

Mendelova univerzita v Brně
Agronomická fakulta

TECHNOLOGIE SACHARIDŮ

Luděk Hřivna

**Mendelova univerzita v Brně
Agronomická fakulta**

TECHNOLOGIE SACHARIDŮ

Doc. Dr. Ing. Luděk Hřivna

Brno 2014



esf evropský
sociální
fond v ČR



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



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

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

OBSAH

1 CHEMIE SACHARIDŮ	6
1.1 Struktura a názvosloví sacharidů	6
1.1.1 Monosacharidy	6
1.1.2 Cyklická struktura monosacharidů	10
1.2 Fyzikální a chemické vlastnosti sacharidů	11
1.2.1 Oxidační reakce	12
1.2.2 Redukce cukrů	13
1.2.3 Reakce v kyselém a zásaditém prostředí	14
1.3 Glykosidy	15
1.3.1 Estery a ethery	17
1.3.2 Další důležité deriváty cukrů	18
1.4 Důležité monosacharidy a jejich deriváty	19
1.4.1 Pentosy	19
1.4.2 Hexosy	19
1.5 Oligosacharidy	21
1.5.1 Důležité oligosacharidy	22
1.6 Polysacharidy	24
1.6.1 Význam, členění a názvosloví sacharidů	24
1.6.2 Charakteristika polysacharidů	25
1.6.3 Polysacharidy zásobní (využitelné)	26
1.6.4 Polysacharidy stavební (nevyužitelné)	28
1.6.5 Rostlinné gumy a slizy	32
1.6.6 Polysacharidy mořských řas	32
1.6.7 Mukopolysacharidy	33
2 BRAMBORY A VÝROBKY Z BRAMBOR	35
2.1 Původ, historie a význam brambor	35
2.2 Anatomická skladba bramborové hlízy	37
2.3 Chemické složení bramborové hlízy	38
2.4 Technologická kvalita brambor	44
2.4.1 Užitékové směry brambor a legislativní požadavky	46
2.4.2 Brambory pro přímý konzum	48
2.4.3 Brambory pro zpracování na potravinářské výrobky	50
2.5 Potravinářské výrobky z brambor	52
2.5.1 Základní technologické operace	52
2.5.2 Výrobky vlhké	54
2.5.3 Výrobky smažené	55
2.5.4 Výrobky předsmažené zmrazené	56
2.5.5 Sušené výrobky	57
2.5.6 Výrobky směsné	58
3 TECHNOLOGIE ŠKROBÁRENSTVÍ	59

3.1 Výroba škrobu z brambor	59
3.1.1 Doprava brambor k pračce, praní a vážení brambor	62
3.1.2 Strouhání brambor	62
3.1.3 Vypírání škrobu	63
3.1.4 Oddělení a rafinace škrobu	64
3.1.5 Předsoušení a sušení škrobu, vysévání a pytlování škrobu	64
3.2 Výroba pšeničného škrobu	65
3.2.1 Klasická technologie výroby pšeničného škrobu	65
3.2.2 Raisio proces získávání pšeničného škrobu	66
3.2.3 Tlakové systémy získávání škrobu	67
3.3 Výroba kukuřičného škrobu	70
3.4 Modifikované škroby	72
3.4.1 Chemicky modifikované škroby ve vodné suspenzi	73
3.4.2 Chemicky modifikované škroby ve vodném roztoku	74
3.4.3 Chemická modifikace škrobu v organických rozpouštědlech	74
3.4.4 Termicky modifikované a extrudované škroby	75
3.4.5 Nejčastěji vyráběné modifikované škroby	76
3.4.6 Hydrolyzáty škrobu	79
4 TECHNOLOGIE CUKROVARSTVÍ.....	81
4.1 Anatomická stavba, chemické složení a technologická jakost cukrovky.....	83
4.1.1 Anatomická stavba	83
4.1.2 Chemické složení.....	84
4.1.3 Technologická jakost cukrovky	87
4.2 Skladování cukrovky	88
4.3 Zpracování cukrovky po výrobu těžké šťávy	91
4.3.1 Doprava cukrovky do závodu.....	91
4.3.2 Praní a řezání cukrovky	93
4.3.3 Necukry řepné šťávy	98
4.3.4 Extraktory	99
4.3.5 Mikroorganismy při práci na difúzi	100
4.3.6 Čištění lehké šťávy	102
4.3.7 Výroba hašenky a saturačního plynu.....	104
4.3.8 Výroba těžké šťávy.....	106
4.4 Svařování cukrovin a krystalizace cukru.....	107
4.4.1 Svařování cukrovin.....	108
4.4.2 Ošetření cukrovin v krystalizátorech.....	111
4.4.3 Odstředování cukrovin.....	111
4.4.4 Surový cukr a melasa.....	112
4.4.5 Rafinace cukru	112
4.4.6 Výroba šťávného krystalu s jedním klérem	113
4.4.7 Sušení, chlazení, balení a skladování krystalového cukru	115
4.5 Výroba cukru z cukrové třtiny.....	117

5 TECHNOLOGIE VÝROBY ČOKOLÁDOVÝCH A NEČOKOLÁDOVÝCH CUKROVINEK.....	118
5.1 Suroviny cukrovinkářského průmyslu.....	118
5.1.1 Cukerné suroviny.....	118
5.1.2 Ostatní suroviny.....	119
5.2 Technologie výroby čokolády	122
5.2.1 Historie výroby čokolády	122
5.2.2 Základní suroviny	123
5.2.3 Druhy kakaových bobů.....	124
5.2.4 Botanická charakteristika	124
5.2.5 Úprava kakaových bobů	124
5.2.6 Výroba čokolády	126
5.2.7 Výroba kakaového prášku a kakaá	137
5.3 Technologie výroby nečokoládových cukrovinek.....	138
5.3.1 Cukrovinky s nevykrytalizovanými cukry	138
5.3.2 Cukrovinky s vykrytalizovanými cukry.....	150
6 POUŽITÁ LITERATURA:.....	156

1 CHEMIE SACHARIDŮ

Sacharidy jsou nejrozšířenější organické látky na naší planetě. V rostlinách jsou produkovány fotosyntézou, jako zvláštní zásobní látky (škrob), jsou důležitým zdrojem energie, v rostlinách plní funkce stavební a podpůrné a některé sacharidy vykazují vysoce specifické funkce (D-ribosa je součástí základního řetězce nukleových kyselin).

Podle chemického složení je to velmi pestrá skupina látek, řadí se sem mimo jiné také sloučeniny vzniklé ze sacharidů oxidačními, redukčními, substitučními a jinými reakcemi.

Podle počtu atomů uhlíku přítomných v molekule rozeznáváme triosy, tetrosy, pentosy, hexosy atd. Sacharidy se dělí podle počtu cukerných jednotek vázaných v molekule na monosacharidy, spojením 2 až 10 monosacharidů acetalovou (glykosidickou) vazbou vzniknou oligosacharidy, a sloučeniny s více jak 10 monosacharidy tvoří polysacharidy neboli glykany. Rozlišujeme také složené, konjugované nebo komplexní sacharidy.

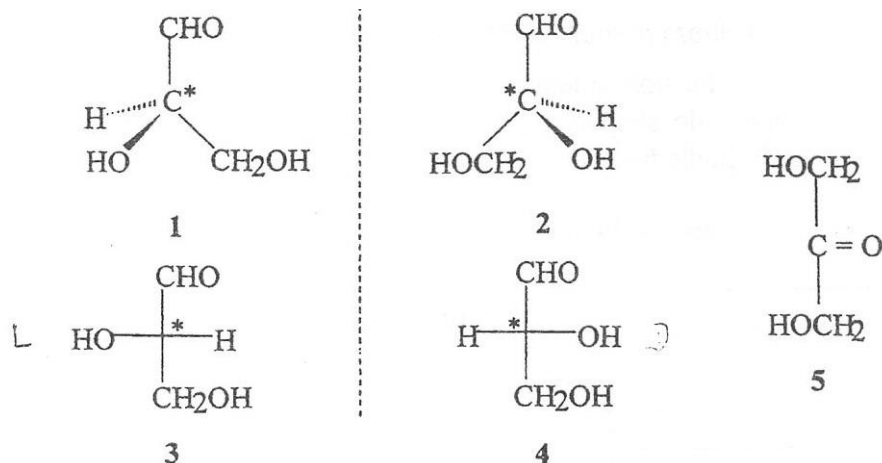
1.1 Struktura a názvosloví sacharidů

1.1.1 Monosacharidy

Monosacharidy, které jsou základními stavebními jednotkami vyšších sacharidů, jsou polyhydroxyaldehydy nebo polyhydroxyketony. V přírodě se vyskytují vesměs jako sloučeniny C₃ až C₆ (triosy až hexosy) a to především v cyklických strukturách s výjimkou trios, které jsou výhradně acyklickými látkami. S výjimkou dihydroxyacetonu jsou všechny monosacharidy opticky aktivní.

Za základ při řešení konfigurace cukrů byl zvolen glycerinaldehyd, nejjednodušší zástupce aldolů. U glycerinaldehydu je chirální centrum na uhlíku C₂ označené hvězdičkou (Obr. 1). Z obrázku je zřejmé, že se glycerinaldehyd, vzhledem ke svému chirálnímu uhlíku, může vyskytovat ve dvou nezaměnitelných optických formách (enantiomerech) 1 a 2. Nachází-li se hydroxylová skupina na chirálním uhlíku na pravé straně přímky, tvořené vazbami C₁-C₂-C₃, je konfigurace na tomto uhlíku označována jako D (jedná se tedy o D-glycerinaldehyd - vzorec 4 podle Fischerovy projekce), je-li tato skupina na levé straně, nazývá se produkt L-glycerinaldehyd (Obr. 1).

Označení D nebo L a optická otáčivost (tj. stáčení roviny polarizovaného světla) jsou pojmy na sobě nezávislé, D a L neurčují smysl rotace. Je-li třeba, označuje se skutečná otáčivost znaménkem (+) nebo (-), např. D- (+) glukosa.



Obr. 1: Dva možné enantiomery glyceraldehydu (1,2,3,4) a dihydroxyaceton (5)

Fischerova projekce umožňuje snadno pochopit vytvořené řady aldosa a ketosa. Aldosy se čtyřmi uhlíkovými atomy (tetrosy) obsahují 2 chirální uhlíkové atomy, a proto poskytují $2^2 = 4$ stereoizomery, které tvoří 2 enantiomerní páry, pentosy mají 3 chirální atomy, tedy se mohou vyskytovat ve $2^3 = 8$ stereoizomerech, z nichž 4 přísluší do řady D- a 4 do řady L-. Obecně platí: Je-li „n“ počet středů chiraloty, potom existuje 2^n jejich stereoizomerů a 2^{n-1} dvojic antipodů (enantiomerů). Platí ovšem za předpokladu, že žádný ze stereoizomerů nemá žádný prvek symetrie, jinak se počet stereoizomerů snižuje.

Rozdíly v polohách hydroxylových skupin v uhlíkovém řetězci stereoizomerů se vyznačují předponami (Tab. 1).

Tab. 1: Přehled konfiguračních předpon

<u>Triosy</u>	<u>glycero-</u>
<u>Tetrosy</u>	<u>erythro-, threo-</u>
<u>Pentosy</u>	<u>arabino-, lyxo-, ribo-, xylo-</u>
<u>Hexosy</u>	<u>allo-, altro-, galakto-, gluko-, gulo-, ido-, manno., talo-</u>

Podle triviálního názvosloví aldosa se k určité předponě připojí přípona -osa, tedy L-arabinsa, podle systematického názvosloví se k předponě připojí název vystihující počet uhlíků, tedy L-arabino-pentosa. Nejznámější hexosa glukosa má pak systematický název D-gluko-hexosa.

Ketosy při stejném počtu uhlíků mají o jeden chirální uhlík méně než aldosa. Podle systematického názvosloví se přítomnost ketonické skupiny vyjádří příponou -ulosa a před tuto koncovku se přiřadí kmen číslovky, vyjadřující počet všech uhlíků ketosa, takže

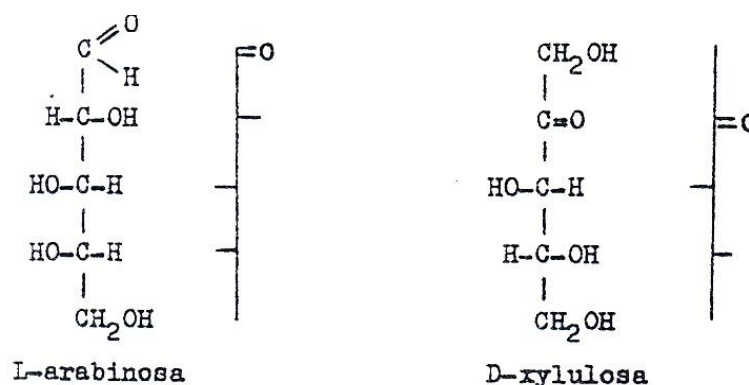
vznikne např. pentulosa, hexulosa apod. Aby bylo zřejmé, jaký skutečný sacharid daný název pojmenovává, umísťuje se před slovo vyjadřující celkový počet uhlíků předpona, která vyjadřuje počet chirálních uhlíků a konfiguraci na nich (Tab. 2).

Tab. 2: Přehled triviálních a systematických názvů hexulos

Triviální název	Systematický název
D-psikosa	D-ribo-2-hexulosa
D-fruktosa	D-arabino-2-hexulosa
D-sorbosa	D-xylo-hexulosa
D-tagatosa	D-lyxo-2-hexulosa

Dihydroxyaceton, který je nejjednodušší zástupce ketos, je opticky inaktivní, proto ve srovnání s aldosaми je počet ketos poloviční.

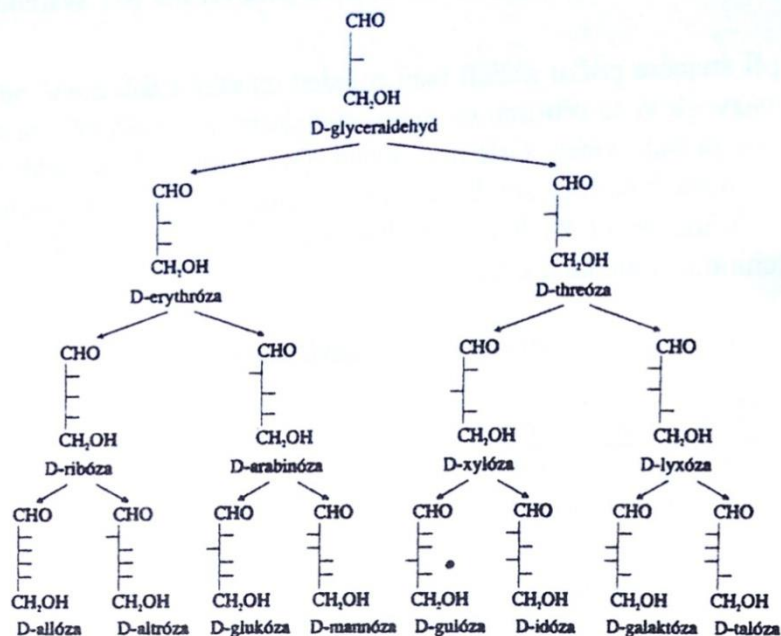
Pro psaní vzorců monosacharidů platí závazná stereochemická pravidla. Necyklické formy se strukturně zobrazují Fischerovými projekčními oxo-vzorci. Označování je vertikální, uhlíkatý skelet se čísluje shora dolů. Oxo-skupina se píše nahoru (aldehydická skupina na C₁, keto skupina na C₂). Strukturní vzorec se výhodně nahrazuje schématem, ve kterém jsou vyznačeny jen symboly oxo-skupin a polohy hydroxylů na asymetrických centrech (Obr. 2).



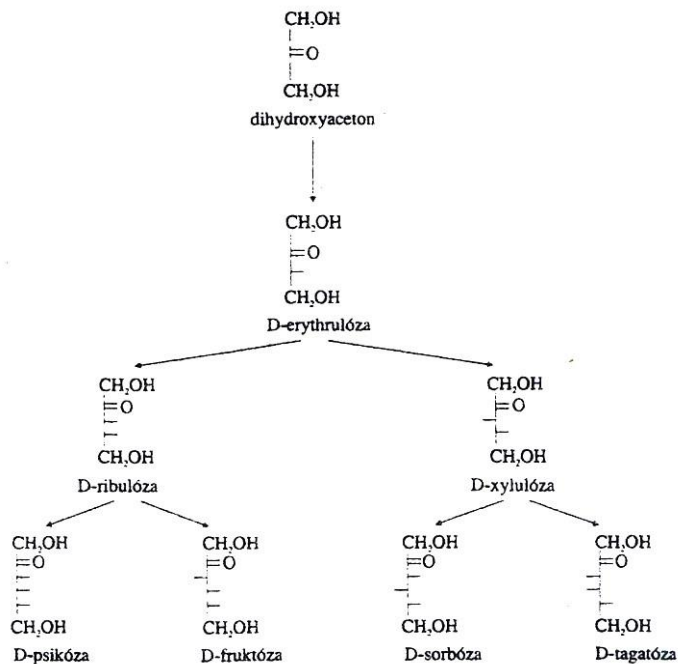
Obr. 2: Projekce vzorců necyklických monosacharidů

Cukry, které se od sebe liší konfigurací jen na jednom atomu C, se nazývají epimery. Např. glukosa a mannososa jsou epimery vzhledem k uspořádání na C₂, glukosa a galaktosa jsou epimery vzhledem k C₄.

Příslušnost k D- nebo L- řadě určuje orientaci skupiny OH na chirálním uhlíku s nejvyšším pořadovým číslem (předposlední uhlík). Tak rozlišujeme genetickou řadu aldosa a ketosa (Obr. 3 a 4).



Obr. 3: Genetická řada aldosa



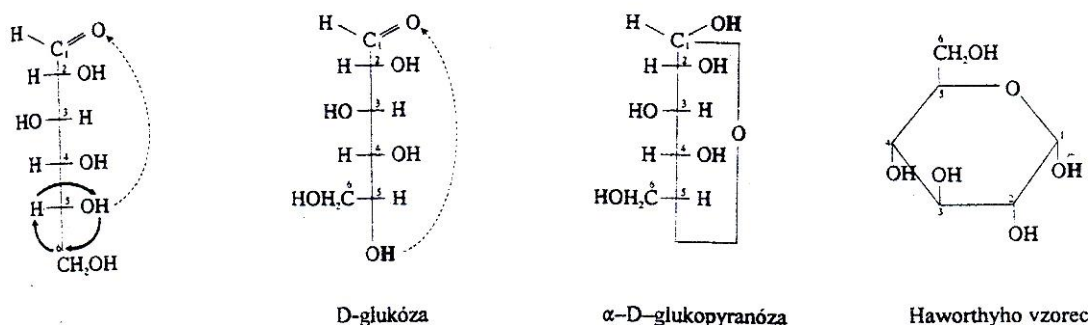
Obr. 4: Genetická řada ketosa

1.1.2 Cyklická struktura monosacharidů

Ze sacharidů vznikají spontánně intramolekulární adicí jedné z hydroxylových skupin téže aldosity (ketosy) na karbonylovou skupinu cukrů cyklické poloacetalu, které jsou energeticky výhodné. Přednostně se tvoří šestičlenný (pyranosový) kruh, případně může vzniknout pětičlenný (furanosový) nebo vyjimečně sedmičlenný (septanosový) cyklus.

Uzavřením poloacetalového cyklu se původně karbonylový uhlík změní na asymetrický a vzniká nové chirální centrum. Tím je dána možnost vzniku dvou stereoizomerů, tzv. **anomerů α a β** , které se odlišují konfigurací na poloacetalovém uhlíku. **Anomer α** má shodně orientován poloacetalový hydroxyl s hydroxylem určujícím příslušnost k řadě D nebo L, tzn., že poloacetalový hydroxyl je vázán napravo (Tollensův vzorec) popř. dolů (Haworthovo vzorec) u řady D, nalevo (popř. nahoru) u řady L. **Anomer β** je orientován opačně.

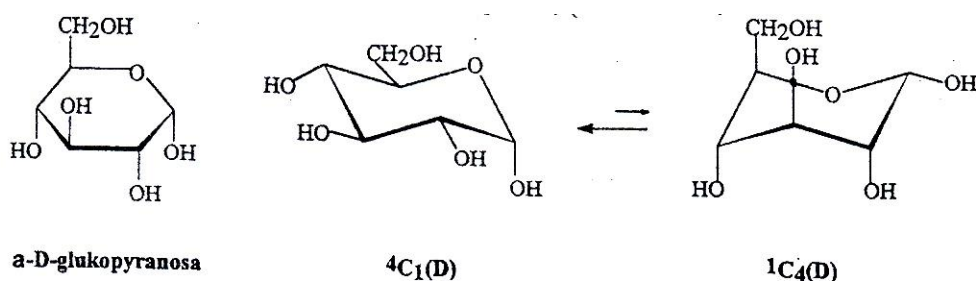
Dnes se již málo používané projekční vzorce furanos a pyranos podle Tollense nejčastěji nahrazují vzorci podle Hawortha (Obr. 5).



Obr. 5: Schéma převodu strukturních vzorců u D-glukosy

Při studiu prostorového uspořádání pyranosového kruhu monosacharidů se ukázalo, že pyranosový kruh zaujímá takové prostorové uspořádání, čili konformaci, kdy kyslíkový atom a uhlíkové atomy číslo 2, 3 a 5 jsou v jedné rovině a zbývající dva atomy (C₁ a C₄) ční nad, resp. pod tuto rovinu. Tato konformace se nazývá podle svého tvaru **židličková** (C od ang. výrazu chair) a existuje ve dvou formách ⁴C₁ a ¹C₄ (Obr. 6).

Konformační vzorce jsou používány k podrobnějším studiím, pro běžné zápisy jsou méně praktické. Fischerovy projekce acyklických (oxo-) sacharidů a Haworthovy projekce poloacetalových cyklů umožňují spolehlivé rozlišení všech tvarů, kterých je v intervalu C₃ až C₆ značné množství.



Obr. 6: Dvě židličkové konformace α -D-glukopyranosy

Volné monosacharidy jsou většinou krystalické látky sladké chuti, dobře rozpustné ve vodě. V krystalickém stavu existují výhradně v cyklických strukturách tedy jako α nebo β -anomery. Po rozpuštění se ustaví po určité době rovnováha mezi α a β -anomery. Tento jev se nazývá **mutarotace**, což je ustavování rovnováhy mezi odlišnými strukturami, např. přeměna α -anomeru na β -anomer doprovázené změnou optické otáčivosti. Ustavení rovnováhy může trvat i několik desítek hodin. Např. specifická otáčivost čerstvě připraveného roztoku glukosy se v důsledku vysokého podílu α -anomeru pohybuje okolo $+113^\circ$, postupně ale klesá až na hodnotu $+52^\circ$, kdy se při $t = 20^\circ\text{C}$ vytvořila rovnováha mezi α a β anomery v poměru 33 % : 67 %. β -anomer je stálejší než α -anomer (poloacetalový hydroxyl je v ekvatoriální poloze židličkové konformace). **Mutarotace je důležitá při analytickém stanovení cukru (např. při polarimetrii), neboť může ovlivňovat naměřené hodnoty.** Na rychlost mutarotace a následné ustavení rovnováhy má vliv řada faktorů, jako je teplota, kyseliny a zejména hydroxidy, mutarotasa aj.), proto při stanovení obsahu cukrů je nezbytné dodržovat metodický postup.

1.2 Fyzikální a chemické vlastnosti sacharidů

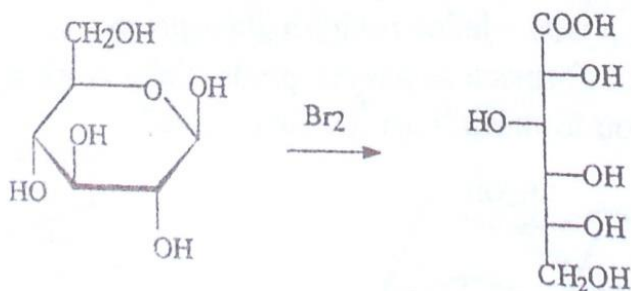
Monosacharidy a většina oligosacharidů jsou dobře rozpustné ve vodě a téměř nerozpustné v organických rozpouštědlech. Poněvadž obsahují chirální uhlíky, jsou opticky aktivní. Zahříváním dochází k rozkladu, tzv. karamelizaci, účinkem zředěných alkálií za normální teploty pak k izomeraci (např. D-glukosa izomeruje na D-mannosu a D-fruktosu). Při zahřívání s koncentrovanými alkáliemi vznikají hluboké destrukční změny.

Reakce monosacharidů probíhají na karbonylových a karboxylových skupinách. Aldosy a ketosy mají redukční účinky a tato jejich vlastnost je důležitá pro řadu analytických důkazů sacharidů. Často se používají důkazy, které spočívají v redukcí hydroxidů kovů, spojené s oxidací monosacharidů (např. redukce Fehlingova roztoku - dvojmocná měď a kvantitativní stanovení Cu_2O).

1.2.1 Oxidační reakce

Při oxidaci monosacharidů vznikají podle použitého činidla a reakčních podmínek různé oxidační produkty.

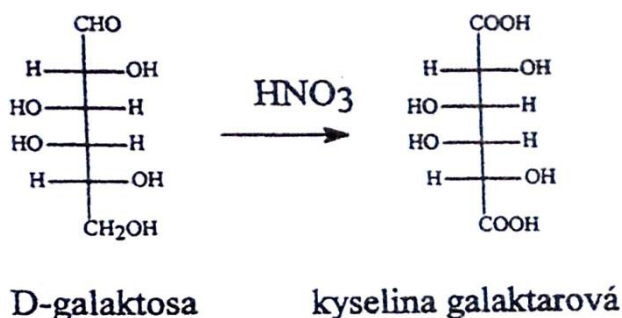
Mírnou oxidací aldós bromem na aldehydické skupině vznikají **aldonové kyseliny**. Mechanismus reakce není jednoznačný, avšak aldonové kyseliny jsou hlavním produktem. Oxidací D-glukosy vzniká D-glukonová kyselina (Obr. 7).



Obr. 7: Oxidace D-glukosy na D-glukonovou kyselinu

Reakce probíhá při konstantní teplotě od 20 do 80 °C, při pH 7 – 9 za přítomnosti práškového palladia jako katalyzátoru.

Působením silnějšího oxidovadla (HNO_3 , KMnO_4) na aldósy dochází k oxidaci jak aldehydické, tak primární alkoholické skupiny a vznikají **kyseliny aldarové**. Z D-galaktosy vzniká chirální galaktarová kyselina (slizová), která je poměrně málo rozpustná ve vodě (Obr. 8).



Obr. 8: Oxidace D-galaktosy na kyselinu D-galaktarovou

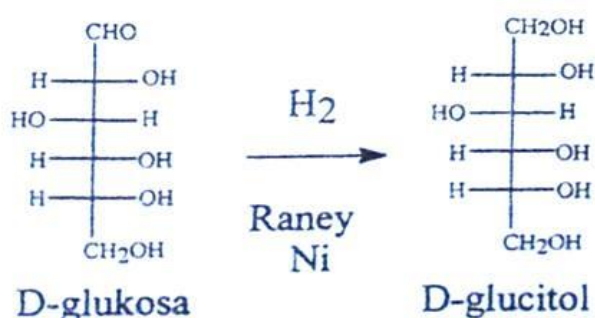
Z oxidačních produktů jsou biologicky nejdůležitější **alduronové (uronové)** kyseliny, jež lze odvodit od aldósů nahradou primární alkoholické skupiny karboxylem. Tyto uronové kyseliny jsou často součástí polysacharidů, např. kyselina D-galakturonová je základní

stavební jednotkou pektinu. Kyselina D-glukuronová se nalézá v krvi, moči a játrech, tvoří ethery a estery s jedovatými látkami, čímž je detoxikuje. V potravinách se cukerné kyseliny vyskytují zpravidla v souvislosti s enzymovými reakcemi, mohou vznikat při skladování a zpracování potravin, případně jako součást reakcí neenzymového hnědnutí. Za deriváty cukrů pak můžeme považovat řadu karboxylových kyselin (kyselina glycerová, mléčná, pyrohroznová, vinná, jablečná aj.).

1.2.2 Redukce cukrů

Redukcí nechráněné aldosa nebo ketosa vznikají polyfunkční alkoholy, tzv. alkoholické cukry, souborným názvem **alditoly**. Při tvorbě názvu se koncovka -osa výchozího cukru nahradí koncovkou -itol. Aldosa poskytují jeden alkoholický cukr, ale ketosa dva, protože redukcí keto-skupiny se uhlík C₂ stává asymetrickým. Z D-glukosa tak vzniká D-sorbitol, z D-fruktosa D-manitol a rovněž D-sorbitol. Alkoholické cukry jsou bezbarvé, sladké, krystalické látky, rozpustné ve vodě, neredukují.

V laboratorním měřítku se alditoly připravují z aldosa nebo ketosa, redukcí borohydridem sodným ve vodě nebo katalytickou hydrogenací za přítomnosti niklu (Obr. 9).



Obr. 9: Vznik D-glucitolu z D-glukosa

Nejjednodušším alditolem je glycerol, který tvoří složku lipidů, je také přítomen jako produkt kvašení vinného rmutu apod. Erythritol je součástí řas, bývá přítomen i ve vínu. D-arabinitol můžeme získat z lišejníků a hub, rybitol je součástí riboflavinu, D-arabinitol a xylitol se dá získat ze zeleniny, ovoce a hub. D-glucitol (sorbitol) ze zralých jeřabin, švestek a hrušek, D-manitol z třtinové melasy. Významným pentitolem je adonitol, součást riboflavinu. Poměrně významně jsou rozšířeny hexitoly, jako např. D-mannitol, D-glucitol a galaktitol. Vysoký obsah D-mannitolu je např. v houbách, celeru, zelené kávě a jeho vysoký obsah je rovněž spojen s ledovým vínem, kde se vyskytuje v důsledku napadení plísní šedou (*Botrytis cinerea*).

Z alicyklických alkoholických cukrů (cyklitolů) je důležitý myoinositol, který vázaný s kyselinou fosforečnou tvoří kyselinu fytoovou.

Alditoly se používají jako náhrada sacharosy, tedy jako umělá sladidla, při výrobě dietních potravin. Xylitol se mj. používá při výrobě žvýkaček pro jeho silně chladivý efekt, který vzniká v důsledku značného odběru tepla nutného pro jeho rozpouštění.

1.2.3 Reakce v kyselém a zásaditém prostředí

Reaktivita v kyselém nebo zásaditém prostředí je do značné míry závislá na chemických vlastnostech určitého sacharidu. Podle toho dochází ke specifickým změnám, jejichž prvním stádiem je enolizace.

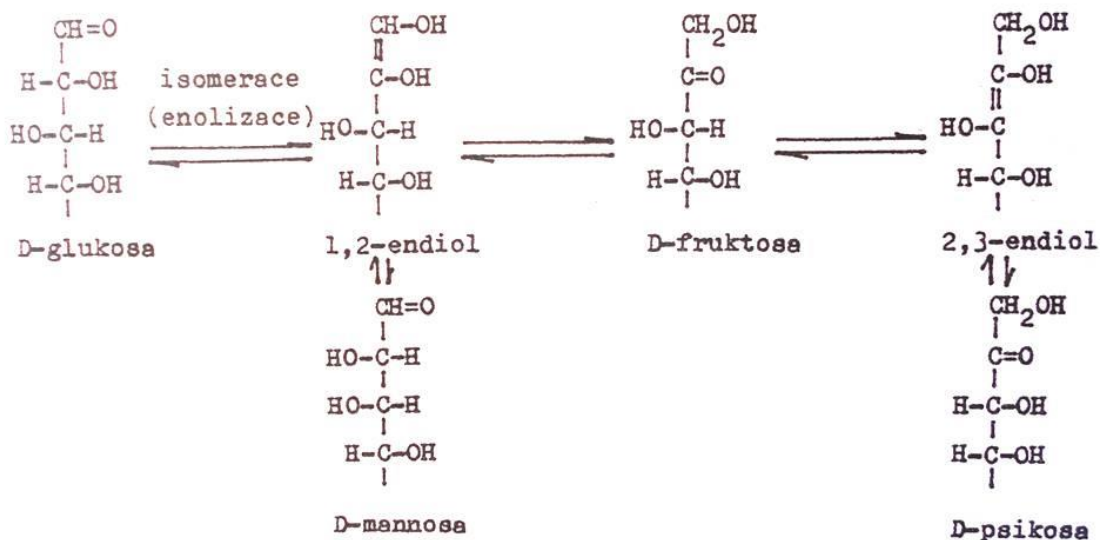
Kyseliny již v malé koncentraci katalyzují mutarotaci aldehydů a ketonů a hydrolyzu glykosidické vazby. Zahříváním dochází potom k odštěpení vody a k různým konformačním přesmykům. Oligosacharidy se působením zředěných kyselin a za vyšší teploty hydrolyzují.

Účinkem silných kyselin za vyšších teplot podléhají monosacharidy rozkladu a vznikají deriváty *furanu*. Z pentos vzniká 2-furaldehyd, z hexos postupnou izomerací a dehydratací 5-hydroxymetyl-2-furaldehyd, který se dále rozkládá na kyseliny levulovou a mravenčí. Jako reakční produkty se však také mohou objevit 2-acetyl-3-hydroxyfuran (*isomaltol*) nebo *maltol*, jež patří mezi aromatické látky a vytvářejí vůni pečeného chleba nebo karamelového pachu (Obr. 10).

Tyto sensoricky aktivní látky (aromatické a barevné) vznikají rovněž při termolýze (100 C i vyšší teploty) bezvodých cukrů nebo roztoků s vysokým obsahem sacharosy bez přítomnosti látek s aminoskupinou. Proces se označuje jako **karamelizace** a postupuje od dehydratace, štěpení molekuly (D-glyceraldehyd a dihydroxyaceton), vznik reduktonů až po vznik látek aromatických (maltol a isomaltol) a barevných (žlutých, hnědých až černých pigmentů) tzv. *melanoidinů*. Konečným produktem jsou hořké *humínové látky*. Cukerný kulér, amorfní hnědý materiál, karamel, obvykle v roztoku se používá na barvení poživatin.

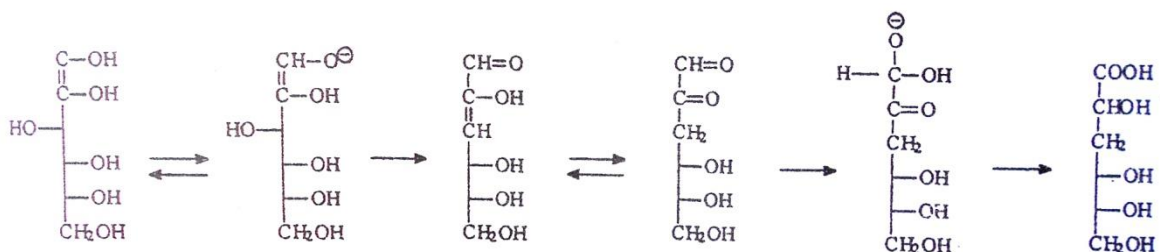
Obdobně v přítomnosti zásad se aldosa a ketosa velmi snadno enolizují a dochází k hlubokým změnám. Konečnými produkty těchto reakcí jsou především hydroxykyseliny, z nichž charakteristická je kyselina mléčná.

Výchozím krokem reakcí je izomerace a epimerace přes endiolové formy. Produktem izomerace např. u D-glukosy je D-fruktosa, enolizací však může z glukosy vznikat i manosa (epimer k D-glukose na uhlíku C₂) a pak další cukry. U enolů se vazba C=O ruší a dvojná vazba se posouvá mezi uhlíkaté atomy (Obr. 10).



Obr. 10: Izomerace D-glukosy v alkalickém prostředí

V závislosti na hodnotě pH, teplotě a přístupu vzduchu probíhá pak v alkalickém prostředí řada dějů, které vedou k molekulární degradaci cukru. Vznikají složky s menším počtem uhlíkových atomů jako D-glyceraldehyd, dihydroxyaceton (podobně jako u termolýzy), které vstupují do dalších reakcí, jejichž výsledkem je např. D- a L-kyselina mléčná. Kromě toho se v reakční směsi objevují přesmykem kyseliny cukrové (kyselina metacukrová a izomery kyselina izocukrová a cukrová) (Obr. 11).



Obr. 11. Vznik metacukrové kyseliny

K uvedeným pochodům (rozklad monosacharidů) dochází v praxi při epuraci difúzní šťávy v cukrovaru.

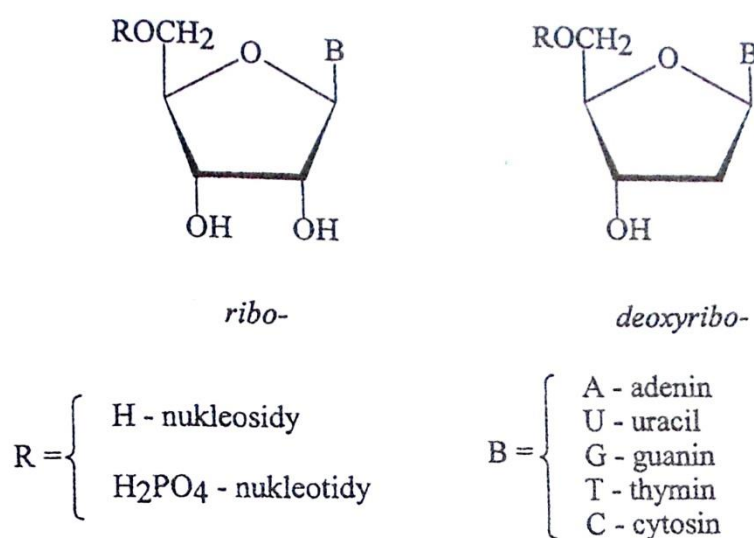
1.3 Glykosidy

Reakcí poloacetalové hydroxylové skupiny cukru s hydroxysloučeninami vznikají **glykosidy** neboli **O-glykosidy**. Glykosidy odvozené od glukosy jsou glukosidy, od mannosy mannosidy apod. Necukerná část molekuly glykosidu se nazývá **aglykon** a pak se jedná o **heteroglykosid**. Pokud je reagující hydroxyskupinou jiný cukr, vzniká **homoglykosid**.

Homoglykosidy jsou oligosacharidy a polysacharidy. V potravinách se mohou vyskytovat i S-glykosidy, N-glykosidy (Obr. 12).

Rozmanitost glykosidů je názornou ukázkou, jak velké množství biologických látek je tvořeno za spoluúčasti cukrů. Flavon a jeho deriváty jsou aglykonem flavonových glykosidů, častých rostlinných barviv, glykosidy jsou i antokyaninová barviva. V lékařství se využívají steroidní glykosidy, ovlivňují činnost srdce (digoxin, lanatosid), steroidní aglykon mají i saponiny, které jsou silně jedovaté a mají i hemolytický účinek, mezi glykosidy třeba zařadit i některá antibiotika (streptomycin, erytromycin aj.).

Velmi časté jsou vazby cukrů a jejich derivátů na aminokyseliny v proteinech (glykoproteiny). Obvyklými hexosami glykoproteinů jsou fukosa, acetylglukosamin, galaktosa a manna. Na cukr se tak váže OH-skupinou threonin, serin, hydroxylysin a hydroxyprolin.



Obr. 12: Obecná struktura nukleosidů a nukleotidů

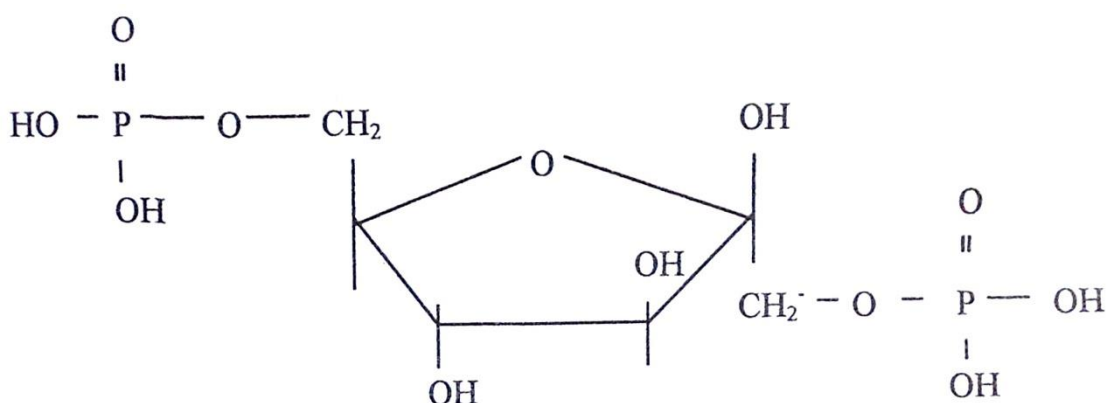
Na tvorbu glykosylaminů navazuje během mnohých potravinářských technologií řada reakcí, které se souborně nazývají **Maillardova reakce** nebo také neenzymové hnědnutí.

Díky Maillardově reakci získávají potravinářské produkty barvu a aroma např. při pečení chleba a pečiva, tepelné úpravě masa, pražení kávy a kakaových bobů. Zároveň však mohou vznikat pachutě nebo nežádoucí zbarvení (např. sušené mléko). Při odpařování koncentrovaných cukerných roztoků během cukrovarnické technologie vznikají také barevné produkty Maillardovy reakce, které jsou odseparovány během krystalizace sacharosy a hromadí se v melase.

Vlivem Maillardovy reakce avšak také dochází ke snížení nutriční hodnoty potravin, protože do reakce vstupují mimo redukujících cukrů volné aminokyseliny nebo bílkoviny. Mohou dokonce vznikat mutagenní heterocyklické aminy, které jsou ovšem nežádoucí.

1.3.1 Estery a ethery

Estery se vyskytují prakticky ve všech potravinách. Vznikají reakcí monosacharidů s kyselinami (organickými i anorganickými) náhradou vodíku v primární acetoxylové skupině na anomerním uhlíku C₁, která je reaktivnější nežli skupina sekundární. Velký biologický význam mají estery sacharidů s kyselinou fosforečnou a difosforečnou (Obr. 13), které vznikají tzv. fosforylací při jejich biochemických přeměnách (alkoholové kvašení) nebo jsou součástí různých nukleotidů (ADP-kyselina adenosindifosforečná).

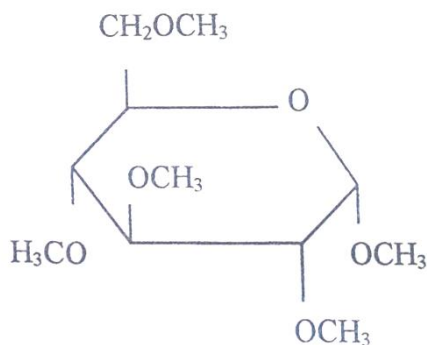


Obr. 13: P-D-fruktofuranosa-1,6-bisfosfát (Harden - Young - Ivanovův ester)

Praktický význam mají estery cukrů se sulfonovými kyselinami, které jsou stálé v alkalickém i kyselém prostředí. V potravinářství se uplatňují estery cukrů, zejména sacharosy a alditolů s vyššími mastnými kyselinami.

Ethery vznikají substitucí vodíku v hydroxylových skupinách cukrů alkyly nebo arily. Tyto reakce probíhají snadno, jestliže jsou OH skupiny ionizované, čehož se dosáhne působením silných zásad v rozpouštědlech jako je DMSO (dimetylsulfoxid). Metylací cukrů se získávají deriváty, které jsou stálé za vyšších teplot a těkavé. Metylace se využívá hojně k analytickým účelům, např. stanovení cukrů pomocí plynové chromatografie. Při organických syntézách se příliš neuplatňují, protože metylethery jsou velmi stálé a těžko se odstraňují. Je uveden příklad metylované glukosy (Obr. 14).

Ethery škrobu a celulosy se používají jako potravinářské hydrokoloidy. Ochranné funkce esterových a etherových derivátů u funkčních skupin cukrů, které nemají vstupovat do reakce, se hojně využívá v organických syntézách.



Obr. 14: 1, 2, 3, 4, 6-penta-O-metyl- α -D-glukopyranosa

1.3.2 Další důležité deriváty cukrů

Mezi další deriváty cukrů patří anhydrocukry, deoxycukry, halogenderiváty a aminocukry.

Anhydroderiváty cukrů vznikají intramolekulární kondenzací poloacetalové a některé další hydroxylové skupiny cukru, čímž vzniká etherová vazba. Anhydrocukry se vyskytují v přírodě, např. 3,6-anhydro- α -D-galaktopyranosa, jež je součástí polysacharidů (karagenanu) z mořských řas a 3,6-anhydro- α -L-galaktopyranosa, která je obsažena v agaru.

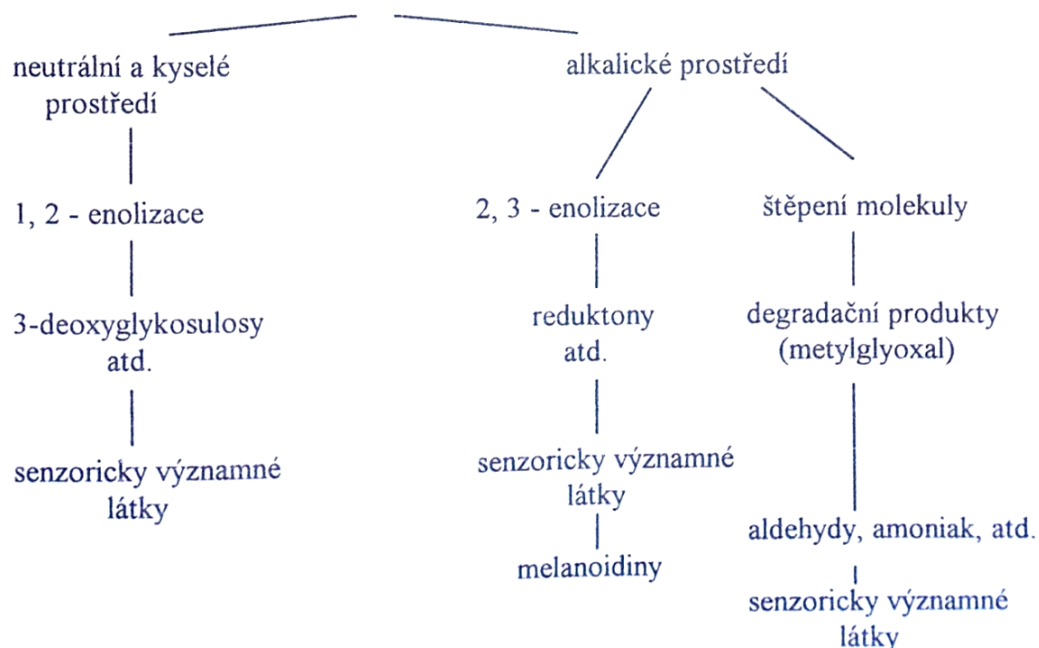
Deoxycukry jsou deriváty, v nichž jedna nebo více hydroxylových skupin (ne však poloacetalová) je nahrazena vodíkem. K významným přírodním deoxycukrům patří 2-deoxy-D-ribose, která tvoří základ řetězce deoxyribonukleové kyseliny. Deoxyhexosy, např. 2-deoxy-D-glukosa a L-rhamnosa jsou součástí srdečních glykosidů a saponinů.

Halogenderiváty se připravují substitucí derivátů cukrů halogenidy kovů. Některé se používají k diagnostickým účelům, např. 2-deoxy-2-fluor-D-glukosa se značeným fluorem se používá k diagnostice mozkových chorob. Chlorderiváty sacharosy jsou mnohonásobně sladší než sacharosa a k nim patří i sladidlo sukralosa.

Aminocukry vznikají substitucí hydroxylové skupiny, vyjma poloacetalové, aminoskupinou. V přírodě se nacházejí v polysacharidech, glykoproteidech a řadě antibiotik. Chitin např. obsahuje N-acetyl-glukosamin, což je derivát D-glukosaminu.

Reakce sacharidů (aldos, ketos i dalších karbonylových sloučenin) s aminokyselinami spolu s oxidačními reakcemi patří k nejrozšířenějším a nejvýznamnějším. Reakce s aminokyselinami (Maillardova reakce) s následnými pochody (fáze 1-3) vede ke vzniku sensoricky významných sloučenin (Obr. 15). Z reagujících aminosloučenin jsou nejvýznamnější bílkoviny, peptidy, aminokyseliny, aminy a amoniak.

1. fáze - vznik glykosylaminů
2. fáze - přesmyk glykosylaminů na aminodeoxycukry,
3. fáze - rozklad aminodeoxycukrů



Obr. 15: Obecný mechanismus reakce sacharidů s aminosloučeninami

1.4 Důležité monosacharidy a jejich deriváty

1.4.1 Pentosy

D-ribosa a **D-deoxyribosa** jsou součástí nukleových kyselin a biologicky významných nukleotidů a dinukleotidů.

D-ribulosa jako difosforečný ester je produktem fotosyntézy.

L-arabinosa a **D-xylosa** tvoří převážnou část hemicelulos a jiných rostlinných polysacharidů.

D-arabinosa je méně častá v přírodě než L-arabinosa, je součástí rostlinných gum.

D-xylosa je běžnou součástí polysacharidů dřeva (rostlinných slizů), s roztokem floroglucinolu v HCl dává červené zbarvení. Redukcí D-xylosy se získá **xylitol**, významné sladidlo, jež má obdobnou sladivost jako sacharosa.

1.4.2 Hexosy

D-glukosa je nejdůležitější monosacharid a nejrozšířenější cukr vůbec. Je známa pod pojmem **hroznový cukr** a **dextrosa**. V rostlinných a živočišných tkáních se vyskytuje volná i vázaná. D-glukosa je stavební jednotkou maltosy, sacharosy a laktosy

a je monomerem mnoha polysacharidů, např. škrobu, celulosy, β -glukanů a glykogenu. Je přítomna ve všech sladkých plodech, v lidské krvi je její koncentrace 0,06 – 0,1 %.

D-glukosa je základní cukr v metabolismu a zdroj energie rostlin a živočichů. V lékařství se používá v umělé výživě. Je důležitou surovinou mnoha potravinářských a farmaceutických produktů.

Redukcí D-glukosy se vyrábí **D-sorbitol**, nejpoužívanější sladidlo, používané k diabetickým účelům nebo k výrobě nízkenergetických potravin.

Zvláštním derivátem glukosy je tzv. **polydextrosa**, vynalezená v 60. letech v USA a v potravinách může být použita jako nekalorická náhrada sacharosy, částečně tuku a škrobu. Vyrábí se polymerizací směsi glukosy, sorbitolu a kyseliny citrónové.

Průmyslově se D-glukosa získává kyselou (enzymatickou) hydrolyzou škrobu.

D-mannosa je epimer glukosy na uhlíku C₂. V rostlinách se vyskytuje volná, častěji je vázána v polysacharidech mananech (manosanech). Lze ji získat kyselou hydrolyzou ze stěn kvasinek.

D-galaktosa vzniká štěpením mléčného cukru laktosy, kde se nachází spolu s D-glukosou. Je složkou hemicelulos, rostlinných slizů a glykoproteinů.

L-galaktosa je obsažena v polysacharidech agaru a některých rostlinných klovatinách.

D-fruktosa je další důležitý cukr, který se bohatě vyskytuje v přírodě. Jako volná je obsažena v ovoci a medu. Je součástí sacharosy, tvoří polysacharid inulin a je stavební jednotkou některých oligo- a polysacharidů. D-fruktosa se vyrábí hydrolyzou fruktanů nebo izolací z invertního cukru, je možno ji také vyrobit enzymovou izomerací z D-glukosy. Je silně levotočivá, dobře rozpustná ve vodě a je nejsladší z mono- i disacharidů.

L-sorbosa se nachází ve šťávě jeřabin. Průmyslově se vyrábí oxidací D-sorbitolu. Je meziproduktem při výrobě askorbové kyseliny.

L-rhamnosa, 6-deoxy-L-mannosa, je součástí některých glykosidů, rostlinných slizů, polysacharidů bakterií a mořských řas.

L-fukosa, 6-deoxy-L-galaktosa, je součást oligosacharidů lidského mléka a nejčastější hexosa glykoproteinů.

Mezi nejdůležitější **alditoly** odvozené od monosacharidů patří:

D-glycerol (C₃) - složka lipidů

D-ribitol (C₅) - součást riboflavinu

D-xylylitol (C₅), D-sorbitol (C₆), D-manitol (C₆) - umělá sladidla

1.5 Oligosacharidy

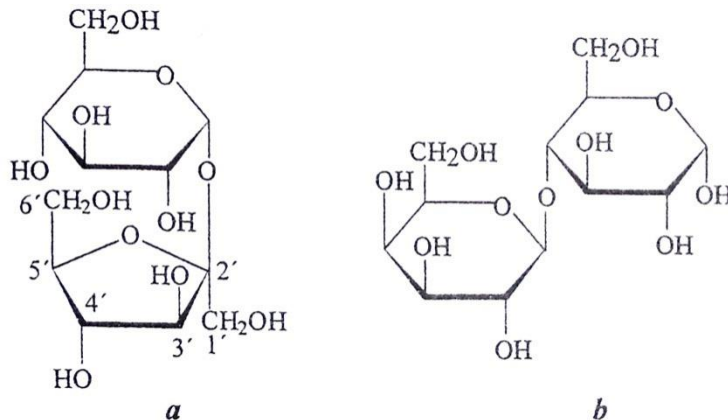
Oligosacharidy vznikají spojením 2 až 10 monosacharidů (disacharidy, trisacharidy, tetrasacharidy atd.). Spojení se děje O-glykosidickou vazbou, tj. etherovou vazbou mezi poloacetalovou hydroxylovou skupinou jedné molekuly monosacharidů s některou hydroxylovou skupinou jiné molekuly monosacharidů. Podle typu glykosidické vazby rozeznáváme sacharidy:

- a) **redukující**, které mají aspoň jednu poloacetalovou OH-skupinu volnou
- b) **neredukující**, pokud není žádná poloacetalová OH-skupina volná, když se vytvoří glykosidická vazba jen mezi poloacetalovými OH-skupinami.

Co se týče *názvosloví*, většina oligosacharidů vyskytujících se v přírodě má triviální název (celobiosa, laktosa, rafinosa, sacharosa).

Neredukující disacharidy jsou pokládány za glykosyl-glykosidy, takže sacharosa se potom nazývá β -D-fruktofuranosyl- α -D-glukopyranosid (Obr. 16).

Redukující disacharidy se nazývají glykosyl-glykosy, takže laktosa se nazývá *O*- β -D-galaktopyranosyl- α -(1 \rightarrow 4)D-glukopyranosa (Obr. 16).



Obr. 16: Haworthovy vzorce sacharosy a laktosy

Z uvedených příkladů je zřejmé, že systematický název oligosacharidů zahrnuje název jednotlivých sacharidů, přípony určující, zda se jedná o redukující nebo neredukující oligosacharid, rozpětí kruhu, příslušnost k D, L řadě, konfigurace anomeru α nebo β a konečně v závorce pořadová čísla uhlíků, mezi kterými probíhá glykosidická vazba.

Oligosacharidy se chemickou nebo enzymatickou hydrolyzou štěpí na jednoduché sacharidy. Charakteristickou vlastností mono- i oligosacharidů je jejich sladká chuť, proto se

uplatňují v potravinářství, přičemž porovnáním se standardem je sacharosa. Intenzitu sladkosti 5%-ních roztoků různých sacharidů uvádí Tab. 3.

Tab. 3: Porovnání intenzity sladkosti různých sacharidů

Sacharid	Sladkost v %
sacharosa	100
D-fruktosa	132
D-glukosa	56
D-sorbitol	55
D-galaktosa	40-60
D-maltosa	30-50
D-laktosa	20-30
rafinosa	15

1.5.1 Důležité oligosacharidy

Maltosa (sladový cukr, O- α -glukopyranosyl-(1 \rightarrow 4)-D-glukopyranosa) je redukující disacharid. Volný se nachází ve sladu, ve škrobovém sirupu, je stavební jednotkou škrobu, z něhož vzniká enzymatickou hydrolýzou α -amylasou. Maltosa je zkvasitelný cukr, roztoky maltosy jsou pravotočivé a jeví mutarotaci. Má velký význam v kvasných technologiích (pivovarství, lihovarství). Vyskytuje se zpravidla v malém, ale někdy ve značném množství ve většině potravin. V chlebovém těstě vzniká hydrolýzou škrobu. V poměrně velkém množství se maltosa vyskytuje v medu (2,7 – 16 %), dále v obilovinách a ovoci. Při enzymatické hydrolýze vzniká z amylopektinu kromě maltosy i **isomaltosa** (6-O- α -D-glukopyranosyl- α -D-glukopyranosa), a to na místech větvení škrobového řetězce.

Celobiosa (O- β -glukopyranosyl-(1 \rightarrow 4)-D-glukopyranosa) se volná nevyskytuje, tvoří však stavební jednotku celulosy, z které se připravuje částečnou hydrolýzou. Roztoky jsou pravotočivé a jeví mutarotaci.

Gentiobiosa (O- β -glukopyranosyl-(1 \rightarrow 6)-D-glukopyranosa) je redukující disacharid, který je součástí některých rostlinných materiálů, např. heteroglykosidů (amygdalin).

Laktosa (mléčný cukr, O- β -D-galaktopyranosyl-(1 \rightarrow 4)-D-glukopyranosa) je redukující cukr, který se nachází společně s dalšími oligosacharidy v mléce savců. Alkoholickému kvašení nepodléhá, roztoky jsou pravotočivé. Enzym β -galaktosidáza v trávicím traktu hydrolyzuje laktosu na glukosu a galaktosu. Osoby s nízkou hladinou tohoto enzymu mají po požití mléčných výrobků s laktosou zažívací potíže označované jako intolerance mléka.

Sacharosa (β -D-fruktofuranosyl- α -D-glukopyranosid) je nejznámějším disacharidem.

Vyskytuje se ve stoncích, listech a plodech mnoha rostlin. V ČR je hlavním průmyslovým zdrojem sacharosu cukrová řepa (*Beta vulgaris*), ve světě je to cukrová třtina (*Saccharum officinarum*) a místně a v menším měřítku i další druhy rostlin jako např. datlovník (*Phoenix dactylifera*), některé druhy palem a javor cukrodárný (*Acer saccharum*).

Sacharosa je velmi dobře rozpustná ve vodě, roztoky jsou pravotočivé ($[\alpha]_D = +66^\circ$) a nejeví mutarotaci, je zkvasitelná a neredukující. Krystaluje v jednoklonné soustavě a její bod tání se pohybuje mezi 182 až 192 °C. Sacharosa má zcela jedinečný význam jako surovina a složka mnohých potravin. Sacharosa dodává výrobkům pocit plné chuti a podporuje uvolňování aroma.

Po chemické stránce se sacharosa poměrně snadno hydrolyzuje na fruktosu a glukosu. Přitom dochází ke změně (inverzi) optické otáčivosti, neboť ve vzniklé směsi převládne větší levotočivost fruktosy nad pravotočivostí glukosy. Proto se hydrolyza sacharosu nazývá inverze a vzniklá směs tzv. invertní cukr. Hydrolyza sacharosu může být také katalyzována volným nebo imobilizovaným enzymem invertasou. Invertované sirupy s obsahem cukru kolem 80 % se používají při výrobě nealkoholických nápojů apod.

Sacharosa má v alkalické oblasti vlastnosti slabé kyseliny, což má velký význam v cukrovarnické technologii. Díky své disociaci sacharosa reaguje s hydroxidy za vzniku solí, sacharátů (monosacharát dobře rozpustný při nízkých koncentracích $\text{Ca}(\text{OH})_2$ a trisacharát špatně rozpustný při vyšším pH). Proto při snížení pH při saturaci na $\text{pH} = 8,5$ dochází k rozkladu sacharátů a sacharosa se opět uvolňuje do roztoku (šťávy). Při zahřívání bezvodé sacharosu nebo roztoku s vysokým obsahem sacharosu dochází ke karamelizaci.

Významné jsou estery sacharosu, z nichž oktoacetyléster má hořkou citrusovou chuť a pod názvem Amerin se přidává do nealkoholických nápojů, některé estery sacharosu vyvářejí ochranné filmy ve formě polopropustných membrán a uplatňují se při skladování ovoce (zpomalují zrání a prodlužují skladovatelnost).

Sladká chuť sacharosu je přičítána hydroxylylu na C_2 glukosy a hydroxylylu C_1 nebo C_3 fruktosy. Našla se řada derivátů několikanásobně sladších než původní sacharosa. Takové deriváty mají určité hydroxylové skupiny nahrazeny halogeny. V USA vyrábějí sladidlo s názvem *sukralosa*, jež je 650krát sladší než původní sacharosa a je povoleno v určitých státech přidávat do potravin a nápojů. Dále odvozený od sacharosu je *isomaltitol*, prodáváný pod obchodním názvem *palatinitol*, jehož relativní sladivost je 0,5, a používá se jako diabetické nízkokalorické sladidlo, které nepodporuje kazivost zubů.

Trehalosa (α -D-glukopyranosyl- α -D-glukopyranosid) je neredukující disacharid nacházející se v houbách a pryskyřicích.

Názvy trisacharidů a vyšších oligosacharidů se vytváří tak, že se do názvu vkládají v závorce šipkou označená čísla atomů uhlíků, mezi kterými se vytvořila O-glykosidická vazba. Redukující formy mají opět zakončení -osa, neredukující -sid. Např.

Celotriosa (O- α -D-galaktopyranosyl-(1 \rightarrow 4)-O- β -D-glukopyranosyl-(1 \rightarrow 4)- α -D-glukopyranosa.

Rafinosa (O- α -D-galaktopyranosyl-(1 \rightarrow 6)-O- α -D-glukopyranosyl-(1 \rightarrow 2)- β -D-fruktofiranosid. Trisacharid rafinosa je obsažena v řepě cukrové a přechází do šťávy, měrná otáčivost $[\alpha]_D^{20}$ je 123,2 °. Ovlivňuje tudíž negativně polarimetrický rozbor, protože zvyšuje celkovou optickou otáčivost roztoku a zdánlivě zvyšuje obsah sacharosy. Rafinosa je nejnižší člen řady tzv. flatulentních oligosacharidů (rafinosa, stachylosa, verbaskosa, ajugosa), které jsou obsaženy v luštěninách a jsou zdrojem zažívacích potíží.

1.6 Polysacharidy

Polysacharidy (glykany) se skládají z více než 10 monosacharidových jednotek a obsahují až několik tisíc případně stovek tisíc až milion strukturních (stavebních) jednotek spojených navzájem glykosidovými vazbami. Rozlišujeme homopolysacharidy (homoglykany), které jsou tvořeny pouze z molekul jedné látky a heteropolysacharidy (heteroglykany) složených z více různých molekul.

1.6.1 Význam, členění a názvosloví sacharidů

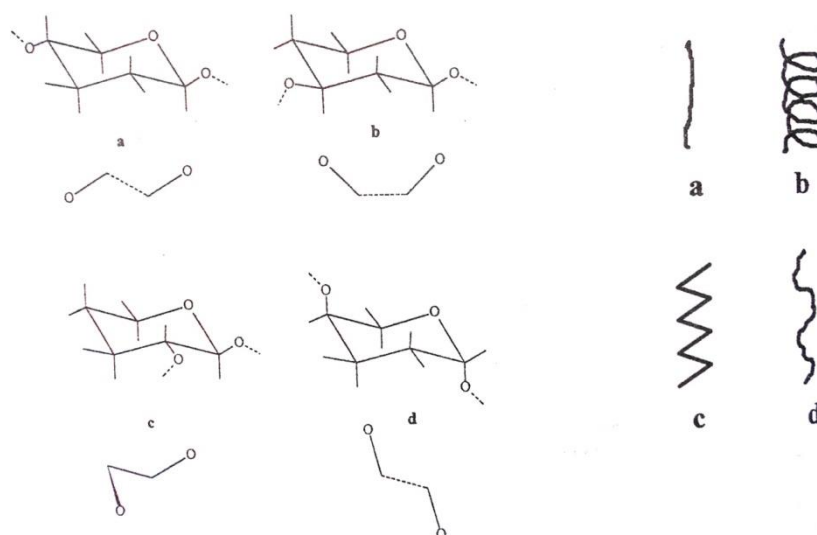
Zhruba 95 % biomasy, která vznikne ročně na Zemi je tvořena sacharidy. Asi 3 % využije člověk a zbytek podléhá přírodní recyklaci. Tato biomasa je v podstatě tvořena polysacharidy. Polysacharidy mají v rostlinách dvě úlohy, jednak mají stavební funkci, jednak slouží jako zásoba energie.

Polysacharidy jsou lokalizovány v různých částech živého organismu a mohou být extracelulární a endocelulární. Polysacharidy s biologickým významem se nacházejí většinou v cytoplasmě, zásobní polysacharidy, např. škrob je uložen v plastidech, zatímco neškrobové zásobní polysacharidy se nacházejí v rostlinných vakuolách.

Nejdůležitější stavební jednotky polysacharidů jsou hexosy D-glukosa, D-mannosa, D-galaktosa a D-fruktosa. Z pentos se v polysacharidech vyskytují L-arabinosa a D-xylosa a z deoxycukrů připadají v úvahu L-fukosa a L-rhamnosa.

Polysacharidy mohou být lineární s neredukujícím počátkem a redukujícím koncem. Dále potom existují polysacharidy větvené.

Z konformační analýzy vyplývá, že polysacharidy mohou být zařazeny podle typu vazby do čtyř skupin (Obr. 17). Polysacharidy konformační třídy **a** vytvářejí natažený pás. Vytvářet natažený pás mohou 1→4, β-glykany, jako je např. celulóza, chitin, mannan, a xylan. Jednoduchou šroubovici vytvářejí polysacharidy skupiny **b** s 1→4, α vazbou, typická je amyloza nebo polysacharidy s 1→3, β vazbou, což jsou např. β-glukany. Glukany skupiny **c** s vazbou 1→2, β-D vytvářejí cik cak pásku s velmi sníženou pohyblivostí. Konečně poslední typ **d**, zprohýbaný pás, vytvářejí polysacharidy, kde jednotlivé monosacharidy jsou vázány třemi typy vazeb, tak jak je tomu např. v 1→6, β-D-glukanech. Tato struktura **d** je proti struktuře **c** velmi flexibilní.



Obr. 17: Typy vazeb a tvorby řetězců v polysacharidech

1.6.2 Charakteristika polysacharidů

Monosacharidy nebo jejich deriváty, které se glykosidicky spojují (vazba poloacetalového hydroxylylu s hydroxylem alkoholickým) do větvených nebo nevětvených řetězců, jsou s výjimkou fruktosy pyranosové. Glykosidická vazba se v kyselém prostředí štěpí, za mírných podmínek vznikají příslušné oligosacharidy, při silné hydrolýze jde štěpení až na základní jednotky. Glykosidické štěpení lze provést též enzymaticky.

Častá jsou spojení jen jednoho druhu monosacharidu (škrob, celulóza). Ani nejsložitější polysacharidy nemívají více než čtyři různé monosacharidické stavební jednotky. Jde-li o polysacharid složený z pentos, hovoříme o pentosanech, polysacharidy složené z hexos nazýváme hexosany (glukosany, fruktosany apod.).

Vlastnosti polysacharidů závisí na druhu monosacharidů, způsobu jakým jsou jednotlivé monosacharidy spojeny (např. spojení α -(1→4) se snáze štěpí než spojení β -(1→4)) a stupni rozvětvení. Některé polysacharidy, zejména stavební např. celulóza, jsou pro velké množství intramolekulárních vodíkových můstků (které molekulu zpevňují) ve vodě nerozpustné i málo chemicky reaktivní. Naproti tomu zásobní polysacharidy, které mají málo vodíkových můstků, jsou částečně rozpustné nebo ve vodě bobtnají (škrob). Molekulová hmotnost polysacharidů je značně rozdílná a pohybuje se v intervalu 10^3 až 10^4 . Polysacharidy se obvykle rozdělují podle jejich funkce v živých organismech na:

zásobní (rezervní) - škrob, glykogen, inulin

stavební - celulóza, hemicelulózy, pektinové látky, rostlinné gemy a slizy

mající jiné funkce

Někdy se uvádí ještě jako samostatná skupina - mukopolysacharidy.

1.6.3 Polysacharidy zásobní (využitelné)

Škrob je typickým polysacharidem rostlinného původu. Je to pohotová zásoba glukosy. Ve formě škrobových granulí (zrn) charakteristického tvaru je uložen v různých částech rostlin. Jako zásobní látka se nachází v semenech (cereálie, luskoviny), v hlízách (brambory), v kořenech (tapioka, maniok aj.) a v nejrůznějších plodech. Ukládání glukosy získané fotosyntézou ve formě škrobu silně snižuje velké intracelulární osmotické tlaky, kterým by byly buňky jinak vystaveny. Většina nativních škrobů je směsí amylosy a amylopektinu.

Amylosa, která tvoří nevětvený řetězec glukos s vazbami α -(1→4), je polysacharid maltosového typu. Podle konformačního pohledu tvoří jednoduchou nebo dvojitou šroubovici, na jeden závit připadá šest glukosových jednotek. V omezené míře dochází k větvení asi na deseti místech molekuly. Amylosa je částečně esterifikovaná kyselinou fosforečnou, u obilných škrobů tvoří komplexy s lipidy. Molekula amylosy má jeden redukující zbytek monosacharidu. Molekulová hmotnost amylosy se pohybuje od 180 do 1000 kDa, je rozpustná ve vodě a jodem se barví modře.

U některých obilnin (kukuřice, ječmen, rýže) i jiných rostlin (brambory) byly vyšlechtěny odrůdy, v nichž převládá amylosa (jedná se o voskové odrůdy).

Amylopektin (který tvoří obvykle asi 80 % škrobového zrna) má silně větvenou molekulu. Skládá se z řetězců D-glukosových jednotek vázaných α -(1→4) vazbami, z nichž se po 10 – 100 (průměrně po 25) jednotkách odvětvují vazbou α -(1→6) postranní řetězce (isomaltosový článek). Vyjimečně se mohou vyskytovat také vazby α -(1→3). Asi na 400 glukosových jednotek připadá jeden zbytek esterifikovaný kyselinou fosforečnou. Větvení

molekuly zabraňuje vzniku šroubovité konformace a spirálovitě uspořádané části jsou zkrácené. To vede k horší barvitelnosti jodem (fialové až červenohnědé zbarvení). Molekulová hmotnost amylopektinu se pohybuje v rozmezí $10^6 - 10^8$ kDa, což je nejvyšší relativní molekulová hmotnost přírodního polymeru. Ve studené vodě je nerozpustný, v teplé vodě bobtná a přechází v opalizující roztok. Molekula amylopektinu má jeden redukující konec hlavního řetězce.

Vedle obvyklého poměru amylosa : amylopektin zhruba 20 : 80 byly vyšlechtěny např. odrůdy kukuřice s vysokým podílem amylopektinu (Waxy maize), což rozšiřuje možnosti použití a uplatnění škrobu.

Škrob a zejména jeho deriváty a výrobky ze škrobu mají široké uplatnění v potravinářství, farmacii, textilním a papírenském průmyslu, ale i ve stavebnictví, slévárenství a dalších technických odvětvích. Velké uplatnění mají zejména modifikované škroby (hydrolyzované, oxidované, substituované, termicky upravené aj.), kde se mění původní vlastnosti škrobu a vznikají vlastnosti nové. Škrob je lokalizován ve škrobových zrnech. Granule škrobu se liší v závislosti na rostlinném zdroji svojí ultrastrukturou. Mají ale společný model, jehož základem jsou radiálně uspořádané (směřující od středu na obvod) molekuly amylopektinu ve tvaru disku, v nichž jsou neredukující konce situovány ven z granulí a tvoří jejich povrch. V oblastech neredukujících konců a střední části řetězců se tvoří antiparalelní dvojité šroubovice s uspořádanou (krystalovou) trojrozměrnou strukturou. V oblastech větvení řetězců má amylopektin a doprovázející jej amylosa neuspořádanou amorfní strukturu. Krystalové a amorfní oblasti se pravidelně střídají. S molekulami amylopektinu jsou asociovány řetězce amylosy tvořící v jistých částech molekuly levotočivé šroubovice směřující neredukujícími konci na povrch granulí. Jsou lokalizovány především v amorfních zónách spolu s radiálně orientovanými molekulami lipidů, jejichž mastné kyseliny jsou vsunuty do helikálních částí amylos. V povrchových vrstvách granulí se vyskytují proteiny (tab. 4).

Dextriny jsou polysacharidy maltosového typu a vznikají částečnou degradací škrobu kyselinami, enzymy, ale i teplem, oxidačními činidly aj. Mají redukční vlastnosti, jsou rozpustné ve vodě. Používají se jako lepidla, v textilním průmyslu apod. Amylodextriny (30 – 35 D-glukosových jednotek) se jodem barví modře, erythrodextriny (8 až 12 D-glukosových jednotek) se jodem barví červeně, achrodextriny (méně než 8 D-glukosových jednotek) se jodem nebarví.

Inulin je rezervní polysacharid rostlin čeledi *Asteraceae*, patří mezi fruktany, stavební jednotkou je D-fruktofuranosa. Řetězec tvořený 30 – 40 molekulami fruktosy spojených

vazbou α -(1→2) je ukončen vázanou koncovou jednotkou D-glukosy. Snadno se hydrolyzuje, v teplé vodě se rozpouští na koloidní roztok. Neredukuje, jodem se nebarví. Vyskytuje se v hlízách a kořenech některých rostlin (topinambury, artyčok, čekanka, černý kořen). Používá se na výrobu D-fruktosy (fruktosové sirupy) a při výrobě kávových náhražek. V Evropě se inulin získává průmyslově z čekanky.

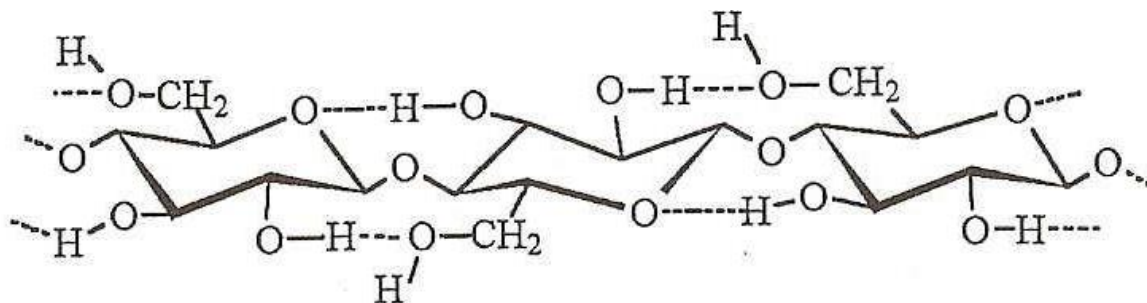
Glykogen patří mezi rezervní polysacharidy živočišného původu. Vyskytuje se hlavně v játrech a ve svalech. Jedná se o D-glukan, vazby α -(1→4).

Tab. 4: Obsah lipidů a proteinů ve škrobech

Druh škrobu	Obsah v %	
	lipidy	proteiny
Pšeničný	0,67 – 0,91	0,3
Kukuřičný	0,02 – 1,09	0,3
Fazolový	0,1	0,9
Hrachový	0,1	0,7
Bramborový	0,05	0,06
Kasavový	0,1	0,1

1.6.4 Polysacharidy stavební (nevyžitélné)

Celulosa je nejrozšířenější stavební polysacharid, je hlavní složkou buněčných stěn rostlin. Jedná se o polymer D-glukosových jednotek vázaných glykosidovými vazbami β -(1→4). Základní jednotkou celulosy je glukosa v konformaci C_1 , která je zapojena do řetězce vazbami (1→4)- β , čímž vzniká lineární plochý polymerní řetězec glukos, který je zpevněn intramolekulárními můstky mezi hydroxylovými skupinami na uhlíku C_3 a kyslíkem pyranosového cyklu a mezi hydroxyskupinami na C_2 a C_6 (Obr. 18):



Obr. 18: Celulosa

Makromolekuly celulosy vytváří celulosová vlákna nebo celulosové mikrofibrily. Mají tloušťku cca 10 – 20 nm, délku několik μ m a obsahují zhruba 30 – 100 makromolekul

celulosa. Celulosové fibrily jsou spojeny intermolekulárně vodíkovými můstky (Obr. 19). Toto uspořádání molekul dodává celulosovým vláknům pevnosti a elasticnosti, je příčinou nerozpustnosti celulosy ve vodě a rovněž její značné chemické inertnosti.

Celulosa je nerozpustná ve vodě, zředěných kyselinách a zásadách včetně většiny rozpouštědel. Po použití rozpouštědel bobtná. Rozpouští se v koncentrovaných kyselinách. Celulosa se štěpí komplexem celulolytických enzymů, které produkují různé mikroorganismy za vzniku glukooligosacharidů a disacharidu celobiosy. Hydrolýzou může vzniknout až β -D-glukosa. Z hlediska dietetického, celulosa jako složka potravní vlákniny (spolu s hemicelulosou, pektinovými látkami a ligninem), má ochranný vliv vůči kardiovaskulárním chorobám i nádorovým onemocněním. V trávicím systému člověka se nevyskytují enzymy štěpící celulosu, proto patří mezi nevyužitelné sacharidy. V bachoru přežvýkavců probíhá celulosové kvašení za tvorby oxidu uhličitého, metanu a monokarbonových kyselin.

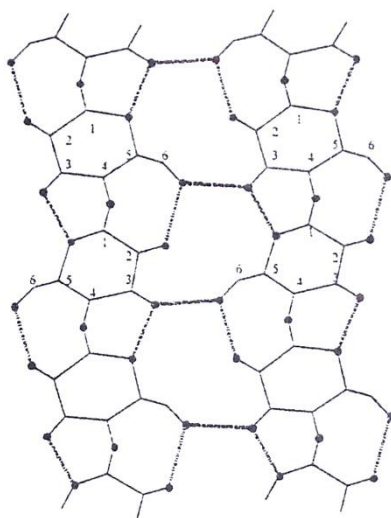
Přírodní celulosa je velmi často inkrustována organickými i anorganickými látkami (pentocelulosa, lignocelulosa aj.). Průmyslově se celulosa získává z bavlníkových semen, ze dřeva a slámy. Surová bavlna obsahuje 85 – 90 % celulosy, dřevo kolem 40 – 60 % a sláma asi 30 %. Zbytek připadá na ostatní polysacharidy, vosky, bílkoviny a lignin. Nativní celulosa se přidává do některých potravin jako nekalorické zahušřovadlo, k vyvolání zákalů a k výrobkům zpracovávaným extruzí.

Široké použití má velké množství **modifikovaných celulos**. Rozlišují se dvě hlavní skupiny:

- *hydrolyzované celulosy*
- *derivatizované celulosy*

Jediným reprezentantem hydrolyzovaných celulos je mikrokrytalická celulosa. Získává se parciální hydrolýzou celulosy kyselinou chlorovodíkovou. Používá se jako potravinářská vláknina, nízkoenergetické plnidlo, nosič aromatických látek, stabilizátor pěn nebo v extruzních technologiích.

Působením směsi kyseliny dusičné a sírové vznikají *estery, nitráty celulosy*, které při vyšším stupni esterifikace slouží jako výbušniny, při nižším stupni vzniká kolodium, používané k výrobě nitrolaků a celuloиду. Důležitý je *acetát celulosy*, jenž je podstatou acetátového hedvábí, nehořlavých filmových podložek a různého galanterního zboží. Z *etherů, celulosy* např. karboxymethylcelulosa a metylcelulosa mají velký význam v potravinářství jako zahušřující a stabilizační prostředek do zmrzlin, mléčných výrobků, nápojů apod. a rovněž ve farmaceutickém průmyslu do různých suspenzí, emulzí, past, plnidel do tablet apod.



Obr. 19: Schéma vodíkových vazeb v celuloze

Hemicelulosity se vyskytují spolu s celulosou v rostlinných tkáních. Jsou složené z různých monosacharidů (pentosy, hexosy) a jejich derivátů (kyselina D-glukuronová a D-galakturonová). Podle složení se rozdělují na:

pentosany (xylany, arabany)

hexosany (manany, glukany, fruktany)

Pentosany jsou hemicelulosity, vyskytující se v obilných zrnech a při tvorbě těsta po přidavku vody vstupují do interakcí s proteiny a škrobem. Jejich úloha je důležitá u žitného těsta, kde spolu s žitnými bílkovinami pomáhají vytvořit a udržet strukturu těsta.

Hlavní řetězec pentosanů je tvořen D-xylany s vazbami β -(1→4). Vedlejší řetězce bývají připojeny na uhlíku C₂ nebo C₃ a jsou tvořeny převážně L-arabinosou, někdy i D-galaktopyranosou. Arabinoxylany a arabinogalaktany tvoří s proteiny a kyselinou ferulovou síť, která pomáhá udržovat strukturu těsta, zadržuje vodu, což zpomaluje retrogradaci škrobu a tím prodlužuje čerstvost (trvanlivost) chleba.

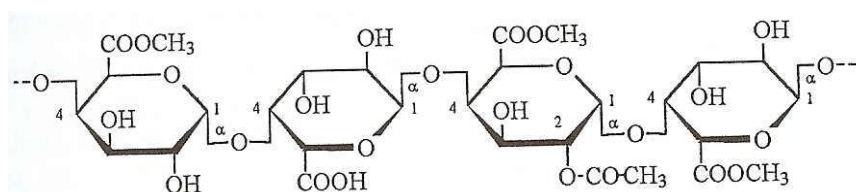
β -glukany jsou obilné polysacharidy, jejichž hlavní řetězec je tvořen vazbami β -(1→3) a větvení je převážně (1→4). Ve vodě tvoří viskózní roztoky a významný je jejich obsah v ječmeni a ovsu. Ke sladovnickým účelům jsou žádoucí odrůdy ječmene s nízkým obsahem β -glukanů (3 – 5 %), naopak jako součást potravy je žádoucí jejich vysoký obsah (10 %), poněvadž β -glukany tvoří podstatu rozpustné vlákniny.

Hemicelulosity v obecném pohledu jako převážně nevyužitelné polysacharidy jsou

důležitou součástí potravní vlákniny, která příznivě ovlivňuje naše zažívání, metabolismus cholesterolu, tuků a glukosy. Hemicelulosity jsou rovněž studovány pro možnost jejich uplatnění jako emulgátorů, stabilizátorů pěn a emulzí apod.

Pektiny patří mezi stavební polysacharidy, představují tmelící hmotu mezibuněčných vrstev vyšších rostlin. Jsou obsaženy zejména v plodech a v mladých tkáních. Vázány na celulosu (pektocelulosity) způsobují tvrdost nezralého ovoce. Získávají se ze slupek citrusových plodů, ve střední Evropě z dužiny jablek, příp. z řepy cukrové.

Hlavní řetězec pektinu je tvořen kyselinou D-galakturonovou (Obr. 20), která je vázána vazbami α -(1→4). Některé pektiny, zejména řepný, mají na hlavní řetězec navázaný boční řetězec neutrálních cukrů, arabinosy, xylosy a galaktosy. Karboxylové skupiny jsou částečně esterifikovány metanolem (v průměru ze 70 %) a podle stupně esterifikace se rozlišuje: pektin vysokoesterifikovaný (HM, nad 50 % esterifikovaných skupin) a nízkoesterifikovaný (LM). Při plné esterifikaci vznikají neutrální pektiny. Čím je vyšší stupeň esterifikace, tím snadněji se pektin rozpouští ve studené vodě. Roztoky pektinu se vyznačují nízkou viskozitou, za určitých podmínek však mohou vytvářet gely.



Obr. 20: Základní struktura pektinů

Vysokoesterifikované pektiny (HM) tvoří gel za nízkého pH (3,2 – 3,5) a při vyšší koncentraci sacharosy (vznik vodíkových můstků mezi -COOH a -OH skupinami na C₂ a C₃), čehož se využívá při výrobě ovocných pomazánek a cukrovinkářského želé. Naproti tomu nízkoesterifikované pektiny (LM) tvoří gel v přítomnosti Ca²⁺ iontů, při vyšším pH a přítomnost sacharosy není nutná. To má význam pro výrobu nízkoenergetických a diabetických potravin.

Enzymatickou hydrolýzou (protopektinasy, polygalakturonasy) protopektinu se uvolňuje vlastní pektin a další hydrolýzou případně doprovodné sacharidy. V *cukrovarství* při zpracování poškozené nebo nahnílé řepy je vyextrahovaný pektin částečně hydrolýzován a vzniklé oligosacharidy dávají s vápenatými ionty těžko filtrovatelnou sraženinu. Kromě toho vyšší otáčivost pektinu nepříznivě ovlivňuje polarimetrické stanovení a pektinové oligosacharidy deformují při krystalizaci sacharosu.

1.6.5 Rostlinné gummy a slizy

Rostlinné gummy a slizy tvoří spolu s pektinem skupinu polysacharidů, z nichž některé mají funkci zahušťovadla nebo želírujícího prostředku a bývají také začleňovány pod název hydrokoloidy. Někdy se dělí na *rostlinné gummy* (klovatiny), které vylučují dřeviny při poranění, jako ochranu před mikrobiální infekcí, a na *rostlinné slizy*, izolované zejména z rostlinných semen. Ve vodě bobtnají a částečně se rozpouštějí na viskozni tekutinu. Po chemické stránce tvoří polymer z více druhů monosacharidů (pentosy a hexosy) a jejich derivátů, zejména uronových kyselin a jejich sodných, vápenných a draselných solí.

Arabská guma je výron akátu senegalského (*Acacia senegalensis*), hlavně kapinice senegalské. Roste v senegalu, Nigérii a zemích Afriky. Existuje více než 100 druhů akáciových gum bez výraznějších rozdílů. Jedná se o substituovaný arabinogalaktan. Hlavní řetězec tvoří D-galaktosa, boční řetězce jsou tvořeny L-arabinosou, L-rhamnosou a kyselinou β-D-glukuronovou. Je dobře rozpustná ve vodě, tvoří až 50 % roztok, nad 25 % silně stoupá viskozita roztoku. Arabská guma se používá jako stabilizátor, do leštících vrstev na cukrovinkářské dražé apod.

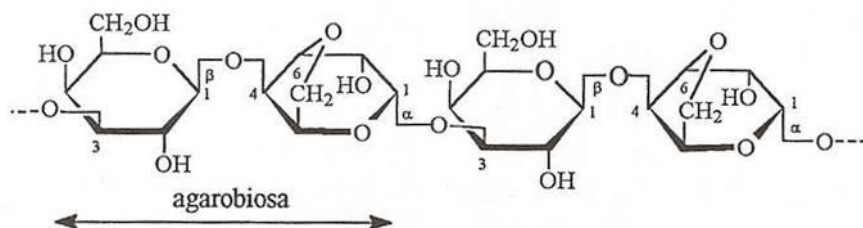
Tragant (*tragakanth, guma bassora*) je výron keře rodu *Astragalus* (kozinec), rostoucí např. v Iránu, Turecku. Je to velmi složitý polysacharid, v podstatě se jedná (ze 70 %) o arabinogalaktany, druhou skupinu pak tvoří kyselý polysacharid pektinového typu. Jeho roztoky již při malých koncentracích mají vysokou viskozitu. Použit se jako sterilizátor emulzí s nízkým pH. Je stabilní vůči hydrolyze a mechanickému namáhání.

1.6.6 Polysacharidy mořských řas

Algináty se získávají z hnědých řas, které rostou v severním Atlantiku. Alginová kyselina je ve studené vodě nerozpustná, rozpustné jsou její NH_4^+ , Na^+ a K^+ ionty. Jsou-li ve vodě přítomny vápenaté ionty, vzniká pevný gel. Algináty nacházejí využití jako zahušťovací a vazné prostředky do masových a zeleninových konzerv, omáček, polévek a ovocných sirupů. Rovněž se používají jako stabilizátory majonéz, zmrzlin a kalných nealkoholických nápojů.

Agar se získává z červených řas rodu *Rhodophyceae*. Získává se z nich extrakcí horkou vodou v neutrálním, kyselém nebo alkalickém prostředí. V alkalickém prostředí vznikají agary s modifikovanými vlastnostmi. Z extraktů se vymražením získávají gely, které se suší. Agary jsou lineární polysacharidy. Jejich stavebními jednotkami jsou β-D-galaktopyranosa a 3,6-anhydro-α-L-galaktopyranosa střídavě vázané glykosidovými vazbami (1→3) a (1→4). Jedná se o částečně sulfonovaný galaktan nazývaný též agarosa, jehož základní stavební

jednotkou je disacharid agarobiosa (Obr. 21). Patří mezi nejúčinnější želírující prostředky. Je rozpustný až při 85 °C a ochlazováním vytváří gel a to již při 0,04 % koncentraci. V praxi se používají 1 – 2 % roztoky, jež vytvářejí pevné stabilní gely. Uplatnění má zejména v cukrářské výrobě a do drůbežích a masových konzerv.



Obr. 21: Agarosa

Karagenan se získává z červených řas (*Rhodophyceae*), zejména rodů *Euchema*, *Chondrus* a *Gigantina* rostoucích v mořích u Severní Afriky, Evropy a Jižní Ameriky. Jedná se rovněž o galaktan. Rozpustnost karagenanů je závislá na počtu sulfonových skupin. Želírující frakcí je κ (kappa)-karagenan, který je dobře rozpustný za tepla, ochlazováním vytváří gely, jejichž pevnost je závislá na přítomnosti Na^+ , K^+ a Ca^{2+} iontů. Komerčně vyráběný karagenan je směsí 3 typů ι , κ , λ - karagenanu. Používá se do masových konzerv. Karagenan tvoří stabilní komplexy s bílkovinami, čehož je využíváno při výrobě mléčných nápojů a jogurtů (tvorba gelu s mléčným kaseinem).

Galaktomanany jsou tvořeny jednotkami D-mannosy spojené vzájemně β -(1 \rightarrow 4) glykosidovými vazbami, přičemž na některé z mannosových jednotek je vazbami (1 \rightarrow 4) vázána α -D-galaktosa. Získávají se ze semen luštěniny svatojánský chléb (*Ceratonia siliqua*) nebo z luštěniny guar (*Cyanopsis teragonolobus*). Poněvadž jsou tyto polysacharidy neutrální, vytvářejí vysokoviskózní roztoky, avšak nevytvářejí gely. Proto se používají jako zahušťující prostředky, do polévek, krémů a nápojů. Galaktomanan ze svatojánského chleba může s karagenany vytvářet gely (uplatnění u pudinků a masových konzerv).

1.6.7 Mukopolysacharidy

Speciální skupinu polysacharidů tvoří mukopolysacharidy, což jsou živočišné polysacharidy slizového charakteru. Plní různé speciální funkce a jsou součástí hlenovitých sekretů v dýchacím a trávicím ústrojí, v pojivových tkáních a v kloubních tekutinách. Možno je rozdělit na kyselé a neutrální.

Mezi **kysel**é mukopolysacharidy patří např. **hyaluronová kyselina**, tzv. protiprůnikový faktor ve tkáních, **chondroitinová kyselina**, v chrupavkách, kde se váže na bílkovinu, a **heparin**, jenž zabraňuje srážení krve.

2 BRAMBORY A VÝROBKY Z BRAMBOR

2.1 Původ, historie a význam brambor

Lilek brambor, též brambor obecný či brambor hlíznatý (*Solanum tuberosum*), v běžné řeči jen brambor nebo také brambora, ale nejčastěji v množném čísle brambory, je víceletá hlíznatá rostlina z čeledi lilkovité, pěstovaná jako jednoletá plodina (Obr. 22). Brambory byly domestikovány v oblasti dnešního Peru přibližně před 4 až 5 tisíci lety. V horských podmínkách, kde se nedařilo kukuřici, byla domestikace brambor podmínkou vzniku vyspělejší civilizace. Uvádějí se 2 centra, z nichž se pěstování šířilo, první bylo v horských údolích peruánských a bolívijských And, druhé se nacházelo ve střední Chile.

Po dobytí incké říše Španěly v první polovině 16. století se začaly brambory dovážet do Evropy. Roku 1565 dostal první větší zásilku brambor z Cuzca jako dar španělský král Filip II.

První popis a vyobrazení brambor pochází z r. 1597 od anglického botanika Gerarda. Pravděpodobné jsou dvě cesty, jimiž se brambory dostaly do Evropy. První vedla z Peru asi kolem roku 1565 přes Španělsko a přivezla červenoslupkaté, podlouhlé hlízy, většinou modře nebo červenofialově kvetoucích linií. Druhá cesta asi 1585 vedla z Chile přes Cartagenu do Anglie. Tyto linie byly většinou žlutoslupkaté, kulovité, kvetoucí bíle nebo světle fialově.

Hospodářskou důležitost získaly brambory prvně v Irsku, kde se v 17. století staly základní potravinou. Na naše území se dostaly brambory v letech 1628 – 1630 a do konce století zůstaly jen zahradní rostlinou. Jejich pěstování se rozšířilo po poznání, že lépe uživí stoupající počet obyvatel nežli obiloviny. Hlavně se tak stalo po roce 1772, kdy byla v Evropě velká neúroda obilí a na základě výzvy a odměny vyhlášené Pařížskou vědeckou akademií prokázal francouz Parmentier užitečnost brambor. Odtud rozšířené pěstování ve Francii, Německu a Rakousku. Již roku 1781 se i u nás brambory uznávaly jako potravina odstraňující hlad, jako vhodné krmivo pro hospodářská zvířata a dostaly se tak pravidelně na stůl hlavně na venkově vedle kaše, hrachu a zelí. Vzestup produkce brambor znamenal konec hladu, moru a jiných epidemií obvyklých zejména při neúrodě obilovin. Největší rozmach v pěstování brambor byl zaznamenán v první polovině 19. století, zejména zvýšením poptávky po bramborách průmyslových.

Brambory jsou dnes pro své mnohostranné použití významnou hospodářskou plodinou, z hlediska lidské výživy zaujímají svým významem 4. místo za obilovinami pšenicí, rýží a kukuřicí. Oproti dřívějšímu, kdy brambory patřily k základním potravinám – spotřeba před II. světovou válkou se pohybovala kolem 150 kg na osobu a rok – slouží dnes jako potravina

doplňková k dosažení fyziologicky vyvážené stravy. Její význam je dán tím, že plní nejen funkci potraviny objemové, ale i sytící (sacharidická složka) a ochranné (obsah vitamínů a minerálií).

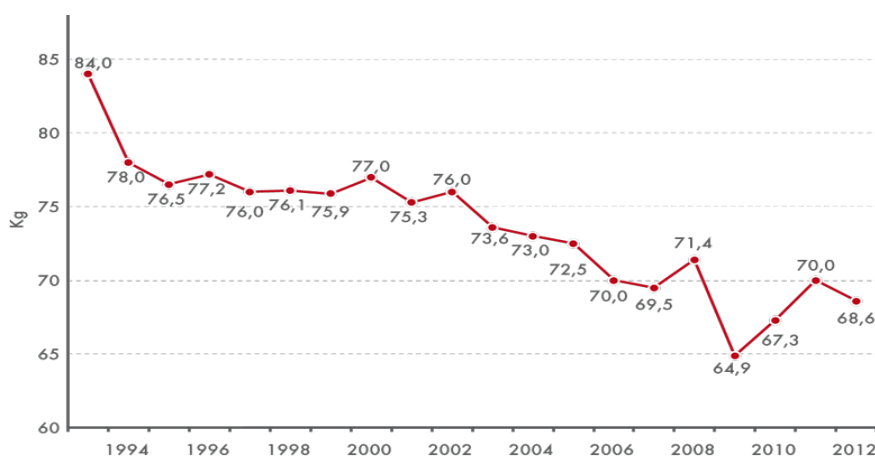


Obr. 22: Rostlina lilku bramboru (*Solanum tuberosum* L.)

V roce 2012 dosáhly plochy brambor celkem v ČR podle „Definitivních údajů o sklizni zemědělských plodin za rok 2012“ zpracovaných ČSÚ, celkem 30 069 ha, z toho v zemědělském sektoru 23 625 ha a v sektoru domácností 6 417 ha.

Spotřeba brambor (zahrnuje i bramborové výrobky přepočtené na brambory) má stále klesající tendenci (ČSÚ). V roce 1993 se spotřebovalo v průměru 84,0 kg brambor na jednoho obyvatele, zatímco v roce 2012 to bylo o 15,4 kg méně (Graf 1).

Graf 1: Spotřeba brambor v ČR



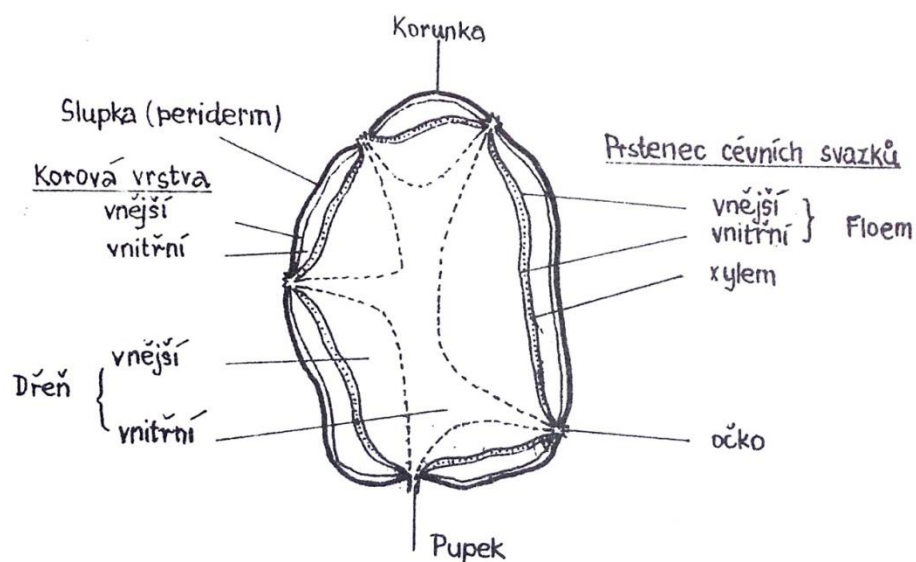
2.2 Anatomická skladba bramborové hlízy

Bramborová hlíza je zkrácený ztlustlý stonek (oddenek), v němž shromažďuje zásobní látky. Na hlíze rozeznáváme část **pupkovou**, která souvisí se stolonem, protilehlá část hlízy se nazývá **korunková**. Bramborovou hlízu můžeme z anatomického pohledu rozdělit na řadu navzájem rozdílných zón, jak je patrné z obr. 23.

Vnější obal tvoří **slupka (periderm)**, skládající se ze z korkovatělých buněk, 1/6 až 1/8 mm tlustá. Má ochraňovat hlízy před ztrátou vlhkosti a před infekcí plísní. Zkorkovatělé buňky dávají slupce hnědé zabarvení. V této vrstvě při poranění se tvoří **suberin** za přítomnosti vzdušného kyslíku a nasycených mastných kyselin.

Pak následuje **korová vrstva**, která má 2 zóny. Zóna ležící hned pod peridermem, asi 2 mm silná, je tvořena malými buňkami chudými na škrob, ale bohatými na bílkoviny, druhou navazující zónu, sahající až k cévním svazkům, tvoří parenchymální buňky bohaté škrobem.

Další je vrstva **cévních svazků**, na řezu hlízy zřetelně patrná jako prstenec. Je tvořena vnějším lýkem (floém), jímž jsou vedeny organické látky, xylémem, jenž zajišťuje vodní transport, a vnitřním floémem. Na cévní svazky navazuje **vnější dřev** s velkými vodnatými buňkami. **Vnitřní dřev** je patrná jako tmavé jádro. Dřev je tvořena 0,1 – 0,2 mm velkými parenchymatickými buňkami.



Obr. 23: Řez bramborovou hlízou

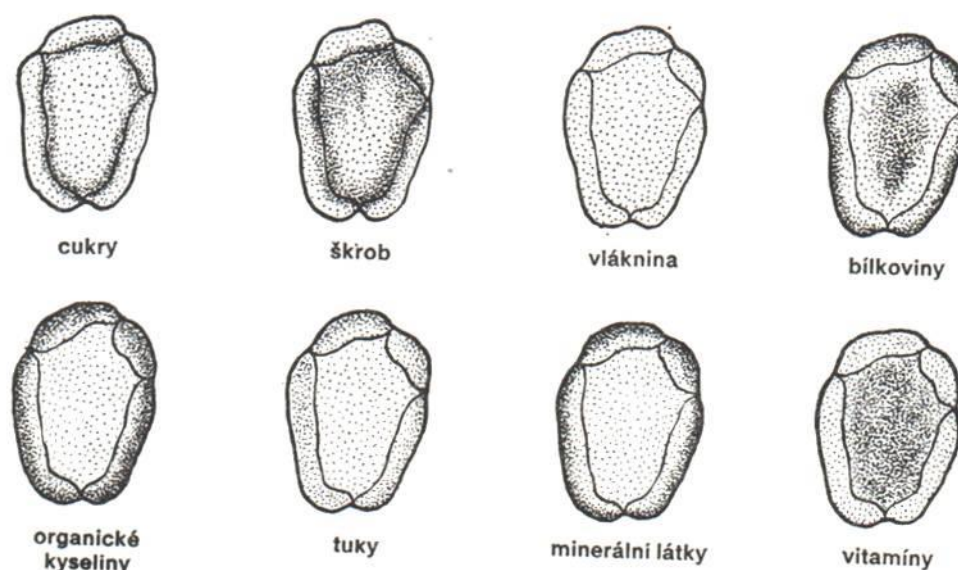
Buněčná stěna je na vnitřní straně tvořena hlavně celulosou, mezi celulosovými vlákny a na vnější straně jsou uloženy pektiny, hemicelulosity a proteiny.

2.3 Chemické složení bramborové hlízy

Literatura o chemickém složení a látkách bramborové hlízy je velmi pestrá a je proto velmi obtížné získat správný obraz o celkovém složení bramborové hlízy. Je to vysvětlitelné tím, že obsah jednotlivých složek není veličinou stálou, nýbrž se mění řadou faktorů, z nichž je třeba uvést zejména: odrůdu, půdně klimatické poměry, hnojení, pěstební agrotechniku, stupeň zralosti při sklizni, podmínky skladování apod.

Mezi základní látky bramborové hlízy patří: voda, škrob, cukry, N-látky, vláknina, tuk a minerální látky. Kromě toho brambory obsahují ještě další důležité složky, které ovlivňují jejich chuť, nutriční a biologickou hodnotu jako vitamíny, alkaloidy, organické kyseliny, polyfenoly aj., které často u chemického složení nebývají uvedeny.

Jednotlivé složky nejsou v hlíze rovnoměrně rozloženy (Obr. 24). Popeloviny, tuky, organické kyseliny, alkaloidy se nacházejí hlavně v korové vrstvě, vláknina ve slupce, cukry v oblasti cévních svazků, N-látky pod slupkou, škrob po obou stranách cévních svazků (kambiálního kruhu).



Obr. 24: Rozložení významných látek v hlíze

Voda zaujímá v bramborové hlíze největší podíl (zhruba 76 % hmotnosti) a plní v rostlině významné metabolické funkce (biosyntéza organických sloučenin, doprava asimilátů a metabolitů, teplotní regulátor).

Sušina hlízy, v průměru kolem 24 %, je tvořena ze 70 % škrobem, 9,5 % tvoří N-látky, 1 % tuk, 3 % cukry, 2,5 % organické kyseliny, 2,5 % minerální látky, 11 % připadá na balastní látky a 0,5 % tvoří zbytek (vitamíny apod.). Tvorbu sušiny a škrobu příznivě

ovlivňuje sluneční svit.

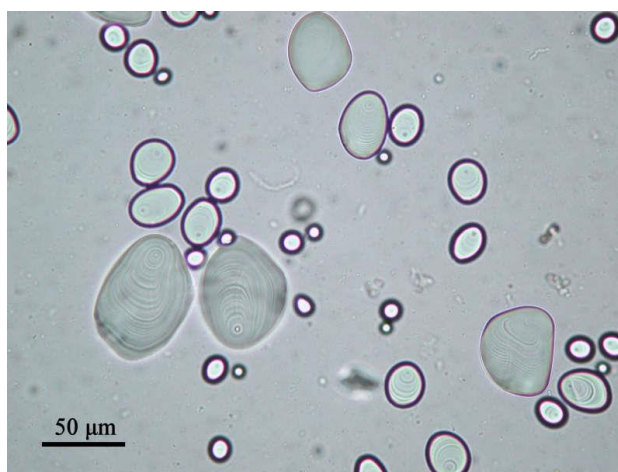
Škrob je nejvýznamnější složkou hlízy, v níž rostlina ukládá zásobu potenciální energie. Brambory obsahují v průměru 17 % škrobu a jeho množství kolísá v našich poměrech od 11 do 24 % podle odrůdy, klimatických podmínek a agrotechniky. Škrob tvoří hlavní podíl sušiny, přičemž *neškrobový podíl*, který je poměrně málo proměnlivou hodnotou (používá se faktor 5,72), slouží často k orientačnímu určení sušiny při známém množství škrobu. Škrobová zrna se nacházejí hlavně v parenchymu po obou stranách kambiálního prstence, mají elipsovitý tvar a rozličnou velikost 15 – 100 μm (Obr. 25). Nejvíce škrobu obsahují zpravidla středně velké hlízy. Obsah škrobu a velikost škrobových zrn má značný význam při průmyslovém zpracování brambor. Při zpracování na potravinářské výrobky vyšší obsah škrobu snižuje náklady na sušení a spotřebu oleje při smažení.

Příklad látkového složení podle různých literárních zdrojů je uveden v Tab. 5.

Tab. 5: Složení bramborové hlízy

	Kröner, Völksen, 1971		Van Loon, Müller, 1984		Prugar et al. 2008	
	prům. %	rozpětí %	prům. %	rozpětí %	prům. %	rozpětí %
Voda	76,3	63,2- 86,9	-	-	76	68-84
Sušina	23,7	13,1-36,8	-	-	24	16-32
Škrob	17,5	8,0-29,4	14	9,0-25,0	13,5*	11-16*
N-látky	2	0,7-4,6	2	1,2-2,5	2	-
Cukry celkem	0,5	stopy-8,0	0,9	0,1-5,0	0,5	-
Vláknina	0,7	0,2-3,5	0,7	0,4-1,0	-	0,2-3,5
Tuk	0,1	0,04-0,96	0,1	0,05-0,2	0,1	-
Minerální l.	1,1	0,4-1,9	1	0,3-1,2	1	-
Fenolické l.	-	-	0,1	0,05-0,4	-	-
Organické l.	-	-	2	1,0-3,0	-	-

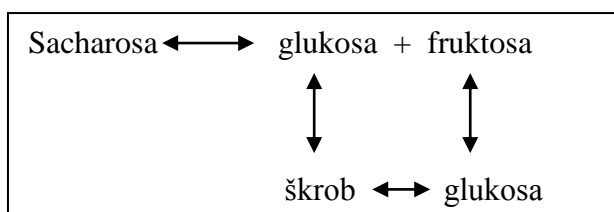
*konzumní brambory



Obr. 25: Škrobová zrna bramboru

Při přímém konzumu plní škrob funkci sytící, při optimální denní dávce 300 g brambor kryje škrob energetickou potřebu lidského organismu z 11,4 %. U bramborového škrobu je uváděn poměr mezi amylosou a amylopektinem 1:4, i když v některých literárních pramenech je uváděno až 33 % amylosy.

Cukry ve vyzrálých a dobře skladovaných hlízách se nacházejí v malém množství (kolem 0,5 %), ale mají velký význam při zpracování brambor. Cukry syntetizované v listech jsou ve formě sacharosy transportované do hlízy, kde panuje stav dynamické sacharidické rovnováhy, který může být zjednodušeně vyjádřen vztahem:



Při teplotě 10 – 20 °C je ve vyzrálé hlíze při této rovnováze asi 98 % škrobu a ostatní cukry jsou jen v malém množství. Obsah cukrů výrazně **ovlivňuje teplota** skladování brambor, pod 10 °C stoupá podíl redukujících cukrů i sacharosy. Obsah cukrů má velký význam u potravinářských výrobků z brambor, kde nepříznivě ovlivňuje barvu, chuť i skladovatelnost výrobků. Podílí se na tom **Maillardova reakce**, při níž redukující cukry reagují za tepla s aminokyselinami s α -aminoskupinou za vzniku hnědých meziproductů, jež přecházejí v tmavé polymerizované nerozpustné **melanoidiny**. Při přímém konzumu se cukry podílejí na chuti jejím zjemněním.

Neškrobové polysacharidy, tvořící hlavně buněčné stěny a intercelulární součásti, označované jako hrubá vláknina, jsou tvořeny celulosou, hemicelulosou, pentozany a pektinovými látkami. V původní hmotě hlíz je přibližně 0,1 % rozpustného a 0,45 % nerozpustného pektinu a 0,2 – 3,5 % vlákniny. Silně polymerizovaný tzv. **protopektin** se nachází v buněčných stěnách, zbytek tvoří podstatu intercelulární substance. V průběhu zrání hlízy protopektin stoupá, při skladování jeho množství klesá, s čímž souvisí rozvářivost hlíz.

N-látky, kterých brambory obsahují kolem 2,0 %, jsou pro výživu lidí i zvířat velmi významné. Podíl **bílkovin** v obsahu dusíkatých látek může kolísat, vlivem genotypu a podmínek prostředí, v rozpětí 34 – 70 %. Nebílkovinné dusíkaté látky jsou při 50%-ním zastoupení v obsahu celkových dusíkatých látek členěny na **volné aminokyseliny** (15 %), **amidy** asparagin a glutamin (23 %) a **ostatní dusíkaté látky** (12 %).

Bramborová bílkovina je tvořena převážně globuliny (**tuberin**), přítomné jsou i albuminy. V současnosti se hlízové bílkoviny podle molekulové hmotnosti rozdělují na tři

hlavní skupiny:

- 1) **patatin** (patatinový komplex či skupina patatinových bílkovin)
- 2) **skupina inhibitorů proteas**
- 3) **ostatní bílkoviny** (hlavně bílkoviny s enzymatickou účastí na syntéze škrobu)

Patatin jsou glykoproteidy s molekulovou hmotností monomeru v rozsahu 39 – 43 kDa. Obvykle představují 20 – 40 % hlízových bílkovin. Jsou považovány za hlavní zásobní bílkoviny hlíz. **Skupina inhibitorů proteas** představují celkem 7 tříd bílkovin a jejich molekulová hmotnost se pohybuje v rozmezí 8 – 28 kDa. Tvoří především zásobní bílkoviny a jsou součástí obranného systému zvláště proti hmyzím škůdcům. Tvoří cca až 30 % celkového množství proteinů. Kvůli inhibičním účinkům na trávicí enzymy konzumenta je nezbytné hlízy dostatečně tepelně opracovat. Bílkoviny hlíz bramboru jsou velmi kvalitní. Je to dáno vysokým zastoupením esenciálních aminokyselin, které se pohybuje okolo 83 % vaječného standardu. V hlízách se může vyskytovat i vysoký obsah minerálního N ve formě dusičnanů. Příčinou tohoto stavu mohou být vysoké dávky dusíku a nedostatečná vyzrálость hlíz.

Lipidy, často uváděné jako hrubý tuk, což je obvykle petroléterem vyextrahovaný podíl, obnáší u brambor asi 0,1 % a jeho největší podíl se nachází ve slupce. Převládají v něm nenasycené mastné kyseliny – linolová (50 %), linolenová (20 %), palmitová (20 %), stearová (5 %), celkově je však poměrně stabilní, jen u sušených výrobků, kde se jeho koncentrace zvyšuje čtyřnásobně, dochází oxidací ke změně vůně a chuti. Proto se při sušení brambor používají antioxidanty. Uvádí se, že rané brambory mají vyšší podíl tuku oproti pozdním.

Minerální látky (popeloviny) jsou obsaženy v hlíze v průměru okolo 1 % a to převážně ve slupce. Nejvíce je zastoupen draslík, který v průměru představuje cca 0,45 % čerstvé hmoty hlíz. Dále je zde zastoupen fosfor (0,35 %), hořčík (0,104 %), vápník (0,046 %) sodík (0,015 %) aj. Biologický význam minerálních látek v bramborách spočívá v převaze složek zásaditých (K, Na, Ca, Mg), jež jsou zastoupeny asi ze 70 %, oproti složkám kyselým (P, S, Cl, Si), asi z 30 %, čímž přispívají, podobně jako ovoce a zelenina, k vyrovnaní acidobazické rovnováhy v organismu. Ztráty na minerálních látkách jsou odvislé od způsobu kuchyňské přípravy brambor.

Vitamíny jsou složkou, která činí z brambor významnou potravinu. Jejich obsah je uveden v tabulce 6. Kolísání obsahu vitamínů je odvislé mezi jinými od odrůdy a průběhu povětrnosti.

Největší význam má **vitamín C**. Nachází se hlavně v oblasti cévních svazků a v korunkové části. Při dozrávání jeho obsah klesá, rovněž tak při skladování, takže na jaře činí jeho podíl 40 – 70 % původně přítomného množství. Ztráty při vaření činí 5 – 30 %, vysoké (až 50 %) jsou při smažení. Ztráty při průmyslové výrobě lupínek činí asi 30 %, při skladování sušených bramborových výrobků v dusíkové atmosféře byly ztráty vitamínů nepatrné.

Průměrný obsah **organických kyselin** činí asi 2,0 %. Patří mezi ně kyselina citrónová, jablečná, isocitrónová, vinná, α -ketoglutarová aj. Ovlivňují aciditu buněčné šťávy (pH 5,6 – 6,5) a její pufovací funkci. Největší podíl připadá na kyselinu citrónovou a jablečnou (asi 1 %) v čerstvé hmotě.

Glykoalkaloidy (GA), také steroidní glykoalkaloidy (SGA) brambor, často hlavně dříve uváděné pod společný název **solanin** jsou přirozené toxiny, vyskytující se ve všech částech rostliny. Nejvyšší hladiny jsou v květech, nezralých bobulích, mladých listech a klíčcích, v hlízách je jich mnohem méně. Nejvíce je jich ve slupce a v korové vrstvě.

Tab. 6: Obsah vitamínů v hlízách brambor

Vitamín	Obsah v hlíze o hmotnosti 100 g	Podíl denní potřeby
L-askorbová kyselina – C	20 mg	33 %
B1 thiamin	0,1 mg	5 %
B2 riboflavin	0,03 mg	2 %
B3 niacin	1,1 mg	6 %
B6 pyridoxin	0,2 mg	9 %
kyselina listová	18 mg	5 %
kyselina pantotenová	0,3 mg	3 %
Vitamín K	2,9 mg	4 %

Hlavními glykoalkaloidy jsou **α -solanin** a **α -chaconin**, uvádí se poměr 1:1,7, jež představují asi 95 % celkových glykoalkaloidů v hlíze brambor.

GA jsou složeny ze tří strukturních částí:

- hydrofilní sacharidická část
- lipofilní steroidní část
- heterocyklická dusíkatá bazická část.

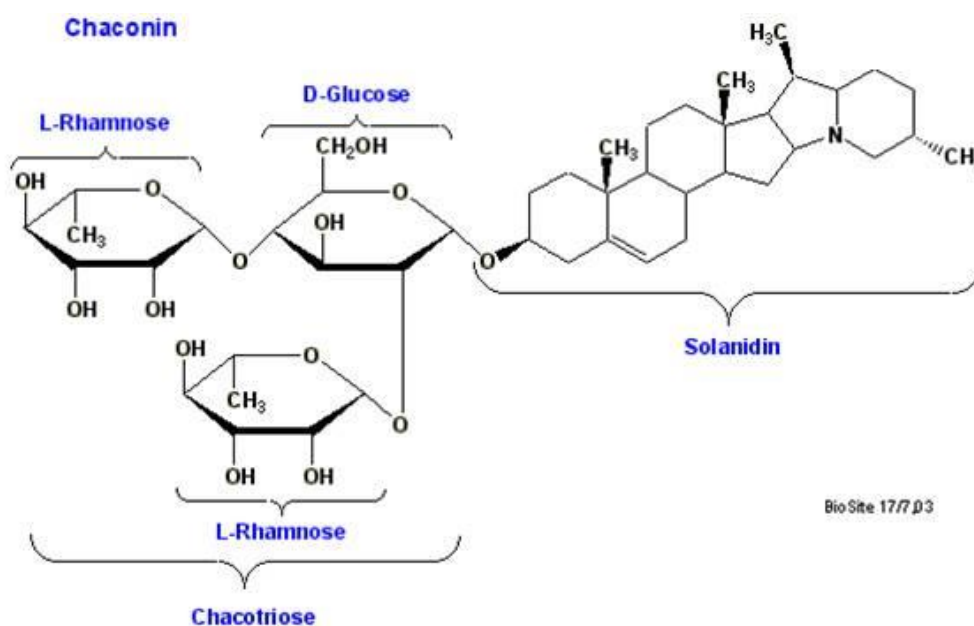
Obě hlavní sloučeniny (α -solanin a α -chaconin) mají shodný bezcukerný aglykon, zvaný *solanidin* (Obr. 26) a liší se sacharidickou částí (glukosa, galaktosa, rhamnosa). Vedle α -formy existuje β - a γ - forma, lišící se počtem a druhem sacharidů. Chemický vzorec chaconinu prezentuje Obr. 27.

Je známo, že obsah GA je geneticky fixován, ovlivňuje jej stupeň zralosti (nezralé hlízy mají vyšší obsah GA), povětrnostní podmínky během vegetace (v suchém, teplém období vyšší obsah), mechanické poškození (zvyšuje obsah GA) a podmínky při skladování (osvětlení, teplota, délka).



Obr. 26: Solanidin

U většiny kulturních odrůd brambor se glykoalkaloidy vyskytují v rozmezí 120 – 150 mg/kg čerstvé hmoty, hygienický limit je 200 mg/kg. Při vaření se asi 30 – 40 % GA vylouží, při smažení v tuku přistupuje ještě termický efekt, takže ztráty jsou vyšší.



Obr. 27: Chaconin

V hlízách se mimo solaninu a chaconinu nacházejí také **kalysteginy**. Jedná se o alkaloidy, u nichž byla zjištěna schopnost inhibovat glykosidasu. Silná inhibiční aktivita kalysteginů je dávana do souvislosti se střevní fibrósou a ztrátou hmotnosti u hospodářských zvířat.

Barevné látky (pigmenty) v dužině hlízy patří mezi **karotenoidy**. Jsou uváděny hodnoty u bělomasých odrůd 50 – 100 µg ve 100 g čerstvé hmoty, zatímco u sytě žlutomasých odrůd dosahuje hodnot až 2000 µg. Byly izolovány pigmenty α-karoten, β-karoten, lutein, violoxantin aj. Vedle odrůdy obsah karotenoidů ovlivňují klimatické podmínky i stupeň zralosti. V posledním desetiletí bylo prokázáno, že všechny karotenoidy jsou účinnými antioxidanty a u některých byl prokázán příznivý vliv na prevenci rakoviny.

Slupky některých odrůd mají červené nebo modré zbarvení, jež je přičítáno antokyanům.

Fenoly jsou odpovědné za hnědé a modrošedé zbarvení brambor po rozkrájení. Vedle aminokyseliny tyrosinu a fenolických barevných látek typu antokyanidinu, flavonu a flavonolu, jsou to hlavně sloučeniny: kyselina chlorogenová, kyselina kávová, kyselina kumarová a deriváty laktonu kumarové kyseliny.

Při zpracování brambor mají význam 3 druhy zbarvení:

- a) enzymatické, jen v syrovém stavu
- b) tmavnutí po uvaření (after cooking blackening)
- c) neenzymatické hnědnutí (Maillardova reakce) při smažení a sušení, rovněž při skladování sušených bramborových výrobků.

V současnosti se věnuje těmto látkám zvýšená pozornost z hlediska jejich antioxidačních efektů. Vyšší obsah antokyanogenních látek ve slupce snižuje napadení některými patogeny (slimáci, obecná strupovitost, *Erwinia carotovora* apod.).

2.4 Technologická kvalita brambor

Většina hlavních znaků kvality bramborových hlíz je geneticky založena a odrůda je tak nositelem kvality. Podmínky prostředí mohou geneticky fixovaný potenciál kvality různě modifikovat, nicméně ne v takové míře, aby byl vliv odrůdy zcela překryt. Při procesu šlechtění je respektován ideotyp nové odrůdy, který je vždy vztažen k jejímu budoucímu uplatnění. Znamená to, že kvalitativní charakter je zaměřen na konkrétní užitkový směr. Výnosnost odrůdy již není rozhodujícím požadavkem, do popředí se dostávají požadavky na kvalitu a na odolnost vůči chorobám, škůdcům a mechanickému poškození hlíz. V rámci délky vegetační doby jsou rozlišovány čtyři kategorie odrůd: velmi rané (90 až 100 dní

vegetace), rané (100 až 110 dní), polorané (110 až 130 dní) a polopozdní až pozdní (nad 130 dní vegetace).

V této kapitole se zabýváme bramborami určenými pro lidskou výživu, tedy konzumními. Ty můžeme rozdělit podle způsobu užití do dvou skupin, na brambory:

- 1) *pro přímý konzum*, kde určující kvalitou jsou znaky vnější kvality hlíz a znaky vnitřní kvality, jež slouží k určení stolní hodnoty uvařených brambor, a pro zařazení do jednotlivých varných typů, přičemž převažuje sensorické hodnocení,
- 2) *pro zpracování na potravinářské výrobky*, kde zpracovatelská (technologická) hodnota je vázána na chemické složení brambor a současně i na fyzikálně chemické vlastnosti jednotlivých složek bramborové hlízy.

Mezi odrůdami určenými pro konzumní užití převažují odrůdy s kratší délkou vegetace, opačně tomu je u odrůd určených pro výrobu škrobu.

Pro usnadnění výběru vhodné odrůdy byl pro každý způsob užití zkonstruován tzv. **jednotný syntetický index (JSI)**. Je schopen umožnit na základě hodnocení významných znaků a vlastností poradit odrůd pro zvolené užití produkce. K výpočtu JSI mohou být využity výsledky získané v registračních pokusech, pokusech zakládáných pro zapsání do listiny doporučených odrůd nebo jakýchkoliv odrůdových pokusů, kde jsou jednotlivé vlastnosti hodnoceny v devítibodové bonitační stupnici. Jednotlivým vlastnostem byla přiřazena váha vyjádřená indexem, jehož výše odráží význam z hlediska konečného užití odrůdy. Vlastní JSI každé odrůdy je tvořen součinem hodnot znaků a indexů přiřazených jednotlivým znakům. JSI je vyjádřen jedním číslem.

Tab. 7: Kritéria pro výpočet jednotného syntetického indexu (JSI) odrůd pro přímý pozdní konzum ve slupce

Znaky rozhodující o užití	Bonitační stupeň	Váha znaku	Index znaku
Výnos	5-9	7	35-63
Velikost hlíz	5-9	6	30-54
Vyrovnanost hlíz velikostí	5-9	5	25-45
Odolnost plísní na hlízách	5-9	4	20-36
Odolnost hlíz obecné	5-9	3	15-27
Odolnost měkké hnilobě	5-9	3	15-27
Odolnost hlíz suché hnilobě	5-9	2	10-18
Skladovatelnost (klíčení)	5-9	1	5-9
Hodnota JSI			155–279

Vybrané odrůdy lze na základě výpočtu tohoto indexu seřadit podle vhodnosti pro určitý užitkový směr a popsání postup umožňuje pěstitelům vybrat z nabídky odrůd ty, u kterých je

nejlepší předpoklad pro dosažení požadovaných výsledků. Celkem byl JSI navržen pro devět způsobů užití – přímý raný konzum ve slupce, přímý pozdní konzum ve slupce (u obou variant s mytými a nemytými hlízkami), odrůdy vhodné k loupání, k výrobě smažených hranolků, smažených lupínků, k výrobě kaší a odrůdy vhodné pro výrobu škrobu. V tab. 7 jsou uvedena kritéria pro výpočet JSI odrůd k přímému pozdnímu konzumu ve slupce.

2.4.1 Užitkové směry brambor a legislativní požadavky

Na brambory a výrobky z nich se vztahuje norma ČSN 46 2200 – Brambory, která definuje základní požadavky u jednotlivých užitkových směrů. Má šest částí:

1. - Společná ustanovení
2. - Vzorování a zkoušení konzumních, průmyslových a krmných brambor
3. - Konzumní brambory rané
4. - Konzumní brambory pozdní
5. - Průmyslové brambory
6. - Krmné brambory

V těchto jednotlivých částech normy jsou uvedeny termíny a definice, způsob vzorkování a zkoušení, technické požadavky a přípustné odchylky. Se vstupem do EU k 1. 5. 2004 musela být legislativa přepracována, takže nyní jsou závazné pouze předpisy vydané ve sbírce zákonů ČR a nařízení komise ES. Jedná se zejména o **Zákon o potravinách č.110/1997 Sb.** ve znění pozdějších předpisů a vyhlášku MZe ČR č. 291/2010 Sb., kde jsou uvedeny konkrétní požadavky pro brambory a výrobky z nich.

Konzumní brambory jsou členěny na rané a ostatní, přičemž za rané jsou podle vyhlášky a normy považovány brambory sklizené s nevyzrálou slupkou před dosažením fyziologické zralosti. V Evropské unii (EU) se však vykazují jako konzumní rané brambory pouze takové porosty, které jsou sklizeny do konce června. Všechny konzumní brambory sklizené po tomto datu jsou v EU vykazovány jako „ostatní konzumní brambory“. Nově existuje označení „nové brambory“ pro brambory dovážené do ČR od 1.1. do 15.5. ze zemí, kde hlízy v tomto období dozrávají (např. Maroko, Egypt).

Konzumní brambory musí být **odrůdově jednotné** a nesmějí obsahovat příměsi jiných odrůd nad rámec přípustných odchylek. Hlízy musí vzhledem odpovídat deklarované odrůdě, musí být zdravé, celé, čisté, pevné, růstem nepopraskané a nedeformované, bez nadměrné povrchové vlhkosti, bez vnějších i vnitřních vad zhoršujících celkový vzhled. Hlízy musí být prosté hniloby, hnědých skvrn vzniklých teplem, mechanických prasklin nebo pohmožděnin, bez zeleného vybarvení, strupovitosti, dutosti a rzivosti, nenamrzlé a prosté cizích pachů a příchutí. Hlízy konzumních brambor pozdních musí mít navíc vyvinutou pevnou slupku,

nesmí mít klíčky delší než 3 mm a nesmí vykazovat šedé, modré nebo černé skvrny pod slupkou, zasahující do hloubky dužniny nad 5 mm (tab. 8).

Důležitým parametrem je **velikost hlíz**. Hlízy konzumních brambor ostatních musí být ve všech rozměrech větší než 35 mm (podle vyhlášky mohou mít nejvýše 3 % hlíz z celkové hmotnosti rozměr menší, ale v žádném případě ne menší než 28 mm). U odrůd, jejichž hlízy mají index tvaru hlíz rovný nebo větší než 200 (délka jejich hlíz je dvakrát a více větší než jejich šířka), nejsou požadavky na velikost stanoveny. U konzumních brambor raných musí být hlízy větší než 28 mm (nebo mít hmotnost vyšší než 20 g). Možné je též nabízet konzumní brambory rané s označením „drobné“ ve velikostním rozmezí hlíz 17 až 28 mm (Tab. 9).

Tab. 8: Přípustný výskyt vad u konzumních brambor

Ukazatel	Brambory konzumní rané celkem nejvýše do 4 % hmotnosti	Brambory konzumní pozdní celkem nejvýše do 6 % hmotnosti
nárůstky, fyziologické rozprasky, pořežání, omrzliny, otlaky, požerky	nad 3,5 mm	nad 5 mm
čerstvé praskliny	nad 3,5 mm	nad 3,5 mm
zhojené praskliny	-	nad 5 mm
skvrny pod slupkou	-	nad 5 mm
deformace	těžké	těžké
zavadlé hlízy	jakékoliv	jakékoliv
rzivost, dutost a jiné vnitřní vady	jakékoliv	jakékoliv
naklíčené hlízy	-	delší než 3 mm
hnědé skvrny způsobené sluncem	jakékoliv	-
obecná strupovitost povrchová	nad 1/4 povrchu, ale do 1 % v rámci 4 % tolerance	nad 1/4 povrchu
zelené hlízy	více než 1/8 povrchu a/nebo po oloupání u 1 % hlíz v rámci 4 % tolerance	více než 1/8 povrchu a/nebo více než 1 vrstva loupání
suchá hniloba a měkká hniloba	max. 1 % v rámci 4 % tolerance	max. 1 % v rámci 6 % tolerance
plíseň bramboru	max. 1 % v rámci 4 % tolerance	max. 1 % v rámci 6 % tolerance
mechanické příměsi (nalepená a volná zemina, cizí tělesa)	do 1 % hmotnosti	do 2 % hmotnosti (z toho max. 1 % zeminy nalepené na hlízách)
jiná odrůda nebo odrůdy, než je deklarováno	do 2 % hmotnosti	do 2 % hmotnosti

Tab. 9: Přípustné odchylky na velikost hlíz

Brambory konzumní	Třídění podle velikosti hlíz (mm)	% hmotnosti hlíz nejvýše
rané	menší než 28	3
	z toho menší než 22	0
rané „drobné“	menší než 17 - nebo větší než 28	3
pozdní	menší než 28	3

2.4.2 Brambory pro přímý konzum

U konzumních brambor je nejvýznamnější stanovení **stolní hodnoty hlíz**, jejímž výsledným vyjádřením je určení **varných typů**. Hodnocení je komplexním posouzením hlíz ve stavu po uvaření v páře a vychází z původního bonitačního systému Evropské asociace pro výzkum brambor (EAPR, European Association for Potato Research), který je také znám pod názvem „Mezinárodní metoda hodnocení stolní jakosti“. Varný typ by měl být zárukou, že z takto označených brambor lze připravit pokrm, který je u příslušného varného typu uveden. Mezi odbornými pracovišti bylo v průběhu let používáno několik modifikací tohoto systému. Dále je popsán postup, který používá ÚKZÚZ při posuzování stolní hodnoty ze zkoušek registrovaných odrůd.

Hodnocený vzorek dvaceti hlíz brambor se uvaří ve slupce v páře bez soli. Každý vzorek posuzuje 4 až 5 degustátorů. Posuzují a bodují se charakteristiky uvedené v tabulce. Zkouška je subjektivní, k objektivizaci dochází zprůměrováním jednotlivých výsledků.

Hodnotí se následující charakteristiky:

Konzistence – zjišťuje se rozdrobením nebo svislým zabodnutím vidličky do vařené hlízy. Rozeznávají se stupně: 1 – velmi kyprá, 3 – kyprá, 5 – středně pevná, 7 – pevná, 9 – velmi pevná.

Struktura – zjišťuje se rozdrocením malých částí vařené hlízy mezi jazykem a patrem. Rozlišují se stupně: 1 – jemná, 3 – jemná až středně hrubá, 5 – středně hrubá, 7 – středně hrubá až hrubá, 9 – hrubá.

Moučnatost - zjišťuje se rozdrobením vařené hlízy vidličkou a zkouškou jazykem. Člení se na stupně: 1 – velmi slabá (lojovitá), 3 – slabá, 5 – střední, 7 – silná, 9 – velmi silná.

Vlhkost - zjišťuje se na řezu vařené hlízy a na jazyku. Dělí se na tyto kategorie: 1-3 slabá, 4-6 střední, 7-9 silná až velmi silná.

Nedostatky v chuti – vyjadřují se jako individuální doporučení zkoušejícího, který nesmí být ani hladový ani přejedený. Podle stupňů se rozlišuje: 1-3 nepatrné až velmi malé (typická výrazná bramborová chuť, výrazná, ne příliš mokrá, ne příliš suchá, příjemná), 4 malé (stejně

jako ve stupni 1-3, ale méně výrazné), 5 střední (chuť fádni, nevýrazná, sladší, slabá příchut'), 6-7 střední a silné (chuť cizí, fádni, hořká, sladká, ostrá, škrabavá, mokrá), 8-9 velmi silné.

Tmavnutí po uvaření – hodnotí se změna barvy na řezu po dvou hodinách. Dělí se na stupně: 1 – velmi slabé, bez barevných změn, 3 – slabé, 5 – středně silné, 7 – silné, 9 – velmi silné.

Stálost (stabilita) kvality – vyjadřuje schopnost vařené hlízy udržet určitou vlastnost ve stanovených mezích. Hodnotí se jako komplexní znak - kombinace konzistence, struktury, vlhkosti, moučnatosti a nedostatku v chuti. Rozeznávají se stupně: 1 – velmi nízká, 3 – nízká, 5 – střední, 7 – vysoká, 9 – velmi vysoká. Sudá čísla se používají pro přechody.

Na základě uvedených charakteristik se hodnocený vzorek odrůdy zařazuje do varného typu podle schématu uvedeného v Tab. 10.

Varný typ A, AB – hlízy jsou velmi pevné až pevné, nerozvářivé, velmi slabě moučnaté, lojovité, s vlhkou dužninou a jemnou strukturou, vhodné na přípravu salátů i jako příloha.

Varný typ B, BA, BC – hlízy jsou středně pevné až kypré, slabě až středně moučnaté, s polojemnou strukturou a polovlhkou dužninou, použitelné jako příloha, do polévek, pro přípravu těst a kaší, hranolků a lupínků.

Varný typ C, CB – hlízy jsou kypré, silně moučnaté, silně rozvářivé, poloměkké, polosuché, se středně hrubou strukturou, především pro přípravu těst a kaší.

Tab. 10: Intervaly charakteristik pro zařazení do varných typů

Varný typ	A	AB	B	BC	C
Konzistence	9	8-7	6-5	4-3	3
Struktura	3-4	3-5	3-6	3-6	3-7
Moučnatost	1	1-2	3-4	5-6	7
Vlhkost	4-6	3-6	3-6	2-5	2-5
Nedostatky v chuti	1-5	1-5	1-5	1-5	1-5
Tmavnutí po uvaření	1-5	1-5	1-5	1-5	1-5
Stabilita kvality	5-9	5-9	5-9	5-9	5-9

U odrůd konzumních brambor určených pro výrobu smažených výrobků je hlavním požadavkem vhodný obsah sušiny a nízký obsah redukujících cukrů, jak bylo již výše uvedeno, navíc se provádějí technologické zkoušky, v rámci kterých se hodnotí: **barva lupínků a hranolků po usmažení** (u hranolků se hodnotí i jejich barva po předsmažení) – výrobky hodnocené stupněm 9-7 jsou s nepatrnými barevnými změnami, v jednotlivých

hodnoceních stabilní, stupeň 5 vyjadřuje zbarvení ještě vhodné pro zpracování, ale dle lokalit méně stabilní; odrůdy s hodnocením menším než 5 nejsou vhodné pro zpracování. **Vhodnost lupínků a hranolků ke konzumu** - lupínky křehké, suché, chutné (9) až lupínky velmi hořké (1); hranolky velmi chutné suché (9) až hranolky nechutné, hořké (1).

Dalším hodnocením u odrůd brambor určených na výrobky je **zbarvení syrových kaší**. Jedná se o vizuálně hodnocený znak, vyjadřující intenzitu enzymového hnědnutí po oloupání, dělení, strouhání nebo jiném zpracování syrových brambor. Hodnotí se po 15 a 30 minutách. Zbarvení hodnocené stupněm 9 je bez barevných změn, stupeň 1 je kaše tmavě šedá až černá.

Jakost konzumních brambor ovlivňuje řada faktorů. Především jsou *to povětrnostní poměry* v roce, nedostatek srážek nebo naopak deštivé počasí. Nejlepší stolní hodnotu poskytuje písčitohlinitá až hlinitopísčítá *půda*, dostatečně humózní s vysokou mikrobiální aktivitou. Významným faktorem je *hnojení*, úroveň živin a způsob jejich aplikace. Z hlavních živin *dusík* podporuje velikost a lojovitou konzistenci hlíz. Přehnojování a pozdní aplikace dusíku prodlužuje vegetační dobu, což vede k nevyzrálosti hlíz při sklizni a zvýšenému mechanickému poškození, snižuje se sušina a obsah škrobu. Při nadbytku dusíku klesá obsah kyseliny citrónové, která je stabilizačním faktorem barvy dužniny. *Fosfor* urychluje dozrávání a snižuje poškození hlíz, zvyšuje obsah škrobu v hlízách a velikost škrobových zrn. Vysoké dávky však podporují rozvážení brambor a jejich tzv. suchost. *Draslík* snižuje poškození hlíz, ale zpravidla snižuje obsah sušiny a škrobu, přičemž síranová forma je příznivější. Vyšší dávky draslíku snižují obsah redukujících cukrů a tmavnutí dužniny. Deficit *hořčíku* inhibuje syntézu bílkovin.

2.4.3 Brambory pro zpracování na potravinářské výrobky

Při technologickém hodnocení brambor musíme vycházet z potravinářského výrobku, pro který jsou konzumní brambory určeny. Vedle všeobecných požadavků na jakost konzumních hlíz (dáno CSN 462200-4) musí surovina splňovat i některá speciální kritéria, jako je zejména požadovaná sušina a přípustný obsah redukujících cukrů. Požadavky na surovinu u hlavních potravinářských výrobků z brambor jsou uvedeny v tabulce 11.

Nejdelší výrobní tradicí u nás mají sušené bramborové vločky, které se po úpravě používají i jako součást řady směsných výrobků (bramborová kaše, bramborové knedlíky, placky aj.). Hlavním kvalitativním kritériem je tu dostatečná sušina, která ovlivňuje výtěžnost a ekonomiku výroby.

Celosvětově největší část konzumních brambor je zpracovávána na **smažené (předsmažené) hranolky**. Pro tento výrobek je nejdůležitější velikost hlíz a dlouze oválný tvar, jež usnadňují zpracování a ovlivňují výtěžnost.

Dalším významným výrobkem jsou **smažené bramborové lupínky (chipsy)**, kde bývá nejčastějším limitujícím požadavkem nízký obsah redukujících cukrů, který ovlivňuje barvu po usmažení. Při teplotě smažení (170 °C) reagují redukující cukry glukosa a fruktosa s aminokyselinami (glutamin, asparagin) a vytvářejí hořké tmavě hnědé melanoidiny (Maillardova reakce). Limitní obsah redukujících cukrů je 0,3 %, někde je uváděna i nižší hodnota. Příčinami vysokého obsahu může být nezralost hlízy, nízká teplota při skladování, rychlý růst klíčků a sládnutí stářím (porušení membrán). Proto hlízy zpracovávané na lupínky mají být vyzrálé (nezmlazené), skladované při teplotě 8 – 10 °C, případně retardované proti klíčení. Cukry nahromaděné skladováním při nízké teplotě lze částečně *rekondicionovat* zvýšením skladovací teploty (2 – 4 týdny, 15 – 18 °C). Zvýšený obsah redukujících cukrů lze také snížit vyloužením ve vodě, během blanširování lupínků před smažením, což však vede ke zvýšení obsahu oleje v lupíncích.

Sterilované brambory jsou součástí řady konzerv nebo jsou konzervované i samotné. Zpracovávají menší hlízy o průměru 25 – 35 mm. Aby se nerozvářely je nutným požadavkem nízký obsah sušiny a varný typ A.

Z hlediska obsahu zdravotně rizikových látek je sledován u konzumních brambor a výrobků z brambor **obsah steroidních glykoalkaloidů (SGA)**, jenž je vyjádřen v podobě α -solaninu jako nejvyšší přípustné množství (NPM) 200 mg.kg⁻¹. Sledovány jsou také **obsahy toxických kovů** (zejména As, Cd, Pb, Hg), u smažených výrobků také **akrylamid**. Limity jsou stanoveny i pro **obsah dusičnanů**. Pro konzumní brambory pozdní je stanoven limitní obsah dusičnanů 300 mg.kg⁻¹ hlíz, pro konzumní brambory rané je limitní obsah dusičnanů 500 mg.kg⁻¹.

Tab. 11: Požadavky na surovinu hlavních potravinářských výrobků z brambor

Výrobek	Tvar hlíz	Velikost v mm	Sušina v %	Redukující cukry v %
Sušené bramborové vločky	kulovitý	nad 35	nad 21	pod 0,5
Smažené bramborové hranolky	dlouze oválný	nad 55	20-22	pod 0,5
Smažené bramborové lupínky	kulovitý	40-60	nad 22	pod 0,3
Sterilované brambory	kulovitý až oválný	25-35	pod 20	pod 0,5

2.5 Potravinářské výrobky z brambor

Spotřeba brambor v ČR je v současné době asi 68 kg na osobu a rok. Z tohoto množství činí dodávky ve slupce přímo spotřebiteli cca 80 % včetně brambor raných. Zbývajících 20 % na obyvatele se v ČR různým způsobem upravuje (včetně dovezených výrobků z brambor).

Podle charakteristických vlastností se výrobky dělí na:

- vlhké
- zmražené
- smažené
- sušené
- směsné.

Jsou i jiné způsoby členění, např. podle způsobu konzervace, buď snížením teploty (chlazené, mražené) nebo jejím zvýšením (blanširované, sterilované), odnětím vody (sušené, smažené), chemicky konzervované.

Poněvadž se ke všem výrobkům používají brambory oloupané, je základní počáteční postup u všech technologií stejný.

2.5.1 Základní technologické operace

Základní technologický postup spočívá v protřídění hlíz podle požadavku následujícího zpracování, hlízy se pak operou, vhodným způsobem oloupou, dočistí, operou a ponoří do roztoku antioxidantu, pokud nejsou okamžitě dále zpracovávány.

Pro zpracování se brambory **dopravují** z hromad nebo trvalých skládek většinou plavením v plavících kanálcích. Po určitém předčištění během plavení nebo předmáčení (pokud se brambory neplaví) se brambory **perou v pračkách** různé konstrukce. Nejčastěji se u nás používá pračka hřeblová (Wiesnerova), kde prací efekt je poměrně malý (Obr. 28), účinnější jsou pračky kartáčové, vysoký prací efekt má pračka vibrační, která pracuje s malou spotřebou vody.



Obr. 28: Hřeblová pračka

Při technologiích průmyslového **loupání** brambor je nejdůležitější pokud možno

dokonalé odstranění slupky při minimálních ztrátách a minimálním podílu ruční práce a maximálním zachování všech nutričních látek v hlíze. Teoreticky by pro správné loupání stačilo odstranit pokožku a pod ní ležící vrstvu korkovitých buněk, tedy cca 0,5 mm. Ve skutečnosti se odstraňuje vrstva mnohem silnější (do 4 mm). Při všech technologiích průmyslového loupání brambor jde v konečné fázi o mechanické odstranění slupky různým způsobem narušené.



Obr. 29: Kombinovaná loupačka

Průmyslové loupání podle způsobu narušení slupky můžeme rozdělit na:

- **mechanické**, při němž se slupka odírá ostrým zrnem karborundového kotouče (abrazivní způsob), drsnou plochou bubnu (struhadlový způsob) nebo rotujícími noži – ztráty činí 15 – 40 %; nevýhodou vedle vyšší výtěžnosti je drsný povrch hlíz při abrazivním loupání (Obr. 29).
- **termické (parní)**, kdy před vlastním odstranění slupky dochází k jejímu termickému narušení přehřátou parou, přímým ohřevem, nebo horkou olejovou lázní – ztráty 10 – 20 %; nevýhodou může být varný kroužek a nedokonalé oloupaní strupovitých hlíz.
- **termochemické**, u kterého se slupka předem naruší chemicky za různě vysoké teploty (NaOH, KOH, solanka aj.) a pak se mechanicky odstraní, odpad obvykle není využitelný ke krmení.

Velmi často se používají vzájemné kombinace základních postupů, přičemž cílem je dosažení maximální výtěžnosti loupáných brambor. Oloupané brambory po **dočištění** (obvykle ručním), procházejí pak **konzervační lázní** (kyselina citrónová, pyrosiřičitan sodný) pro zabránění enzymatickému tmavnutí a rozvoji mikroorganismů.

2.5.2 Výrobky vlhké

Jedná se o výrobky, které jsou zpracované, případně konzervované takovou technologií, že si uchovávají takový obsah sušiny, který byl v původní surovině.

Patří sem zejména:

- brambory loupané syrové
- brambory sterilované.

Oloupané hlízy jsou dodávány buď v polyetylenu v ohradových paletách, nebo vakuovaných sáčcích o hmotnosti podle požadavku odběratele.

Sterilované brambory jsou oloupané brambory konzervované teplem v neprodyšně uzavřených obalech, určené po tepelné úpravě k přímému požívání (u nás zatím nejsou běžné). Používá se obvykle 5 kg balení (plechovky nebo skleněné obaly). Zpracovávají se hlízy velikosti 25 – 35 mm, nerozvářivé, varný typ A, které se po oloupaní, dočištění a oprání plní do obalů. Možno použít u větších hlíz čtvrtky, kostky apod. Po zalití horkým nálevem se sterilují 25 – 40 minut při 121 °C. Při použití 2 % NaCl a okyselení (0,2 % kyselina citrónová, 0,5 % kyselina octová) možno teplotu snížit. Po sterilaci je nutné vychlazení na 30 – 35 °C.

Sterilované brambory jsou rovněž součástí řady konzerv, jako např. bramborový guláš apod.

Do této skupiny vzhledem k nízké sušině možno zařadit bramborovou kaši vařenou a bramborové saláty.

Bramborová kaše vařená, distribuuje se obvykle zmrazená, v tomto stavu tvoří drobné sypké granule žlutobílé barvy, po přípravě je to kašovitá hmota s jemnou konzistencí bez větších shluků. Její sušina má být nejméně 25 %, obsah soli nejvýše 1,5 %.

Bramborové saláty jsou do jisté míry zvláštností české kuchyně. Značné množství brambor se používá k přípravě malých denních jídel ve formě různých salátů. Při jejich výrobě se uplatňují stroje a zařízení velkokuchyní a postupuje se podle různého výrobního schématu.

Tradiční způsob přípravy brambor je jejich vaření ve slupce, oloupaní za tepla, což zajišťuje dobrou konzistenci pro krájení, nevýhodou je velká pracnost při loupání (většinou ruční).

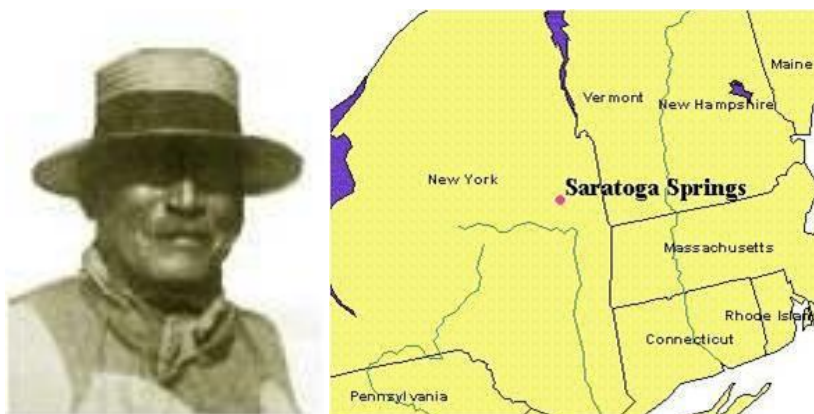
Při použití syrových oloupaných brambor je třeba je šetrně uvařit (nebezpečí rozváření), pečlivě vychladit a šetrně krájet. Po uvaření (v obou variantách) je třeba brambory vychladit (asi 16 h), pak následuje řezání na drobné kostky, nudličky, příp. plátky podle druhu salátu. Vlastní příprava spočívá v míšení brambor s dalšími komponenty, což se provádí

v automatické míchačce na maso, příp. v pekařské míchačce, menší provozy používají velkokuchyňské roboty. Při práci je třeba zachovat princip postupného míšení, tj. nejprve přísady s majonézou, brambory, příp. vařená vejce naposled.

2.5.3 Výrobky smažené

Smažené výrobky z brambor jsou vhodným technologickým postupem oloupané a usmažené hlízy, určené k přímému konzumu, u nichž smažením dochází ke ztrátě vody a obsah sušiny je zvýšen nejméně na 95 %. Do této skupiny patří všechny druhy snackových výrobků (bramborové lupínky apod.).

Nejvýznamnějším představitelem jsou **smažené bramborové lupínky**. Původem pochází ze Saratoga Springs, protože bylo dokázáno, že je začal připravovat přibližně v létě roku 1853 kuchař v Moon's Lake Lodge Georg Crumm, který údajně byl napůl černochem a půl Indián (Obr. 30).



Obr. 30: *Georg Crumm*

Při jejich výrobě se oloupané a dočištěné hlízy pomocí vhodného zařízení rozřežou na plátky pokud možno stejné tloušťky asi 1,3 mm (od 0,8 do 1,5 mm). Použité hlízy mají být dobře vyzrálé, pravidelného tvaru, nízký obsah redukujících cukrů do 0,3 %.

Z nařezaných lupínků se opláchnutím vodou odstraní škrob a různé zbytky, lupínky se osuší proudem vzduchu a smaží při teplotě 170 °C v jedlém oleji nebo hydrogenovaných rostlinných tucích za přídavku antioxidantu, až obsah vody v lupíncích klesne asi na 2 %. Po usmažení se provede ochucení solí (1,5 – 2,0 kg NaCl na 100 kg lupínků). Mimo slaných se vyrábí lupínky ochucené různými příchutěmi (pečené či uzené maso, sýr, cibule aj.) Lupínky mají být křehké, křupavé, vyrovnané světle žluté barvy, ojediněle s nahnědlými okraji, sušina nejméně 95 %, obsah tuku nejvýše 42 %, obsah NaCl v rozmezí 1,5 – 2,5 %.

2.5.4 Výrobky před smažené zmrazené

Jsou to výrobky zpracované různou technologií, konzervované hlubokým zmrazením po předchozím před smažení. Řadí se sem podle tržních druhů:

- bramborové hranolky
- bramborové plátky
- bramborové krokety.

Celosvětově největší podíl potravinářských výrobků z brambor tvoří **zmrazené před smažené hranolky** (pommes frites, french fried potatoes). Jako polotovar jsou do maloobchodní sítě dodávány nejčastěji ve formě mražených před smažených hranolků. Pro velkododavatele jsou vedle toho dodávány i jako chlazené a v oleji pouze blanširované. V USA převažuje výroba zmrazených usmažených nebo před smažených hranolků. Existuje řada modifikovaných postupů jejich výroby.

Pro výrobu se požadují velké hlízy nad 55 mm, dlouze oválné se sušinou 20 – 22 %. Po oloupání a dočištění se hlízy *rozřezou* na hranolky o hraně 9 – 12 mm, dlouhé 60 – 70 mm. Potom se na třídiče vyčlení užší a kratší odřezky, které se pak zpracovávají na různé výrobky, např. bramborové krokety, knedlíky apod. Vlastní hranolky se pak obvykle *blanšírují* do zesklivatění ve vodě 75 – 95 °C po 6 – 12 min (ovlivňuje obsah sušiny a vlastnosti brambor). Zmazováním povrchové vrstvy hranolků se sníží spotřeba tuku a zkrátí doba smažení ilepší konzistence konečného výrobku (Obr. 31). Po blanširování se musí co nejdůkladněji a nejrychleji odstranit lpící voda na hranolcích osušením (hmotnost klesne o 20 – 30 %) a pak následuje *smažení* při teplotě tuku 120 – 130 °C, 8 – 10 min. Hranolky je třeba zbavit přebytečného tuku vháněním teplého vzduchu a pak následuje zchlazení na 3 – 4 °C (chlazené hranolky, trvanlivost 4 – 5 dnů) a zmrazení co nejrychleji ve fluidizačním zmrazovacím tunelu na teplotu -18 °C. Zmrazené hranolky se balí. Uložené v kartonech se pak skladují při -18 °C.

Podle způsobu řezu existují různé tvarové modifikace, hranolky menšího či většího průměru, vlnky aj. Obdobně se vyrábějí před smažené plátky, kostky aj.

Bramborové hranolky (obdobně i plátky) mají být stejnoměrné barvy s hladkým či vlnitým řezem, vlhkost nejvýše 76 %, přičemž řez o hranách 5 mm. Obsah tuku nemá být větší než 7 %.

Blanširování suroviny před sušením nebo zmrazením podstatně mění fyzikálně-chemické vlastnosti brambor, což má příznivý vliv na technologii sušení, skladovatelnost a jakost výrobků.



Obr. 31 Blanšér

Při blanširování tkáň buněk měknou, buňky se zvětšují a vytlačují vzduch z mezibuněčných prostor. Protoplasma koaguluje, odtahuje se od buněčných stěn, které se stávají značně propustnými pro vodní páru při smažení a sušení. Tento jev má také vliv na zpětnou hydrataci při přípravě jídel ze sušených brambor.

2.5.5 Sušené výrobky

Sušené výrobky z brambor jsou oloupané, nakrájené, předvařené, případně rozmačkané a usušené hlízy brambor. Jsou nejstarší výrobky z brambor. Používají se po tepelné úpravě k přímému konzumu nebo jako surovina pro přípravu některých směsných výrobků. Podle vyhlášky č. 332/1997 Sb. existují v těchto tržních druzích:

- sušená bramborová kaše (vločky)
- bramborová mouka
- sušené konzumní brambory (kostky, plátky).

Princip výroby sušené bramborové kaše (vloček) je znám více než 70 let. Při výrobě se užívá třístupňový proces sušení. Optimální sušina zpracovávaných brambor je 21 – 22 %.

Oloupané a dočištěné brambory se nařezou na plátky tloušťky 12 – 20 mm a po odstranění uvolněného škrobu, úlomků a plodové vody se opláchnou v konzervačním roztoku a předvaří (blanšírují) při teplotě 70 – 78 °C po dobu 15 – 20 min. Pak se ochladí vodou na 20 °C a tato teplota se udržuje nejméně 20 min (během chlazení dochází k retrogradaci škrobu, hlavně amylosy, což zabraňuje lepivosti kaše), načež se brambory dovaří v páře při 100 °C asi 30 min. Uvařené plátky po přidání antioxidantu a emulgátoru se

rozmačkají a dávkují pomocí nanášecích válečků na sušící válec válcové sušičky.

Usušený film se ve šneku rozdrťí na vločky, které se prosátím rozdělí na různé velikosti. K přípravě kaše jsou vhodné větší vločky (3 – 6 mm), pro směs na bramborové těsto, bramborové knedlíky v prášku apod. vločky drobnější (1 – 2 mm).

Po vychlazení se kaše balí a skladuje v zatemněné místnosti s teplotou 20 °C a relativní vlhkostí vzduchu 70 %. Obsah sušiny má činit nejméně 87 %.

Bramborová mouka je vysátý jemný podíl, používá se jako přídavek do některých chlebů, zejména pšeničných pro zlepšení vlastností střídy.

Sušené bramborové kostky (příp. jiné tvary), velikost hrany 10 mm, se blanšírují při teplotě 95 – 100 °C 3 – 10 min, pak se operou ve studené vodě za přídavku antioxidantů a suší v horkovzdušné třípásové sušárně při teplotách 60 – 90 °C, po dobu 7 – 8 h. Po vytřídění se plní do obalů. Jsou důležitým potravinářským polotovarem, podle požadavků odběratelů se mohou mlít i na mouku. U nás se využívají při výrobě instantních polévek.

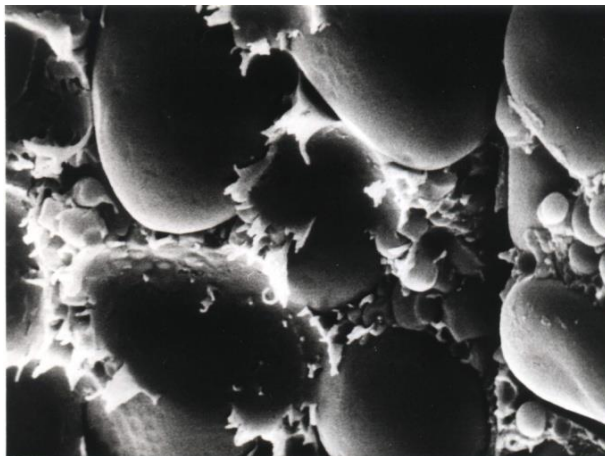
2.5.6 Výrobky směsné

Směsné bramborové výrobky jsou sypké kuchyňské polotovary, z nichž se po přípravě podle návodu připraví bramborová jídla. Vyrábějí se podle přesných receptur z více sušených komponent. Základem je bramborová kaše (mouka), pšeničná mouka hrubá a sůl, podle druhu výrobku se přidává mléko, vejce aj.

Z výrobků možno uvést: bramborové těsto v prášku, bramborové knedlíky, chlupaté knedlíky, šklubánky, klouzáky, krokety aj.

3 TECHNOLOGIE ŠKROBÁRENSTVÍ

Škroby jsou zásobní polysacharidy většiny rostlin. Ale jen z malého počtu rostlin, resp. jejich částí se dají škroby prakticky získat. Vyskytují se v zásadě v podobě částic (zrn), velikosti a struktury charakteristické pro jednotlivé rostliny (Obr. 32). Zrna se vyskytují vždy ve volné formě, na žádnou chemickou složku nejsou chemicky, ani fyzikálně vázána.



Obr. 32: Škrobová zrna ječmene

Ačkoliv se škroby vyskytují ve všech částech rostlin, technologicky jsou zajímavé hlízy nebo semena. Mezi hlízovými škroby a škroby ze semen je zásadní rozdíl. Škrob uložený v hlízách (např. škrob bramborový) se vyskytuje v materiálu, jehož převážnou složku představuje voda. Charakteristické je, že tato zrna jsou velká, polydisperzní, zejména však nakypřená a je možné, aby voda volně vstupovala dovnitř a ven jakoby velkou smotanou molekulární sítí. Naopak škroby v zrnech (kukuřice nebo pšenice) jsou uloženy na opačném místě rostliny, kde obsah přítomné vody obnáší nejvýše 20 %. Tyto škroby jsou většinou monodisperzní, drobné a monokompaktní, vstup vody jde velmi pomalu.

Pro průmyslové využití má význam především bramborový, kukuřičný a pšeničný škrob. Technologie izolace škrobu z jednotlivých surovin se liší vzájemně v první fázi uvolňování škrobu z hmoty, následující další technologické postupy vykazují společné rysy.

3.1 Výroba škrobu z brambor

Výroba nativního bramborového škrobu má na dnešním území České republiky tradici od poloviny 19. století, kdy byly brambory zpracovávány na škrob jako přidružená výroba velkostatků. Z původně ruční výroby se postupně, hlavně pak za První republiky, přecházelo na výrobu průmyslovou. Změna technologií a zařízení vedla k postupné koncentraci výroby. Tento proces byl u nás významně urychlen v druhé polovině 90. let minulého století.

Po privatizaci v současné době výrobu bramborového škrobu zajišťují v České republice celkem tři firmy a provozovány jsou čtyři výrobní škrobárny, které svou kapacitou v současné době plně nahrazují původních sedmnáct škrobáren, které škrob vyráběly na území naší republiky v 80. letech minulého století. Rekonstrukce výroben škrobu byly dokončeny v posledních několika letech. Zmodernizované škrobárny patří z hlediska efektivnosti, kvality a dopadů na životní prostředí k velmi dobrému standardu a snesou srovnání s podobnými výrobkami v zemích Evropské unie.

Bramborový škrob je v dnešní době používán jak pro potravinářské, tak pro nepotravinářské účely. Nachází své uplatnění téměř ve všech oblastech potravinářského průmyslu. Jedná se o chuťově i barevně neutrální ingredienci, která může ovlivnit vzhled, konzistenci, energetický obsah, funkční a nutriční vlastnosti, trvanlivost nebo také zlepšení výrobních procesů potravinářských výrobků. Velmi významné je i technické užití škrobů a výrobků ze škrobů, například v papírenském, textilním a lepidlářském průmyslu. Výroba bramborového škrobu byla v EU omezena výrobní kvótou, která byla stanovena ve výši 1 948 761 tun. Česká republika z této kvóty měla 33 660 tun škrobu. V roce 2012 od července přestala tato omezení platit a s tím i minimální garantovaná výkupní cena brambor. Ta je v současné době kompenzována formou zvláštní podpory na brambory pro výrobu škrobu poskytovanou SZIF (Státní zemědělský a intervenční fond).

V České republice zůstávají pouze 2 výrobci bramborového škrobu – LYCKEBY AMYLEX, a.s. Horažďovice a Škrobárny Pelhřimov, a.s. Nově se na českém trhu s bramborami objevila rakouská firma Agrana, která začala nakupovat brambory pro výrobu škrobu v Gmündu. Snahou pěstitelů brambor pro výrobu škrobu a výrobců škrobu je zachování brambor pro výrobu škrobu jako citlivé komodity v souvislosti s tvorbou a uplatňováním Společné zemědělské politiky EU od roku 2014, resp. od roku 2015 z důvodu udržení konkurenceschopnosti pěstování brambor v České republice.

Má-li být při výrobě bramborového škrobu docilováno dobrých technologických i ekonomických výsledků, musí mít surovina – brambory náležitě odpovídající vlastnosti. Hlízy brambor mají být čisté, zdravé, dobře vyzrálé, střední velikosti a obsah škrobu má být nejméně 14 %. Obsah škrobu se zjišťuje hydrostatickým stanovením na základě rozdílu specifické hmotnosti vzorku brambor na vzduchu a ve vodě. V praxi se často používá váhy podle patentu Hošpes – Pecold (Obr. 33). Odběr vzorku pro stanovení škrobu se provede vzorkovacím zařízením přímo z dopravního prostředku (Obr. 34).



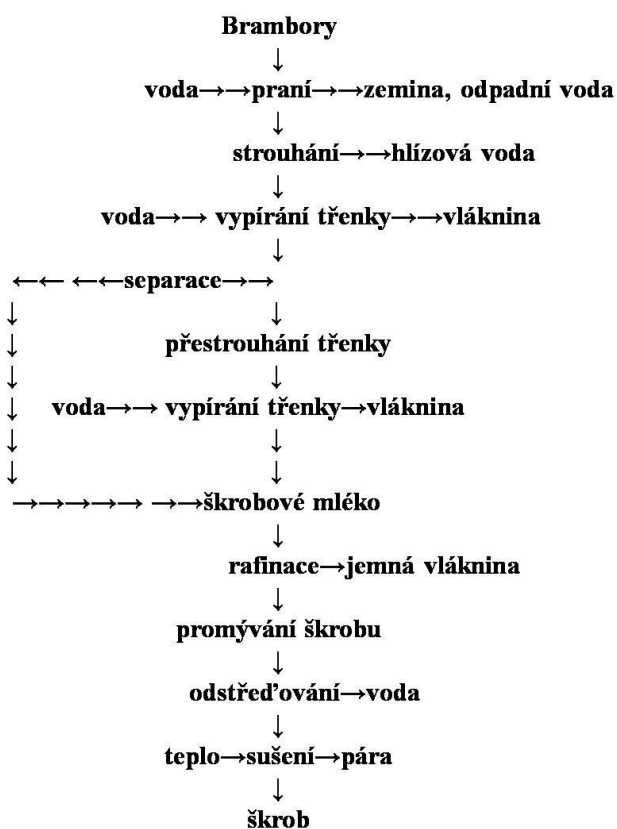
Obr. 33 Hošpes- Pecoldova váha



Obr. 34: Vzorkovací zařízení

Výroba bramborového škrobu není skutečnou výrobou škrobu, ale pod tímto pojmem se rozumí získávání škrobových zrn vytvořených v bramborové hlíze během vegetace. Ve škrobárenském průmyslu dochází tedy k pouhému oddělování škrobu od ostatních složek obsažených v bramborech.

Klasické výrobní schéma lze rozdělit na několik výrobních fází (Obr. 35).



Obr. 35: Schéma výroby škrobu

3.1.1 Doprava brambor k pračce, praní a vážení brambor

Brambory jsou ukládány na skládky a následně transportovány vodou v plavících kanálcích (Obr. 36) přes lapače kamenů, písku a natě (Obr. 37) do pračky.



Obr. 36 Úložiště brambor



Obr. 37 Lapač kamene a písku

Úkolem pračky brambor je dokonalé očištění bramborových hlíz od všech nečistot ulpělých na slupce, které nebyly odděleny již při plavení. Pračky mohou být různé konstrukce. Z pračky přes mezizásobník a kontinuální váhu jsou brambory dávkovány do struháku.

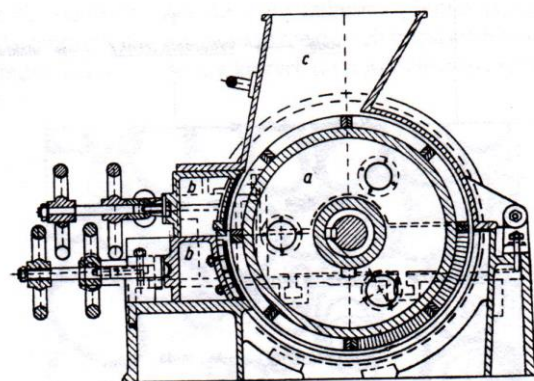
3.1.2 Strouhání brambor

Struhák brambory drtí vlivem hydrodynamických rázů na jemnou třenku, která musí mít nejméně 86 % škrobu uvolněného z buněk. Hlavní částí struháku je struhákový buben.

Je nasazen na otočném hřídeli a po obvodu je prohlouben, takže tvoří lůžko pro lišty a pilky. Brambory přichází do struháku přes násypný otvor. Rychle rotující pilkový povrch je nastrouhá na jemnou kaši – třenku, která vypadává ze struháku (Obr. 38).



Obr. 38: Pilkový struhák

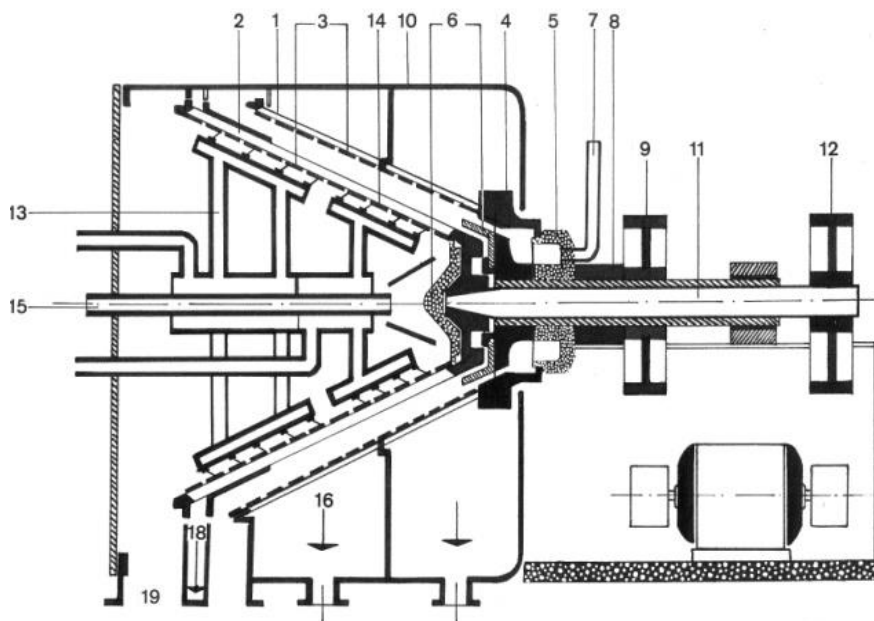


3.1.3 Vypírání škrobu

Pro rozdělení třenky na tekutou (*hlizová voda*) a tuhou část (*třenka*) se nejčastěji používá odstředivka. Odstředivka firmy Flottweg pro oddělování dvou fází se sestává z kónického bubnu, uvnitř kterého je šnek. Obě části – buben i šnek se otáčejí ve stejném směru, přičemž šnek normálně o něco rychleji. Pevná trubka nátoku je v ose otáčení až po nátokovou komoru šneku. Směr pevné látky – tekutiny je přiváděna do prostoru bubnu, přičemž se neustále zrychluje, až dosáhne rychlosti šneku a bubnu. Protože na všechny otáčející se části působí odstředivá síla, vytvoří se v bubnu kruhy pevné látky a tekutiny. Těžší pevná látka se vyšší odstředivou silou dostává až na stěnu bubnu, kde je zachytávána šnekem a vynášena přes otvor. Tekutina odchází otvorem bez tlaku přes hradítko anebo za tlaku, kdy se hradítko vytvoří pomocí mechanismu.

Účelem **vypírání třenky** je oddělení škrobu, který byl uvolněn otevřením bramborových buněk ze struháku. Provádí se postřikem tlakové vody na rotujících sítích vhodné hustoty. Základem je kónický buben, ze silného děrovaného plechu, do kterého je uloženo síto. Uvnitř bubnu je postřikový systém, který se otáčí ve směru pohybu síta, ale o něco pomaleji (Obr. 39).

Třenka přichází do bubnu v blízkosti středu užšího konce a postupuje odstředivou silou k rozšířenému okraji. Je při této cestě načechrávána vodou a při tom současně dochází k vypírání škrobu.



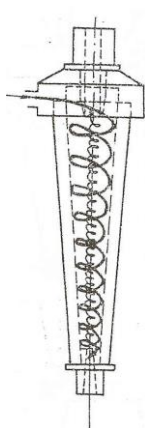
Obr. 39: Proudový vypírač - 1-vnější děrovaný buben, 2-vnitřní děrovaný buben, 3-síto, 4-přívodní rozeta, 5-přívodní komora, 6-rozdělovací rozeta, 7-přívod kaše, 8-dutý hřídel, 9-řemenice, 10-nosný plášť, 11-hřídel, 12-řemenice, 13- kropící zařízení, 14-dýzy, 15-potrubí na přívod kaše, 16-mléčná komora, 17-komora na kaši, 18-odstřikovací komora, 19-komora na vlákninu

3.1.4 Oddělení a rafinace škrobu

Surové škrobové mléko po opuštění vypírače se musí vyčistit (rafinovat). Obsahuje kromě škrobu, hlízovou vodu a podíl jemné vlákniny, který prošel sítí vypíračů. V těchto vodách jsou obsaženy rovněž rozpustné složky hlízy. Oddělení jemné vlákniny i ostatních zmíněných látek se dříve provádělo na rafinačních žejbrech, lavérech a rafinačních žlábcích. V současnosti se používá systém hydrocyklonů a odstředivek.

Funkce hydrocyklonů je založena na využití odstředivé síly (Obr. 41). Při rotaci suspenze v hydrocyklonu se vlivem odstředivé síly postupně zvětšuje poloměr rotace částic těžších než kapalina až tyto postupně dospějí ke stěně, podle níž se po spirálovité dráze dostávají až k výtokové trysce. U částic specificky lehčích se poloměr rotace naopak zmenšuje a po spirálové dráze se dostávají do vnitřní části kužele, kde v blízkosti jeho vrcholu nastává jejich krouživý pohyb vzhůru k přepadové trysce.

Při výrobě bramborového škrobu se v klasickém výrobním schématu používá několika druhů odstředivek – odlučovačů různých konstrukcí podle účelu, ke kterému slouží. Mají názvy – odlučovač třenkový, mléčný, rafinační (Obr. 40 – 42). Pro separaci hlízové vody se může používat nejdříve hydrocyklonu a ve druhém kroku pásové filtry, kde se z viskózní suspenze vytváří filtrační koláč. Voda je odsávána přes filtrační koláč a tím se ze škrobu odstraní hlavní podíl (97 – 98 %) hlízové šťávy.

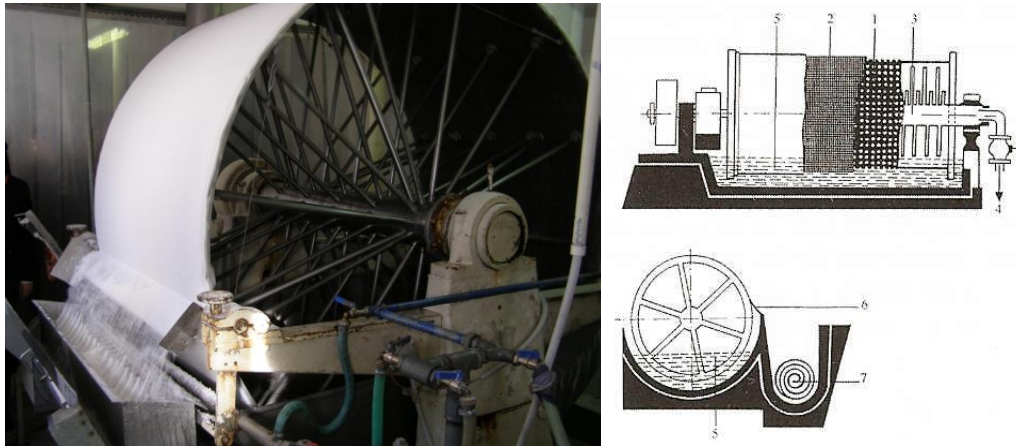


Obr. 40: Hydrocyklon

Obr. 41 a Obr. 42: Odlučovače

3.1.5 Předsoušení a sušení škrobu, vysévání a pytlování škrobu

Sušení škrobu se provádí teplem v sušárnách. Protože ale odstranit velké množství vody odpařováním by bylo neekonomické, je účelné škrob odvodnit mechanicky na nejvyšší možnou sušinu. Předsoušení se děje buď na odstředivkách, nebo na vakuových filtrech. Dosahuje se sušiny 60 – 65 %.



Obr. 43: Vakuový filtr

Vakuový filtr (Obr. 43) je horizontálně položený válec z děrovaného plechu a s plnými čely. Válec je nasazen na dutý hřídel spojený s vývěvou, která vytváří uvnitř válce vakuum. Povrch válce je pokryt mosazným pletivem a filtrační plachetkou. Pomalu se otáčející buben se noří do vany, do které se tak tvoří vrstva škrobu. Vrstva škrobu narůstá až na 10 – 20 mm a nožem je pak z ní seřezávána tenká vrstva škrobu, asi 1 mm, o sušině 60 – 65 %.

Konečné sušení škrobu probíhá v horkovzdušné sušárně při teplotě asi 160 °C. Odcházející škrob obsahuje 20 % vody. Vzduch a pára jsou separovány od škrobu. Škrob je chlazen před transportem do skladovacích sil.

Suchý škrob vycházející ze sušárny není ještě v takové formě, aby mohl být pytlován a expedován. Ve škrobové moučce jsou drobné hrudky, které se tvoří v sušárně, dále i jistý podíl škrobové krupice.

Suchý škrob musí být proto vyséván. Používají se rovinné nebo rotační vysévače. Vysátý škrob se pytluje do papírových pytlů.

3.2 Výroba pšeničného škrobu

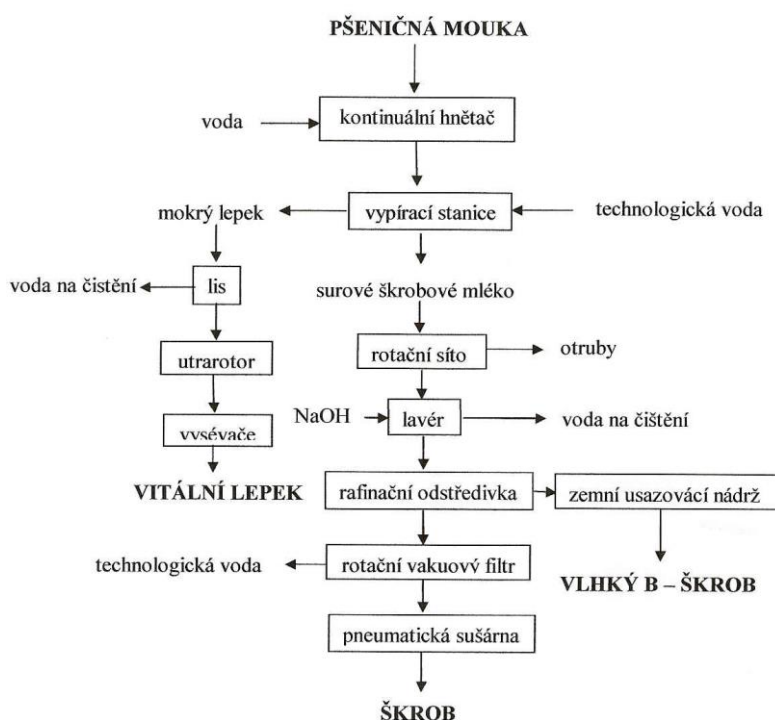
Z hlediska výroby škrobu jsou škrobnaté suroviny srovnatelné. Je možné ale konstatovat, že nejvýhodnější je technologie zpracování pšenice, neboť vedle škrobu se získá pšeničný lepek, bílkovina potravinářsky vynikající. Běžně se používá k posílení lepku slabých mouk, mouk pro výrobu těstovin, zejména makarónů a špaget. Dále se používá jakožto vazná přísada do sekaných a dalších přepracovaných mas. Existuje také nepotravinářské využití.

3.2.1 Klasická technologie výroby pšeničného škrobu

Klasická technologie (tzv. **Martinův způsob**) zpracování pšeničné mouky na škrob je založena na vypírání škrobu z hustého těsta (Obr. 44).

Z mouky a vody se v kontinuálním hnětači připraví těsto, které je po odležení čerpáno do několikastupňového vypírače. Zde je skrápěno škrobovým mlékem a vodou v protiproudém uspořádání. Z vypíračů vystupuje provazec vymytého lepku, jenž je sušen speciálními sušárnami při relativně nízkých teplotách na tzv. **vitální lepek**. Surové škrobové mléko se rafinuje na systému odstředivek a sít, zpravidla se dělí na škrob A a na škrob B. Škrob A se suší pneumaticky, škrob B se zpracovává obvykle na etanol nebo na krmné sirupy.

Klasická technologie má spotřebu vody až 10 m^3 na 1 tunu mouky a nedovoluje 100% využití sušiny. Ztráty rozpustného podílu mouky se pohybují mezi 6 – 8 %.



Obr. 44: Martinův způsob získávání škrobu

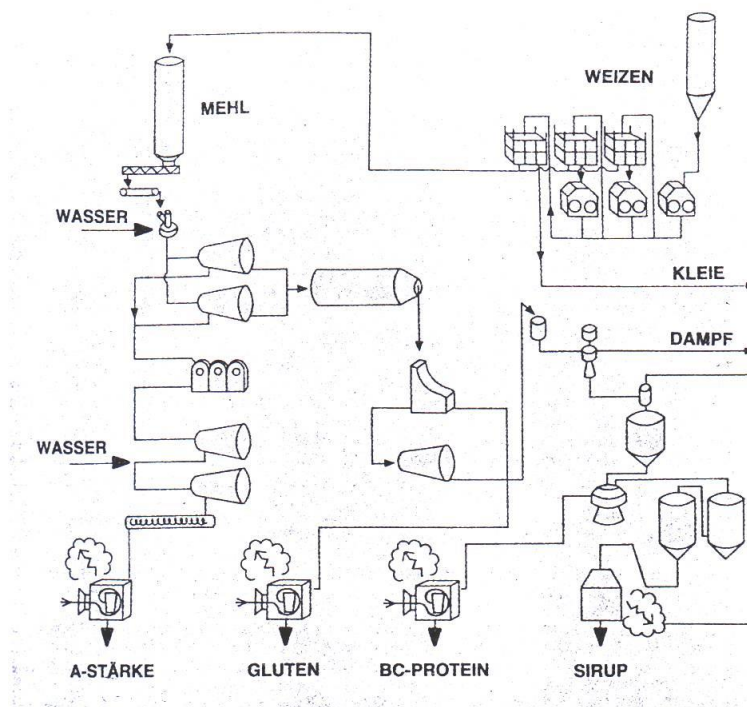
3.2.2 Raisio proces získávání pšeničného škrobu

Nové postupy výroby pšeničného škrobu jsou založeny na dekantčním dělení tzv. řídkého těsta. Jedním z těchto postupů je tzv. Raisio proces (Obr. 46).

Výchozí surovinou je pšenice. V krátkém mlecím procesu, kde je počet mlecích strojů v porovnání s klasickým mlýnem redukován, se získá mouka a otruby. Z otrub se dá následnou peletizací vyrábět vysoce hodnotné krmivo.

Pro následný mokrý proces může být mouka hrubší, čímž se ušetří náklady na energii. V mokrém procesu se mouka smíchá v určitém poměru s vodou na těsto, které se homogenizuje, aby se škrobová zrna oddělila od lepku. Odstředováním na odstředivce se

získají dvě frakce – jedna obsahující A škrob, druhá především lepek, B škrob a rozpustné podíly pšeničné mouky. A škrob se vysáváním a separací rafinuje až na žádaný stupeň čistoty. Po krátké fázi zrání se lepek získá vyséváním a následně se suší. Na B škrob a rozpustné podíly pšeničné mouky se působí enzymem. Po ztekucení a tepelné koagulaci se oddělí vyvločkový protein a usuší se. Tzv. BC protein nachází díky vysoké schopnosti vázat vodu uplatnění v potravinářství. Čirá tekutina z odstředivky se zcukří a zahušťuje. Takto získaný pšeničný sirup nachází uplatnění v pivovarském průmyslu a pekárnách.



Obr. 45: Získávání škrobu systémem Raisio

3.2.3 Tlakové systémy získávání škrobu

Nejnovější technologie (tzv. vysokotlaký desintegrační proces) je založena na separaci pomocí třífázové dekantační odstředivky, na které se zpracovává řídké těsto do tří proudů: (a) A-škrob + vláknina, (b) B-škrob + gluten a (c) viskózní pentosany a další rozpustné látky. Tento děj probíhá při teplotě 35 °C při tlacích do 10 MPa, přičemž vysoké střižné síly uvolňují škrobová zrna z částic hydratovaného endospermu a způsobují, že se vlákněnka lepku shlukují do částic o velikosti v mikrometrech.

Firma Westfalia vyvinula pro produkce pšeničného škrobu a lepku proces Weipro (Obr. 46).

Voda o teplotě 35 °C se smíchá s moukou v poměru 1:1 ve speciálně konstruovaném

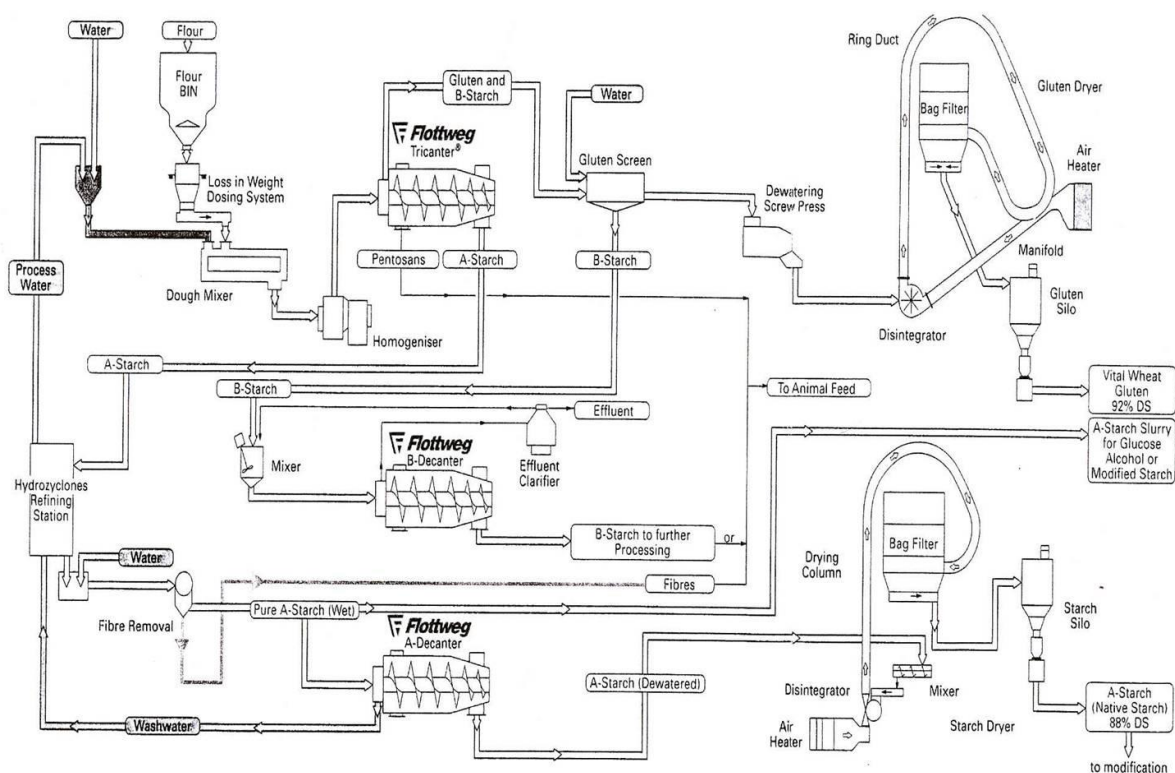
mixéru na hladkou, těstovitou kaši.

Kaše se z mixéru čerpá excentrickým šroubovým čerpadlem k vysokotlakému čerpadlu. Toto vysokotlaké čerpadlo na ni působí mechanickou silou potřebnou k hydrataci částecek lepku. Navíc díky smykovým silám zabezpečuje rozpad aglomerátů škrob – lepek, což je velmi důležité k dosažení vysokotlakých výtěžností, vysoké kvality finálních produktů při nízké spotřebě vody a tudíž i extrémně nízkém množství odpadní vody.



Obr. 46: Systém Weipro

Řídká kaše přiváděna od vysokotlakého čerpadla se zavádí do odstředivky. Odstředivka odlučuje A škrob, B škrob a lepek, pentosany a jiné slizovité podíly. Lepek opouštějící odstředivku vytvoří žmolky, ještě než se dostane na glutenová síta. Na nich se vypírá z lepku B škrob. Lepek vytváří typickou strukturu pro jeho vitální formu a čerpá se pak přímo do sušárny. B škrob obsahuje stále ještě určité množství jemných částecek lepku. K jejich extrahování se B škrob vyluhuje na vibračních sítích. Zahuštěný A škrob z odstředivky se zředí, procezuje přes rotační síto a čerpá do rafinační sekce. Weipro proces má následující výhody: výtěžnosti A škrobu a lepku jsou vyšší, podstatně nižší spotřeba vody (pouze 2,75 m³/t mouky), velmi nízké bakteriologické znečištění produktů. Podobně funguje i zařízení firmy Flottweg (Obr. 47), kde dochází k dezintegračním procesům v zařízení, které se nazývá tricanter (Obr. 48). V mixéru je připravena z mouky a vody v poměru těstovitá kaše, která se čerpá do tzv. vysokotlakého homogenizátoru. Homogenizátor působí obdobně jako vysokotlaké čerpadlo. Řídká kaše se pak zavádí do tricanteru. Tento tricanter se odlišuje od obvyklých odstředivek. Dochází v něm k dělení tří fází:



Obr. 47: Systém firmy Flottweg s použitím tricanterů

Fáze 1 - je A škrob o koncentraci až 54 % sušiny, s obsahem bílkovin do 1 %. Následným propíráním na hydrocyclónech lze získat A škrob o obsahu 0,25 - 0,3 % bílkoviny.

Fáze 2 - pod tlakem je odváděn lepek a B škrob. Nastavitelným kotoučem lze optimalizovat hustotu, kvalitu lepku v průběhu procesu. Lepek se pak odděluje od škrobu na glutenových sítěch, je odvodňován a sušen. B škrob lze smíchat s A škrobem, anebo z něj odstranit vlákninu, odvodnit a použít např. na výrobu alkoholu.

Fáze 3 - pentosany a rozpustné látky se odvádí beztlakově. Procesní linie s Tricanterem, mixérem těsta, homogenizátorem je krátká, uzavřená, bez prodlevy. Uvedení do provozu a odstavení je jednoduché, otázkou několika minut.



Obr. 48: Tricanter

Výhody procesu Tricanter – vyšší výtěžnost škrobu, nižší spotřeba vody, velmi nízké bakteriologické znečištění produktů.

3.3 Výroba kukuřičného škrobu

Výrobní postup při získávání kukuřičného škrobu můžeme rozdělit do následujících fází: máčení kukuřičného zrna ve vodě, která je obohacená SO_2 za účelem uvolnění rozpustných látek a navlhčení zrna, hrubé mletí – uvolnění klíčků od zrna, oddělení klíčků od rozemletého zrna, jemné mletí – uvolnění škrobu, oddělení škrobu proséváním od vlákniny, sedimentace škrobu a oddělení glutenu, promývání škrobu – oddělení rozpustných látek, předsušení a sušení škrobu (Obr. 50).

Máčení zrna kukuřice – je jednou z nejdůležitějších a nejdéle trvajících operací výrobního procesu. Závisí od něho i dosažená výtěžnost a kvalita škrobu. Máčení probíhá v máčecí baterii, která sestává z jednotlivých kádí. Kyseliny siřičitá, potřebná pro lepší uvolnění rozpustných látek se vyrábí spalováním síry a rozpouštěním SO_2 ve vodě.

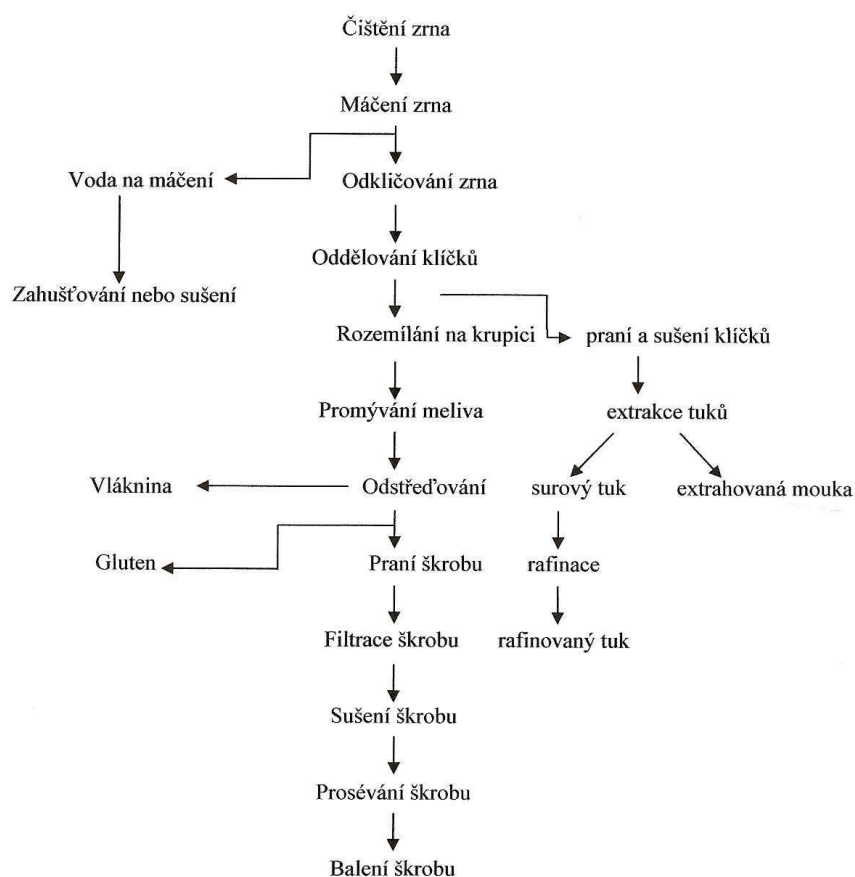
Hrubé mletí zrna – má za úkol rozdrtit zrno na několik částí tak, aby se maximální možnou měrou separovaly klíčky a přitom nedošlo k jejich porušení. Následuje pak separace klíčků a jejich promývání. Při prvním hrubém mletí se zrno rozruší na 4 – 5 částí a přitom se uvolní cca 20 – 25 % škrobu a cca 75 – 85 % klíčků. Druhé hrubé mletí se provádí tak, aby se zabezpečilo co nejúplnější uvolnění vázaných klíčků bez jejich porušení. Při druhém mletí se uvolní ještě 15 – 19 % škrobu a zbytek klíčků.

Separace a promývání klíčků – cílem je oddělení klíčků od suspenze a následným jejich promýváním na sítích odstranění zbytků volného škrobu. K separaci klíčků se používají hydrocyklóny. Na promývání klíčků se používají oblouková síta se šterbinovitou roštovou sítkou se šířkou šterbiny 2 mm.

Jemné mletí kukuřičné suspenze – probíhá po oddělení klíčků a má jediný cíl, a to uvolnění škrobových zrn vázaných v neporušených buňkách endospermu zrna. Provádí se jako mokré mletí. Získáváme produkt, který obsahuje volný škrob, kapalnou fázi s určitým množstvím rozpustných látek zrna, částice celulosy o různých rozměrech, které reprezentují hrubou a jemnou vlákninu a nerozpustné bílkoviny.

Oddělení volného škrobu od vlákniny a rafinace škrobové suspenze – probíhá tak, že nejdříve na sítích oddělíme vlákninu a následně pomocí odstředivé separace oddělíme od sebe škrob a bílkoviny. Následným promýváním škrobu docílíme odstranění rozpustných látek. Vlákninu oddělujeme na obloukových sítích se šířkou šterbiny 0,6 mm. Přecezené škrobové mléko se následně zředuje a vede na obloukové síto, kde se oddělí krupice.

Následuje rafinace, při které dochází k rozdělení škrobovo-bílkovinné suspenze s cílem maximálního vyčištění škrobu od bílkovin a ostatních neškrobových látek.



Obr. 49: Schéma získávání škrobu z kukuřice

Promývání a zahušťování škrobu – má za cíl snížení obsahu rozpustných látek a zvýšení sušiny škrobu. Škrobové mléko obsahuje po rafinaci v sušině asi 90 % škrobu, 7 % bílkovin, 0,2 % rozpustných sacharidů a 0,3 % popelovin. Suspenze škrobu se promývá a odvodňuje na podtlakových filtrech. Voda, která zůstane ve škrobu po mechanickém odvodnění, se odstraní sušením.

Při izolaci škrobu z kukuřičného zrna se získávají další cenné vedlejší produkty – gluten, vláknina, výlisky, slupky. Základní směr při využití těchto produktů je příprava směsi suchého kukuřičného krmiva.

K hydrolyze se používá škrobové mléko o koncentraci 30 – 35 % (tj. hustotě 17 – 22°Bé). Jeho pH se upraví na optimální podmínky působení ztekucujícího enzymu. Prvý stupeň ztekucení se realizuje po zahřátí v tryskovém vařáku na teplotu asi 110 °C, v této fázi se přidává termostabilní α -amylasa, výsledný DE meziprojektu po 10 – 90 min se pohybuje

v rozmezí 10 – 12.

Ve druhém stupni je prováděno tzv. zcukření pomocí β -amylasy nebo glukoamylasy, tj. hlavní část vlastní hydrolýzy. Ve většině případů musí být nejprve ztekucující enzym inaktivován, což se obvykle provádí zahřátím a snížením pH. Na rozdíl od prvního stupně vyžaduje zcukření podstatně delší dobu, a to 6 – 96 h. Provádí se ve vysokoobjemových temperovaných míchaných nádobách (tancích) a podle druhu zcukřujícího enzymu jsou opět zvoleny optimální podmínky hydrolýzy, tj. teplota, pH a množství přidaného enzymu. Po dosažení požadovaného stupně zcukření je provedena inaktivace enzymu pasterací hydrolyzátu.

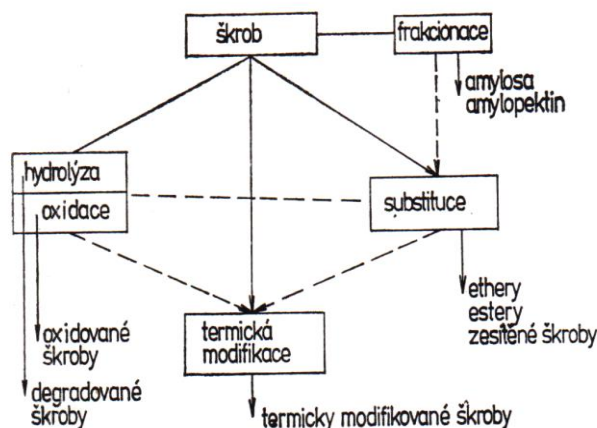
Následuje filtrace s adsorpcí na aktivním uhlí, vícestupňová filtrace na ionexových filtrech a odpařování za sníženého tlaku na konečnou sušinu 70 – 83 %. V případě glukosofruktosových sirupů technologie po filtraci pokračuje isomerizací glukosy; následné procesy rafinace a odpaření jsou realizovány podobně jako v předešlém případě.

3.4 Modifikované škroby

Modifikované škroby – všechny výrobky ze škrobů, které mají zachovány alespoň jednu původní charakteristickou vlastnost škrobu a jejichž vlastnosti jsou biochemickým, chemickým, termickým, fyzikálním nebo kombinovaným vlivem přizpůsobeny určitému účelu.

Modifikační proces si klade za cíl některou původní vlastnost zvýraznit (změna viskozity, schopnost vázat vodu, želírující schopnost, iontovýměnná schopnost), jinou potlačit nebo vytvořit vlastnost novou.

Chemie a technologie modifikovaných škrobů se rozděluje na základě souvislosti chemických a fyzikálních (Obr. 50).



Obr. 50: Členění podle chemických a fyzikálních souvislostí

Modifikace škrobů lze provádět chemickou cestou, kdy získáme degradované (odbourané) škroby nebo škroby oxidované, pomocí enzymů za vzniku tzv. malto-dextrinů a fyzikální cestou, kterou připravujeme termicky upravené a extrudované škroby. V širším slova smyslu bývají do modifikovaných škrobů zahrnovány i deriváty škrobu. Modifikované škroby můžeme rozdělit na:

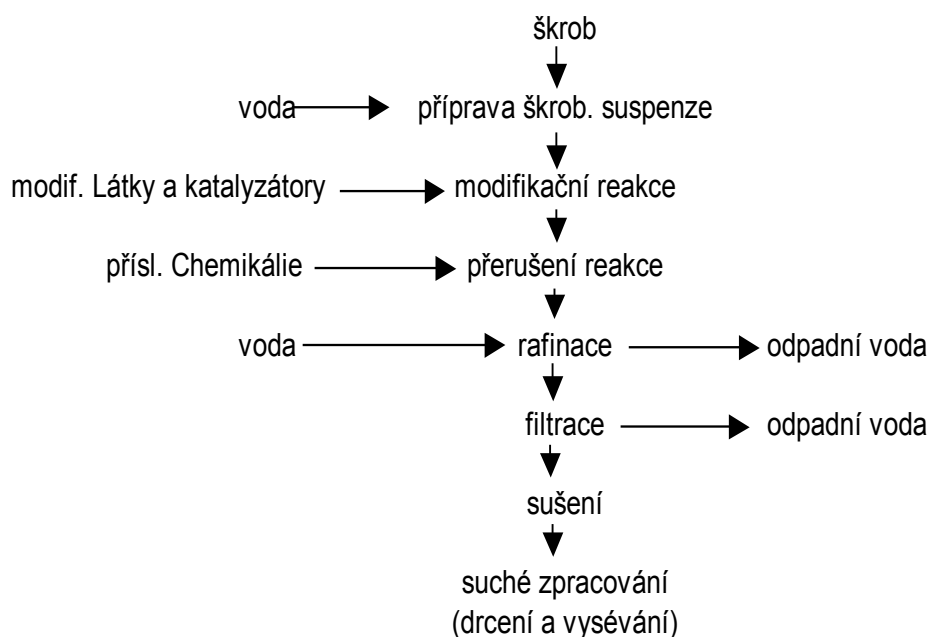
- 1) Chemicky modifikované ve vodné suspenzi (hydrolyz. škroby, oxidované škroby, škrobové étery, škrobové estery, zesítené škroby).
- 2) Chemicky modifikované v roztoku škrobu (hydrolyzované škroby, oxidované škroby, škrobové étery).
- 3) Modifikovaný škrob suspendovaný v org. rozpouštědle (škrobové étery a estery).

Termochemicky modifikované na suché cestě a termicky modifikované v přítomnosti vody (odbourané škroby, oxidované škroby, škrobové estery, zesítené škroby).

3.4.1 Chemicky modifikované škroby ve vodné suspenzi

Modifikace je možná prostřednictvím řady reakcí: *hydrolyza, oxidace, etherifikace, esterifikace, zesítení, případně kombinace těchto reakcí.*

Sled operací bez ohledu na způsob modifikace je podobný (Obr. 51). Proces probíhá v systému nehydratovaný škrob-voda. Výhodou je nízká spotřeba energie (na sušení produktu), nízké investiční náklady. Nevýhodou je průběh za nízkých teplot (30 – 55 °C), což způsobuje odchýlení výrobní technologie od optimálního průběhu mazovatění.



Obr. 51: Schéma průběhu modifikace škrobu

Podstata je v tom, že chemická reakce probíhá v heterogenním systému mezi roztokem a tuhou fází. Modifikační látka musí difundovat do nitra zrn. Ve druhé fázi dochází k sorpci na místě a ve třetí reaguje modifikační látka se škrobovou makromolekulou.

Přítom záleží na:

- 1) velikosti a chemických vlastnostech molekul modifikační látky
- 2) na koncentračních a časových poměrech
- 3) na vlastnostech použitého škrobu (struktura zrn, chemická čistota (přítomnost bílkovin a tuku ucpávají póry), obilní škrob – málo otevřená kapilarita, rozhodující je i míra nabobtnání škrobových zrn).

Pro docílení rovnoměrné modifikace obilních škrobů je někdy nezbytné je promývat organickým rozpouštědlem.

3.4.2 Chemicky modifikované škroby ve vodném roztoku

Modifikační reakce probíhají na škrobu v hydratovaném (zmazovatělem stavu). Chemickou modifikaci v roztoku neprovádí zpravidla škrobárenský průmysl, nýbrž uživatelé příslušné škrobové modifikace (papírny, textilní průmysl). Lze ji provádět téměř všemi dostupnými oxidovadly. Problémem mohou být produkty reakce (redukované formy).

Používá se **peroxosíran amonný, chlornan sodný, a plynný chlor**. Technologie je nutně kontinuální, oxidační reakce na hydratovaném škrobu probíhají velmi rychle. Reakční podmínky jsou velmi podobné podmínkám v suspenzi, rozdíly jsou pouze na teplotách a časech reakce.

Homogenní nativní škrob se mísí s vodou – do suspenze jsou dávkovány modifikační chemikálie (ox. činidlo + alkálie) – suspenze je čerpána do trubkového výměníku tepla (průběh reakce) – na výstupu z výměníku tepla dávkování redukčního činidla a neutralizační kyseliny – roztok oxidovaného škrobu se bez chlazení čerpá do zásobníku, kde se upravuje pro potřeby výroby. Výroba je na rozdíl od výroby v suspenzi **bezodpadová**. Beze ztrát škrobu zde lze využít pšeničný škrob, který velmi snadno hydrolyzuje. Substitucí ve vodné pastě lze vyrábět např. karboxymethylškrob. Do 25 % suspenze škrobu ve vodě se dávkuje NaOH a sodná sůl kys. monochloroctové. Směs se zahřívá na $t = 85\text{ }^{\circ}\text{C}$ po dobu 6 hodin. Po 4 hodinách dávkujeme epichlorhydrin pro zesíťování a zvýšení viskozity, neutralizujeme a sušíme.

3.4.3 Chemická modifikace škrobu v organických rozpouštědlech

Používá se tam, kde chceme zachovat původní strukturu škrobových zrn za současné vysoké reakční aktivity a hydrofilizačního efektu substituční skupiny. V prostředí

organických rozpouštědel se provádějí všechny substituce škrobu silně hydrofilními substituenty, typická je zejména výroba karboxymethylového etheru. Používá se methanol, ethanol apod. Chemická modifikace škrobů v prostředí organických rozpouštědel vyžaduje speciální zařízení. Hlavní odlišností je regenerační aparatura na nosný alkohol, dále zvláštní uspořádání filtrace (filtrační odstředivky) a rafinace. Během výroby se ztrácí část alkoholu.

Pro účely textilního tisku se karboxymethylškrob vyrábí výrazně na bázi monodisperzního škrobu kukuřičného. Pro farmacii, potravinářství a flokuanty je výhodnější bramborový škrob (vysoce viskosní, sorpční a výměnná schopnost). Podle stupně substituce se mění teplota mazovatení – vyšší než 0,08 – mazovatí již ve studené vodě.

3.4.4 Termicky modifikované a extrudované škroby

Princip hydrotermických modifikací je založen na skutečnosti, že pokud se podaří ze škrobového mazu rychle odstranit hydratační vodu tak, aby se nemohly obnovit vodíkové můstky, zůstávají hydroxylové skupiny volné. To má za následek schopnost takto modifikovaného škrobu hydratovat ve studené vodě (20 – 25 °C) za vzniku koloidního roztoku nebo pasty.

Běžně škrob ve studené vodě nehydratuje. Makromolekuly škrobu jsou prostřednictvím vodíkových můstků fixovány v nerozpustný skelet. Dodáme-li teplo, pak se energetická vazba vodíkových můstků rozbíjí, hydroxyly jsou přístupné hydratační vodě. Následně musíme vodu ze systému odstranit tak, aby nedošlo při ochlazení ke znovuvytvoření vodíkových můstků. Odstranění vody musí proběhnout nad kritickou teplotou, kdy se začínají tvořit vodíkové můstky. Daného stavu docílíme odnětím hydratační vody prostřednictvím polárního organického rozpouštědla, pak následuje filtrace a sušení. Další průmyslově významný způsob je vstřikování zvlhčeného škrobu do páry, dochází k hydrataci a po oddělení cyklónem se suší v proudu suchého vzduchu – je to ale náročná technika.

Průmyslově jsou k tepelné modifikaci nejčastěji používány válcové sušárny, na které je nanášena vodná suspenze škrobu. Při styku s povrchem válce zahřátým na 120 – 150 °C škrob nejprve mazovatí, dále se roztírá do tenké vrstvy a ihned na to suší. Vyšší homogenity výrobku a úspory energie lze dosáhnout nanášením na válce již předem připraveného škrobového mazu. Další možností je příprava v instantizéru.

Sušení na válkách se používá i pro chemicky modifikované škroby (např. oxidované nebo acetylované), což umožňuje kombinovat užité vlastnosti. Pro rozpustné škrobové deriváty jde o vhodný způsob usušení vzniklého produktu.

Příklad složení škrobové suspenze s dalšími přísadami:

Škrobová suspenze (20-35 % sušiny) → přísady nereagující (kakao, barvivo,

konzervační látky, anorganické soli, sacharidy, instantizační látky – lecitin, oleje, vosky-zlepšení dispergovatelnosti) + přísady reagující (kyseliny, oxidanty, ethery a esterifikační látky)

Příkladem využití tepelně modifikovaného škrobu jsou pudinky připravované za studena, instantní mlékárenské polotovary, instantní polévky, směsi pro výrobu moučníků, termixy; používají se dále jako regulátory distribuce vody ve střídě při výrobě chleba a pečiva s prodlouženou trvanlivostí nebo jako náhrada tuku v majonéze.

Extrudované škroby vznikají kombinovaným působením vyšší teploty a mechanického namáhání vlhkého škrobu. Při tomto procesu je kontinuálně přidáván škrob o vlhkosti 15 – 30 % při průchodu extrudérem zahříván na teplotu 125 – 180 °C, přičemž teplo je dodáváno jednak vyhříváním pláštěm, jednak vzniká mechanickou kompresí a třením při nuceném pohybu hmoty pomocí rychle se otáčejícího šneku. Maz opouští extrudér výstupní tryskou a přítomná voda se okamžitě odpaří expanzí.

Extrudované škroby se používají ve slévárenství jako pojiva pro formy, jako komponenty dřevotřískových desek a dále v papírenství a textilním průmyslu.

3.4.5 Nejčastěji vyráběné modifikované škroby

3.4.5.1 Oxidované škroby

Obecně lze v molekule škrobu oxidovat primární alkoholické skupiny na uhlíku C₆ na skupiny karboxylové, a sekundární alkoholické skupiny na uhlících C₂ a C₃ na skupiny ketonické. Oxidační reakce lze rozdělit na neselektivní, kdy jsou oxidovány jak primární, tak sekundární alkoholické skupiny a na selektivní, kdy je oxidován pouze jeden typ skupin. Praktický průmyslový význam mají především reakce neselektivní, které provádíme obvykle v alkalickém prostředí chlornanem sodným, případně v kyselém prostředí peroxidem vodíku, popř. manganistanem draselným. Oxidovaný škrob pro potravinářské užití (E 1404) smí být vyráběn pouze pomocí NaClO.

Oxidované škroby jsou při vysoké koncentraci charakteristické nízkou viskozitou při vaření a naopak vysokou viskozitou při ochlazování (vznikne gel). Projevují se zvýšenou disperzní stabilitou vzhledem k přítomnosti karboxylových skupin se souhlasným nábojem, což snižuje asociaci molekul. Pevné, stabilní gely mají sníženou tendenci k retrogradaci. Teplota mazovatění je nižší než u nativních škrobů.

Hlavní využití oxidovaných škrobů je v papírenství (80 – 85 % aplikací), kde se využívá ke klížení, vytvrzování, úpravě povrchu pro tisk či natírání papíru. Další možností využití je pro výrobu sádrokartonových desek a izolačních materiálů, jako pomocná látka ve farmacii,

k výrobě lepidel, v textilním průmyslu (šlichtování – vlákno předtím, než jde na tkání, se obalí, apretury, tisk), na škrobení prádla, zlepšuje mechanické vlastnosti kůže.

V potravinářství se používá jako zahušťovadlo, stabilizátor, nosič kuchyňského koření, do želé v cukrovinkách (dílčí náhrada želatiny), k přípravě mrazených krémů, k obalování ryb a masa, jako zlepšovací přísada do pekařsky slabých mouk.

3.4.5.2 Enzymově a chemicky degradované škroby

Enzymovou modifikaci provádíme se škrobem v hydratovaném (zmazovatěném) stavu, na který působíme α -amylasou při optimální teplotě a pH. Získáme mírně hydrolyzované škroby s dextrosovým ekvivalentem DE menším než 20, které nazýváme maltodextriny. Maltodextriny nahrazují tuky při výrobě nízkoenergetických potravin.

Chemická modifikace se provádí obvykle přidavkem minerálních kyselin (nejčastěji sírové a chlorovodíkové) za mírně zvýšené teploty 35 – 52 °C po dobu 2 – 10 h.

3.4.5.3 Substituované škroby

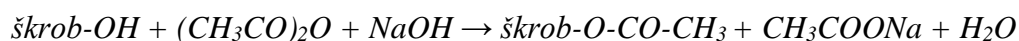
Glukosa, jako stavební jednotka molekuly škrobu, obsahuje tři (popř. dvě v místech větvení amylopektinu) volné hydroxylové skupiny a škrob tedy můžeme považovat za polyalkohol. Z tohoto důvodu je s ním možno provádět chemické reakce typické pro alkoholy, a to esterifikaci a etherifikaci. Nejvíce reaktivní jsou hydroxylové skupiny na uhlících C₆ a C₂. Substituované škroby proto dělíme do tří základních skupin: **estery**, **ethery** a samostatnou skupinu tvoří tzv. **zesítěné škroby**. Substitucí lze upravit tyto vlastnosti škrobů: hydratační vlastnosti (rozpuštěnost), disperzní stabilitu (retrogradaci), reologické vlastnosti disperzí a chemické vlastnosti (např. ionogenní škroby nesoucí elektrický náboj).

Velmi důležitým pojmem je tzv. stupeň substituce (DS = degree of substitution), který vyjadřuje počet substituovaných skupin na jednu glukosovou jednotku škrobu. Teoreticky by mohl dosahovat hodnoty 3, v praxi jsou nejvíce používány stupně substituce 0,01 – 0,5. Většina reakcí se odehrává v heterogenním systému škrobových suspenzí při teplotách do cca 60 °C a dostatečně dlouhé době (řádově v hodinách) k tomu, aby reakční činidlo mělo dostatečný čas proniknout dovnitř škrobového zrna a následně reagovat.

Ethery škrobu

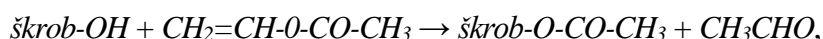
V průmyslové výrobě škrobů mají největší význam **acetáty** a **fosfáty** škrobu.

Acetáty škrobu vznikají reakcí s acetanhydridem v alkalickém prostředí (při pH = 8,5; 38 °C):



Jako vedlejší nežádoucí reakce probíhá rozklad acetanhydridu na octan v alkalickém

prostředí. Jinou možností přípravy je reakce s vinylacetátem (pH 9 – 10; 35 – 38 °C):



kde vedlejší reakcí je hydrolýza vinylacetátu a vlastního *acetátu škrobu*. Cílem použití acetylovaného škrobu (E1420) je zvýšit disperzní stabilitu roztoků v oblasti nízkých teplot (např. zahušťovadla pro mrazená jídla), dále se používá při výrobě grilovaných kuřat, uzených mas, drůbežích a masných specialit. Průmyslové použití lze nalézt v oblasti výroby biodegradovatelných plastů, lepidel, či jako papírenského pojiva.

Z anorganických esterů jsou nejdůležitější **škrobový monofosfát** (E1410), který vzniká esterifikací škrobu kyselinou fosforečnou, fosforečnanem sodným nebo draselným; případně trimetafosforečnanem sodným. Fosforečnanový monoester škrobu se vzhledem k velké vaznosti vody používá v konzervárenství, např. při výrobě zmrzlin, kečupů, pomazánek, majonézy a dressingů. Používá se také jako plnidlo při výrobě papíru, do desek ve stavebnictví nebo jako flokulant při čištění vod.

Škrobové ethery

Jejich společným znakem je etherický charakter vazby substituentu na molekulu škrobu. Vznikají třemi typy reakcí, a to otevíráním oxiranových kruhů, nukleofilní substitucí, alkylací (Williamsonova syntéza) a adicí na nenasycené sloučeniny (Michaelisova syntéza).

Příkladem reakce s otevřením oxiranového kruhu je vznik **hydroxypropyletheru škrobu** etherifikací škrobu propylenoxidem. Vzniklý hydroxypropylether škrobu (E 1440) je rozpustný ve studené vodě a vykazuje disperzní stabilitu. Používá se např. pro tzv. „šlichtování osnov“, tj. úpravu povrchu bavlněných a viskózových nití před vlastním tkaním nebo pro lepidla na textilní tisk.

Zvláštní skupinou jsou tzv. **kationické ethery škrobu**, jejichž substituenty s terciární či kvarterní amoniou bází nebo s aminoskupinami nejen zvyšují disperzní stabilitu, ale po disociaci ve vodném prostředí nesou kladný náboj.

Reakce probíhá ve dvou stupních. Kationické ethery se úspěšně využívají v papírenském průmyslu jako aditivum při klížení papíru (vazba kladně nabitého škrobu na celulosu – zvýšení pevnosti papíru, čistší odpadní vody, vyšší výtěžnost, levnější produkce).

Zesítené škroby

Vznikají esterifikační nebo etherifikační reakcí za tvorby intermolekulárních nebo intramolekulárních („příčných“) vazeb, spojujících molekuly škrobu do zesítených struktur

typu škrob₁-O-R-O-škrob₂ nebo škrob₁O-R-O-škrob₁ kde R je bifunkční skupina.

Na výsledné vlastnosti těchto škrobových derivátů nemá vliv chemický charakter substituentu, ale pouze počet příčných vazeb, přičemž již jedna vazba na několik tisíc glukosových jednotek škrobu výrazně mění jeho technologické vlastnosti.

Fosforečnanový diester škrobu (E1412) vzniká esterifikací a zesíťováním trimetafosforečnanem sodným nebo oxychloridem fosforitým. Používá se jako zahušťovadlo nebo stabilizátor např. pro masové konzervy, paštiky, masové směsi, majonézy, náplně či marmelády. Důležitým zesíťeným škrobem je **acetylovaný škrobový adipát** (*acetylated distarch adipate* – ADA; E1422). Vzniká esterifikací a zesíťováním škrobu kyselinou adipovou a anhydridem kyseliny octové; katalyzátorem je kyselina fosforečná.

Výrobci potravin jej používají jako stabilizátor, zahušťovadlo, ztužovač, enkapsulační prostředek, jako nosič nebo modifikátor chutí, protihrudkující prostředek, jako činidlo regulující vlhkost, jako prostředek zlepšující texturu. Zabraňuje synerezi výrobku (oddělování tekutiny) a používá se jako náhrada tuku a pro dětskou výživu.

3.4.6 Hydrolyzáty škrobu

Vyrábějí se následující druhy hydrolyzátů:

kapalné zahuštěné produkty (sirupy);

pevné produkty v práškové formě, které získáme usušením sirupů;

krystalické produkty, tj. glukosu, popř. maltosu.

Jejich společnou vlastností je vysoká až prakticky úplná hydrolýza glykosidových vazeb v makromolekule škrobu.

Glukosové sirupy jsou v podstatě vyčištěné koncentrované vodné roztoky glukosy a dalších sacharidických produktů s různým polymeračním stupněm, získané kyselou nebo enzymovou hydrolýzou škrobu. Stupeň zcukření (rozštěpení škrobové molekuly) je přibližně vyjádřen hodnotou dextrosového ekvivalentu (DE). Obvyklý stupeň zcukření sirupu odpovídá DE 38-48.

Maltosové sirupy se vyrábějí pomocí vhodných štěpících enzymů, převažující složkou v sušině je maltosa.

Glukosofruktosové sirupy se vyrábějí z glukosového sirupu, přičemž se za katalýzy glukosoisomerasou část glukosy izomerizuje na fruktosu. Výsledný sirup se nazývá isoglukosa nebo **HFCS** (*High Fructose Corn Syrob*) nebo **HFS**. Označení glukosofruktosových sirupů HFS se často doplňuje číselným údajem, který informuje o obsahu fruktosy v sušině, např. HFS 42, HFS 55 ap. Výroba isoglukosy je v Evropské unii