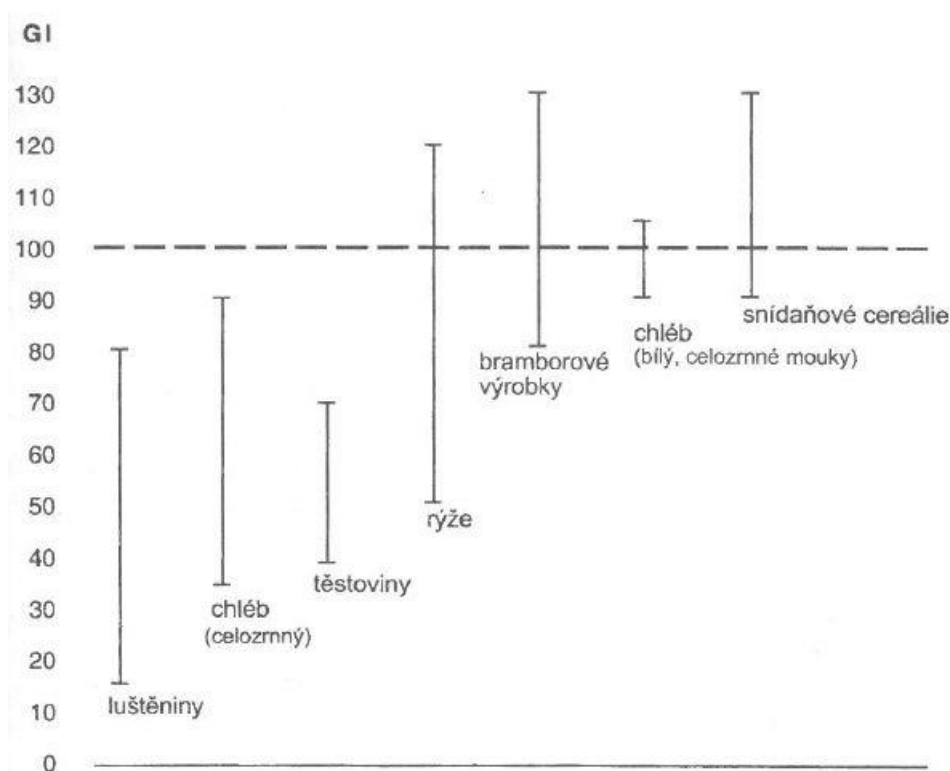


Obrázek 4: Hladina krevní glukózy u čisté glukózy či bílého chlebu (- -) a testované potraviny (—) (množství sacharidů v referenční a testované potravíně musí být stejné) (Kvasničková, 2000).

Další výhodou potravin s nízkým GI je, že navozují delší pocit sytosti. Podle glykemického indexu rozdělujeme potraviny do 3 hlavních skupin:

- Potraviny s nízkým GI, což znamená, že GI odpovídá hodnotě < 50 , luštěniny, laktóza, zelenina, mléčné výrobky,
- Potraviny se středním GI v rozmezí 50 – 70: vařené brambory, žitný chléb, rýže, těstoviny, mýslí,
- Potraviny s vysokým GI > 70 : většina druhů chleba - např. pšeničný chléb, pečené brambory, oplatky, sníadaňové cereálie např. kukuřičné lupínky (Björck and Asp, 1994).

Obecně nejvyšších hodnot GI dosahují jednoduché sacharidy a nejnižších komplexní sacharidy. Tuto hodnotu lze ovlivnit i několika dalšími faktory, jako je například množství vlákniny, obsah tuků, kyselin, sacharózy nebo technologické zpracování. Klasifikování sacharidů na základě jejich GI doporučily organizace WHO a FAO (Bradová et al., 2015).



Obrázek 5: Přibližné rozsahy glykemického indexu (GI) u některých škrobnatých potravin (Kvasničková, 2000).

Hodnocení potravin podle tohoto ukazatele je používáno zejména v diabetické dietě, zdravé výživě a redukční dietě. Zdravá výživa je důležitá z hlediska prevence nejen nadváhy a obezity, ale také vůči různým onemocněním, například inzulinové rezistenci a následně i diabetes mellitus 2. typu. Na redukci hmotnosti se pozitivně podílejí potraviny s nízkým GI hlavně díky tomu, že způsobují větší pocit sytosti a podporují metabolismus lipidů na úkor metabolického využití sacharidů. Naopak potraviny s vysokým GI způsobují rychlý výkyv postprandiální glykemie a mohou tak prohlubovat pocit hladu, a tím stimulovat chuť k jídlu, urychlovat uvolnění adrenalinu a kortizolu (hormony produkované nadledvinami) podporující ukládání energie, jež je získána z jídla do tělesného tuku. Z toho plyne, že potraviny s vysokým GI se na redukci hmotnosti projevují opačně – tedy negativně. Nedávné studie prokázaly, že vysoký GI v potravinách je rizikovým faktorem vedoucí ke vzniku diabetu, kardiovaskulárních chorob a obezity (Bradová et al., 2015).

Škroby, jejichž trávení a absorpce probíhá po delší časový interval se upřednostňují nejen u diabetiků, ale i u zdravých osob, neboť je tím ovlivněna řada fyziologicky prospěšných pochodů. Mezi výhody potravin s pomalu odbouratelným škrobem patří například:

- lepší regulace metabolismu u osob s diabetem,
- lepší snášenlivost glukózy,
- ochrana proti kardiovaskulárním onemocněním,
- ochrana proti diabetes u geneticky citlivé populace,
- delší nasycenost,
- nižší kariogenní potenciál,
- nižší koncentrace lipidů v krvi u osob s hyperlipidemií i u zdravých jedinců,
- podávání lepšího fyzického výkonu během vytrvalostního sportování po delší časový interval (Björck and Asp, 1994).

3.3.1 Metody stanovení glykemického indexu

3.3.1.1 Klinické *in vivo* testy

Běžný způsob stanovení GI je prováděn tak, že se stanoví hladina glukózy po požití 50 g porce sledované potraviny zdravým jedincem (dobrovolníkem), přičemž jako referenční potravina slouží roztok glukózy, nebo bílé pečivo. I přesto, že jde o spolehlivý a již relativně dlouho zavedený způsob stanovení nutričních vlastností jednotlivých potravin, má i určité nevýhody, jež tento způsob omezují. Tyto klinické testy, které zahrnují práci s lidmi (dobrovolníky), jsou náročné jak po finanční stránce, tak i organizační. Navíc jejich provádění

zahrnuje i dost přísná pravidla a schvalovací procesy etické komise. To jsou hlavní příčiny, proč mnoho výrobců u svých výrobků nechce stanovovat GI, a proto existují pouze obecné tabulky, které nejsou vždy dostačující (Bradová et al., 2015).

$$GI = F / B \times 100$$

F = 50 g S sledované potraviny

B = 50 g S bílý chléb

3.3.1.2 Laboratorní metoda *in vitro*

Již mnoho let probíhají celosvětové výzkumy, jejichž cílem je nahrazení klinických testů laboratorní metodou bez další nutnosti využívat lidské dobrovolníky. A již mnoho studií potvrdilo podstatnou souvislost mezi GI a stravitelností polysacharidů, respektive podílu rychle a pomalu dostupné glukózy (RAG, SAG). Laboratorní metody sloužící k odhadu GI vychází z analýzy stravitelnosti sacharidů enzymovým aparátem. To znamená, že se snaží co nejvíce napodobit vnitřní prostředí lidského trávicího systému. RAG a SAG se stanovuje v několika fázích enzymatické hydrolýzy. Celková glukóza (TG) se pak stanovuje po úplné hydrolýze. Z těchto naměřených parametrů lze určit jaký vliv bude mít konzumovaná potravina na hladinu cukru v krvi konzumenta a lze tak i odhadnout její glykemický index (Bradová et al., 2015; Englyst et al., 2003) Podle matematických modelů, které jsou prezentovány Englystem et al. (1999), je glykemická odezva plocha pod křivkou glykémie, jež je závislá na obsahu RAG v potravine.

$$\text{Glykemická odezva} = K (\text{RAG})$$

K= konstanta

Konstanta K je obecně závislá na daném jedinci, na typu potraviny a na obsahu konzumovaných sacharidů z dané potraviny. Očekávanou variabilitu způsobenou odlišnými testovanými jedinci lze omezit po vztažení glykemické odezvy k výsledkům pokusu s RAG. Prakticky se jedná o výpočet GI. Variabilitu představovanou obsahem sacharidů je možné eliminovat klinickými testy, ve kterých se použije stejné množství sacharidů. Naproti tomu variabilita způsobená různými typy potravin je nevyhnutelná, můžeme jen předpokládat, že u potravin s vysokým obsahem glukózových polysacharidů bude nízká (Bradová et al., 2015).

Pro hodnocení stravitelnosti sacharidů touto analytickou *in vitro* metodou je důležité, aby všechny vzorky jídla byly analyzované ve stejné formě jako jsou konzumovány. Následná

homogenizace vzorku by měla odpovídat mechanickému rozmělnění, jako je tomu u člověka (Bradová et al., 2015).

3.4 Potraviny s vysokým obsahem škrobu

Strava s vysokým obsahem tohoto polysacharidu může být buď prospěšná, nebo nikoliv. Prospěšná je ve chvíli, kdy převážná část dané potraviny je tvořena komplexními cukry – škrobem a vlákninou. Protože, jak už bylo zmíněno, vysoký obsah vlákniny snižuje GI potraviny, tím pádem zpomaluje využití v ní obsažených stravitelných cukrů. Podobné vlastnosti má i tepelně nezpracovaný škrob. Mezi potraviny s vyšším obsahem komplexních sacharidů patří hlavně celozrnné obiloviny, luštěniny, zelenina a do jisté míry i ovoce. Těmito potravinami se stravují hlavně vegetariáni a makrobiotici. Zmíněná strava však může způsobovat i negativní vlivy v těle člověka, například nadbytek vlákniny způsobí problémy s nadýmáním, stejně tak působí i mnoho typů luštěnin, které nejsou příliš oblíbené a u nositelů některých krevních skupin dokonce ani příliš vhodné (Fořt, 2006).

V dnešní době je protěžována řada potravin, která není až tak prospěšná, a to z hlediska vysokého obsahu cukrů. Mluvíme tu např. o nadměrné konzumaci těstovin, především nevaječných, o to víc však „sacharidových“ těstovinách, které mají poměrně vysoký GI. Z tohoto úhlu pohledu vychází loupaná rýže a vařené nebo pečené brambory stejně nebo možná ještě hůře. V očích veřejnosti jsou základními zdroji příznivě působících komplexních cukrů. Bohužel škrob, který je obsažen v těchto potravinách, se velmi rychle přeměňuje na glukózu, a tak jejich nadměrná konzumace hrozí reálným rizikem vzniku tukové nadváhy, dokonce mnohem větším, než pokud by se konzumovalo více tuků a bílkovin. Toto zjištění vede ke změně spočívající v tom, že je potřeba vybírat ze sortimentu potravin, které budou „vysokosacharidové“, ale současně vyhovují teorii GI. V podstatě se jedná jen o snahu zabránit přílišným výkyvům hladiny glukózy v krvi (Fořt, 2006).

3.4.1 Světová produkce škrobu

Světová produkce škrobu v roce 2012 byla 75 milionů tun, z toho více než polovina byla vyrobena ve Spojených státech. V Evropské unii bylo vyrobeno 10 milionů tun škrobu. Škrob je významným zdrojem sacharidů v lidské stravě. Kromě toho je univerzální a široce používanou přísadou v potravinářském, papírenském, chemickém a farmaceutickém průmyslu. Z výše uvedených 75 milionů tun byl škrob uváděn na trh jako nativní, fyzikálně nebo chemicky modifikovaný škrob, ale také jako kapalné či tuhé sladidlo. V roce 2011 bylo v Evropské unii

použito 57 % vyráběného škrobu na sladidla, 23 % bylo použito jako přírodní škrob a 20 % tvořil modifikovaný škrob. V celosvětové produkci škrobů naprosto významně přesahuje výroba kukuřičného škrobu nad ostatními. Další významnou část tvoří škrob bramborový, pšeničný, a maniokový (z rostliny zvané maniok či kasava; odborný název *Manihot esculenta*). V menším množství je pak zastoupen škrob rýžový a další. Modifikované škroby se ve světě vyrábí se stoupající tendencí a hlavní produkce nativních škrobů je kvůli výrobě škrobových hydrolyzátů, zejména sladidel – glukózy, glukózo-fruktózového sirupu a škrobového sirupu. Pro výživu se ve světovém měřítku spotřebuje kolem 70 % veškerého vyrobeného škrobu (Kodet a Babor, 1991; Waterschoot et al., 2014).

V roce 2015 se světová produkce odhadovala na 85 milionů tun škrobu. Obecně je však vždy téměř 80 % škrobu vyrobeno z kukuřice. V USA se vyrábí převážná většina kukuřičného škrobu, přesto se tam ale vyrábí i (velmi) malé množství pšeničných, bramborových a rýžových škrobů. V Evropě se vedle kukuřice, která pokrývá z celkové produkce škrobu 47 %, produkuje ve větším množství také pšeničný škrob (produkce kolem 39 %) a v menším množství bramborový škrob (produkce kolem 14 %). Ve výrazně malém množství se v Evropě vyrábí rýžový škrob (produkce méně než 0,5 %). Kasava/maniokový škrob je vyráběn převážně v jihovýchodní Asii a Brazílii (BeMiller and Whistler, 2009; Waterschoot et al., 2014).

Obecně tedy platí, že mezi potraviny obsahující velké množství škrobu patří obiloviny (např. pšenice, rýže, kukuřice), kořenová zelenina (např. brambory) a luštěniny (např. ledvinové boby, pečené fazole). Malý podíl škrobu bývá obecně ve většině ovoci a zelenině, ale jsou i výjimky jako právě banány, kořenová zelenina a hlízová zelenina (Mann, J., Truswell, 2002). Zesíťování a substituce jsou běžnými změnami škrobů používaných při výrobě potravin. Zesíťování škrobu zlepšuje jeho stabilitu vůči kyselinám, teplu apod., zatímco zavádění substituentů na škrobové řetězce snižuje jejich náchylnost k retrogradaci. EU vyváží přibližně 10 % svého vyráběného škrobu a jeho derivátů. Ze zbývajících 90 % se převážná většina - 62 % používá v potravinářském průmyslu, pouhé 1 % se používá pro výrobu krmiv a 37 % se používá v nepotravinářském "non-food" průmyslu (BeMiller and Whistler, 2009; Waterschoot et al., 2014) (tab. 4).

Tabulka 4: Produkce škrobu z rostlin různého botanického původu (Waterschoot et al., 2014).

	Kukuřičný škrob	Maniokový škrob	Pšeničný škrob	Bramborový škrob	Rýžový škrob
Odhad celosvětové výroby škrobu v roce 2015 (milion tun/rok)	64,6	10,2	6,0	3,4	< 0,05
Celosvětová produkce surovin v roce 2011 (milion tun/rok)	880	250	704	374	723
Hlavní produkční oblasti	USA, Japonsko, Čína, Jižní Korea	Thajsko, Indonésie, Brazílie, Čína	Francie, Německo, USA, Čína	Nizozemí, Německo, Francie, Čína	Belgie, Thajsko, Itálie

3.4.2 Použití škrobu v potravinách a jeho přirozené zdroje

Škrob se používá ve velkém množství potravin pro různorodé účely včetně zahušťování, gelování, zvýšení stability a nahrazení či rozšíření mnohdy nákladnějších složek. Škroby jsou výhodné kvůli jejich relativně velké dostupnosti, poměrně nízkým nákladům a jedinečným vlastnostem. Už v prvním století našeho letopočtu Celsus a Řecký lékař, popsali škrob jako zdravé jídlo (Knight, 1969). Škrob byl přidán do žitného a pšeničného chleba během roku 1890 v Německu a do piva v roce 1918 v Anglii. Moffett v roce 1928 popisuje použití kukuřičného škrobu v práscích na pečení, koláčcích, omáčkách, želé a pudincích. Během třicátých let dvacátého století Kraft začal rozšiřovat majonézu o pastu obsahující kukuřici koňský zub (*Zea mays indentata*) a škrobový prášek na výrobu salátových dresingů (Walton, 1928).

V roce 1950 Kerr (Kerr, 1950) popsal použití škrobu v potravinářském průmyslu ve Spojených státech z pozdních čtyřicátých let dvacátého století. V potravinách bylo každoročně použito zhruba 100 000 tun škrobu, ale jen asi 30 000 tun bylo použito ve zpracovaných potravinách, což je podle dnešních standardů velmi drobné číslo. Vedoucími uživateli škrobu

byly převážně pivovarské, pečící a cukrářské výrobky. Do roku 1995 bylo v USA vyrobeno 2,6 milionů tun kukuřičného škrobu, modifikovaného kukuřičného škrobu a kukuřičných dextrinů. Z tohoto už poměrně větší množství (950 000 tun) bylo použito v potravinách. Vzhledem k tomu, že kukuřičný škrob představuje zhruba 95 % amerického potravinového škrobu, odpovídá desetinásobnému zvýšení škrobu za 50 let. V roce 1989 bylo v Evropě vyrobeno 5,1 milionů tun škrobu, z toho 60 % kukuřičného, 20 % bramborového a 20 % pšeničného škrobu. Jak bylo uvedeno v roce 1992, tak z tohoto množství bylo 55 % použito v potravinách (BeMiller and Whistler, 2009; Imeson, 1997).

3.4.2.1 Síťování škrobu

Pozorování, že bělené tapioky s vysokým obsahem bílkovin zlepšily stabilitu procesu v ovocných koláčích, vedlo v roce 1943 k vydání patentu na škrob, který je schopen se oxidovat za přítomnosti bílkovin. Zesíťování s bifunkčními činidly (které tvoří můstek = pevnou příčnou vazbu mezi dvěma řetězci, aby nedošlo k jejich oddělení) bylo nejprve praktikováno v pozdních čtyřicátých letech dvacátého století s použitím epichlorhydrinu, za vzniku diškrobových etherů a fosforylchloridů (oxychlorid fosforu) a s použitím trimetafosforečnanu sodného (STMP) vznikaly zase škrobové fosforečnany. Tyto škroby byly široce používány v salátových dresincích, v komerčně pečených čerstvých koláčích či v konzervované zelenině, zejména kukuřici. Zesíťovaný voskovitý kukuřičný škrob zlepšil kvalitu konzervovaných polévek, klasických omáček či omáček ze šťávy z masa, ačkoli někteří výrobci pokračovali v používání nativního kukuřičného škrobu (BeMiller and Whistler, 2009).

3.4.2.2 Vylepšení zdrojů obsahujících škrob

Kukuřice bohatá na amylopektin byla objevena nejprve v Číně v roce 1908. Vzhledem k jejímu vzhledu zrn byla nazývána voskovitou (waxy) kukuřicí. Nejprve byla udržována pouze jako genetická zajímavost, později se však zájem o voskové odrůdy kukuřice, ječmene, rýže a čiroku zvýšil. Obzvláště když byl přístup k zásobám tapioky přerušeny z jihovýchodní Asie během druhé světové války. Voskovi hybridi čiroku byli vyvinuti pro výrobu v Kansasu, Texasu, Nebrasce a voskové kukuřice byly hospodářsky využívány ve státě Iowa. Produkce škrobu byla zkomercializována v polovině čtyřicátých let dvacátého století. Například byl vyvinut dvojitý mutant kukuřice zahrnující voskovitý gen a další lokusy mající unikátní vlastnosti škrobu, např. *wx su2* (*waxy sugary-2*), který má kratší vnější větve a zlepšuje stabilitu při zmrazování a rozmrazování. Komerční vysoce amylozni škrob je upravený hybrid, který

vznikl začleněním genu během padesátých let. Škrob z těchto vysoce amylozních kukuřičných hybridů byl dostupný již v roce 1958 (Hallauer, 2000; Wurzburg, 1986).

3.4.2.3 Funkce škrobu v potravinářských aplikacích

Škrob má řadu rolí v různých potravinách (tab. 5). Pochopení mechanismu skrývající jednotlivé účinky, je nezbytné pro co nejlepší využití škrobu v těchto funkcích. Proto je užitečné sledovat změny, kterými škrob prochází během vkládání a chlazení a jejich dopad ovlivňující struktury potravin. Kromě toho je také důležité vědět, jak se vařená škrobová pasta mění v průběhu skladování a jak poté ovlivňuje výslednou strukturu a vzhled potravin. Výběr určitého škrobu pro dané použití závisí na požadovaných vlastnostech jednotlivých potravin, stejně jako na zpracovatelských a distribučních podmínkách (BeMiller and Whistler, 2009).

Tabulka 5: Role škrobu v jednotlivých potravinových systémech (BeMiller and Whistler, 2009).

FUNKCE	POTRAVINY
Přilnavost	Potraviny z litého těsta, nebo obalované ve strouhance
Vazba	Tvarované maso, přísady do "snacků", např. lupínky, oříšky, popcorn
Křížení – křehkost	Smažené a pečené potraviny
Stabilizace emulze	Smetana (do kávy)
Rozpínavost (expanze)	Cereálie
Výměna tuku - nahrazení	Salátový dressing, zmrzlina
Stabilizace pěny	Marsmallow
Gelovací funkce-další vynechaná	Želé, gumové potraviny
Zadržení vlhkosti	Dorty
Zahušťování	Omáčky, šťávy z masa, polévky

Škrobové granule jsou před zahřátím ve vodě nerozpustné a jsou schopny absorbovat jen omezené množství vody. Během zpracování však granule škrobu bobtnají a jsou fragmentovány a rozpouštěny v různých stupních. Rozložení škrobu mezi nabobtnalými granulemi, fragmentovanými granulemi a solubilizovanými polymery určuje strukturu, vzhled a stabilitu škrobové pasty a dané potraviny. Modifikace, jako je např. extruze, která bude

projednána později, zvyšuje výkonnost škrobu tím, že upřednostňuje požadovanou formu a požadované umístění v potravine (BeMiller and Huber, 2012).

3.4.3 Jednotlivé zdroje škrobu – charakteristika a využití v potravinách

Užitečnost škrobů v potravinách je rozdílná, co se týká viskozity, stability při zpracování a distribuci a intenzity gelu. Rozdíly v obsahu - poměru amylozy a amylopektinu pak částečně představují rozdíly ve vlastnostech. Kořenové a hlízové škroby a ty, které obsahují pouze amylopektin (voskové škroby), bobtnají ve větší míře a vykazují větší viskozitu při dlouhodobém vaření. Jsou vhodnější pro vytvoření soudržné nebo gumové struktury při předpečení a nestávají se průsvitnými, nebo nenabývají pevné podoby při následném chlazení. Díky jedinečným vlastnostem voskové kukuřice, tapioky a vysoce amyložním kukuřičným škrobům se mohou prodávat za prémiové ceny (Wrolstad, 2012).

3.4.3.1 Kukuřice koňský zub = kukuřice typu dent

Kukuřice koňský zub (*Zea mays* conv. *identata*) má měkký moučnatý endosperm oproti tvrdé (flint) kukuřici (*Zea mays* *indurata*), která má tvrdý sklovitý endosperm. Zrna typu dent se nazývají koňský zub. Dent – běžný kukuřičný škrob je dostupný jako nativní prášek a v upravených formách. Vařené škrobové pasty vytvářejí hmotný, hustý, viskozitní vzhled. Nativní kukuřičný škrob se používá k zahušťování kuchařských produktů, jako jsou omáčky, pudinky a koláče, kde se doba trvanlivosti pohybuje od několika hodin do několika dní. Upravený modifikovaný škrob se aplikuje tam, kde není požadovaná čírost nebo gelovací schopnost (BeMiller and Whistler, 2009).

3.4.3.2 Vosková kukuřice ("waxy" kukuřice)

Vosková kukuřice představuje zhruba jen 1 % z celkové zemědělské plochy na kukuřici v USA, ale i přesto tvoří přibližně jednu třetinu kukuřičného škrobu a velkou část modifikovaného škrobu používaného v potravinách. Vosková kukuřice, která se každoročně pěstuje v USA produkuje asi 800 000 tun škrobu. Kukuřičný škrob získaný z této odrůdy má vysoký obsah amylopektinu (~ 99 %). Díky tomu vykazuje vlastnosti pasty, které se podobají vlastnostem škrobu získaného z kořenových a hlízových zdrojů, než např. škrobu získaného z jiných obilných zdrojů. Vařené pasty z těchto škrobů vykazují vysokou viskozitu a dobrou čírost a v podstatě díky tomu, že jsou prakticky bez amylozy, mají zlepšenou odolnost vůči tvorbě gelu a synerezi během skladování v chladu. Zesíťované voskovité kukuřičné škroby se

používají tam, kde jsou zapotřebí vynikající zahušťovací schopnosti a také se předpokládá, že voskovitý kukuřičný škrob má jemnější chuť než klasický kukuřičný škrob (Hallauer, 2000; Waterschoot et al., 2014).

3.4.3.3 Vysoce amyložní kukuřice

Kukuřice s vysokým obsahem amyložy byla pěstována k získání odrůd třídy 5 a třídy 7, jejichž škroby obsahují 50 – 60 % a 70 – 80 % amyložy. Nedávné snahy o pěstování tohoto typu kukuřice vedly k ještě větším hladinám amyložy a výrazně sníženému množství amylopektinu. Vyšší koncentrace lineárního polymeru v kukuřičném škrobu způsobuje rychlejší gelovací schopnost a tvoří tak i silnější gely, než je tomu u ostatních kukuřičných škrobů. Tyto gely vytvářejí silné, pevné filmy, které jsou po vysušení křehké. Vyskytují se v želatinových a gumových sladkostech. Vysušené škrobové filmy z této odrůdy jsou díky svojí křehkosti velmi využívány ve smažených a těstovinových produktech a také ve zmražených produktech, které jsou poté znova ohřívány v mikrovlnné troubě. Tento škrob se vyskytuje i v hranolkách, kde tvoří povlak, který snižuje vstřebávání oleje. Gelovací schopnost je využívána v těstovinách právě proto, že způsobuje rovnoměrnější zahřátí např. v mikrovlnné troubě. Dále se využívá v tortillách, nebo nugátech a cukrovinkách, kde je používán jako náhražka tuku. Tento škrob se využívá i jako obal párků, klobás a dalších masných výrobků. Tvoří chlebovou krustu a je obsažen v pudincích (BeMiller and Whistler, 2009; Santana and Meireles, 2014).

3.4.3.4 Tapioka (též kasava či maniok)

Jedná se o škrob získaný z kořene jednotlivých rostlinných druhů manioku. Kořenové a hlízové škroby vykazují vyšší nárůst ve viskozitě (např. při výrobě těsta) než obilné škroby. Amyloža tapiokového škrobu má vyšší molekulovou hmotnost než kukuřičná amyloža a může být i více rozvětvená, což jsou dva faktory, které pak zasahují do retrogradace a gelovací schopnosti. Tapiokový či bramborový škrob mají obsah amyložy přibližně 18 – 23 %. Tradičně byly jemně zbarvené pudinky a pečivo vyrobeny z tapiokového škrobu kvůli své nevýrazné chuti. Tapiokový škrob má nevýraznou, neutrální chuť a vynikající pekařské vlastnosti, a proto se velmi často používá (kromě pudinků) i při výrobě sladkého pečiva. Je také používán pro výrobu dětských potravin. Tapiokový škrob je buď v práškové nebo perlové formě (perlová forma je využívána např. v oblíbeném nápoji Bubble tea jako ony známé želatinové kuličky). Modifikovaný tapiokový škrob také přispívá k tvorbě jemného gelu v pudincích a koláčích.

Z ekonomických důvodů se však v používání škrobu jako zahušťovadla dává přednost kukuřičnému waxy a dent škrobu před tapiokovým (BeMiller and Whistler, 2009; BeMiller and Huber, 2012).

3.4.3.5 Brambory

Bramborový škrob je běžněji používán v Evropě, kde představuje 20 % vyrobeného škrobu, než je tomu v USA. Granuláty z bramborového škrobu jsou velké, bobtnají a rychleji se rozpouštějí než granule z obilovin. Bramborový škrob produkuje pasty s vysokou viskozitou a jemně zrnitým vzhledem. Převařený, nemodifikovaný bramborový škrob tvoří při ochlazování gumovitý, ale čirý a pružný gel. Bramborové škrobové pasty mají dobrou čistotu. Bramborový škrob obvykle obsahuje okolo 20 % amylozy, ale už jsou vyvinuty i brambory bez amylozy. Bramborový škrob je primárně používán v konzervovaných potravinách a ve směsích, kde je využívána jeho zahušťovací síla, zejména pro viskozitní vzhled. Používá se také jako základ pro gelující přípravky v cukrárnách, pro zahušťovadla v produktech, jako jsou pečivo a koláče a také v instantních pudincích (BeMiller and Huber, 2012; Waterschoot et al., 2014).

3.4.3.6 Pšenice

Pšeničný škrob je vedlejším produktem při nepostradatelné výrobě glutenových (lepkových) produktů, ale je také izolován z pšeničné mouky sám o sobě. V Austrálii a na Novém Zélandu patří mezi významné škroby. V Evropě představuje 20 % z celkové produkce škrobu (Imeson, 1997). Zbytkový protein ve škrobu dává pšeničné mouce specifický zápach, chuť a vzhled. Viskozita a síla gelu jsou nižší, než je tomu u kukuřičného škrobu. Takahashi et al. (1989) srovnávali modifikované škroby z pšenice, tapioky a voskovité kukuřice a zjistili, že modifikovaný pšeničný škrob má větší stabilitu při zmrazování a rozmrazení, než podobně modifikovaný tapiokový škrob a modifikovaný voskový kukuřičný škrob. Pšeničný škrob se také používá v cukrářských výrobcích a může být použit i pro chléb bez lepku pro lidi trpící celiakií. Pšeničný škrob je i důležitou složkou piva, protože jeho enzymatickým rozkladem – tedy částečnou hydrolýzou, se získá směs cukrů, která je potřebná při výrobě alkoholu. Tudíž už pak žádný škrob pivo neobsahuje (Wrolstad, 2012).

3.4.3.7 Čirok

Adaptované bílé voskové kultivary čiroku byly vyvinuty v USA během čtyřicátých let devatenáctého století, kdy nebyla dostupná kasava/tapioka (Hallauer, 2000). V roce 1967

napsal Osman, že škroby z kukuřice a čiroku jsou podobné a používají se zaměnitelně. Voskový čirokový škrob byl vyřazen z výroby v roce 1970 kvůli zvýšené teplotě želatinizace ve srovnání s voskovitým kukuřičným škrobem, ale jeho oživení z hlediska použití v potravinách může přijít (BeMiller and Whistler, 2009).

3.4.3.8 Rýže

Voskovitý rýžový škrob tvoří suché, pevné gely. Typickými potravinami jsou pružné rýžové nudle či rýžové krekry s nízkou gumovitostí. Textura je z velké části řízena podílem amylozy, který je řízen jedním nebo dvěma hlavními geny s modifikátory (Marshall and Wadsworth, 1993). Žádné odrůdy s obsahem amylozy vyšším než 40 % dosud nebyly zaznamenány. Rýžové škroby s nízkým obsahem amylozy a voskovité rýžové škroby způsobují u potravin hladký a krémový pocit v ústech. Hydrolyzáty škrobu jsou uváděny na trh jako náhražky tuku. Bost a kol. mají patent na rýžový škrob ve zmrzlině a Bakal a kol. mají patent na použití surového rýžového škrobu jako náhražky tuku v dresincích. Díky její nevýrazné chuti se používá i jako přísada při výrobě piva, kde dochází opět k hydrolyze škrobu. Schoch uvádí v roce 1967, že voskovitý rýžový škrob má vynikající stabilitu při zmrazování a rozmrazování. Tato přirozená stabilita voskovitého rýžového škrobu je využívána při zahušťování koláčů, omáček a polévek, které jsou zmrazené. Mechanismus této stability není jasný (BeMiller and Whistler, 2009).

3.4.3.9 Další zdroje

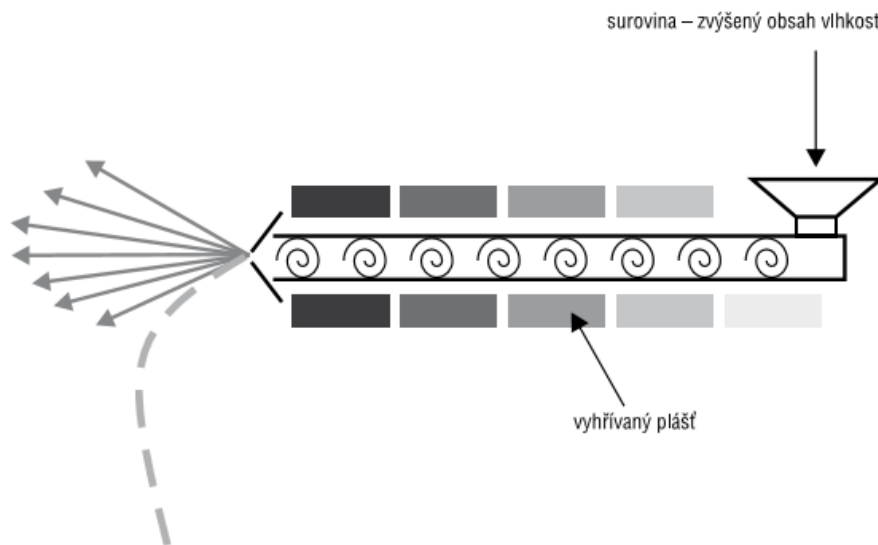
Dalšími zdroji může být ságo, ve formě škrobovitého prášku tvoří základ jídla v nížinách Nové Guiney a na Molukách. Pochází ze středu kmene palmových stromů. Je používán ve snídaňových pokrmech, v pudincích, chlebu, sladkém pečivu atd. Dále je možné uvést Arrowroot škrob, který se získává z oddenků tropické rostliny *Maranta arundinacea L.* Arrowroot byl domácím řešením při gastrointestinálních poruchách, a to zejména v Británii, protože byl považován za nejvíce stravitelný škrob. Používá se do želé, koláčů a v řadě kojeneckých a invalidních pokrmů. Potom je dobré zmínit i ječmenný škrob, který má viskozitní profil podobný bramborovému škrobu a téměř shodný je i jeho rozsah ve využití. Dále je používán například i hrachový škrob nebo amarantový, u kterého značně převažuje obsah amylopektinu nad amylozou (BeMiller and Whistler, 2009; Perez et al, 1993).

3.5 Princip extruze jako jedné z termických modifikací a vliv extruze na vlastnosti škrobu

Extruzní technologie je kontinuální, energeticky efektivní, prakticky bezodpadový a snadno říditelný postup upravující fyzikální vlastnosti potravin, především jejich strukturu a chuť. Pomocí jednoho zařízení lze dosáhnout kombinace celé řady jednotlivých operací jako jsou např. hnětení, míchání, smykové namáhání, zvlhčování (hydratace), spékání (aglomerace), stlačování, desintegrace (rozpad) a tvarování (formování). Potravinářská surovina je stlačována v těle extrudéru otáčivou šnekovnicí při řízené sekvenci teplot a na konci je pak protlačována dýzou. Důležitým parametrem při extruzi je tedy tlak i teplota. Na základě rozdílné teploty se extruze rozlišuje na studenou, horkou a na extruzi při níž probíhá plastifikace-mazovatění, jinými slovy želatínace. V tabulce 6 je možné vidět jednotlivé typy extruzí včetně odlišných hodnot co se týče teploty, tlaku a vlhkosti. Například u horké extruze může docházet použitím vyšších teplot při výstupu z dýzy k expanzi páry, což je v některých případech využíváno k vytvoření produktů s charakterem pevné pěny (obr. 6) (Fellows, 2000; Guy, 2001). Extruze je doprovázena inaktivací přírodních enzymů, které se vyskytují v potravině, rozkladem některých přírodních toxinů, snížením obsahu mikroorganismů ve výrobku nebo ztrátou některých nutričních látek, např. lysinu a beta-karotenu (Björck and Asp, 1983; Riaz, 2000).

Tabulka 6: Běžně používané parametry extruze (Šárka, E., Čopíková, J., Smrčková, 2013)

	Studená extruze	Extruze doprovázená mazovatěním škrobu -plastifikací	Horká extruze
Rozsah teplot	40 – 90 °C	70 – 120 °C	120 – 160 °C
Rozsah tlaků	30 – 90 bar	60 – 130 bar	55 – 250 bar
vlhkost	30 – 40 %	20 – 35 %	10 – 25 %
Probíhající procesy	Žádné nebo minimální mazovatění škrobu, nedochází k expanzi vlhkosti	Částečné mazovatění škrobu a expanze po průchodu tryskou	Plné zmazovatění škrobu a plná expanze
Použití	Cukrovinky, těsto, nudle	Produkty smažené na tuku, chipsy	Křupky, placky, modifikovaný škrob



Obrázek 6: Schéma extrudéru pracujícího s horkou extruzí (Šárka et al., 2013).

3.5.1 Využití extruze v jednotlivých oblastech

Extruze se využívá v mnoha oblastech spadajících do potravinářství a krmivářství. Jedná se například o cukrovinkářský průmysl, cereální průmysl, nebo se využívá ve výrobě suchých sójových výrobků, výrobě krmiv, masných a rybích extrudátů. Dále je využívána k tepelné úpravě sójových bobů před lisováním, při chemické modifikaci škrobů nebo jejich mírné hydrolyze, kdy extrudér pracuje jako chemický reaktor. Extruze je používána i k výrobě pufované zeleniny do instantních polévek, či k následnému využití vedlejších produktů potravinářské technologie – např. řepných řízků nebo B-škrobu k výrobě bioplastů. Využití lze i při zpracování chmele (Fellows, 2000; Šárka et al., 2013).

3.5.2 Suroviny používané při extruzi potravin

Mezi základní skupiny surovin používaných se pro extruzi patří:

- látky vytvářející strukturu: mouky, škroby, proteiny (základní složka),
- látky vytvářející disperzní fázi v hlavní struktuře: proteiny, vláknina (plniva),
- plastifikátory a maziva: voda, olej, emulgátory,
- látky ovlivňující chuť: sůl, cukr, slad, koření, maltodextrin, aroma,

- nukleační činidla zvyšující počet bublin v extrudátech (jemnější textura): prášek do pečiva, křída, otruby,
- barviva a jejich prekurzory: sušené mléko, redukující cukry, proteiny, přírodní a syntetická barviva (Frame, 1995).

Proteiny se zpracovávají hlavně při výrobě sójových extrudátů nebo při termické modifikaci lepku, kdy v průběhu procesu dochází k denaturaci bílkovin. Významnější složkou při uplatnění extruze v cereálních a cukrovinkářských výrobcích je škrob. Vhodnou modifikací (tepelnou, chemickou či z geneticky upravených rostlin) lze uzpůsobit funkční vlastnosti tohoto biopolymeru pro daný potravinářský produkt, např. viskozitu nebo teplotu mazovatění (Pichler et al., 2012). Škroby z amylokukuřice (Frame, 1995) nebo vysoce zesítěné škroby (Daniel et al., 2008) mají vyšší teplotu mazovatění než nativní škroby, takže se může stát, že projdou procesem nezmazovatělé, tedy ve formě škrobových zrn. V takovém případě mají pak roli plniva, podobně jako proteiny, a snižují tak viskozitu disperze v extrudéru (Jane et al., 1999; Song and Jane, 2000).

Naproti tomu u voskových odrůd obilovin přetrvává vyskytující se frakce rezistentního škrobu, která odolává běžně užívaným podmínkám při zpracování potravin. Částice vlákniny, pocházející obvykle z vnějších vrstev obilného zrna, si sice při procesu ponechávají svůj původní tvar a velikost, ale zásadně ovlivňují tvar finálního produktu. Významný vliv mají i na expanzi páry a na texturu výrobku, pokud převyšují obsah 2–3 %. Při extruzním procesu je důležité pracovat se správnou, dostatečně velkou velikostí částic u jednotlivých surovin (Faraj et al., 2004; Gay, 1992).

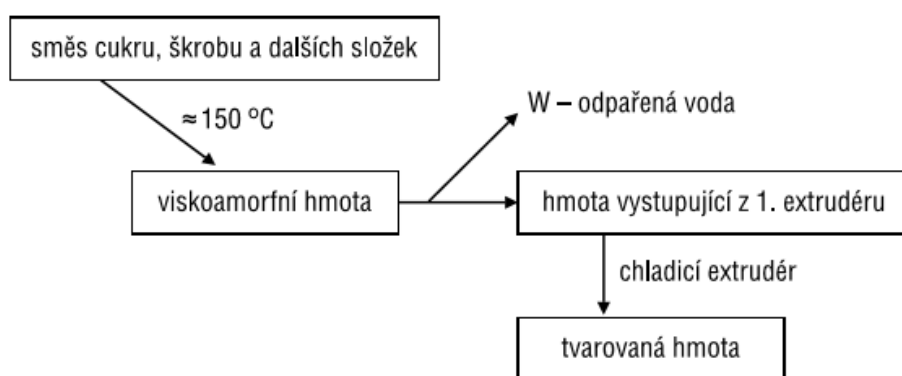
3.5.3 Cukrovinkářská technologie a příklady výrobků vzniklých extruzí

Metodou extruze se u cukrovinkářské aplikace vyrábějí např. žvýkačky, karamely typu „toffee“, lékořicové cukrovinky, želé, kandyty, likérové cukrovinky, komprimáty, pasty, náplně, extrudované ovocné dřeně a čokoláda. Hlavními složkami zpracovávané hmoty jsou škrobové sirupy, cukr, barviva a aroma, v případě čokolády i čokoládová hmota. Hmota po extruzi vykazuje nejčastěji gumovitý nebo sklovitý charakter. Obvykle při procesu u cukrovinkářské technologii nedochází k expanzi páry po průchodu dýzou (Frame, 1995; Huber, 1984).

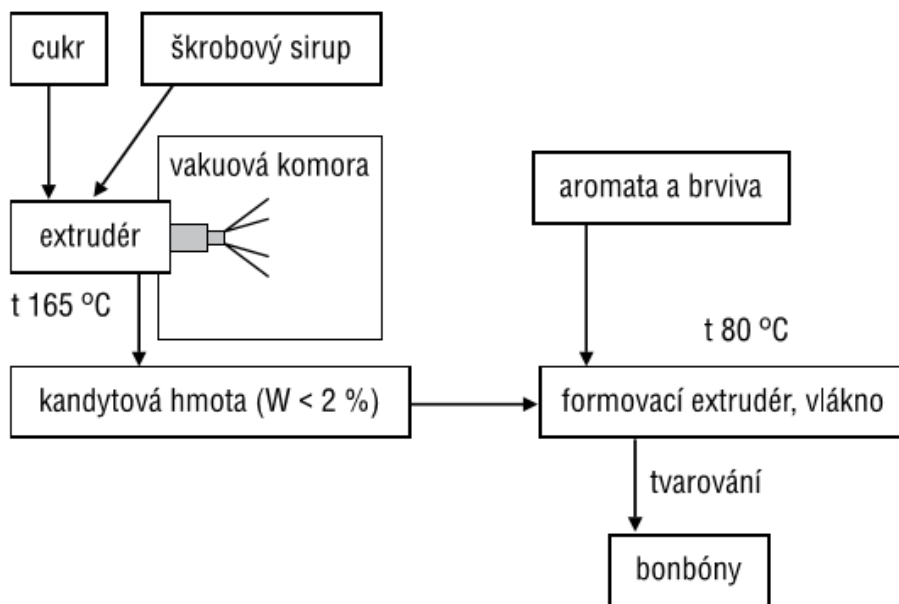
Konkrétně u žvýkaček se využívá enkapsulace aromatických látek v povrchově aktivní gumové fázi. Tyto látky jsou pak při konzumaci postupně uvolňovány. Extruzní proces začíná

při 70 °C, poté následuje intenzivní hnětení při teplotě 48 °C a tlaku 20 barů (= cca 2 MPa). Výhodou extruze je lepší rozdělení aromatických látek, atraktivnější a trvalejší chuťový vjem, větší elasticita žvýkačky, menší lepivost. Výhody extrusního procesu spočívají i ve vyšší výtěžnosti provozu, delší životnosti používaného zařízení, úspoře energie a další. Rezistentní aromatické látky jsou dávkovány již na vstupu do extrudéru, aby byla dosažena efektivní dispergace (rozptýlení látek), a aby došlo k důkladnému spojení hmot a výrobek tak způsoboval dlouhotrvající chuťový vjem (Frame, 1995).

Při výrobě lékořicových cukrovinek a karamel typu „toffee“ se využívá kombinace extruzního vaření a tvarování. Mezi ingredience pro výrobu lékořicových cukrovinek patří mouka, melasa, škrobový sirup, želatina a karborafin (Šárka, 2012; Šárka et al., 2013). Ingredience jsou smíchány v periodicky pracující míchané nádobě nebo jsou současně přidávány do vstupu extrudéru. Schéma uspořádání extruzního procesu lze vidět na obrázku 7. Podle Frameho (1995) se při extruzi lékořicové hmoty pracuje při 160 °C, 14 barech (= cca 1,4 MPa), následuje odplynění a postupné chlazení na 100 °C, při kterém se tlak zvyšuje z 6,5 bar na 28 bar (= cca 2,8 MPa). Na obrázku č. 8 je schéma výroby kandytů s využitím extruze, u které je dosaženo významné energetické úspory oproti klasické technologii. Téměř shodným způsobem se vyrábějí i cukrovinky „hard toffee“. Oproti klasické technologii je odstraněn složitý systém odpařování za zvýšeného a sníženého tlaku (Huber, 1984; Šárka, 2012).



Obrázek 7: Příklad možného uspořádání technologie lékořicových cukrovinek (Huber, 1984).



Obrázek 8: Upořádání technologie kandytů (Huber, 1984).

Při výrobě náplní, past apod. se vyžaduje kvalitní emulgace pevné a kapalné fáze, přičemž při rychlém ochlazení dochází ke vzniku velkého počtu malých krystalů. Používá se varný extrudér, ve kterém jsou odpařeny koncentrované roztoky a jeho součástí jsou vstřikovací otvory na přídavek tekutých tuků, roztoků horké želatiny, glycerolu či sorbitolu. Výhodou oproti klasické technologii je to, že nevznikají obvyklé škráloupy na povrchu účinkem škrobu. Další výhodou je, že krátká doba zdržení v extrudéru zamezuje reakcím hnědnutí a inverzi sacharózy (Frame, 1995).

3.5.4 Cereální technologie a příklady výrobků vzniklých extruzí

Příkladem cereálních výrobků vyráběných extruzí je například knäckebrot, tortilly nebo kukuřičné cereálie – mezi které se řadí: kukuřičné lupínky, kuličky („corn balls“), křupky, trubičky a pelety. Výrobky z kukuřičné krupice jsou vhodné pro lidi s celiakií (celoživotní onemocnění způsobené nesnášenlivostí lepku (glutenu). Výrobky mohou být fortifikovány dalšími nutričně zajímavými látkami, mezi které patří např. látky obsahující β -glukany nebo mouka z čínských sladkých brambor (Brennan et al., 2013; Chiu et al., 2012 Kadlec et al., 2012).

Základními složkami vstupní suroviny pro technologické zpracování jsou vybrané cereální šroty (někdy obohacené o škrob), dále sůl, voda a další přísady jako např. koření.

Textura výrobku má vzhled a vlastnost pevné pěny, jejíž nosnou kostrou je vláknina. Plastifikace je realizována zmazovatělym škrobem. Takto termicky modifikovaný škrob je tráven rychleji, i když jeho energetická (kalorická) hodnota se nijak neliší od nativních škrobů (s výjimkou rezistentních škrobů). Některé využívané cereální škroby, konkrétně z pšenice (*triticum*), ječmene (*hordeum*), žita (*secale*) a tritikále (*triticales*), tvoří ve srovnání s hlízovými škroby dva typy škrobových zrn – větší zrna, označovaná též jako A-škrob, a menší zrna B-škrob (Šárka a Bubník, 2010). Frakce pšeničného A-škrobu a B-škrobu mají rozdílné chemické a fyzikálně-chemické vlastnosti, proto také vykazují i odlišné chování při extruzi (Bohačenko, 2011).

Po extruzi je v extrudátu v porovnání se vstupní surovinou odhalen vyšší obsah rozpustné vlákniny, na druhé straně obsah nerozpustné vlákniny po procesu výrazně klesá. Při výrobě knäckebrotu extruzí se zpracovává pšeničná mouka, kukuřičný škrob, sušené mléko, cukr a voda. Při této extruzi se využívá vysokých hodnot teplot a tlaků, uvádí se až 120 – 140 °C a 78 – 83 barů (= cca 7,8 – 8,3 MPa). Po vytlačení meziprojektu následuje dopečení, při kterém se sníží obsah vlhkosti a docílí se hnědého zbarvení, které doprovází i příjemná chuť. V porovnání s klasickou technologií se dosahuje až 66 % úspory energie a 60 % úspory investičních nákladů (není potřeba velká pec apod.) (Fellows, 2000; Frame, 1995).

Kukuřičné extrudáty (křupky, snacky, crackery apod.) obsahují kromě vlákniny především zmazovatěly škrob, který je snadno stravitelný. Často jsou různě tvarované extrudáty ještě následně pečené, někdy i smaženy a potahovány různými směsmi obsahujícími např. sýr, čokoládu, koření apod. Tradičním extrudovaným výrobkem jsou také kukuřičné lupínky, které se využívají jako tzv. přesnídávkové (snídaňové) cereálie a jsou známé svou vysokou hodnotou glykemického indexu, proto je lepší konzumovat cereálie s mlékem, jogurtem apod., které jejich stravitelnost zbrzdí. Použití velkých částic kukuřičného šrotu pro výrobu určuje velikost finálního kukuřičného lupínku (Slater, 1984; Šárka et al., 2013).

3.5.5 Výhody extruzní technologie

Mezi výhody extruzní technologie patří:

- snížení materiálových nákladů (19,4 %), neboť může být použit šrot o libovolné velikosti částic,
- snížení spotřeby energie,
- snížení investičních (44 %) a mzdových nákladů (14,8 %),
- najetí výroby lupínků během několika minut,
- řízení kvality finálního produktu v úzkém rozmezí parametrů (rozměry, kvalita),

- flexibilita – snadná změna produktové specifikace,
- zrychlení (zkrácení doby zdržení) v technologii oproti klasické (Darrington, 1987; Slater, 1984).

Extrudované škroby nebo mouky mohou zlepšovat funkční vlastnosti při potravinářských aplikacích. A to zvláště u instantních potravin, protože přeměny škrobu (mezi které patří mazovatění, plastifikace a částečná degradace) mají přímý vliv na texturu finálního produktu (Zeng et al., 2011). Kromě klasických aplikací používaných u cereální extruzní technologie byly navrženy i některé netradiční – např. využití obilných klíčků jako fortifikující nutriční složky chleba. Jelikož jsou klíčky velmi citlivé na mikrobiální napadení a žluknutí, jsou zpracovány pomocí extruze s maximální teplotou 180 °C při krátké době zdržení (Gómez et al., 2012).

3.5.6 Vliv extruze na obsah SDS a RS v potravinách

Z nutričního hlediska je zajímavým typem škrobu SDS, jak už bylo zmíněno v přechozím textu (viz. kapitola: Fyziologické trávení škrobu; podkapitola: Stravitelné škroby). U cereálních výrobků má vliv na tvorbu SDS stupeň zmazovatění škrobu, který závisí právě na obsahu vlhkosti, době a teplotě procesu. Např. u sušenek, které mají velmi nízký obsah vlhkosti, je stupeň zmazovatění snížen, takže škrob obsahuje jak zmazovatělý škrob, tak i nedotčená škrobová zrna, což vede k vyššímu obsahu SDS v porovnání s běžnými pekařskými výrobky (K. N. Englyst et al., 2003). A právě pomocí extruze lze dosáhnout správného složení směsi obsahující otruby s nízkým obsahem vlhkosti (Reyes-Pérez et al., 2013).

Extruzní proces s cílem vyrobit RS nebo SDS z nativního škrobu vyžaduje obvykle zpracování při teplotách pod 100 °C při dostatečném tlaku. Dochází k vytvoření průhledného, křehkého, tvrdého a amorfního materiálu (Rein, 2003). Další možností pro výrobu RS a SDS je kombinace mechanického a tepelného namáhání při extruzi společně s průběhem vhodné chemické reakce. Rezistentní škrob se využívá jako aditivum do potravin, jehož cílem je již zmiňované zvýšení nutriční hodnoty. Extruze se v cereálním průmyslu využívá především k výrobě produktů s vysokým obsahem vlákniny, ve kterých dochází naopak ke zvýšení stravitelnosti škrobu (Shrestha et al., 2010).

3.5.7 Farmaceutické využití

Také ve farmaceutickém průmyslu je škrob běžně využívanou pomocnou látkou. Lze ho využít např. jako pojivo, plnivo či rozvolňovadlo. Je studován i jako pomocná látka v nových formulacích léků, kdy je hlavním cílem řízené uvolňování léčivé látky. I v tomto případě je nutná termická modifikace škrobu. Využívá se díky jeho dostupnosti, malých nákladech a schopnosti biologické rozložitelnosti v těle člověka. Ovšem má i své nevýhody, mezi které patří např. poměrně velká citlivost na vlhkost nebo jeho velmi rychlá rozpustnost s některými materiály. Podle použitých parametrů extruze se bude lišit výsledný profil léčivé látky z lékové formy. Pokud je extruze aplikována na nativní škroby za použití vyšších teplot, škrob přechází do disperze. To může být v některých aplikacích velmi zajímavé, jelikož pak biologická dostupnost obtížně rozpustných léků může být zvýšena. RS lze použít i jako filmotvornou látku či jako plnivo do pevných lékových forem, čímž se usměrní rozpad tablety do určité části v těle člověka a dojde k absorpci léčivé látky až v tlustém střevě. Naproti tomu SDS je hydrolyzován už v tenkém střevě, což umožňuje postupné uvolňování léčivé látky. Také horká extruze zde nachází své uplatnění při přípravě kulovitých granulí s řízenou dobou uvolňování. Mechanismus uvolňování léčiv za použití např. kukuřičného, hrachového a bramborového škrobu na bázi extruze byl primárně založen na bobtnání (Bialleck and Rein, 2012; Deveswaran et al., 2012; Kalivoda et al., 2012; Nagy et al., 2012; Sahoo and Rana, 2006).

4 Závěr

Podstatnou část bakalářské práce tvoří škrob z hlediska jeho rozdělení do jednotlivých frakcí a na základě toho i rozdílná charakteristika v rámci fyziologického trávení a vstřebávání v lidském těle. Škroby patří mezi sacharidy a jsou okamžitým zdrojem energie na rozdíl od lipidů, které jsou sice nejvydatnějším, ale i pomaleji dostupným zdrojem energie. Potraviny bohaté na škrob jsou především obiloviny. Právě proto u nich můžeme pozorovat velké množství vyšlechtěných odrůd, kdy jsou mutantní genotypy zaměřené buď na vysoký obsah amylozy nebo amylopektinu. Mezi obilovinami se na prvním žebříčku z hlediska produkce škrobu udržuje jednoznačně kukuřice. Velmi významné jsou i její mutantní genotypy: vysoce amyložní kukuřice a vosková (waxy) kukuřice, která obsahuje pouhé 1 % amylozy a zbytek tvoří amylopektin. Škroby se dělí na využitelné – stravitelné a nevyužitelné – nestravitelné. Obě dvě skupiny jsou obsaženy v běžně konzumovaných potravinách jako je chléb, rýže, cereálie, luštěniny apod. Do stravitelných škrobů se řadí pomalu a rychle stravitelné škroby (SDS a RDS). Z hlediska výživy jsou doporučovány hlavně pomalu stravitelné škroby, protože nevytváří takové výkyvy v hladině glukózy obsažené v krvi. U RDS, které úzce souvisí s vyšší hodnotou glykemického indexu se předpokládá, že zvyšují pravděpodobnost vzniku cukrovky (diabetes mellitus) a prediabetes, kardiovaskulárních chorob nebo obezity. Naopak pozitivní vliv na zdraví člověka mají potraviny s pomalu stravitelným škrobem, a tedy i nízkou glykemickou hodnotou. Tyto potraviny se doporučují konzumovat hlavně u diabetiků, ale i u zdravých osob, neboť tyto potraviny ovlivňují řadu fyziologicky prospěšných pochodů. Mezi tyto pozitivní vlivy patří například: lepší regulace metabolismu u osob s diabetem, ochrana proti kardiovaskulárním onemocněním, ochrana proti diabetes u geneticky citlivé populace, delší nasycenost, nižší karioenní potenciál apod. Na obsah SDS a RS má vliv i termická modifikace škrobu zvaná extruze. Například u cereálních výrobků má vliv na tvorbu SDS stupeň zmazovatění škrobu, který závisí hlavně na obsahu vlhkosti, době a teplotě procesu. A právě pomocí extruze lze dosáhnout správného složení směsi obsahující otruby s nízkým obsahem vlhkosti.

5 Seznam použité literatury

- Aylin, A. A. 2011. Effect of food processing on the resistant starch content of cereals and cereal products – a review. *International Journal of Food Science & Technology*. 46 (3). 455–462.
- Banks, W., Greenwood, C. T. 1975. *Starch and its components*. first edit. Edinburgh. Edinburgh University Press. p. 342. ISBN: 9780470047118.
- BeMiller, J., Whistler, R. 2009. *Starch Chemistry and Technology*. third edit. New York, USA. Academic Press. p. 894. ISBN: 9788578110796.
- BeMiller, J. N., Huber, K. C. 2012. Starch. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. 34 . 113–141. doi: doi:10.1002/14356007.a25_001.pub4.
- Bialleck, S., Rein, H. 2012. Drug release mechanisms of hot-melt extruded starch-based pellets. *Starch - Stärke*. 64 . 408–419.
- Björck, I., Asp, N.-G. 1994. Controlling the nutritional properties of starch in foods - a challenge to the food industry. *Trends in Food Science & Technology*. 5 (7). 213–218.
- Björck, I., Asp, N.-G. 1983. The effects of extrusion cooking on nutritional value — A literature review. *Journal of Food Engineering*. 2 (4). 281–308.
- Bohačenko, I. 2011. Distribuce velikosti škrobových zrn pšeničných škrobů průmyslově vyráběných v České republice. *Listy Cukrovarnické a Řepařské*. 127 (5–6). 197–200.
- Bradová, J., Štěrbová, L., Smrčková, P. 2015. Laboratorní hodnocení stravitelnosti sacharidů v potravinách a krmivech s možností predikce glykemického indexu. Praha. Výzkumný ústav rostlinné výroby. p. 31. ISBN: 9788074271915.
- Brennan, M. A., Derbyshire, E., Tiwari, B. K., Brennan, C. 2013. Integration of beta-glucan fibre rich fractions from barley and mushrooms to form healthy extruded snacks. *Plant*

- Foods Human Nutrition. 68 (1). 78–82.
- Buléon, A., Colonna, P., Planchot, V., Ball, S. 1998. Starch granules: Structure and biosynthesis. *International Journal of Biological Macromolecules*. 23 (2). 85–112.
- Butterworth, P. J., Warren F. J., Ellis, P. R. 2011. Human α -amylase and starch digestion: An interesting marriage. *Starch - Stärke*. 63 (7). 395–405.
- Byoung-Wook, K., Jung-In, K., Myo-Jeong, K., Cherl, K. J. 2008. Porcine Pancreatic α -Amylase Hydrolysis of Native Starch Granules as a Function of Granule Surface Area. *Biotechnology Progress*. 19 (4). 1162–1166.
- Daniel, J. R., Whistler, R. L., Elvers, B. 2008. Starch. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. 1 . 1–25.
- Darrington, H. 1987. A long-running cereal. *Food Manufacturer*. 62 (3). 47–48.
- Deveswaran, R., Sravya, M., Bharath, S., Basavaraj, B. V., Madhavan, V. 2012. Development of modified porous starch as a carrier to improve aqueous solubility. *Advances in Applied Science Research*. 3 . 162–170.
- Englyst, K. N., Englyst, H. N., Hudson, J. G., Cole, T. J., Cummings, J. H. 1999. Rapidly available glucose in foods: an in vitro measurement that reflects the glycemic response. *American Journal of Clinical Nutrition*. 69 . 448–454.
- Englyst, K. N., Vinoy, S., Englyst, H. N., Lang, V. 2003. Glycemic index of cereal products explained by their content of rapidly and slowly available glucose. *British Journal of Nutrition*. 89 . 329–339.
- Englyst, H. N., Hudson, G. J. 1996. The classification and measurement of dietary carbohydrates. *Food Chemistry*. 57 (1). 15–21.
- Englyst, H. N., Veenstra, J., Hudson, G. J. 1996. Measurement of rapidly available glucose (RAG) in plant foods: a potential in vitro predictor of the glycaemic response. *British*

- Journal of Nutrition. 75 (3). 327–337.
- Englyst, K. N., Vinoy, S., Englyst, H. N., Lang, V. 2003. Glycaemic index of cereal products explained by their content of rapidly and slowly available glucose. *British Journal of Nutrition*. 89 (3). 329–339.
- Faraj, A., Vasanthan, T., Hoover, R. 2004. The effect of extrusion cooking on resistant starch formation in waxy and regular barley flours. *Food Research International*. 37 (5). 517–525.
- Fellows, P. J. 2000. *Food processing technology - principles and practise*. 2nd ed. Boca Raton, Boston, New York, Washington DC. CRC Press. p. 575. ISBN: 0-8493-0887-9.
- Fořt, P. 2006. *Co (ještě) nevíte o výživě (i ve sportu) : doplněno ukázkovými recepty*. 2. vydání. Pardubice. Svět kulturistiky. p. 190. ISBN: 8086462226.
- Frame, N. D. 1995. *The technology of extrusion cooking*. London, Glasgow, New York, Tokyo, Melbourne, Madras. Blackie Academic Professional. p. 253. ISBN: 0-7514-0090-4.
- Fuentes-Zaragoza, E., Riquelme-Navarrete, M. J., Sánchez-Zapata, E., Pérez-Álvarez, J. A. 2010. Resistant starch as functional ingredient: A review. *Food Research International*. 43 (4). 931–942.
- Gay, R. C. E. 1992. The role of wheat bran in extrusion cooking. *Extrusion Communique*. 5 (2). 10–11.
- Gómez, M., Gonzales, J., Oliete, B. 2012. Effect of extruded wheat germ on dough rheology and bread quality. *Food and Bioprocess Technology*. 5 (6). 2409–2418.
- Guy, R. 2001. *Extrusion cooking: technologies and applications*. 1st ed. Cambridge. Woodhead publishing limited - CRC Press. p. 206. ISBN: 0-8493-1207-8.
- Hallaueer, A. R. 2000. *Speciality Corns*. second edi. South Miami Beach. CRC Press. p. 496. ISBN: 9780849323775.

- Haralampu, S. G. 2000. Resistant starch—a review of the physical properties and biological impact of RS3. *Carbohydrate Polymers*. 41 (3). 285–292.
- Hizukuri, S., Tabata, S., Kagoshima, Nikuni, Z. 1970. Studies on Starch Phosphate Part 1. Estimation of glucose-6-phosphate residues in starch and the presence of other bound phosphate(s). *Starch - Stärke*. 22 (10). 338–343.
- Hoover, R. 2001. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. *Carbohydrate Polymers*. 45 (3). 253–267.
- Hoover, R., Zhou, Y. 2003. In vitro and in vivo hydrolysis of legume starches by α -amylase and resistant starch formation in legumes—a review. *Carbohydrate Polymers*. 54 (4). 401–417.
- Huber, G. 1984. New Extrusion technology for confectionery products. *The Manufacturing Confectioner*. 64 (5). 51–54.
- Chiu, H. W., Peng, J. C., Tsai, S. J., Lui, W. B. 2012. Effect of extrusion processing on antioxidant activities of corn extrudates fortified with various Chinese yams (*Dioscorea* sp.). *Food Bioprocess Technology*. 5 (6). 2462–2473.
- Imeson, A. 1997. *Thickening and Gelling Agents for Food*. Second edi. Springer. p. 320. ISBN: 978-0834212961.
- Jane, J., Chen, Y. Y., Lee, L. F., Mcpherson, A. E., Wong, K. S., Radosavljevic, M., Kasemsuwan, T. 1999. Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch. *Cereal Chemistry*. 52 (5). 629–637.
- Julian, D. la R., Hui-Mei, L. A., Perla, O., Edith, A., R., H. B., Arturo, B. L. 2014. Influence of annealing flours from raw and pre-cooked plantain fruit on cooked starch digestion rates. *Starch - Stärke*. 67 (1–2). 139–146.
- Kadlec, P., Melzoch, K., Voldřich, M. 2012. *Technologie potravin - přehled tradičních potravinářských výrob*. Ostrava. Key Publishing s.r.o. p. 570. ISBN: 978-80-7418-145-0.

- Kalivoda, A., Fischbach, M., K. P. 2012. Application of mixtures of polymeric carriers for dissolution enhancement of fenofibrate using hot-melt extrusion. *International Journal of Pharmaceutics*. 429 (1–2). 58–68.
- Kerr, R. W. 1950. *Chemistry and Industry of Starch*. second edi. New York. Academic Press. p. 719. ISBN: 978-0124049505.
- Kleessen, B., Stoof, G., Proll, J., Schmiedl, D., Noack, J., Blaut, M. 1997. Feeding resistant starch affects fecal and cecal microflora and short-chain fatty acids in rats¹. *Journal of Animal Science*. 75 (9). 2453–2462.
- Knight, J. W. 1969. *The starch industry*. first edit. New York, USA. Pergamon Press. p. 189. ISBN: 0080130445.
- Kodet, J., Babor, K. 1991. *Modifikované škroby, dextriny a lepidla*. 1. vydání. Praha. SNTL. p. 338. ISBN: 80-03-00554-X.
- Kvasničková, A. 2000. *Sacharidy pro funkční potraviny, probiotika - prebiotika - symbiotika*. Praha. ÚZPI. p. 82. ISBN: 80-7271-001-X.
- Liljeberg, H., Åkerberg, A., Björck, I. 1996. Resistant starch formation in bread as influenced by choice of ingredients or baking conditions. *Food Chemistry*. 56 (4). 389–394.
- Lopez, H. W., Coudray, C., Bellanger, J., Levrat-Verny, M.-A., Demigne, C., Rayssiguier, Y., Remesy, C. 2000. Resistant starch improves mineral assimilation in rats adapted to a wheat bran diet. *Nutrition Research*. 20 (1). 141–155.
- Mann, J., Truswell, A. S. 2002. *Essentials of Human Nutrition, SECOND EDITION*. 2nd ed. New York. Oxford university press. p. 662. ISBN: 10987654321.
- Manners, D. J. 1989. Recent developments in our understanding of amylopectin structure. *Carbohydrate Polymers*. 11 (2). 87–112.
- Marshall, W. E., Wadsworth, J. 1993. *Rice Science and Technology*. 1st ed. New Orleans.

CRC Press. p. 486. ISBN: 9780824788872.

- Nagy, Z. K., Sauceau, M., Nyúl, K., Rodier, E., Vajna, B., Marosi, G., Fages, J. 2012. Use of supercritical CO₂-aided and conventional melt extrusion for enhancing the dissolution rate of an active pharmaceutical ingredient. *Polym. Adv. Technol.* 23 (5). 909–918.
- Nugent, A. P. 2005. Health properties of resistant starch. *Nutrition Bulletin.* 30 (1). 27–54.
- Perez, E., Bahnasey, Y. A., Breene, W. M. 1993. Some Chemical, Physical, and Functional Properties of Native and Modified Starches of *Amaranthus hypochondriacus* and *Amaranthus cruentus*. *Starch - Stärke.* 45 (6). 215–220.
- Pérez, S., Bertoft, E. 2010. The molecular structures of starch components and their contribution to the architecture of starch granules: A comprehensive review. *Starch/Stärke.* 62 (8). 389–420.
- Pichler, A., Pozderović, A., Pavlović, J. 2012. Influence of sugar, modified starches, and hydrocolloids additions on the rheological properties of raspberry cream filling. *Czech J. Food Sci.* 30 (3). 227–235.
- Rein, H. 2003. Starch extrusion as a new production method for slow release preparation. *Pharmaceutical Industry.* 65 (1). 69–75.
- Reyes-Pérez, F., Salazar-García, M. G., Romero-Baranzini, A. L., Islas-Rubio, A. R., Ramírez-Wrong, B. 2013. Estimated glycemic index and dietary fiber content of cookies elaborated with extruded wheat bran. *Plant Foods Human Nutrition.* 68 (1). 52–56.
- Riaz, M. N. 2000. *Extruders in food applications.* Boca Raton. CRC Press. p. 240. ISBN: 1-56676-779-2.
- Sahoo, P.K., Rana, P. K. 2006. Synthesis and biodegradability of starch-g-ethyl methacrylate/sodium acrylate/sodium silicate superabsorbing composite. *Journal of Materials Science.* 41 (19). 6470–6475.
- Sajilata, M. G., Singhal, R. S., Kulkarni, P. R. 2006. *Resistant Starch—A Review.*

Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 5 (1). 1–17.

- Santana, Á. L., Meireles, M. A. A. 2014. New Starches are the Trend for Industry Applications: A Review. *Food and Public Health*. 4 (5). 229–241.
- Sáyago-Ayerdi, S. G., Tovar, J., Blancas-Benítez, F. J., Bello-Pérez, L. A. 2011. Resistant starch in common starchy foods as an alternative to increase dietary fibre intake. *Journal of Food and Nutrition Research*. 50 (1). 1–12.
- Shibanuma, K., Takeda, Y., Hizukuri, S., Shibata, S. 1994. Molecular structures of some wheat starches. *Carbohydrate Polymers*. 25 (2). 111–116.
- Shrestha, A. K., NG, C. S., Lopez-Rubio, A., Blazek, J., Gilbert, E. P., Gidley, M. J. 2010. Enzyme resistance and structural organization in extruded high amylose maize starch. *Carbohydrate Polymers*. 80 (3). 699–710.
- Singh, J., Dartois, A., Kaur, L. 2010. Starch digestibility in food matrix: a review. *Trends in Food Science & Technology*. 21 (4). 168–180.
- Slater, G. 1984. Application of extrusion to the production of breakfast cereals. *Food Trade Rev*. 54 . 127–132.
- Song, Y., Jane, J. 2000. Characterization of barley starches from waxy, normal and high amylose varieties. *Carbohydrate Polymers*. 41 (4). 365–377.
- Šárka, E., Bubník, Z., Hlinkova, A., Gebler, J., Kadlec, P. 2013. Beet molasses - desugarization, composition, properties and application possibilities. *Zuckerind*. 138 (2). 105–114.
- Šárka, E., Bubník, Z. 2010. Morfologie, chemická struktura, vlastnosti a možnost využití pšeničného B-škrobu. *Chemicke Listy*. 104 (5). 318–325.
- Šárka, E., Čopíková, J., Smrčková, P. 2013. Extruzní proces v cereální a cukrovinkářské technologii. *Listy Cukrovarnické a Řepářské*. 129 (11). 350–354.

- Šárka, E. 2012. Vedlejší produkty cukrovarnického a škrobárenského průmyslu - vznik, využití a optimalizace parametrů. *Listy Cukrovarnické a Řepářské*. 128 (9–10). 307–312.
- Šárka, E., Smrčková, P., Seilerová, L. 2013. Rezistentní a pomalu stravitelný škrob. *Chemicke Listy*. 107 (12). 929–935.
- Takahashi, S., Maningat C. C., Seib, P. A. 1989. Acetylated and hydroxypropylated wheat starch: Paste and gel properties compared with modified maize and tapioca starches. *Cereal Chemistry*. 66 (6). 499–506.
- Tungland, B. C., Meyer, D. 2006. Nondigestible Oligo- and Polysaccharides (Dietary Fiber): Their Physiology and Role in Human Health and Food. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 1 (3). 90–109.
- Walton, R. P. 1928. A Comprehensive Survey of Starch Chemistry. *Chemical Catalog*. 1 . 235.
- Waterschoot, J., Gomand, S. V., Fierens, E., Delcour, J. A. 2014. Production, structure, physicochemical and functional properties of maize, cassava, wheat, potato and rice starches. *Starch/Staerke*. 67 (1–2). 14–29.
- Wrolstad, R. E. 2012. *Food Carbohydrate Chemistry*. 1st ed. Chichester. Wiley-Blackwell. p. 218. ISBN: 9780813826653.
- Wurzburg, O. B. 1986. *Modified Starches Properties and Uses*. first edit. Boca Raton. CRC Press. p. 288. ISBN: 978-0849359644.
- Yonekura, L., Suzuki, H. 2005. Effects of dietary zinc levels, phytic acid and resistant starch on zinc bioavailability in rats. *European Journal of Nutrition*. 44 (6). 384–391.
- Zeng, J., Gao, H., Li, G., Liang, X. 2011. Extruded corn flour changed the functionality behaviour of blends. *Czech Journal of Food Science*. 29 (5). 520–527.