

Fyzikálně - chemické vlastnosti vybraných sacharidů

Monika Zúbková

Bakalářská práce
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav analýzy a chemie potravin

akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Monika ZÚBKOVÁ**

Osobní číslo: **T10472**

Studijní program: **B2901 Chemie a technologie potravin**

Studijní obor: **Technologie a řízení v gastronomii**

Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Fyzikálně-chemické vlastnosti vybraných sacharidů**

Zásady pro vypracování:

I. Teoretická část

1. Zpracujte krátkou literární rešerži na zadané téma: Fyzikálně-chemické vlastnosti vybraných sacharidů.
2. Stručně charakterizujte jednotlivé skupiny sacharidů, jejich vlastnosti a výskyt v potravinách.
3. Citujte veškerou použitou literaturu včetně webovských stránek, text zpracujte dle formátu vyžadovaného na UTB ve Zlíně.

II. Praktická část

1. V experimentální části proveďte měření viskozity na rotačním viskozimetru a na průtokovém viskozimetru vybraných vzorků potravin a polysacharidů (např. kečup, med, deriváty celulózy).
2. Viskozity měřte pro vybrané smykové rychlosti a koncentrační režim.
3. Získané výsledky zpracujte ve formě tabulek, grafů, schémat a pod. Proveďte výpočet a simulaci tokových křivek.
4. Vyhodnoťte chyby měření.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

1. J. Novák a kol.: Příklady a úlohy z fyzikální chemie. VŠCHT Praha, 2000. ISBN 80-7080-394-0.
2. P.C. Hiemenz, R. Rajagopalan: Principles of colloid and surface chemistry. Marcel Dekker, New York, Basel, 1997. ISBN 0-8247-9397-8.
3. P. Kadlec a kol.: Procesy potravinářských a biochemických výrob. VŠCHT Praha, 2003. ISBN 80-7080-527-7.
4. J. Velíšek, J. Hajšlová: Chemie potravin I. a II. OSSIS, Tábor, 2009. ISBN 978-80-86659-15-2.

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Lubomír Lapčík, Ph.D.**
Ústav technologie potravin


Datum zadání bakalářské práce: **11. února 2013**

Termín odevzdání bakalářské práce: **17. května 2013**

Ve Zlíně dne 11. února 2013


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




doc. Ing. Miroslav Fišera, CSc.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně

.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá výskytem, významem, jejich využitím a důležitostmi pro člověka ve výživě a v potravinářském průmyslu. V teoretické části jsou popsány skupiny sacharidů a jejich zástupci. Hlavní část pojednává o fyzikálně - chemických vlastnostech sacharidů. V neposlední řadě popisuje nezastupitelnost sacharidů v lidské spotřebě. Praktická část je zaměřena na studium viskozity a reologických vlastností různých potravinářských vzorků.

Klíčová slova: sacharidy, fyzikálně – chemické vlastnosti, potravinářství, výskyt, viskozita.

ABSTRACT

Bachelor Thesis deals with the occurrence, importance, use and relevance of carbohydrates in the human diet and food industry. There are described group of carbohydrates and their representatives in the theoretical part. The main part discusses the physical-chemical properties of carbohydrates. Finally, it also describes irreplaceable of carbohydrates in human nutrition. The practical part focuses on the study of viscosity and rheological properties of various food samples.

Keywords: saccharides, physico - chemical properties, food, occurrence, viscosity.

Ráda bych tímto poděkovala vedoucímu bakalářské práce panu prof. Ing. Lubomíru Lapčikovi Ph.D. za jeho čas, trpělivost, vstřícný přístup a cenné připomínky. Také bych ráda poděkovala Doc. Mgr. Barboře Lapčíkové, Ph.D., Ing. Ivu Krásnému a Ing. Ivaně Kupské za přístup do laboratoří a za pomoc při měření.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 SACHARIDY	12
1.1 SACHARIDY V POTRAVĚ	13
1.2 BUŇKA A SACHARIDY	14
1.2.1 Fotosyntéza	14
1.2.2 Funkce sacharidů v buňce	14
2 MONOSACHARIDY	16
2.1 NÁZVOSLOVÍ A STRUKTURA	16
2.1.1 Názvosloví a rozdělení sacharidů.....	17
2.1.2 Konfigurace monosacharidů	18
2.2 VLASTNOSTI MONOSACHARIDŮ.....	18
2.3 VÝZNAMNÉ MONOSACHARIDY	20
2.4 DERIVÁTY MONOSACHARIDŮ	23
3 OLIGOSACHARIDY	26
3.1 FYZIKÁLNÍ A CHEMICKÉ VLASTNOSTI OLIGOSACHARIDŮ.....	27
3.2 NĚKTERÉ VÝZNAMNÉ OLIGOSACHARIDY	29
4 POLYSACHARIDY	32
4.1 VLASTNOSTI A FUNKCE POLYSACHARIDŮ.....	32
4.2 FYZIOLOGIE A VÝŽIVA.....	33
4.2.1 Rozpustná vláknina	34
4.2.2 Nerozpustná vláknina.....	34
4.3 HOMOPOLYSACHARIDY	34
4.3.1 Škrob	34
4.3.2 Celulosa.....	39
4.3.3 Pektiny.....	40
4.4 HETEROPOLYSACHARIDY	40
4.4.1 Hemicelulosa.....	40
4.4.2 Rostlinné gummy	40
4.4.3 Rostlinné slizy	41
4.4.4 Polysacharidy z řas.....	41
4.4.5 Živočišné glykosaminoglykany	42
II PRAKTICKÁ ČÁST	43
5 CÍL EXPERIMENTÁLNÍ ČÁSTI	44
5.1 VSKOZITA	44
5.1.1 Viskozita roztoků makromolekulárních látek	45
6 MĚŘENÍ VSKOZITY NA ROTAČNÍM VSKOZIMETRU	47
6.1 ROTAČNÍ VSKOZIMETR	47
6.1.1 Princip měření	47

6.2	PŘÍPRAVA VZORKŮ DERIVÁTŮ CELULOSY	48
6.3	POSTUP MĚŘENÍ NA ROTAČNÍM VISKOZIMETRU	48
6.3.1	Měřené vzorky	48
6.4	NAMĚŘENÉ HODNOTY	49
6.4.1	1% 2-hydroxyethylcelulosa.....	49
6.4.2	1% karboxymethylcelulosa	50
6.4.3	1% karboxymethylcelulosa vysokoviskozní	51
6.4.4	Kečup	52
6.4.5	Med květový.....	53
7	MĚŘENÍ VISKOZITY NA PRŮTOKOVÉM (KAPILÁRNÍ) VISKOZIMETRU	54
7.1	KAPILÁRNÍ VISKOZIMETR – UBBELOHDEŮV VISKOZIMETR.....	54
7.1.1	Princip měření	54
7.2	PŘÍPRAVA VZORKŮ.....	54
7.3	POSTUP MĚŘENÍ NA KAPILÁRNÍM VISKOZIMETRU	55
7.3.1	Měřené vzorky	55
7.4	NAMĚŘENÉ HODNOTY	56
7.4.1	Karboxymethyl celulosa CMC.....	56
7.4.2	2-hydroxyethyl celulosa HEC	58
7.4.3	Karboxymethyl celulosa vysokoviskozní	60
8	VYHODNOCENÍ A DISKUZE	63
8.1	ROTAČNÍ VISKOZIMETR	63
8.2	PRŮTOKOVÝ VISKOZIMETR.....	64
	ZÁVĚR	66
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	68
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	73
	SEZNAM OBRÁZKŮ	74
	SEZNAM TABULEK.....	76

ÚVOD

Sacharidy jsou nejrozšířenější přírodní látky, které jsou zastoupeny ve všech rostlinných a živočišných buňkách. Zelené rostliny produkují sacharidy při fotosyntéze, naproti tomu živočichové je musejí přijímat v potravě. V organismu mají spoustu důležitých a nepostradatelných funkcí. Sacharidy jsou využívány jako zdroj okamžité i zásobní energie.

Sacharidy jsou značně reaktivní složky téměř všech potravin. Velká většina populace si také myslí, že sacharid a cukr je stejný pojem, i když mezi těmito pojmy existuje zásadní rozdíl. Tento rozdíl právě ovlivňují fyzikálně – chemické vlastnosti sacharidů, jejich konfigurace či prostorové uspořádání.

Sacharidy jsou velmi důležitou součástí lidské výživy. Jejich fyzikálně – chemické vlastnosti ovlivňují nejen výživovou hodnotu, ale také celkový charakter potravin (jako jsou například organoleptické vlastnosti). Mají velmi široký rozsah použití v potravinářském průmyslu. Od masné výroby, kde se používá škrob jako plnidlo, přes mlékárenskou výrobu, jako výživu pro bakterie mléčného kvašení, až k ostatním odvětvím v potravinářství. Některé odvětví potravinářského průmyslu jsou přímo založené na fyzikálně - chemických vlastnostech sacharidů (cukrovarnictví, cukrářství). Postupným zkoumáním struktur a konfigurací se sacharidy rozdělily na tři důležité skupiny: monosacharidy, oligosacharidy a polysacharidy. Takže s postupem času se zjistilo, proč si například čaj polysacharidem neosladíte. A za vším stojí fyzikálně - chemické vlastnosti. Také díky těmto vlastnostem můžeme sacharidy v potravinách dokazovat. V potravinách, kde být mají, či tam, kde je například omezené povolené množství sacharidů.

Sacharidy jsou důležité jako samostatné jednotky, tak i spolu s ostatními živinami, stejně důležité jsou také jejich metabolity nebo také sacharidy v různých modifikacích.

Jsou-li sacharidy přijímány v nedostatečném množství, tělo začne jako zdroj energie využívat bílkoviny, což může vést ke katabolismu svalové tkáně. Sacharidy by měly představovat přibližně 60% denního příjmu kalorií. Ze složitých sacharidů je vytvořena také vláknina, té bychom měli denně. Sacharidy jsou pro člověka velmi důležité a nezbytné, ovšem ne vždy nám mohou pomáhat, jejich nedostatek či nadbytek jsou pro člověka velmi nebezpečné. Celosvětový problém s nadváhou velmi úzce souvisí s příjmem sacharidů (resp. cukrů). Neumírněná konzumace sacharidů způsobuje velmi vážné zdravotní problémy.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 SACHARIDY

Základy chemie sacharidů položil chemik Emil Fisher, který jako první provedl totální syntézu D-glukózy z formaldehydu a prokázal taky její strukturu. V České republice se nejvíce zasloužil o rozvoj sacharidů chemik Emil Votoček [1].

Sacharidy se označují jako polyhydroxyaldehydy a polyhydroxyketony obsahující ve své molekule alespoň tři alifaticky vázané uhlíkové atomy. Také sloučeniny, které se z nich tvoří vzájemnou kondenzací za vzniku acetalových vazeb, tj. látky ze kterých vznikají sacharidy hydrolýzou [2].

Podle počtu uhlíků přítomných v molekule rozeznáváme triosy, tetrosy, pentosy, hexosy atd. Sloučeniny s ketonovou skupinou se nazývají ketosy (např. ketohexosa), naopak sloučeniny s aldehydovou skupinou se označují jako aldosity (např. aldopentosa, aldohexosa atd.) [3, 2].

K cukrům se zpravidla řadí také různé další geneticky příbuzné deriváty, ačkoli neobsahují skupinu aldehydickou nebo ketonovou, např. alkoholické cukry, aldonové kyseliny apod. [4]. K sacharidům volně řadíme také i cyklitolů, neboli polyhydroxycyklohexany, jelikož se jim podobají chemickými i fyzikálními vlastnostmi [1].

Někdy se místo názvu sacharidy používá také označení glycidy, a to zejména ve sloučeninách, např. glykoproteiny, obsahující vedle cukrů i složky necukerné [4]. Podle výskytu jsou sacharidy volné nebo vázané (např. homoglykosidy, heteroglykosidy, N-glykosidy, S-glykosidy apod.) [6].

Podle počtu cukerných jednotek, které jsou v molekule vázány, rozdělujeme sacharidy obecně na tyto skupiny:

- Monosacharidy jsou cukry, které hydrolýzou neposkytují žádný cukr s menší molekulovou hmotností.
- Oligosacharidy poskytují hydrolýzou dva až deset molekul monosacharidů, které jsou spojené glykosidovými poloacetalovými vazbami.
- Polysacharidy poskytují hydrolýzou více než deset molekul monosacharidů [1, 2, 4, 8].

Mezi monosacharidy patří D-ribosa, D-arabinosa, D-glukosa, D-manosa, D-galaktosa, D-fruktosa, D-xylosa a mnoho dalších, monosacharidy se můžou dělit na aldosity či ketosy. Mezi nejdůležitější oligosacharidy se řadí maltosa, sacharosa, laktosa atd. Polysacharidy mají různé vlastnosti, funkce, složení a využití. Mezi tyto sacharidy se řadí například celulósa, škrob, pektiny a další [2, 43, 45, 49].

1.1 Sacharidy v potravě

Sacharidy dělíme podle využitelnosti ve výživě:

1. Sacharidy využitelné – do této skupiny patří polysacharidy jako škrob, glykogen, dextriny, také některé oligosacharidy (sacharosa, maltosa) a monosacharidy (glukosa, fruktosa, ribosa).
2. Sacharidy špatně využitelné – sem patří z monosacharidů xylosa a arabinosa .
3. Sacharidy nevyužitelné – do této skupiny patří některé polysacharidy (celulósa, chitin, pektiny)[3].

Monosacharidy a oligosacharidy se někdy označují souhrnným názvem „cukry“, neboť mají mnoho společných základních vlastností jako je například sladká chuť [2].

Sacharidy jsou základní živinou tvořící 50-65% energie přijaté denně v potravě. V některých rozvojových zemích se počítá dokonce až s 80% [3].

Sacharidy neboli cukry jsou nejrozšířenější složkou potravy a spolu s bílkovinami a tuky se řadí mezi hlavní živiny. Jsou nejpohotovější, přitom snadno dostupným a nejdůležitějším zdrojem energie pro svalovou práci a pro tělesné funkce. Z ostatních látek v potravinách lze energii získat až po jejich přeměně na základní monosacharid glukosu [7, 3, 32, 38].

Sacharidy z potravinářských surovin a potravin se převážně izolují extrakcí. K dokonalé extrakci musíme materiál velmi jemně rozdrtit. Jako extrakční činidlo se používá voda nebo 80% ethanol [8].

V potravinách se také běžně vyskytují sloučeniny sacharidů, které mají necukernou složku, jako např. glykoproteiny, glykolipidy, heteroglykosidy, ribonukleotidy, některé vitamíny, flavonoidy aj. [4].

Výhodné je, jestliže hlavní podíl sacharidů tvoří ve stravě především polysacharidy (především škrob). Ty se odbourávají v trávicím ústrojí pomalu, takže vstřebání glukosy, která

vznikla jejich hydrolyzou, je také pozvolné a nezatěžuje organismus. Jestli potřebujeme rychle dodat tělu energii, je vhodnější podat glukózu nebo sacharózu [3].

Mezi nejběžnější a nejvýznamnější reakce redukujících sacharidů, které probíhají při skladování a zpracování potravin, jsou reakce s aminosloučeninami. Tato reakce se nazývá Maillardova reakce, reakce neenzymového hnědnutí. Produkty těchto reakcí jsou důležité pigmenty žluté, hnědé až černé barvy a aromatické látky mnoha potravin. Na druhou stranu vznikají také látky vykazující určité antinutriční a toxické účinky [2, 47].

1.2 Buňka a sacharidy

Sacharidy vznikají v přírodě v buňkách fotoautotrofních organismů, a to asimilací vzdušného oxidu uhličitého v přítomnosti vody a za využití energie denního světla, především fotosyntézou, přeměněné ve fotosystémech na chemickou energii. Na druhou stranu heterotrofní organismy získávají potřebné sacharidy z autotrofních organismů nebo z nesacharidových substrátů (např. aminokyseliny, hydroxykyseliny, glycerol a jiné látky). Tento děj se nazývá glukoneogeneze [2].

Sacharidy jsou nejrozšířenějšími sloučeninami v biosféře [5].

1.2.1 Fotosyntéza

Fotosyntéza je děj, při kterém vznikají také právě zmíněné sacharidy. Ty vznikají ve tmavé fázi (v Calvinově cyklu). Tato fáze je řadou enzymatických reakcí, při které je vzdušný oxid uhličitý redukován vodíkem na cukr. Vznikající cukr je dalšími enzymatickými reakcemi přeměněn na stálé produkty ve fotosyntéze, také zvané jako asimiláty (škrob, bílkoviny, tuky a jiné organické látky) [9].

1.2.2 Funkce sacharidů v buňce

Sacharidy mají v buňkách různé, ale velmi důležité funkce:

- Využívají se především jako zdroj energie, a proto se spolu s bílkovinami a lipidy řadí k hlavním živinám pro buňku. Některé polysacharidy, oligosacharidy a monosacharidy: 1g cukru poskytuje 17 kJ, tj. 4 kcal, energetická výtěžnost cukerných alkoholů je jen 10 kJ.g⁻¹, tj. 2,4 kcal.g⁻¹.

- Jsou také základními stavebními jednotkami mnoha buněk, chrání buňku především před působením některých vnějších vlivů (např. některé polysacharidy a složené sacharidy). Je to stavební materiál všech rostlinných buněk a tkání.
- Jsou také biologicky aktivními látkami, tato funkce je označovaná jako signální (např. oligosacharidy mléka) nebo také složkami mnoha biologicky aktivních látek jako jsou glykoproteiny, nukleové kyseliny, některé koenzymy, hormony, vitamíny aj. [1, 2].

Sacharidy jsou také významné suroviny v textilním a chemickém průmyslu, v potravinářství a při biotechnologických postupech. Neustále roste jejich důležitost jako meziproducty v organické chemii, neboť cukerné stavební jednotky obsahující chirální centra značně usnadňují syntézu složitých chirálních molekul, jako přírodních tak i nepřírodních. Se sacharidy můžeme také počítat jako perspektivní zdroj chemické energie [1].

2 MONOSACHARIDY

Monosacharidy se vyskytují volně, ale především vázané v oligosacharidech a polysacharidech [4, 14].

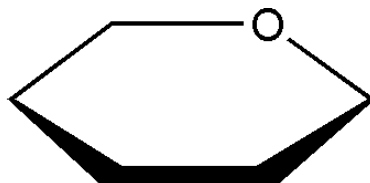
Jsou běžnou součástí téměř všech potravin. V poměrně velkém množství jsou zastoupeny především v ovoci a zelenině. Jejich obsah se ale zvyšuje v době zrání. Významný vliv na množství monosacharidů mají také podmínky skladování a zpracování [10].

Monosacharidy nemůžou být dále hydrolyzovány na jednodušší cukry. Mnoho z nich je syntetizováno z jednodušších látek pomocí glukoneogeneze [11].

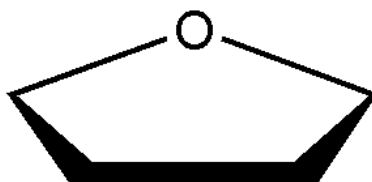
2.1 Názvosloví a struktura

Základní monosacharidy jsou odvozené od glycerinaldehydu nebo dihydroxyacetonu. Lze je také charakterizovat obecnou acyklickou strukturou [2].

Ve skutečnosti existují monosacharidy v cyklických strukturách hemiacetálové povahy. Jsou odvozené od tetrahydropyranu, neboli oxanu, nebo tetrahydrofuranu (oxolanu). Jsou tedy heterocyklické sloučeniny [1].



Obr. 1. Glukosa



Obr. 2. Tetrahydrofuran

Řetězec monosacharidů v potravinách je obvykle lineární, ale existují také monosacharidy, které mají uhlíkový řetězec rozvětvený [2].

2.1.1 Názvosloví a rozdělení sacharidů

Monosacharidy můžeme rozdělit podle několika hledisek. Podle druhu přítomné karbonylové skupiny se monosacharidy dělí na:

- Aldosy, které obsahují aldehydickou skupinu.
- Ketosy, které obsahují ketonovou (oxo) skupinu.

Podle počtu uhlíkových atomů v molekule se monosacharidy také dělí na tyto hlavní skupiny:

- Triosy, které obsahují tři atomy uhlíku.
- Tetrosy, obsahující čtyři atomy uhlíku.
- Pentosy s pěti atomy uhlíku.
- Hexosy se šesti atomy uhlíku.
- Heptosy se sedmi atomy uhlíku.

V potravinářství jsou nejdůležitější z monosacharidů jenom pentosy a hexosy.

Heterocyklické formy cukrů se označují podle typu kruhu:

- Funarosy – jsou to deriváty tetrahydrofuranu, mají pětičlenný kruh.
- Pyranosy – jsou to deriváty tetrahydropyranu, mají šestičlenný kruh.
- Septanosy – mají sedmičlenný kruh.

V potravinářství jsou nejdůležitější z monosacharidů jenom pentosy a hexosy [4].

Můžeme použít triviální, či systematické názvy monosacharidů. Z triviálních názvů se odstraněním zakončení *-sa* vytvoří konfigurační předpony, které jsou základem názvosloví sacharidů a píšou se kurzívou. Konfigurační předpony jsou např. pro triosy *glycero-*, pro tetrosy *erythro-*, *threo-*, pro pentosy *arabino-*, *lyxo-*, *ribo-*, *xylo-* a pro hexosy to jsou *allo*, *altro-*, *galakto-*, *gluko-* a jiné. Spolu s konfiguračním symbolem, který je D- nebo L- definují absolutní konfiguraci sekundárních hydroxylových skupin, či jiných substituentů na uhlíkovém řetězci. [1].

Glyceraldehyd obsahuje jeden asymetrický uhlík, takže se vyskytuje ve dvou formách, a to jako L-glyceraldehyd a D- glyceraldehyd. Od těchto dvou sloučenin se odvozují všechny vyšší cukry, které mají větší počet atomů uhlíku [5].

Nejjednoduššími monosacharidy jsou triosy [18]. Nejjednodušší aldosa je glycerinaldehyd, a za nejjednodušší ketosu je považován dihydroxyaceton. Z nich lze odvodit další monosacharidy s obecnou strukturou [12].

2.1.2 Konfigurace monosacharidů

Monosacharidy se mohou ještě dělit na L- a D- formu. Pro zařazení mezi tyto formy je určující stereokonfigurace asymetrického uhlíku, který je nejbližší od karbonylové skupiny [18].

Právě tato konfigurace na každém chirálním centru se značí D- nebo L-. Tuto konfiguraci rozlišujeme, jestli je na posuzovaném atomu ve Fisherově projekci hydroxylová skupina vpravo anebo vlevo. Monosacharidy řadíme k D-řadě, jestliže konfigurace na tomto chirálním atomu uhlíku je totožná jako u D-glycerinaldehydu, hydroxylová skupina je vpravo. U L-monosacharidů je konfigurace opačná. Tato konfigurace nemá žádný vztah ke směru optické rotace. Některé cukry řady D- jsou pravotočivé, jiné jsou levotočivé [5].

2.2 Vlastnosti monosacharidů

Volné monosacharidy jsou vždy chirální. Vyznačují se redukčními vlastnostmi a z bazických roztoků iontů Ag^+ a Cu^{2+} vylučují kovové stříbro. Mají také tendenci tvořit komplexy především s ionty Cu^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} a také s řadou vícemocných kationtů Fe^{3+} , Mn, Al a dalších kovů [1].

V bazickém prostředí jsou monosacharidy málo stálé, za normální teploty podléhají isomerii, eliminaci a přesmykům. Jejich uhlíkatý řetězec se štěpí, nebo se může také rekombinovat. Za vyšších teplot se rozkládají na nízkomolekulární kyseliny, hlavně na kyselinu mléčnou. D-glukosa se například ve vodném roztoku NaOH za normální teploty částečně isomeruje na D-manosu a D-fruktosu [1].



Všechny monosacharidy, které mají mnoho hydroxylových skupin, jsou výrazně polární, dobře rozpustné ve vodě, v methanolu a ethanolu, ale jsou naopak nerozpustné v nepolárních organických rozpouštědlech. Většinou také chutnají sladce [5].

Volné sacharidy, které nejsou substituované, jsou bezbarvé (v blízké ultrafialové oblasti nejeví absorpci) a krystalické látky. Vlivem četných vodíkových vazeb mají poměrně vysoké body tání. Některé sacharidy špatně krystalizují za přítomnosti nečistot. Všechny monosacharidy jsou opticky aktivní [12].

Monosacharidy, které se vyskytují v potravinách (většinou jsou to pentosy a hexosy), obsahují 2 až 4 asymetrické uhlíkové atomy, proto jsou monosacharidy (jejich roztoky) opticky aktivní, tedy stáčí rovinu polarizovaného světla. Tyto roztoky otáčejí rovinu polarizovaného světla doprava, nebo doleva. Jsou tedy buď pravotočivé, nebo levotočivé. Anomery mají rozdílné optické otáčivosti [4].

Po rozpuštění aldosa nebo ketosa se v roztocích po určité době ustaví rovnováha mezi jejími cyklickými a acyklickými formami. Složení rovnovážné směsi závisí především na vlastnostech rozpouštědla. Zmíněný acidobazicky katalyzovaný děj je spojen se změnou optické otáčivosti, protože každá z forem vzniklých v roztoku má jinou otáčivost než výchozí forma. Tato charakteristická vlastnost aldosa a ketosa se nazývá mutarotace. Rovnovážný stav závisí také na podmínkách, např. na teplotě. Při 20°C je v roztocích D-glukosy v rovnovážném stavu asi 33 % α -anomeru a 67 % β -anomeru. V roztocích D-manosy je tomu naopak [1, 4].

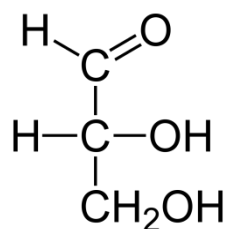
Hydroxylové skupiny cukrů jsou kyselejší v porovnání s běžnými primárními a sekundárními alkoholy. Tento fakt je způsoben větším počtem kyslíkových atomů v molekule. Kyselost hydroxylové skupiny závisí na poloze v kruhu, na její prostorové orientaci, může také záviset na její vodíkové vazbě. Acidita, popřípadě bazicita hydroxylových skupin je důležitou vlastností pro posuzování jejich reaktivity [1].

Působením slabých bází dochází k epimeraci. Je to změna konfigurace na druhém uhlíku. Glukosa se například epimerizuje na manosu. Naopak působením silných alkálií dochází k hlubokým strukturálním změnám, někdy až k celkovému rozkladu. Působením silných kyselin poskytují aldopentosy fufural a aldohexosy hydroxymethylfufural. Tato reakce se používá v kolorimetrii při stanovení monosacharidů [12].

2.3 Významné monosacharidy

D-glyceraldehyd

Neboli 2,3-dihydroxypropanal. Spolu s dihydroxyacetonem jsou nejjednoduššími cukry. Lze je považovat za dehydrogenační produkty glycerolu. Důležitou jsou především jejich estery s kyselinou fosforečnou jako mezi produkty při odbourávání glukosy [5].

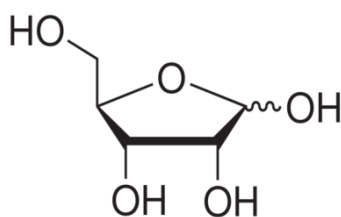


Obr. 3. D-glyceraldehyd

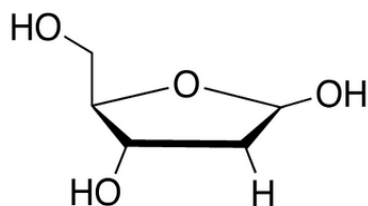
D-ribosa a 2-deoxy-D-ribosa

Jsou stavebními jednotkami nukleotidů a nukleových kyselin, kde je glykosidově vázána. Ribosa je součástí ribonukleových kyselin, a její derivát 2-deoxy-D-ribosa je obsažena v deoxyribonukleových kyselinách. D-ribosa je běžná i v dalších biochemicky významných sloučeninách (ATP, NADPH, atd.). Oba monosacharidy jsou v těchto kyselinách vázány jako furanosy. Deoxyribosa nemá v poloze 2 hydroxylovou skupinu [12].

D-ribosa se synteticky připravuje epimerací D-arabinosy. Je důležitá při výrobě riboflavinu, vitamínu B [1].



Obr. 4. D-ribosa



Obr. 5. 2-deoxy-D-ribosa

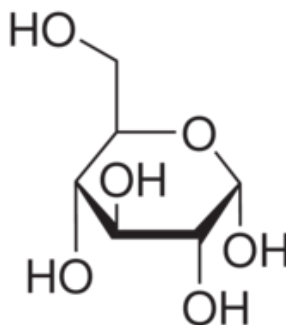
D-glukosa

Má největší význam z monosacharidů. Nazývá se také hroznový cukr nebo dextrosa. Pro tělo je životně důležitý. Vyskytuje se volná anebo vázaná ve formě oligosacharidů i polychacharidů. Volně se vyskytuje ve sladkém ovoci (1-5 %) a medu (30 %). U člověka se volná glukosa vyskytuje v krvi (3,3 – 5,5 mmol/l), v lymfě a mozkomíšním moku. Je regulovaná účinkem hormonů inzulínu a glukagonu. Polysacharidy obsahující glukosu se nazývají glukany, patří mezi ně škrob, celulóza, glykogen, dextran. Glukosa se používá v lékařství jako součást umělé výživy [3, 5, 37, 41].

Glukosa může být využita k syntéze glykogenu, jako zásobní forma sacharidů v játrech nebo ve svalech [19].

Glukosa také stavební jednotkou maltosy, laktosy a sacharosy. Technicky se vyrábí kyselou a enzymovou hydrolyzou bramborového a kukuřičného škrobu, nebo dvoustupňovým procesem ze dřeva. Je klíčovou sloučeninou metabolismu a zdrojem energie živočichů a rostlin [1].

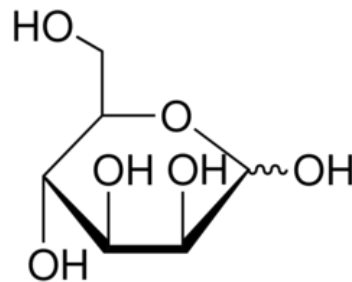
Glukosa spolu s galaktosou jsou nevhodné pro diabetiky [13].



Obr. 6. D-glukosa

D-manosa

Vyskytuje se v přírodě pouze vázaná pouze v polysacharidech, obsažených například v buněčných stěnách kvasinek. Vyskytuje se také v rostlinách, Liší se od D-glukosy pouze konfigurací na druhém atomu uhlíku. Manosa je epimer glukosy. V živočišném organismu tvoří sacharidovou součást glykoproteinů krevní plazmy [12].

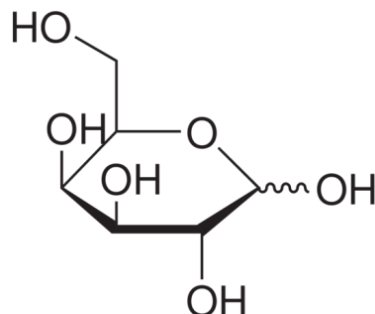


Obr. 7. D-manosa

D-galaktosa

Liší se od D-glukosy konfigurací na čtvrtém atomu uhlíku. Je epimerem glukosy, stejně jako D-manosa. Je složkou mléčného cukru, disacharidu laktosy. Ten se získává ze syrovátky z kravského mléka. A je součástí glycidové složky glykoproteinů. V rostlinách je součástí polysacharidů rostlinných gum a slizů [4, 12].

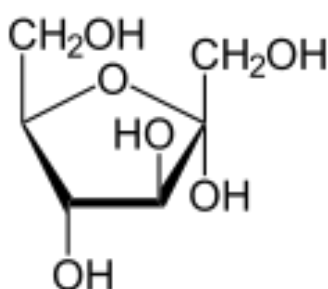
Vedle D-galaktosy se v přírodě vyskytuje také L-galaktosa (agar). V těle se galaktosa metabolizuje po přeměně na monosacharid glukosu [16].



Obr. 8. D-galaktosa

D-fruktosa

Fruktosa známá jako ovocný cukr. Je nejrozšířenější ketohexosou. Je rozšířená především v ovoci a medu. Volná fruktosa tvoří přednostně pyranosový kruh. Fruktofuranosa se vyskytuje pouze v oligosacharidech, polysacharidech a fosforečných esterech. Tvoří bezbarvé krystaly, které mají silně sladkou chuť. Z biochemické stránky jsou významné dva estery: fruktosa-6-fosfát a fruktosa-1,6-bisfosfát. Jsou to meziproducty odbourávání glukosy a glukoneogeneze [4, 28, 42].



Obr. 9. D-fruktosa

2.4 Deriváty monosacharidů

Cukerné alkoholy

Vznikají redukcí karbonylové skupiny aldos a ketos. Jsou to alifatické polyhydroxyderiváty uhlovodíku [2].

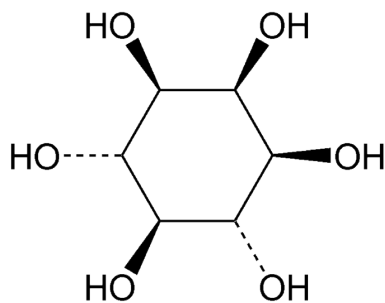
Do této skupiny patří alditoly. Vyskytují se běžně v ovoci, houbách a zelenině. Jsou sladké, a jelikož nezvyšují hladinu krevního cukru, používají se také jako sladidla pro diabetiky. Dále se používají u řady pekárenských a hlavně cukrovinkářských výrobků. Nejjednodušším alditolem je glycerol. Je odvozen od D-glyceraldehydu, L-glyceraldehydu, nebo také dihydroxyacetonu [12].

Redukcí D-glukosy vzniká touto reakcí D-glucitol, dříve se nazýval sorbit. Je meziproductem při výrobě vitamínu C a používá se také jako sladidlo pro diabetiky. Získává se také z D-fruktosy spolu s D-mannitolem, který se rovněž využívá v potravinářství [1].

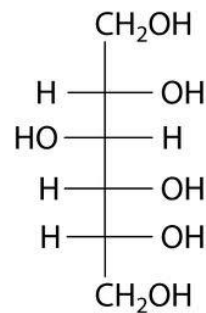
D-glucitol je bezbarvá krystalická látka na vzduchu hygroskopická, výborně rozpustná ve vodě. Estery glucitolu a jeho anhydridu jsou dobrými emulgátory [4].

Mezi cukerné alkoholy dále patří cyklitoly. Nacházejí se v obilovinách, luštěninách, sóji, ve vinných moštích, také v potravinách živočišného původu ve formě fosfolipidů [2,12].

Nejvýznamnějším cyklitolem v potravinářství je hexahydroxycyklohexan, zvaný také inositol [4].



Obr. 11. Inositol



Obr. 10. D-glucitol

Cukerné kyseliny

V potravinách jsou jako volné látky, ale také jsou součástí mnoha oligosacharidů, polysacharidů, heteroglykosidů. Nejčastěji jsou cukerné kyseliny odvozené od monosacharidů oxidací aldehydové skupiny nebo primární alkoholové skupiny. V potravinách jsou jako přirozené látky, které vznikly enzymovými reakcemi. Některé cukerné kyseliny odvozené od hexos a nižších cukrů vznikají chemickými reakcemi při skladování a zpracování potravin. Významné jsou zejména reakce neenzymového hnědnutí [2].

Oxidace aldosa slabými oxidačními činidly, například bromovou vodou nebo oxidem stříbrným, či chlornanem, které napadají pouze vysoce reaktivní aldehydovou skupinu. Tyto produkty oxidačních reakcí se nazývají aldonové kyseliny, obecně glykonové. Například D-glukosa se oxiduje na glukonovou kyselinu [12].

Mají aldehydickou skupinu nahrazenou skupinou karboxylovou. Snadno také tvoří laktony, např. již při zahušťování vodných roztoků. Laktony jsou vnitřní estery, cyklické molekuly obsahující esterové uspořádání. [4].

Použitím silnějšího oxidačního činidla se kromě aldehydové skupiny oxiduje primárně alkoholická skupina. Získají se polyhydroxydikarboxylové kyseliny nazývané aldarové kyseliny [13].

Tyto kyseliny mají dvě karboxylové skupiny v molekule. Vznikají například oxidací kyselinou dusičnou. D-cukrová neboli D-glukarová kyselina vzniká oxidací D-glukosy a škrobu [4].

Dalším typem cukerných kyselin jsou uronové, neboli alduronové kyseliny. Ty se odvozují od monosacharidů oxidací primární hydroxylové skupiny, pokud se před oxidací uchrání aldehydové skupina. Z D-glukosy ta vznikne D-glukuronová kyselina (vyskytuje se jako pyranosa) [2]. Epimerací kyseliny glukuronové vzniká kyselina L-iduronová, která je součástí mukopolysacharidu heparinu [18].

Glykosidy

Jedna z nejvýznamnějších vlastností monosacharidů je schopnost tvořit glykosidy. Glykosidy jsou sloučeniny odvozené od pyranosové nebo furanosové formy, deriváty cyklických forem. Atom vodíku anomerní hydroxylové skupiny se nahradí skupinou alkyl- nebo aryl-. Jestliže je touto skupinou methyl, nazýváme tyto látky methylglykosidy. Necukernou část glykosidu nazýváme aglykon (dříve genin). U methylglykosidů je aglykonem methanol [1].

Glykosidy se v kyselém prostředí nebo působením enzymů hydrogenují v cukernou složku, nebo v právě zmíněný aglykol, nebo v několik jednoduchých cukrů. Podobně jako i jiné sloučeniny, které obsahují hydroxylové skupiny, mohou i sacharidy tvořit s organickými kyselinami ethery [4].

Podle konfigurace poloacetálového hydroxyly vznikají α - nebo β -glykosidy. Ty mohou vznikat nejenom reakcí s alkoholy, ale i s dalšími sloučeninami, které obsahují hydroxylové skupiny [13, 14].

Glykosidy odvozené od glukosy se nazývají glykosidy, od manosy jsou to manosidy. Jako přirozené složky se v potravinách vyskytují také S-glykosidy, zvané také jako thioglykosidy. Dusíkaté analogy glykosidů jsou N-glykosidy, neboli glykosylaminy. Ty se vyskytují jako přirozené složky potravin a vznikají v Maillardově reakci [2].

Glykosylaminy na vzduchu snadno tmavnou a rozkládají se. Ve vodných roztocích jsou velmi nestálé. Celkově **aminocukry** mají také jednu hydroxylovou skupinu nahrazenou aminoskupinou ($-\text{NH}_2$), ale nejde o poloacetálovou skupinu. Tyto aminocukry se vyskytují vázané v některých antibiotikách, glykoproteinech, v chitinu, aj. [4].

3 OLIGOSACHARIDY

Oligosacharidy se odvodí z cyklických struktur monosacharidů odštěpením vody, tak aby se mezi jednotlivými monosacharidy vytvořily glykosidové vazby, touto vazbou se monosacharidy k sobě připojí. Počet stavebních monosacharidových jednotek jsou dvě až deset v oligosacharidech. Proto můžeme oligosacharidy dělit a di-, tri- až dekasacharidy [1].

K oligosacharidům patří sacharidy, které se hydrolyzují za vzniku dvou až deseti molekul monosacharidů. Monosacharidy mohou být různé nebo stejné a jsou vzájemně spojené poloacetálovými vazbami. Oligosacharidy vznikají tím, že monosacharidové jednotky se mohou spojovat tak, že se na poloacetálový hydroxyl připojí hydroxylová skupiny dalšího monosacharidu. Většina oligosacharidů vyskytující se v potravinách má triviální název [3, 4].

Oligosacharidy jsou obvykle složeny z běžných monosacharidů D- formy [2].

V potravinách je obsaženo velké množství volných nebo vázaných oligosacharidů. Jsou také velmi často součástí proteinů (glykoproteinů) a lipidů (glykolipidy) [11]. Jsou například v ovoci, zelenině, mléce, medu. Jsou většinou složeny z glukosy, fruktosy, galaktosy a maltosy v různých kombinacích. Nejvýznamnější disacharidy jsou maltosa složená ze dvou molekul glukosy, sacharosa složená z glukosy a fruktosy a naposled laktosa tvořená glukosou a galaktosou [10].

Monosacharidy se v oligosacharidech mohou vyskytovat jako furanosy, nebo také jako pyranosy. V oligosacharidech jsou nejčastěji vázané hexosy. Kyselinami nebo určitými enzymy se oligosacharidy štěpí na nižší jednotky [11].

Při vzniku oligosacharidu se vzájemně kondenzují dvě poloacetálové hydroxylové skupiny, a jestliže neobsahuje vzniklý disacharid anomerní hydroxylovou skupinu, disacharid je neredukující. Vlastnostmi a reaktivitou se redukující oligosacharidy podobají monosacharidům [1]. Mezi neredukující disacharid patří sacharosa [2].

Je-li v molekule zachován alespoň jeden poloacetálový volný hydroxyl, má disacharid redukční vlastnosti. Redukující disacharid vykazuje v roztocích mutarotaci a vyskytuje se jako α - nebo β -anomer. Mezi redukující sacharidy patří maltosa, laktosa a isomaltosa [13]. Redukující disacharid může dále tvořit glykosidy s dalšími sloučeninami [5].

V potravinách (např. ovoci, zelenině, mléce, medu) se nachází velké množství oligosacharidů volných, tak i vázaných. Jsou jejich přirozenými složkami potravin [2].

3.1 Fyzikální a chemické vlastnosti oligosacharidů

Disacharidy a vyšší oligosacharidy existují ve formě různých konformačních isomerů. Ty se liší energetickým stavem, který je dán rotací molekul monosacharidů kolem glykosidové vazby [2].

Oligosacharidy jsou v bazickém prostředí stálejší než monosacharidy. Působením kyselin se hydrolyzují na nižší monosacharidy. Glykosidové vazby se liší svou stabilitou v kyselém prostředí, proto v některých případech lze provést selektivní hydrolýzu, např. pomocí enzymů [1]. Například sacharosa se štěpí enzymem invertasou. Rychlost hydrolýzy závisí na kyselosti prostředí, poloze glykosidické vazby, velikosti kruhu. Bylo zjištěno, že se β -D-sacharidy hydrolyzují obtížněji než anomerní α -D-sacharidy. Také pyranosy jsou stabilnější než furanosy [4].

Roztoky oligosacharidů zpravidla vykazují optickou otáčivost a často i mutarotaci (redukcující cukry). Mají také poměrně vysoké body tání. Také chemické vlastnosti jsou velmi podobné s monosacharidy, ovšem oligosacharidy neredukují Fehlingovo nebo Tollensovo činidlo, mají-li všechny poloacetálové hydroxylové skupiny vzájemně glykosidicky vázané – neredukující cukry. Sacharosa je velmi citlivá k hydrolýze, ta probíhá i za nízké teploty a za přítomnosti velmi zředěných kyselin. Hydrolýza sacharosy, a obecně také i hydrolýza jiných oligosacharidů, se často nazývá inverze. Při hydrolýze dochází k inverzi optické otáčivosti [4].

Aldehydovou skupinu oligosacharidů lze také oxidovat, redukovat a kondenzovat. Hydroxylové skupiny alkylovat, acylovat [1].

Hydrogenací disacharidů (laktosa, maltosa) se také vyrábí alkoholické cukry [2].

Struktura oligosacharidů se prokazuje fyzikálními a chemickými metodami podobně jako u polysacharidů [1].

V oligosacharidech probíhá isomerace vázaných monosacharidů z aldosu na ketosu. V alkalickém prostředí se laktosa přeměňuje v laktulosu, tato reakce může do určité míry

proběhnout i při pouhém záhřevu mléka. Z maltosy vzniká například maltulosa nebo z cellobiosy cellobiulosa [4].

Některé oligosacharidy mají probiotické účinky (selektivě stimulují růst a metabolismus žádoucí mikroflóry v tlustém střevě), nebo také probiotické účinky (kdy spolu s vlákninou potravy pozitivně ovlivňují a regulují střevní peristaltiku) a nakonec účinek synbiotický (probiotický a probiotický účinek dohromady) [2].

Důležitou vlastností cukrů je jejich sladká chuť – sladkost. Získávané oligosacharidy jsou ve vodě rozpustné látky, slabě sladké chuti (alkoholické cukry). Tyto roztoky mají obvykle vyšší viskozitu než roztoky monosacharidů. Proto se sacharosa v potravinářství hodně uplatňuje. Ovšem i jiné cukry jsou více nebo méně sladké. Jestliže srovnáme 5% roztoky cukrů podle sladkosti, přičemž roztok sacharosy považujeme za standard, získáme relativní hodnoty sladkosti [4, 2].

Tab. 1. Relativní intenzita sladkosti 5% roztoků různých sacharidů [4]

Zkoumaný sacharid	Relativní sladivost sacharidu (vztaženo na sacharosu) (v %)
D-Laktosa	20-30
D-Maltosa	30-50
D-Galaktosa	40-60
D-Glukosa	56
D-Sorbitol	55
Sacharosa	100
D-Fruktosa	132

3.2 Některé významné oligosacharidy

Sacharosa

Její systematický název je β -D-fruktofuranosyl- α -D-glukopyranosid. Skládá se tedy z fruktosy a glukosy [1, 37]. Nazývá se také jako cukr třtinový nebo řepný [16].

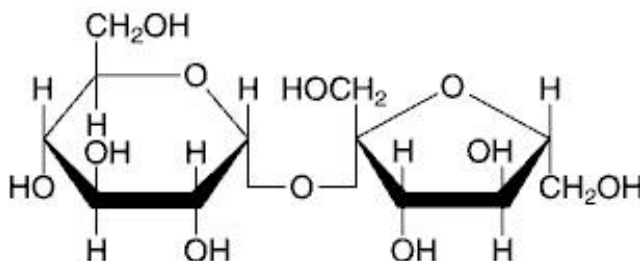
Směs hydrolytických produktů sacharosy se nazývá invertní cukr. Vodné roztoky sacharosy jsou pravotočivé, ale po hydrolýze (kyselou nebo enzymatickou hydrolýzou) je rotace směsi obrácena, působením silně levotočivé fruktosy [2].

Je nejrozšířenějším cukrem v rostlinné říši. Přetížení stravy cukrem je typické pro naši současnou výživu. Tento stav má však řadu negativních důsledků. Podporuje tlouстnutí a vede k poruchám rovnováhy důležitých živin ve stravě [8].

Vyskytuje se v ovocných šťávách a v tekutinách rostlinného původu. V cukrové řepě a v cukrové třtině je ji obsaženo 14-20 %. Sacharosa hydrolyzuje s kyselinami na D-glukosu a D-fruktosu. Invertní cukr je směs D-glukosy a D-fruktosy, která vznikla ze sacharosy pomocí kyselá hydrolýzy nebo působením enzymů (např. invertas). Zahřátím sacharosy nad její teplotu tání získáme směs rozkladných produkt, tzv. karamel [1].

Sacharosa se vyskytuje ve vegetativních částech rostlin, v plodech (jablka, pomeranče, meruňky, ananasy, datle). Některé ovoce sacharosu neobsahuje (třešně, hrozny, fíky). Sacharosa je obsažena v zelenině (cibule, řepa). Je také obsažena v hlízách a oddencích (topinambury, podzemnice) [2].

Sacharosa je jediná, kterou přijímáme v krystalické formě [17].



Obr. 12. Sacharosa

Maltosa

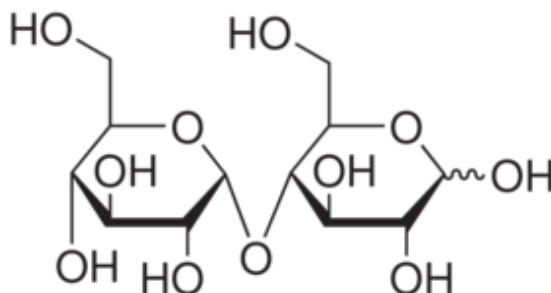
Systematický název maltosy je α -D-glukopyranosyl-(1 \rightarrow 4)-D-glukopyranosa, nazývá se také cukr sladový [11].

Maltosa je tvořena dvěma molekulami glukosy spojenými α -1,4 glykosidovou vazbou [17].

Vzniká ve střevě při trávení škrobu. Maltosa je produktem enzymové hydrolyzy škrobu, je tedy přítomná v klíčích semenech a je také obsažena v medu (asi 7,3 %) [10].

Maltosa je redukující disacharid [8, 33]. Tento disacharid je základní stavební jednotkou škrobu a glykogenu [1, 33].

Požívá se jako výživný přídavek v potravinářském, ale má využití i ve farmaceutickém průmyslu. Bývá složkou mikrobiologických živných médií [33].



Obr. 13. Maltosa

Laktosa

Systematický název laktosy je β -D-galaktopyranosyl-(1 \rightarrow 4)-D-glukopyranosa. Je to redukující cukr [1].

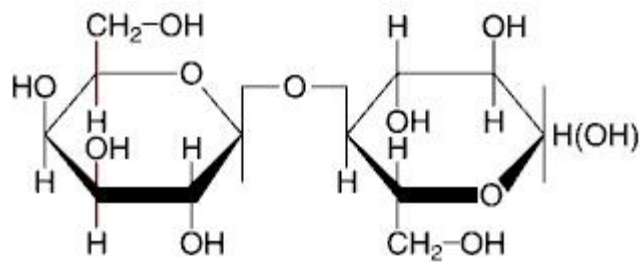
Nejstabilnější formou je monohydrát α -laktosy [2].

Laktosa je reaktivnější než sacharosa, jelikož se snadno rozkládá při záhřevu [4].

Laktosa je důležitou součástí výživy savců v prvním období jejich života a kojící žena ji tvoří z glukosy. Laktosa se vyskytuje pouze v mléce savců. Lidské mléko obsahuje až 7 % laktosy. Kravské mléko jen 3-5 %. Laktosa neboli mléčný cukr je složen z galaktosy a glukosy. Část populace laktosu nedokáže strávit. [18, 48].

Laktosa je podstatně méně sladká než sacharosa a má kariogenní a laxativní účinky [16, 29].

Laktosa je obsažena ve všech výrobcích obsahující mléko (čokoláda, zmrzlina). Laktosa se využívá jako zdroj energie, její příjem vede ke zvýšení hladiny glukosy v krvi. Má také laxativní účinky [2, 29].



Obr. 14. Laktosa

4 POLYSACHARIDY

Polysacharidy, nebo glykany, jsou složeny z více než deseti (někdy ze set až tisíc) monosacharidových jednotek, nebo jejich derivátů. Jednotlivé molekuly monosacharidů jsou vzájemně vázány glykosidovými vazbami (α či β), nejčastěji v poloze 1 \rightarrow 4 nebo 1 \rightarrow 6. Řetězce mohou být lineární (amylosa) nebo rozvětvené (amylopektin). Některé polysacharidy mohou být i cyklické (cyklodextriny) [16, 36, 42]

Polysacharidy jsou přírodní nebo syntetické makromolekuly. Přírodní polysacharidy mají často pravidelnou strukturu. To znamená, že jsou složeny ze strukturních stavebních jednotek, které se v řetězci pravidelně opakují [1].

Polysacharidy obsahující jen hexosy nazýváme hexosany. Polysacharidy, které obsahují pentosy, nazýváme pentosany. Z velkého množství hexos, pentos a jejich derivátů se v přírodních polysacharidech vyskytuje jen omezené množství. Z hexos je to nejčastěji D-glukosa, D-manosa, D-galaktosa. Zřídka se vyskytuje L-galaktosa, D-idosa. Z pentos se v polysacharidech vyskytuje D-xylosa, L-arabinosa. Z derivátů to jsou uronové kyseliny, D-glukosamin, D-galaktosamin. Méně se vyskytují deoxycukry (L-rhammosa) [1, 13].

Podle chemického složení se rozlišují polysacharidy na homopolysacharidy, či homoglykany, a heteropolysacharidy (heteroglykany). Homopolysacharidy se liší od heteropolysacharidů složením, když homopolysacharidy obsahují pouze molekuly jediného monosacharidu (celulosa, škrob, glykogen) [13, 40].

Polysacharidy mají největší podíl sacharidů v přírodě [18].

4.1 Vlastnosti a funkce polysacharidů

Společnou vlastností všech polysacharidů je jejich velká polarita. Ve vodě často tvoří viskózní roztoky a gely, nebo mohou být polysacharidy ve vodě nerozpustné. Tyto vlastnosti jsou důležité pro jejich biologické funkce a také pro technické využití [1].

Polysacharidy pomáhají v potravinách k formování struktury. Ovlivňují také i další organoleptické vlastnosti potravin. Rozpustné polysacharidy slouží v potravinářském průmyslu jako plnidla, zahušťovadla, zvyšují viskozitu výrobků, působí jako stabilizátory disperzí, některé jsou také gelotvornými látkami. Mnohé jsou také důležité v papírnictví, některé

mikrobiální polysacharidy s vhodnými reologickými vlastnostmi v geologickém vrtném průmyslu [2].

Polysacharidy se v přírodě také vyskytují ve formě glykoproteinů nebo lipopolysacharidů. Z přírodních látek se izolují extrakcí vodou, nebo jinými polárními rozpouštědly. Takto získané surové polysacharidy se dále čistí chromatograficky [1].

Hydrolyzou (v kyselém prostředí, zvláště za vyšší teploty) se štěpí na své monosacharidové jednotky. Naopak v bazickém prostředí jsou poměrně stálé [16].

Polysacharidy patří v přírodě mezi nejrozšířenější sloučeniny a mají řadu významných funkcí, které vykonávají v tkáních živočichů, v pletivech a buňkách rostlin, řas, vyšších hub a mikroorganismů:

1. Stavební (strukturní) – jsou ve vodě nerozpustné, vytužují a zpevňují pletiva rostlin (celulosa, hemicelulosa) a tkáně některých živočichů (chitin u korýšů).
2. Zásobní (rezervní) – tvoří zásobu chemické energie, nachází se v hlízách rostlin (škrob, inulin), u mikroorganismů (dextran), dále v játrech a svalech živočichů (glykogen).
3. Ochrannou (slizy a gummy).
4. A jiné specifické funkce [1].

Na rozdíl od mono- a oligo- sacharidů nejsou polysacharidy sladké [16].

4.2 Fyziologie a výživa

Z nutričního hlediska rozdělujeme polysacharidy na využitelné a nevyužitelné (neboli balastní). Za využitelné polysacharidy se považují rostlinné škroby (hlavní zdroj energie) a živočišný glykogen. Mezi nevyužitelné polysacharidy se řadí celulosa, hemicelulosa a pektin, dále polysacharidy používané jako aditiva (polysacharidy mořských řas, mikrobiální polysacharidy rostlinné gummy a slizy, modifikované polysacharidy) dále lignin a chitin. [2].

V ovoci je nejvíce pektinu, dále celulosa a hemicelulosa, lignin. Škroby převládají v kořenové zelenině a okopaninách. Hlavními polysacharidy obilovin jsou škroby. Z neškrobových polysacharidů jsou přítomny hemicelulosa, glukofruktany, celulosa a lignin. Zejména v otrubách [10].

Podle rozpustnosti vlákniny ve vodě se rozděluje na **rozpustnou** a **nerozpustnou** [19].

4.2.1 Rozpustná vláknina

K rozpustné vláknině se řadí určitý podíl hemicelulos, dále hlavně pektin, rostlinné slizy, polysacharidy mořských řas, modifikované škroby a celulosy. Zvyšuje viskozitu obsahu žaludku a střev, dále zpomaluje promíchávání jejich obsahu, omezuje přístup pankreatických amylas a lipas k substrátům a tím absorpci živin stěvnou. Tím se zpomalí průchod střevního obsahu a sníží se difuze živin, váží se minerální látky (ionty vápníku, železa, mědi a zinku) a modifikuje se tak jejich dostupnost. Dále také snižuje hladinu krevního cholesterolu a snižuje jeho absorpci z potravy [2, 26, 27].

Rozpustná vláknina je obsažena v ovoci, luštěninách a celozrnných produktech [19].

4.2.2 Nerozpustná vláknina

Nerozpustná vláknina zvětšuje objem potravy, zkracuje dobu jejího průchodu zažívacím traktem, a zlepšuje peristaltiku střev. Nerozpustná vláknina odolává působením enzymů v tenkém střevě. Pomáhá při prevenci zácpy, také jako prevence rakoviny střev. Nerozpustná vláknina se váže na škodlivé látky a tím zkracuje jejich čas, aby se mohly v těle ukládat [2, 26, 27].

Je obsažena v ovoci, slupkách obilných zrn, zelenině (brokolice, květák, kořenová zelenina) a v houbách [19].

4.3 Homopolysacharidy

4.3.1 Škrob

Škrob je nejdůležitější rostlinný zásobní polysacharid. Je fyziologicky a technologicky nejvýznamnější [4]. Po chemické stránce je škrob makromolekulární sacharid $(C_6H_{10}O_5)_n$. Jeho základní složkou je glukosa. Škrob je relativně heterogenní v porovnání s ostatními sacharidy [20, 39].

Škrob se nachází v plastidech. Je uložen ve škrobových zrnech nebo v škrobových granulích [2].

Škrob je směsí dvou D-glukanů, a to lineární amylosy a rozvětveného amylopektinu. Škrobová zrna obsahují amylosu a amylopektin v různém poměru podle původu škrobu [1, 49].

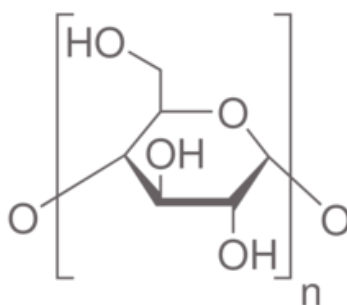
Amylosa

Amylosa je lineární α -D-(1 \rightarrow 4)-glukan, je tedy polymerem disacharidu maltosy. Maltosa vzniká působením enzymu α -amylasy a při částečné kyselé hydrolýze. Amylosa není úplně dokonale lineární, v omezené míře je rozvětvena asi na deseti místech molekuly. Molekula amylosy má pouze jeden redukující zbytek monosacharidu [2].

Amylosa tvoří 20-30 % většiny přirozených škrobů. Skládá se z 250-1000 glukosových zbytků. [6].

Amylosa je ve vodě rozpustná, v roztoku zaujímá šroubovicovou konformace a barví se roztokem jodu modře. Amylosa vytváří ve vodě čirý a málo viskózní roztok, který zahřevem nemazovatí [4, 18].

V přírodě se amylosa nevyskytuje v čisté formě, je vždy doprovázena amylopektinem [20].



Obr. 15. Amylosa

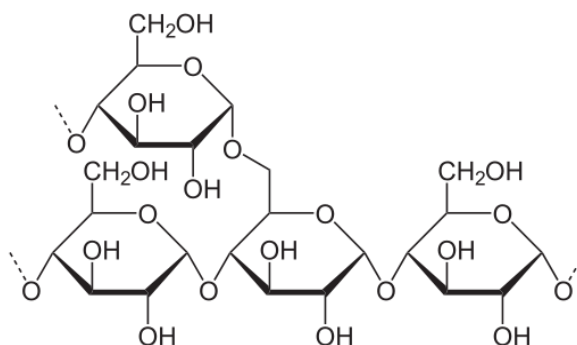
Amylopektin

Molekula amylopektinu se skládá z řetězců D-glukosových jednotek, které jsou vázány α -(1 \rightarrow 4) vazbami (polymer maltosy). Po 10 až 100 jednotkách se odvětvují postranní řetězce vazbou α -(1 \rightarrow 6) (isomaltosa). Mohou se také vyskytovat vazby α -(1 \rightarrow 3). Tato makromolekula má mnoho násobně větvenou strukturu [2]

Stupeň polymerace je mezi 50000-1000000 [1].

Amylopektin se vyskytuje převážně ve vnějších vrstvách škrobových zrn. A je hlavní složkou škrobu, asi 80%. Ve studené vodě není rozpustný, ale zahřevem mazovatí, na rozdíl od amylosy. Po zchlazení se vytváří gel. S roztokem jodu (KI-jodid draselný) se amylopektin barví fialově [4, 34].

Amylopektin má pouze jeden redukující konec hlavního řetězce. Kyselou hydrolyzou lze amylopektin rozštěpit postupně až na glukosu [5]. Stupeň hydrolyzy amylopektinu závisí na druhu použitých enzymů amylas. Během hydrolyzy vznikají nízkomolekulární dextriny, maltosa a isomaltosa [21].



Obr. 16. Amylopektin

Výskyt škrobu

Hlavním zdrojem škrobu jsou brambory, obiloviny, zejména pšenice, žito, ječmen, oves, kukuřice a rýže. Dále se škrob vyskytuje ve zralých semenech luštěnin, hrachu, fazolí a čočky. Škrob můžeme rovněž nalézt u hlíz sladkých brambor-topinambur [4].

Malé množství škrobu obsahují také banány, jedlé kaštiny a různé ořechy [2].

Mazovatění a retrogradace škrobu

Škrobová zrna jsou ve studené vodě nerozpustná, tvoří suspenzi. Při zahřevu škrobová zrna absorbují vodu, aniž by se poškodila. Pouze do určité teploty (želatinační teplota - do 60 °C), při které dochází k bobtnání zrn. Zatím se jedná o reverzibilní děj. Jelikož zrna nebyla zatím porušena. Zahřátím obecně nad 60 °C dochází k rozrušení mezimolekulárních vodíkových můstků, kdy zrna zvětšují svůj objem, a amylosa se uvolňuje do roztoku. Při dalším zvyšování teploty pokračuje hydratace, zrna praskají a dochází k mazovatění škrobu. Tento děj je již nevratný. Zvyšuje se viskozita roztoku (vzniká **škrobový maz**). Během neustálého zvyšování teploty pokračuje rozrušování vodíkových vazeb. Molekuly vody pronikají amorfními částmi zrn a reagují s volnými vazebnými místy polymerů. Tyto hydratované řetězce se vzájemně oddalují, přičemž vznikají další vazebná místa, která také interagují s vodou [1, 2, 4].

Ochlazením škrobového mazu viskozita dále roste, díky obnovování vodíkových vazeb mezi makromolekulami amylosy a amylopektinu. Pokud je koncentrace škrobu dostatečná, vznikne pevná trojrozměrná síť, která zachytává velké množství vody. Vzniká **škrobový gel**. Pokud má suspenze škrobu malou koncentraci, vznikne viskózní pasta nebo viskózní koloidní roztok [2].

Po několika hodinách stání škrobových gelů, past, nebo i zředěných disperzí se mění jejich struktura. Pokračuje tvorba intramolekulárních vazeb, kdy vzniká dvoufázový systém látka-kapalina. Gely a koncentrované pasty získávají gumovitou texturu a vyšší pevnost, zředěné disperze ztrácejí viskozitu, srážejí se a vylučuje se voda. Tyto změny souvisí s vlastnostmi amylosy. Tento děj je opak želatinace a nazývá se **degradace** [1, 2, 4].

Výrobky ze škrobu

Nativní škrob se téměř nepoužívá. Jeho využitelnost je velmi malá. Nativní škroby nemají žádnou úpravu, rychle retrogradují, gely jsou nestabilní a pro vytvoření gelu se musí zahřívat. Proto se nativní škrob musí upravovat [4].

Produkty frakcionace škrobu

Frakcionací se škrob rozděluje na dvě základní složky, amylosu a amylopektin. Extrakce amylosy probíhá při 60-70 °C. Selektivní srážení probíhá polárními organickými látkami a anorganickými látkami [22].

Modifikované škroby

Modifikované škroby mají alespoň jednu původní charakteristikou vlastnost zachovanou. Modifikační proces zvýrazňuje některou původní vlastnost (viskozitu, schopnost vázat vodu, želírující schopnost, tvorba filmu) nebo jinou vlastnost může potlačit, či vytvořit vlastnost novou [4].

Modifikované škroby mohou být:

- a. Hydrolyzované škroby.
- b. Oxidované škroby.
- c. Termicky modifikované škroby.

Takto modifikované škroby mohou bobtnat již ve studené vodě a při zahřátí nad želatizační teplotu se škrobová zrna rozpadají. Používají se při výrobě cukrovinek, ale také k přípravě pudingových prášků, k zahušťování, stabilizace a úpravě textury potravin [2].

Substituované škroby

U substituovaných škrobů se upravuje jejich rozpustnost, teologická vlastnost, zvýší se také jejich stabilita, ovlivní retrogradaci a změní se jejich chemická vlastnost. Vznikají estery nebo ethery škrobů a zesítené škroby. Nejznámější je hydroxyethylether [22, 35].

Technické dextriny

Dextriny se obecně vyrábějí pražením suchého nativního škrobu impregnovaného anorganickými kyselinami. Teploty při pražení se pohybují v intervalu 125 – 180 °C. Může vznikat bílý, žlutý či žlutohnědý dextrin v závislosti na použité teplotě [22, 23].

Hydrolyzáty škrobu

Při kyselé hydrolyze se hydrolyzuje suspenze škrobu, kdy se pod tlakem a při teplotě 130 °C zahřívá v kyselém prostředí. Produktem kyselé hydrolyzy jsou dextriny [22].

Působením amylolytických enzymů můžeme také provést enzymatickou hydrolyzu. Základem je škrobový maz. Používají se enzymy α - nebo β - amylasy. Produktem enzymatické hydrolyzy jsou maltodextriny [22, 23].

Škroby jsou velmi důležitou součástí v potravinářském průmyslu. Většinou se používají nativní škroby a modifikované škroby jako aditivní látky [24].

Využití můžeme nalézt v mlékárenství, kde se používají jako zahušťovadla a stabilizátory. V pekařství se používají jako regulátory distribuce vody při výrobě chleba, nebo jako zlepšovací přísada mouk. Amylopektiny, které jsou tepelně odolné a chemicky stabilní se používají jako zahušťovadla kečupů a marmelád [23].

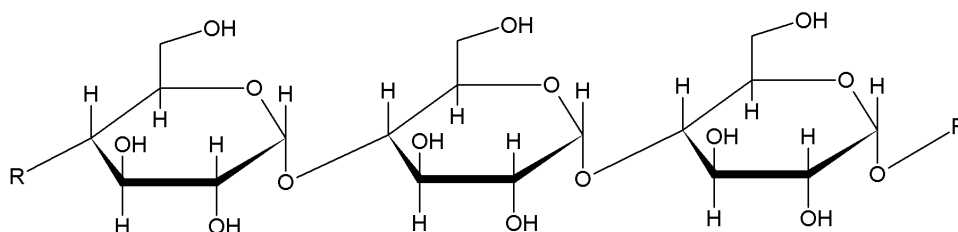
4.3.2 Celulosa

Celulosa patří mezi strukturální polysacharidy. Jedná se o rostlinný polysacharid [18]. Je také nejrozšířenější organickou sloučeninou v přírodě. Celulosa je jednoduchý polymer [2, 44].

Celulosa se skládá z D-glukopyranosových jednotek spojených (1→4) glykosidovou vazbou, což je obdobné složení jako amyloza ve škrobu, od níž se liší tím, že glukosopyranosové jednotky jsou navázány β -konfigurací [4]. Základní složkou je tedy cellobiosa (disacharid) [16, 30, 31].

Stupeň polymerace celulosy je 15 000 a její molekulová hmotnost je 10^6 a více. Celulosa se nerozpouští ve vodě, a většinou ani ve většině rozpouštědel [1]. Celulosa se rozpouští v koncentrovaných kyselinách, kdy dochází k hydrolyze na rozpustné fragmenty, které mají kratší řetězec. Někdy se mohou štěpit až na glukosu [2, 44].

Nativní celulosa se přidává do některých potravin jako nekalorické zahuš'ovadlo, dále také k vytvoření zákalů a také k výrobkům, které se zpracovávají extruzí. Větší uplatnění mají ale modifikované celulosy [2].



Obr. 17. Celulosa

Modifikované celulosy

Modifikované celulosy dělí na dvě hlavní skupiny:

- a. Hydrolyzované celulosy.
- b. Derivatizované celulosy.

U hydrolyzované celulosy vzniká mikrokrytalická celulosa, která se získává parciální hydrolyzou celulosy. Tyto produkty vykazují vlastnosti pseudopastických a thixotropních tekutin. Používají se v potravinářství jako vláknina, nosič aromatických látek, stabilizátor pěn a další [2].

Mezi derivatizované celulosy patří ethery (karboxymethylcelulosa, methylcelulosa, hydroxypropylcelulosa), které jsou jako jediné důležité v potravinářství [4].

Tyto ethery se používají jako zahušťovadla do pomazánek, stabilizátory emulzí, ale také zabraňují vytváření krystalů v zmrzlině. V pečivu pomáhají při vaznosti vody a omezení absorpce tuků, například u smažení koblih [2].

4.3.3 Pektiny

Pektiny tvoří rozpustnou vlákninu. Jsou složkou mezibuněčných vrstev vyšších rostlin, v ovocných plodech a také v zelenině. Za základní typ se pokládá pektová kyselina, což je (1→4)- α -D-galakturonan. S vodou tvoří kolidní a viskozni roztoky, při vyšších koncentracích a za nízké teploty přecházejí v gely, což má uplatnění v potravinářství při výrobě džemů [1, 16]

4.4 Heteropolycharidy

4.4.1 Hemicelulosity

Hemicelulosity doprovázejí v rostlinách celulosu a lignin. Jsou rozvětvené a skládají se ze dvou až čtyř různých monosacharidů. Hlavní řetězec tvoří převážně D-xyloza, D-manosa a D-galaktosa, vazbou β -(1→4). V postranním řetězci jsou navázány L-arabiny [1].

V potravinářství jsou velmi důležité jako potravinová vláknina. Nejvíce hemicelulos je v obilninách, ale také u části v zelenině a ovoci [16].

4.4.2 Rostlinné gummy

K polysacharidům patří rovněž rostlinné gummy, které mají velké uplatnění v potravinářském průmyslu jako zahušťovadla a stabilizátory emulzí. Rostlinné gummy se používají jako inhibitory retrogradace škrobu do pečiva. Jsou to složité rozvětvené polysacharidy, které obsahují D-glukuronovou nebo D-galakturonovou kyselinu, ale i některé neutrální cukry, jako jsou L-arabiny, L-rhamnosa, D-xyloza a D-galaktosa [1, 4].

Rostlinné gummy nemůžeme využít jako zdroj energie, proto se také využívá k přípravě pokrmů s nízkým obsahem energie [4].

Patří sem například arabská guma, guma ghatti apod. [1].

Arabská guma

Základní stavební jednotkou arabské gummy je D-galaktosa ale také L-arabinnosa a L-rhamnopyranosa. V hlavním řetězci polysacharidu jsou obsaženy β -D-galaktopyranosy, které jsou spojené glykosidovými vazbami (1 \rightarrow 3) [4].

Arabská guma se v potravinářství využívá pro stabilizaci a emulgaci různých potravinářských soustav. V zmrzlinách pomáhá k jemné konzistenci a v cukrovinkách brání krystalizaci cukrů a vlhnutí plev [2].

4.4.3 Rostlinné slizy

Rostlinné slizy jsou neutrální i kyselé polysacharidy s rozvětvenou strukturou, např. D-galakto-D-manany [1].

4.4.4 Polysacharidy z řas

Řasy byly navrženy jako potenciální zdroj bioaktivních látek, které se použijí v potravinářském a farmaceutickém průmyslu. Řasy obsahují lipidy, proteiny, polysacharidy, fenolických látek, karotenoidy, atd

Do této skupiny polysacharidů řadíme:

- a. Agary.
- b. Karagenany.
- c. Algináty [46].

Agary

Ve struktuře agarů je obsažena 3,6-anhydro- α -L-galaktosa a β -D-galaktopyranosa, které jsou střídavě vázané glykosidovými vazbami (1 \rightarrow 3) a (1 \rightarrow 4) [2].

Agar je polydisperzní polysacharid vyskytující se v některých mořských řasách. Skládá se z lineární agarosy větveného agaropektinu [16].

Používají se do pekařských a cukrářských výrobků, dále také do želé, džemů, masových a rybích výrobků [2].

Karagenany

Karagenany obsahují D.galaktososulfáty a disulfáty, anhydro-D-galaktosu a její sulfát [4].

Používají se v potravinářství jako zahušťovadlo, gelotvorná látka, stabilizátor a emulgátor při výrobě mléčných desertů, mléčných nápojů, zmrzlin apod. [2].

Algin

Algin je také název pro alginovou kyselinu a její soli algináty. Algináty mají ve své struktuře β -D-manurovou kyselinu a α -D-guluronovou kyselinu, spojení vazbou (1 \rightarrow 3). Používají se jako zahušťovadla a stabilizátory, také se přidává do omáček, dresingů, zmrzlin jako emulgátor pro zlepšení konzistence [2].

4.4.5 Živočišné glykosaminoglykany

Patří sem polysacharidy kyselé povahy, které se nacházejí v živočišných pojivových tkáních s podobnými vlastnostmi. Roztoky těchto polysacharidů jsou viskozní a tvoří snadno gely. Jsou složeny z D-glukosaminu nebo S-galaktosaminu apod. Patří sem hyaluronová kyselina, chondroitin a chondroitinsulfát, heparin [1].

Hyaluronová kyselina

V molekule hyaluronové kyseliny se pravidelně střídají D-glukuronová kyselina s N-acetyl-D-glukosami, které jsou spojené β -1 \rightarrow 4 glykosidovou vazbou. V nerozvětvené části bývá obsaženo až 10 000 sacharidových článků. Kyselina hyaluronová tvoří velmi vazké roztoky [1, 25].

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍL EXPERIMENTÁLNÍ ČÁSTI

Cílem experimentální části bylo měření viskozity na rotačním viskozimetru a na průtokovém viskozimetru vybraných vzorků potravin a polysacharidů. Na rotačním viskozimetru byl měřen vzorek medu, deriváty celulosy a vzorek kečupu. Na průtokovém viskozimetru byly měřeny deriváty celulosy.

Viskozity se měřily pro vybrané smykové rychlosti na rotačním viskozimetru a pro různý koncentrační režim.

K měření na rotačním viskozimetru se použil typ válec – válec, a jako průtokový viskozimetr se použil Ubbelohdeův.

5.1 Viskozita

Viskozita patří mezi základní konstanty. Viskozita se uplatňuje při proudění kapalin. Viskozita neboli vnitřní tření kapalin je důsledkem sil, působících mezi jednotlivými molekulami kapalin. Tyto kohezní síly jsou průvodci povrchového napětí.

Definice viskozity vychází z charakteru proudění reálné kapaliny, která je ve styku s pevnou stěnou. Mezi jednotlivými vrstvami proudící kapaliny je tečné napětí, které je úměrné gradientu rychlosti a konstantou úměrnosti je dynamická viskozita.

V případě ideálně viskozního materiálu (Newtonské kapaliny) platí pro tečné napětí (τ) Newtonův zákon.

$$\tau = \eta \cdot dv/dy \quad (1)$$

kde: η ... dynamická viskozita (Pa.s), která nezávisí na velikosti tečného napětí ani na rychlostím gradientu,

dv/dy ... gradient rychlosti. [50, 51]

Jestliže dynamickou viskozitu dělíme hustotou kapaliny (při určité teplotě), získáme viskozitu kinematickou ($m^2 \cdot s^{-1}$).

Existují také kapaliny nenewtonské, které jsou reologicky složitější a Newtonovým zákonem se neřídí. Platí pro ně rovnice:

$$\tau = \eta \cdot D \quad (2)$$

kde: η ... zdánlivá viskozita, který není látkovou konstantou, ale závisí na rychlosti deformace nebo tečném napětí [52, 53, 54].

Nenewtonské kapaliny mohou být:

- a. Pseudoplastické – jejich zdánlivá viskozita se s rostoucím gradientem rychlosti zmenšuje.
- b. Dilatantní – zdánlivá viskozita roste s rostoucím gradientem rychlosti.

K vyjádření průběhu tokových křivek uvedených nenewtonských kapalin se užívají rovnice:

$$\tau = K \dot{\gamma}^n \quad (3)$$

kde: K , n ... empirické látkové parametry charakterizující vlastnosti toku nenewtonské kapaliny a závisí pouze na teplotě. Parametr K se nazývá koeficient konzistence a parametr n je index toku ($n > 1$ pro pseudoplasticitu, $n < 1$ pro dilataci).

- c. Binghamské kapaliny – kapaliny s plastickou složkou deformace, u nichž dochází k toku až po překročení určitého prahového smykového napětí. Překročené tzv. meze toku τ_k . Pro tento typ kapalin platí vztah:

$$\tau - \tau_k = \eta_0 \cdot D \quad [51, 58] \quad (4)$$

5.1.1 Viskozita roztoků makromolekulárních látek

Roztoky makromolekulárních látek jsou soustavy tvořené rozpouštědlem a makromolekulami. Soustavy, které obsahují alespoň dvě fáze (složky), se nazývají jako disperzní soustava. Roztoky makromolekulárních látek patří mezi nenewtonské kapaliny a pro vystižení rozdílu od newtonského chování se při popisování viskozity disperzních soustav užívají tyto veličiny:

- A. Relativní viskozita η_r – v případě koloidních disperzí je $\eta_r > 1$.

$$\eta_r = \frac{\eta}{\eta_0} \quad (5)$$

kde: η ... viskozita disperzní soustavy (polymeru) (Pa.s)

η_0 ... viskozita disperzního prostředí (rozpouštědla) (Pa.s)

Další možností pro výpočet relativní viskozity je použití poměru dob průtoku. Za předpokladu, že koncentrace měřených roztoků jsou tak nízké, že hustota rozpouštědla ρ_0 a hustota roztoku ρ se liší o méně než 0,5 %:

$$\eta_r = \frac{t}{t_0} \quad (6)$$

kde: t ... doba průtoku měřeného roztoku

t_0 ... doba průtoku rozpouštědla

B. Specifická viskozita η_{sp} – udává poměrný přírůstek viskozity.

$$\eta_{sp} = \eta_r - 1 = \frac{\eta - \eta_0}{\eta_0} \quad (7)$$

C. Redukovaná viskozita η_{red}

$$\eta_{red} = \frac{\eta_{sp}}{c} \quad (8)$$

kde: c ... koncentrace (hmotnostní, molární, objemový zlomek)

D. Limitní viskozitní číslo $[\eta]$

Limitní viskozitní číslo neboli vnitřní viskozita je limitní hodnota redukované viskozity při nekonečném zředění.

$$[\eta] = \lim_{c \rightarrow 0} \frac{\eta_{sp}}{c} \quad (9)$$

Viskozita disperzních soustav roste s rostoucí molekulovou hmotností disperzního podílu. Závislost limitního viskozitního čísla na molekulové hmotnosti popisuje Mark-Houwinkova rovnice:

$$[\eta] = K \cdot M_r^a \quad (10)$$

kde: K , a ... konstanty Mark-Houwinkovy rovnice, a platí pouze pro danou soustavu rozpouštědlo – polymer při určité teplotě

M_r relativní molekulová hmotnost [54, 55, 59, 60]

6 MĚŘENÍ VISKOZITY NA ROTAČNÍM VISKOZIMETRU

6.1 Rotační viskozimetr



*Obr. 18. Rotační viskozimetr
(typ válec – válec) [56]*

6.1.1 Princip měření

Princip měření na rotačním viskozimetru spočívá v určení viskozity z kroutícího momentu potřebného pro otáčení rotačního tělesa ve zkoumaném vzorku.

Rotační viskozimetry pracují na principu měření síly, která je nutná k otáčení válce (nebo jiného rotačního tělesa) ponořeného do kapaliny (vzorku). Těleso je připevněno k hřídeli otáčející s definovanou rychlostí. Přístroj, na kterém byly vzorky měřeny, má několik typů rotačních vřeten a velký rozsah rychlostí (otáček).

Na základě znalosti rychlosti otáčení a geometrie rotoru se stanoví rychlosti smykové deformace, z měřeného kroutícího momentu smykové napětí a nakonec se vypočítá viskozita.

Přesnou a jednoznačně definovanou viskozitu lze určit pouze pro newtonovské kapaliny, u kterých její hodnota nezávisí na tokových podmínkách (velikosti vřetene a rychlosti otáčení). U neneutonských kapalin nelze definovat jednu hodnotu viskozity charakteristickou pro daný materiál. Viskozitní charakteristiku lze popsat pomocí relativní viskozity. Relativní viskozita udává hodnotu zdánlivé viskozity za přesně daných podmínek (stejně vřeteno, stejný objem vzorku ve stejné nádobě, stejná rychlost otáčení, stejná teplota) [52, 57].

6.2 Příprava vzorků derivátů celulosy

Bylo naváženo 2,5g karboxymethyl celulosy, 2,5g 2-hydroxyethyl celulosy a 2,5g vysokoviskozní karboxymethylcelulosy. Vzorky byly kvantitativně převedeny do 250ml odměrné baňky, zvlhčeny ethanolem a doplněny destilovanou vodou po rysku. Takto připravené roztoky byly ponechány přes noc na magnetické míchačce při laboratorní teplotě. Poté byly všechny roztoky použity k měření nebo byly uchovány při laboratorní teplotě do doby měření.

6.3 Postup měření na rotačním viskozimetru

Měření viskozity bylo prováděno na rotačním viskozimetru typu válec – válec. Před začátkem každého měření byl zkoumaný vzorek vytemperován na laboratorní teplotu. Do kádinky byl odměřen zkoumaný vzorek a do něj bylo vloženo příslušné vřeteno přichycené na viskozimetru. Pro karboxymethyl celulosu se použilo vřeteno L1, 2-hydroxyethyl celulosu L3, vysokoviskozní karboxymethyl celulosu L3, kečup L4 a pro vzorek medu L4.

Na viskozimetru se nastavily podmínky měření, teplota zůstala konstantní (25°C) a měnila se pouze rychlost smykové deformace v intervalu od 1,499 s⁻¹ do 199,99 s⁻¹.

6.3.1 Měřené vzorky

1% 2-hydroxyethylcelulosa 434973

1% karboxymethylcelulosa C5678

1% karboxymethyl celulosa – vysokoviskozní C5013

Med květový, luční – Confeira

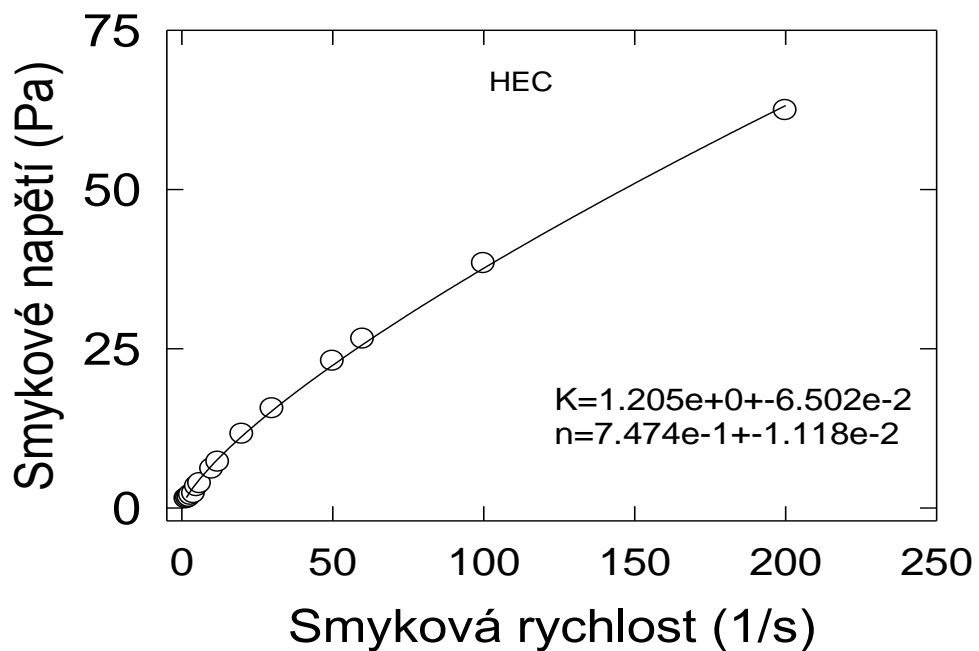
Kečup – Pagusa HOT

6.4 Naměřené hodnoty

6.4.1 1% 2-hydroxyethylcelulosa

Tab. 2. Naměřené hodnoty 1% 2-hydroxyethylcelulosy na rotačním viskozimetru

Smyková deformace (1/s)	Smykové napětí (Pa)	Dynamická viskozita (Pa.s)
1,499	1,45	0,8100
1,999	1,56	0,7800
2,4999	1,68	0,6820
2,999	2,04	0,6700
3,999	2,28	0,6620
4,999	3,36	0,6530
5,999	3,84	0,6330
9,999	6,12	0,6120
12,000	7,20	0,6000
19,999	11,60	0,5580
29,999	15,60	0,5200
49,998	23,04	0,4608
59,998	26,53	0,4420
99,997	38,40	0,3852
199,999	62,40	0,3120

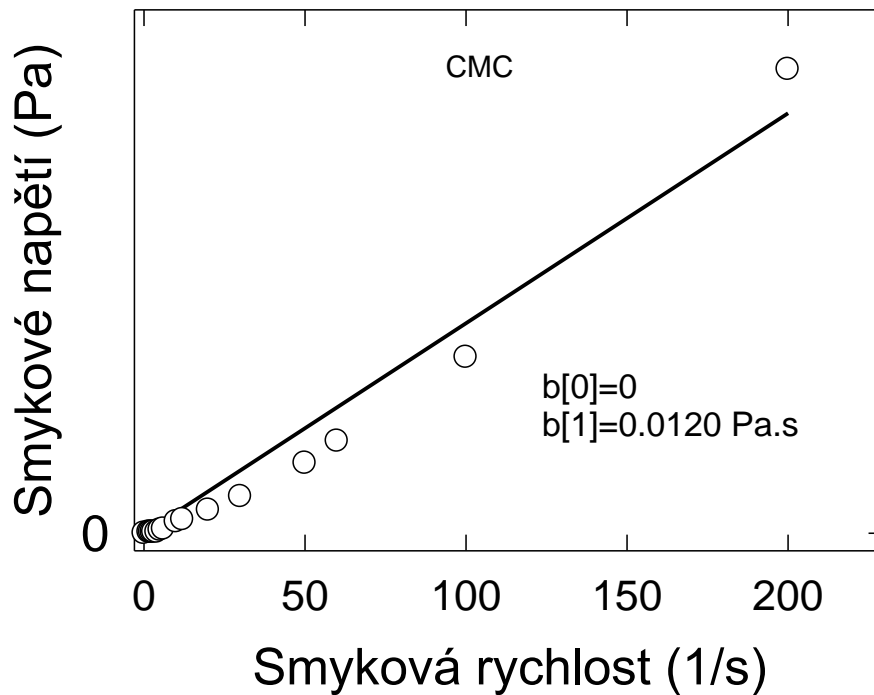


Obr. 19. Grafické zobrazení závislosti smykové rychlosti na smykovém napětí 1% 2-hydroxyethyl celulosy. (K – koeficient konzistence, n – index toku dle (3))

6.4.2 1% karboxymethylcelulosa

Tab. 3. Naměřené hodnoty 1% karboxymethylcelulosa na rotačním viskozimetru

Smyková deformace (1/s)	Smykové napětí (Pa)	Dynamická viskozita (Pa.s)
1,499	0,006	0,0035
1,999	0,006	0,0030
2,4999	0,006	0,0024
2,999	0,006	0,0020
3,999	0,006	0,0015
4,999	0,018	0,0036
5,999	0,024	0,0040
9,999	0,066	0,0066
12,000	0,078	0,0067
19,999	0,132	0,0068
29,999	0,210	0,0070
49,998	0,402	0,0080
59,998	0,528	0,0088
99,997	1,008	0,0101
199,999	2,658	0,0133

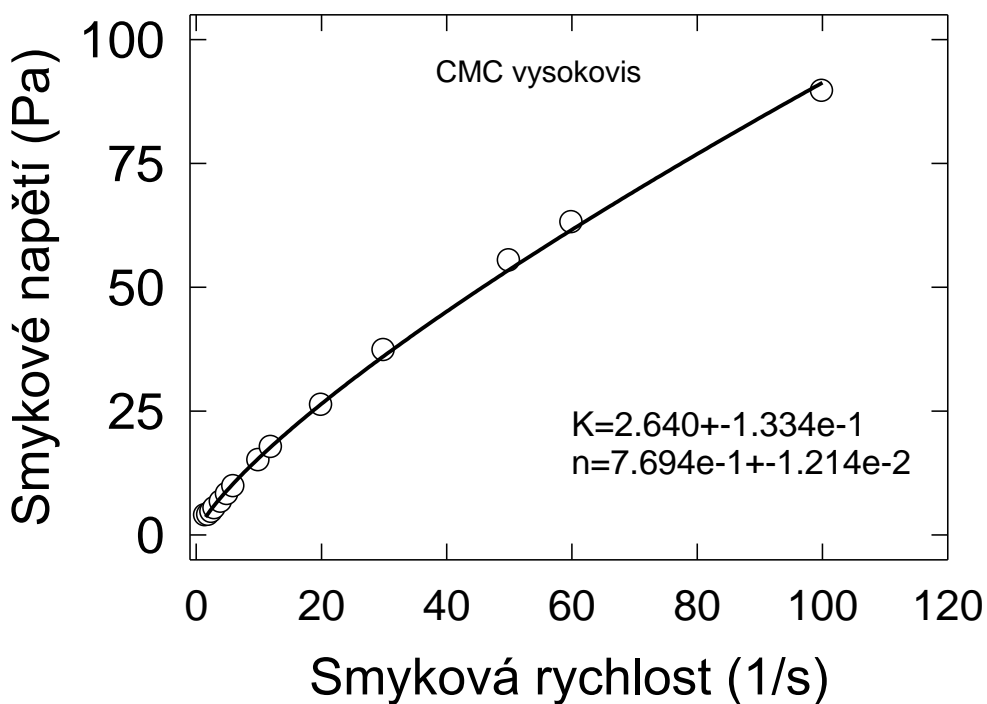


Obr. 20. Grafické zobrazení závislosti smykové rychlosti na smykovém napětí 1% karboxymethyl celulosy

6.4.3 1% karboxymethylcelulosa vysokoviskozní

Tab. 4. Naměřené hodnoty 1% karboxymethylcelulosity vysokoviskozní na rotačním viskozimetru

Smyková deformace (1/s)	Smykové napětí (Pa)	Dynamická viskozita (Pa.s)
1,499	3,850	0,0035
1,999	3,960	0,0003
2,499	4,560	0,0024
2,999	5,280	0,0020
3,999	6,600	0,0015
4,999	8,160	0,0036
5,999	9,720	0,0040
9,999	15,000	0,0066
12,000	17,640	0,0067
19,999	26,160	0,0068
29,999	37,200	0,0070
49,998	55,320	0,0080
59,998	63,000	0,0088
99,997	89,520	0,0101

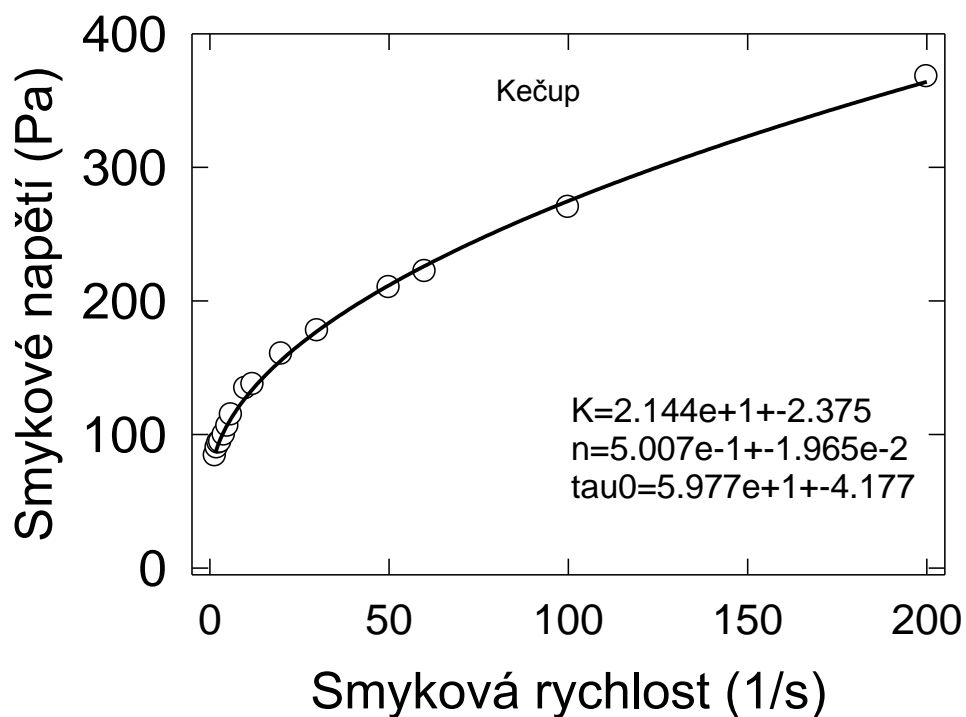


Obr. 21. Grafické zobrazení závislosti smykové rychlosti na smykovém napětí 1% karboxymethylcelulosity vysokoviskozní

6.4.4 Kečup

Tab. 5. Naměřené hodnoty vzorku kečupu na rotačním viskozimetru

Smyková deformace (1/s)	Smykové napětí (Pa)	Dynamická viskozita (Pa.s)
1,499	84,00	49,2010
1,999	90,00	45,0010
2,499	93,60	37,2010
2,999	94,20	31,4010
3,999	99,60	24,9010
4,999	106,20	21,2410
5,999	114,60	19,1010
9,999	134,40	13,4200
12,999	137,40	11,4500
19,999	160,20	8,0103
29,999	177,60	5,9002
49,998	210,00	4,2001
59,998	222,00	3,7001
99,997	270,00	2,7001
199,999	367,80	1,8391

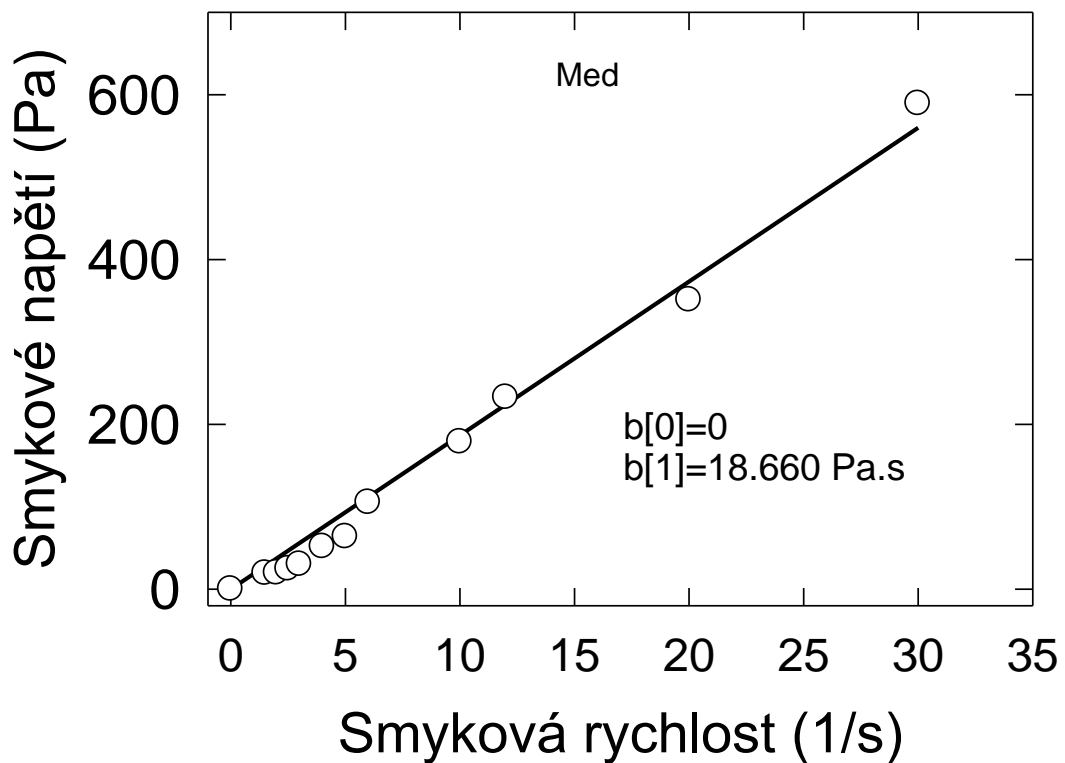


Obr. 22. Grafické vyjádření závislosti smykové rychlosti na smykovém napětí vzorku kečupu

6.4.5 Med květový

Tab. 6. Naměřené hodnoty vzorku medu květového na rotačním viskozimetru

Smyková deformace (1/s)	Smykové napětí (Pa)	Dynamická viskozita (Pa.s)
1,499	19,40	9,7503
1,999	19,80	9,8003
2,499	24,60	9,9403
2,999	30,00	10,0000
3,999	51,60	10,3200
4,999	63,60	10,6000
5,999	105,20	11,5200
9,999	178,60	11,5500
12,000	232,80	11,6400
19,999	351,00	11,7000
29,999	589,20	11,7840



Obr. 23. Grafické vyjádření závislosti smykové rychlosti na smykovém napětí vzorku medu

7 MĚŘENÍ VISKOZITY NA PRŮTOKOVÉM (KAPILÁRNÍ) VISKOZIMETRU

7.1 Kapilární viskozimetr – Ubbelohdeův viskozimetr



Obr. 24. Ubbelohdeův viskozimetr [61]

7.1.1 Princip měření

Definovaný objem vzorku protéká (vlastní tíhou) kapilárou s přesně definovaným vnitřním průměrem. Měřená doba, kterou měřená kapalina potřebuje k průtoku kapilárou, slouží k výpočtu kinematické viskozity. Tento způsob měření se také používá při výpočtu limitního viskozitního čísla.

Viskozita byla měřena při různých koncentračních režimech derivátů celulosy [52, 55].

7.2 Příprava vzorků

Již připravené 1% roztoky pro měření na rotačním viskozimetru byly použity také pro měření na průtokovém viskozimetru. Z 1% roztoku každého vzorku byly vytvořeny koncentrační řady 0,5%, 0,25% a 0,125%.

7.3 Postup měření na kapilárním viskozimetru

Viskozimetr je umístěn v temperační lázni, která zajistí konstantní teplotu zkoušené kapaliny. Toto měření probíhalo za laboratorní teploty, teplota lázně byla tedy po celou dobu měření 25°C. Pro měření času byly použity stopky.

Suchý a čistý viskozimetr se nejprve naplnil destilační vodou přesně mezi dvě rysky. Viskozimetr se upevnil do držáku a ponořil se do vodní lázně. Destilovaná voda se nechala chvíli temperovat. Po vytemperování se, sáním balonkem, vytáhla kapalina do měřitelné části kapiláry a poté se měřila doba průtoku. Každé měření bylo prováděno třikrát. Poté se viskozimetr vyprázdnil a promyl se dalším zkoušeným vzorkem, který následoval. Postup měření byl poté stejný.

7.3.1 Měření vzorky

0,125%, 0,25%, 0,5%, 1% karboxymethyl celulosa

0,125%, 0,25%, 0,5%, 1% 2-hydroxyethyl celulosa

0,125%, 0,25%, 0,5%, 1% karboxymethyl celulosa vysokoviskozní

7.4 Naměřené hodnoty

7.4.1 Karboxymethyl celuloza CMC

Pro měření karboxymethyl celulosy byl použit kapilární viskozimetr s konstantou

$K = 0,03086 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Kinematická viskozita v_k byla vypočítána podle vztahu:

$$v_k = K \cdot t \quad (11)$$

kde: K ...konstanta použitého viskozimetru ($\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)

t doba průtoku (s)

Tab. 7. Naměřené hodnoty destilované vody

Vzorek	Čas (s)	Kinematická viskozita ($\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)
Destilovaná voda	31,50	0,9721
	31,28	0,9653
	31,31	0,9662
Průměr	31,36	0,9679

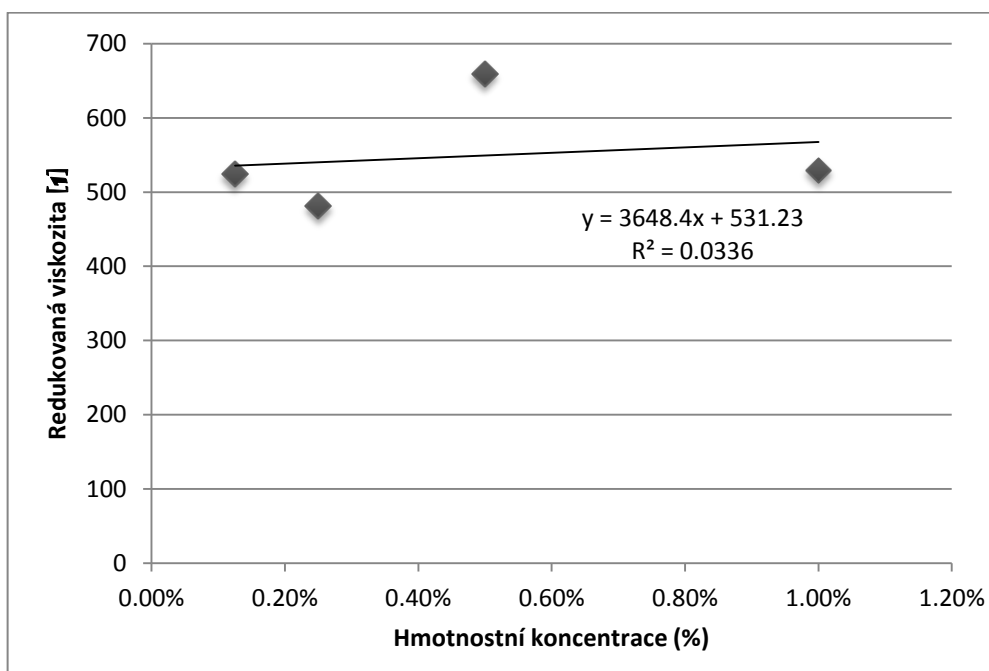
Tab. 8. Naměřené hodnoty pro koncentrační řadu karboxymethyl celulosy

Koncentrace CMC (hm. %)	Čas (s)	Kinematická viskozita ($\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)
1,000	197,97	6,1094
	196,82	6,0739
	197,13	6,0834
Průměr	197,31	6,0889
0,500	133,15	4,1090
	135,03	4,1670
	136,00	4,1970
Průměr	134,73	4,1577
0,250	69,38	2,1411
	69,03	2,1303
	68,79	2,1229
Průměr	69,07	2,1314
0,125	52,37	1,6161
	51,88	1,6010
	51,44	1,5874
Průměr	51,90	1,6015

Tab. 9. Vypočítané hodnoty pro koncentrační řadu karboxymethyl celulosu

	1%	0,5%	0,25%	0,125%
Relativní viskozita	6,29	4,30	2,20	1,65
Specifická viskozita	5,29	3,30	1,20	0,65
Redukovaná viskozita	529,18	659,25	480,99	523,98

Relativní viskozita se počítala podle vztahu (6), specifická viskozita podle vztahu (7) a redukovaná podle vztahu (8).



Obr. 25. Grafické vyjádření závislosti redukované viskozity na hmotnostní koncentraci koncentrační řady karboxymethyl celulosy. Vložený text: parametry lineární regrese

7.4.2 2-hydroxyethyl celuloza HEC

Pro měření 2-hydroxyethyl celulosy byl použit kapilární viskozimetr s konstantou

$K = 0,3003 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Kinematická viskozita ν_k byla vypočítána podle vztahu (11).

Tab. 10. Naměřené hodnoty destilované vody

Vzorek	Čas (s)	Kinematická viskozita ($\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)
Destilovaná voda	4,06	1,2192
	4,03	1,2102
	4,08	1,2252
Průměr	4,06	1,2182

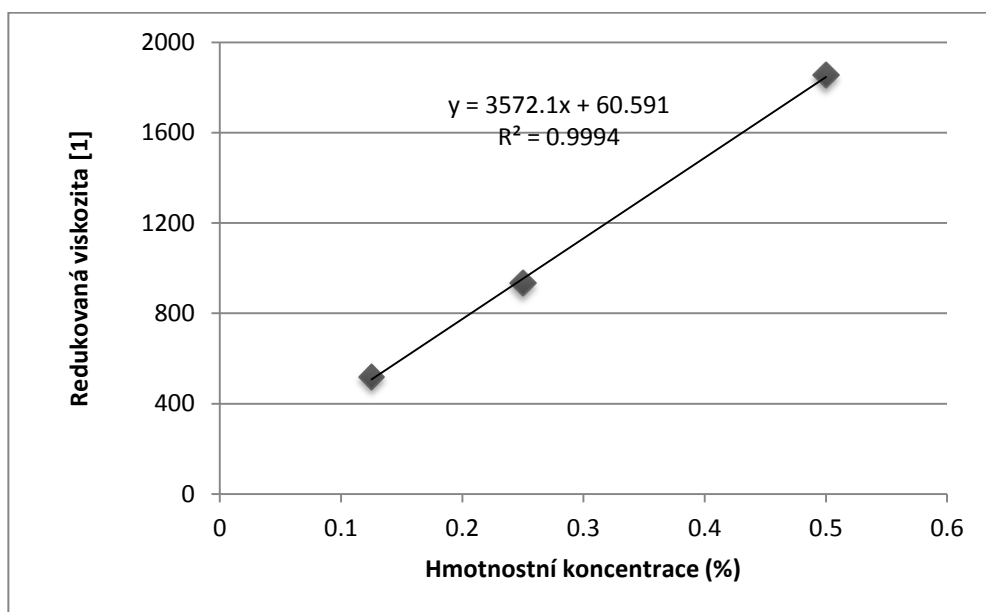
Tab. 11. Naměřené hodnoty pro koncentrační řadu 2-hydroxyethyl celulosy

Koncentrace HEC (hm. %)	Čas (s)	Kinematická viskozita ($\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)
1	721,02	216,5223
	721,33	216,6154
	728,93	218,8977
Průměr	723,76	217,3451
0,500	41,25	12,3874
	41,42	12,4384
	42,36	12,7207
Průměr	41,68	12,5155
0,250	13,56	4,0721
	13,72	4,1201
	13,35	4,0090
Průměr	13,54	4,0671
0,125	6,72	2,0180
	6,69	2,0090
	6,70	2,0120
Průměr	6,70	2,0130

Tab. 12. Vypočítané hodnoty pro koncentrační řadu hydroxyethyl celulosu

	1%	0,5%	0,25%	0,125%
Relativní viskozita	178,27	10,27	3,33	1,65
Specifická viskozita	177,27	9,27	2,33	0,65
Redukovaná viskozita	17726,60	1853,20	933,99	520,20

Relativní viskozita se počítala podle vztahu (6), specifická viskozita podle vztahu (7) a redukovaná podle vztahu (8).



Obr. 26. Grafické vyjádření závislosti redukované viskozity na hmotnostní koncentraci koncentrační řady hydroxyethyl celulosy

7.4.3 Karboxymethyl celuloza vysokoviskozní

Pro měření karboxymethyl celulosy vysokoviskozní byl použit kapilární viskozimetr s konstantou $K = 0,999 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Kinematická viskozita ν_k byla vypočítána podle vztahu (11).

Tab. 13. Naměřené hodnoty destilované vody

Vzorek	Čas (s)	Kinematická viskozita ($\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)
Destilovaná voda	2,03	2,0280
	1,88	1,8781
	1,94	1,9381
Průměr	1,95	1,9481

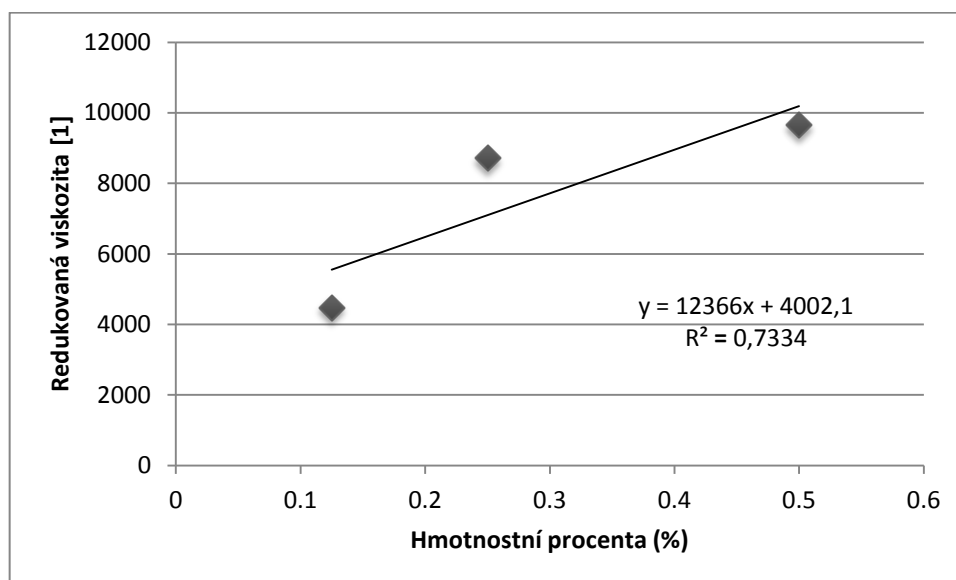
Tab. 14. Naměřené hodnoty pro koncentrační řadu HEC vysokoviskozní

Koncentrace HEC vysokoviskozní (hm. %)	Čas (s)	Kinematická viskozita ($\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)
1	650,53	649,8795
	651,41	650,7586
	649,59	648,9404
Průměr	650,51	649,8595
0,500	95,87	95,7741
	96,01	95,9140
	96,16	96,0638
Průměr	96,01	95,9173
0,250	44,75	44,7053
	43,89	43,8461
	44,57	44,5254
Průměr	44,40	44,3589
0,125	12,66	12,6473
	13,00	12,9870
	12,89	12,8771
Průměr	12,85	12,8372

Tab.15. Vypočítané hodnoty pro koncentrační řadu karboxymethyl celulosu vysokoviskozní

	1%	0,5%	0,25%	0,125%
Relativní viskozita	333,60	49,23	22,77	6,59
Specifická viskozita	332,60	48,23	21,77	5,59
Redukovaná viskozita	33259,49	9647,18	8707,69	4471,80

Relativní viskozita se počítala podle vztahu (6), specifická viskozita podle vztahu (7) a redukovaná podle vztahu (8).



Obr. 27. Grafické vyjádření závislosti redukované viskozity na hmotnostní koncentraci koncentrační řady karboxymethyl celulosy vysokoviskozní

Limitní viskozitní číslo se vypočítá z hodnot redukované viskozity z koncentrační řady a to grafickou metodou spočívající ve znázornění závislosti hodnot redukované viskozity (na svislé ose) na koncentraci (na vodorovné ose). Limitní viskozitní číslo se odečte z regresní rovnice přímky.

Hugginsova konstanta se vypočítá:

$$k_1 = \frac{\text{tg } \alpha}{[\eta]^2} \quad (11)$$

kde: $\text{tg } \alpha$... směrnice přímky

$[\eta]$... limitní viskozitní číslo

Tab. 16. Vypočítané hodnoty z rovnice spojnice grafu

Koncentrační řady vzorku	Limitní viskozitní číslo (100.g.g ⁻¹)	Hugginsova konstanta (g/100.g)
CMC	531,23	0,0130
HEC	60,591	0,9730
CMC vysokoviskózní	4002,1	2,6172.10 ⁻⁵

8 VYHODNOCENÍ A DISKUZE

8.1 Rotační viskozimetr

Grafická závislost smykového napětí na smykové rychlosti byla modelována u všech roztoků v programu Sigma Plot metodou nelineární regrese. Jednotlivé parametry (smyková deformace, smykové napětí a dynamická viskozita) byly měřeny přímo v přístroji - rotačním viskozimetru pomocí programu Rotovisco (Haake)..

1% roztok hydroxyethyl celulosy byl měřen na rotačním viskozimetru typu válec-válec. Software napojený na tento viskozimetr měřil určené hodnoty. Byl sestrojen graf se závislostí smykového napětí na smykové rychlosti, a jednotlivé body byly proloženy vypočtenou teoretickou závislostí procházející pro nulovou smykovou rychlost počátkem. Tato toková křivka byla sestrojena přes Mocninný zákon (3), který definuje stupeň neneutronského chování. Viskozita se měnila se změnou smykové rychlosti dle výše uvedené rovnice (3). Z průběhu tokové křivky lze usoudit, že 2-hydroxyethyl celuloza vykazuje viskoelastické chování (Obr.19.).

U roztoku **1% karboxymethyl celulosy** byly body proloženy vypočtenou tokovou křivkou, která měla počátek v bodě (0,0). Byla provedena lineární regrese přes počátek podle Newtonské rovnice. Z dané závislosti byla vyhodnocena viskozita 1% roztoku karboxymethyl celulosy. Viskozita byla 0,0120 Pa.s. Z grafu závislosti lze vidět, že tento roztok se jeví jako newtonská kapalina. Má tedy ideální Newtonské tokové chování.

1% roztok karboxymethyl celulosy vysokoviskozní má velmi podobné vlastnosti jako 1% HEC. Jedná se také o viskoelastickou kapalinu. Jednotlivé body byly také proloženy Mocninným zákonem a spojnice prochází počátkem.

Z průběhu grafu (obr.22.) lze vidět, že **vzorek kečupu** je Binghamská kapalina. Graf ukazuje závislost smykového napětí na smykové rychlosti, jehož jednotlivé body byly proloženy rovnicí Herchel-Bulkley ($\tau = \tau_0 + K \cdot \dot{\gamma}^n$), která je typická pro tekutiny s vnitřní strukturou, kdy tekutina musí překonat mez toku, aby došlo k tečení tekutiny.

U **vzorku medu** se postupovalo podobně jako u 1% CMC. Byla provedena lineární regrese přes počátek podle Newtonské rovnice. Citlivost rotačního viskozimetru byla k tomuto vzorku snížena. Viskozita medu byla 18,660 Pa.s. Jedná se o Newtonskou kapalinu.

8.2 Průtokový viskozimetr

Ze zjištěných časů průtoku kapalin, se vypočítala relativní viskozita jednotlivého vzorku. Použil se vztah (6), jelikož hustota destilované vody a vzorku se lišil v řádech 10^{-3} , nemusel být přepočet dynamických viskozit. Tento předpoklad je potvrzen také skutečností, že naměřené limitní viskozitní čísla byly relativně o vysoké hodnotě, která v poměru k parciálnímu specifickému objemu měřených polymerů vede k zanedbatelně malé hodnotě korekčního parametru dle rovnice (12) uvedené níže [62]:

$$[\eta] = [\nu] + \frac{1 - \bar{V}_2 \rho_0}{100 \rho_0} \quad (12)$$

Kde \bar{V}_2 je parciální molární objem polymeru.

Dále se vypočítala specifická redukovaná viskozita. Grafická závislost redukované viskozity ($\frac{\eta_{sp}}{c}$) na koncentraci byla vytvořena v programu Microsoft Excel. Jednotlivé viskozity se počítaly pro celou koncentrační řadu určitého vzorku.

Grafická závislost koncentrační řady karboxymethyl celulosy byla proložena lineární spojnici trendu. Z lineární rovnice přímky byla odečtena hodnota limitního viskozitního čísla a byla vypočítána pomocí směrnice přímky Hugginsova konstanta $k_1 = \frac{\text{tg } \alpha}{[\eta]^2}$.

U **karboxymethyl celulosy** limitní viskozitní číslo je rovno $531,23 \text{ } 100\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a Hugginsova konstanta se rovná $0,0130 \text{ g}/100\text{g}$. Jelikož Hugginsova konstanta je velmi nízká a neblíží se 1, byla voda dobrým rozpouštědlem pro tento vzorek polymeru.

Koncentrační řada **2-hydroxyethyl celulosy** byla vynesena do grafu v závislosti na redukované viskozitě. Jednotlivé body byly proloženy lineární spojnici trendu. Limitní viskozitní číslo v tomto případě bylo $60,591 \text{ } 100\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a Hugginsova konstanta se rovnala $0,9730 \text{ g}/100\text{g}$. Z tohoto údaje lze usoudit, že voda jako rozpouštědlo není vhodné pro tento vzorek, jelikož se konstanta blížila jedné.

Vzorky karboxymethyl celulosy vysokoviskózní byly také vyneseny do grafu, v závislosti redukované viskozity na koncentraci. Limitní viskozitní číslo tohoto vzorku bylo $4002,1 \text{ } 100\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ a Hugginsova konstanta $2,6172 \cdot 10^{-5} \text{ g}/100\text{g}$. Z hodnoty Hugginsovy

konstanty je možno usuzovat, že dané rozpouštědlo (voda), je velmi vhodné pro tento vzorek.

Z těchto výsledků lze porovnat jednotlivé vzorky, velikost limitního viskozitního čísla, kdy největší hodnotu má karboxymethyl celuloza vysokoviskozní, a nejnižší má 2-hydroxyethylceluloza.

ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývá charakterizací fyzikálně-chemických vlastností polysacharidů, které mají značné využití v potravinářském průmyslu. Sacharidy jsou využívány v různých formách a modifikacích. Jejich fyzikálně – chemické vlastnosti ovlivňují nejen jejich typové použití v potravinářství, ale také ovlivňují konečnou nutriční hodnotu potravin, či stravitelnost pro člověka. Fyzikálně – chemické vlastnosti tedy ovlivňují také zdraví člověka.

V této bakalářské práci byla sledována hodnota viskozity derivátů celulosy, které se používají v potravinářství jako zahušťovadlo a stabilizátory emulzí. Dále byla měřena viskozita medu a kečupu, jejichž viskozita se odvíjí na jakosti potravin. Zahušťovadla jsou vazné látky, schopné pevně a stabilně vázat velká množství vody a vytvářet koloidní roztoky s výraznými technologickými vlastnostmi. Mohou se používat přírodní sacharidy, podle jejich fyzikálně chemických vlastností (pektin, škrob), ale také chemicky upravované (deriváty celulosy, či modifikované škroby, které se liší svými fyzikálně – chemickými vlastnostmi). V potravinářském průmyslu se zahušťující látky používají k zahuštění mléčných výrobků, předpřipravených omáček, polévek a zálivek, instantních polévek, majonéz, zavařenin a řady dalších výrobků.

Vysoká viskozita derivátů celulosy velmi pozitivně ovlivňují technologické procesy, při kterém se použije menší množství zahušťovadla. Pro výrobce je to hlavně výhodné z ekonomického hlediska.

Viskozita medu, jakož to přírodní látka, je jeden z hlavních ukazatelů jakosti. Dle vyhlášky 4/2008 Sb., Nařízení 1333/2008/ES platí omezení přídatných látek pro med. V medu by se neměly vyskytovat žádné zahušťovadla, či jiné přídatné látky. A do viskozity medu by se nemělo jakkoliv zasahovat.

Na druhou stranu viskozita některých kečupů je založená výhradně na použití zahušťovadel. Čím více zahušťovadel tím menší množství rajčat, a také samozřejmě nižší cena kečupu. Hodnota viskozity kečupu je velmi důležitá pro spotřebitele. Extrémně nebo nedostatečně viskózní kečup je nežádoucí.

Sacharidy mají rozsáhlé využití nejen v potravinářském průmyslu, ale také v jiných odvětvích. Je stále mnoho možností různě modifikovat a měnit struktury sacharidů. A také zdokonalovat potravinářský průmysl.

Sacharidy jsou každodenní součástí našeho života, ve skrytých a zjevných formách. A život bez sacharidů si snad nelze ani představit.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ČERNÝ, Miloslav, Tomáš TRNKA a Miloš BUDĚŠÍNSKÝ. Sacharidy. 1. vyd. Praha: Česká společnost chemická, 2010, 178 s. Chemické listy. ISBN 978-80-86238-81-4.
- [2] VELÍŠEK, Jan. Chemie potravin 1. 1. vyd. Tábor: OSSIS, 1999, 328 s. ISBN 80-902-3912-9.
- [3] RUMÍŠKOVÁ, Marie. Základy výživy. Brno: Ivan Straka, 2002, 141 s. ISBN 80-864-9405-5.
- [4] DAVÍDEK, Jiří, Gustav JANÍČEK a Jan POKORNÝ. Chemie potravin. 1. vyd. Praha: SNTL, 1982.
- [5] DOSTÁL, Jiří. Lékařská chemie. 3. vyd. Masarykova univerzita: Brno, 2011, 165 s. ISBN 978-802-1055-384
- [6] DAVÍDEK, Jiří. Chemie potravin: určeno pro posl. fak. potravinářské a biochemické technologie. 2. vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 1991, 142 s. ISBN 80-708-0097-6.
- [7] LANGMAIER, Ferdinand. Nauka o zboží. Vyd. 2., Zlín: Univerzita Tomáše Bati, Fakulta managementu a ekonomiky, 2002, 144 s. ISBN 80-731-8092-8.
- [8] HÁLKOVÁ, Jana. Analýza potravin. 2. vyd. Újezd u Brna: Ivan Straka, 2001, 94 s. ISBN 80-864-9402-0
- [9] JELÍNEK, Jan a Vladimír ZICHÁČEK. Biologie pro gymnázia: (teoretická a praktická část). 5. vyd. Olomouc: Nakladatelství Olomouc, 2002, 574 s., il., obr. ISBN 80-718-2089-X.
- [10] ODSTRČIL, Jaroslav a Milada ODSTRČILOVÁ. Chemie potravin. Vyd. 1. Brno: Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2006, 164 s. ISBN 80-701-3435-6.
- [11] HOZA, Ignác a Daniela KRAMÁŘOVÁ. Potravinářská biochemie I. Vyd. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2005, 168 s. ISBN 978-80-7318-295-3
- [12] TRNKA, Tomáš. Organická chemie: pro posluchače nechemických oborů. 1. vyd. V Praze: Karolinum, 2003, 162 s. Učební texty Univerzity Karlovy v Praze. ISBN 80-246-0561-9.

- [13] HOZA, Ignác, Daniela KRAMÁŘOVÁ a Pavel BUDINSKÝ. Potravinářská biochemie I.: pro studenty kombinované formy studia. Vyd. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2006, 160 s. ISBN 978-80-7318-495-7.
- [14] KLÁSEK, Antonín. Organická chemie: bakalářský směr. Vyd. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2006, 112 s. ISBN 80-731-8483-4
- [15] HÁLKOVÁ, Jana, Marie RUMÍŠKOVÁ a Jana RIEGLOVÁ. Analýza potravin: laboratorní cvičení. 2. vyd. Újezd u Brna: Ivan Straka, 2001, 109 s. ISBN 80-864-9403-9
- [16] DOSTÁL, Jiří a Petr KAPLAN. Lékařská chemie 2: Bioorganická chemie. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 2003, 223 s. ISBN 80-210-2731-2.
- [17] DOSTÁL, Jiří. Biochemie pro bakaláře. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 2003, 173 s. ISBN 80-210-3232-4
- [18] HABERMANN, Vlastimil. Lékařská chemie: vybrané úvodní kapitoly. 1. vyd. Praha: Karolinum, 2004, 224 s. ISBN 978-80-246-0789-4
- [19] KLEINER, Susan M a Maggie GREENWOOD-ROBINSON. Fitness výživa: Power Eating program. 1. vyd. Překlad Daniela Stackeová. Praha: Grada, 2010, 304 s. ISBN 978-802-4732-534.
- [20] DUDÁŠ, František a kol. Skladování a zpracování rostlinných výrobků, vydalo Statní zemědělské nakladatelství v Praze, Praha 1981. 07-083-81
- [21] ŠÍCHO, Vladislav. Potravinářská biochemie, SNTL – Nakladatelství technické literatury, Praha 1969. 04-801-69
- [22] [online]. [cit. 2013-04-13]. Dostupné: <http://web.ft.utb.cz/cs/docs/08-technologie-skrobu-vyrobky.pdf>
- [23] CHRVALOVÁ, Lucie. Výroba škrobů a jejich využití v průmyslu. Zlín, 2009. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati. Vedoucí práce Ing. Jana Rieglová.
- [24] BUMBALOVÁ, Jana, ŠMAHAJOVÁ, Petra. Středoškolská odborná činnost: Nativní a modifikované škroby, Bzenec 2001
- [25] LAPČÍK, Lubomír, Lubomír LAPČÍK, Stefaan DE SMEDT, Joseph DEMEESTER a Peter CHABREČEK. Hyaluronan: Preparation, Structure, Properties, and Applications. Chemical Reviews. roč. 98, č. 8, s. 2663-2684. ISSN 0009-2665. DOI: 10.1021/cr941199z.

- [26] HOLEČEK, Milan. Regulace metabolismu cukrů, tuků, bílkovin a aminokyselin. 1. vyd. Praha: Grada, 2006, 286 s. ISBN 80-247-1562-7.
- [27] MÜLLEROVÁ, Dana. Zdravá výživa a prevence civilizačních nemocí ve schématech: z pohledu jednotlivce i populačních skupin. 1. vyd. Praha: TRITON, 2003, 99 s., tab. ISBN 80-725-4421-7
- [28] LEDVINA, Miroslav, Alena STOKLASOVÁ a Jaroslav CERMAN. Biochemie pro studující medicíny. Vyd. 1. Praha: Karolinum, 2004, 274 s. ISBN 80-246-0851-0.
- [29] GAJDŮŠEK, Stanislav. Laktologie. Vyd. 1. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2003, 78 s. ISBN 80-715-7657-3.
- [30] VOET, Donald. Biochemie. 1. vyd. Praha: VICTORIA PUBLISHING, 1995, 1325 s. ISBN 80-856-0544-9
- [31] VODRÁŽKA, Zdeněk. Biochemie. 2. oprav. vyd. Praha: Academia, 2002, ISBN 80-200-0600-1.
- [32] BLATTNÁ, Jarmila. Výživa na začátku 21. století aneb o výživě aktuálně a se zárukou. Praha: Společnost pro výživu, 2005, 79 s. ISBN 80-239-6202-7
- [33] KODÍČEK, Milan. Biochemické pojmy: výkladový slovník. 1. vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2004, 171 s. ISBN 80-708-0551-X
- [34] KRÁLOVÁ, Blanka, Jan KÁŠ a Pavel RAUCH. Laboratoř z biochemie. Praha: SNTL, 1983.
- [35] DRDÁK, M. Základy potravinářských technologií. Bratislava: Malé centrum, 1996, 511 s. ISBN 80-967-0641-1
- [36] MIKEŠ, Vladimír. Proč se klepou řízky: chemie v kuchyni. Praha: Dokořán, 2008, 199 s. ISBN 978-80-7363-143-7.
- [37] DRACHOVSKÁ - ŠIMANOVÁ, M. Základy cukrovarnictví I: Výroba cukru z řepy. 1. vyd. Praha: SNTL, 1955, 314 s.
- [38] BOBIŠ, Ladislav a Anna RUDOHRADSKÁ. Hydina a zverina vo výžive. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1990, 359 s. ISBN 80-050-0370-6
- [39] BURDYCHOVÁ, Radka a Pavla SLÁDKOVÁ. Mikrobiologická analýza potravin. Vyd. 1. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2007, 208 s., [6] l. barev. obr. příl. ISBN 978-80-7375-116-6

- [40] IPSEK, Jan. *Obecná biologie buňky*. Vyd. 1. V Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně, Ústav přírodních věd, 2005, 176 s. ISBN 80-704-4706-0
- [41] CAVIA, M.M, M.A FERNANDEZ-MUINO, E GOMEZ-ALONSO, M.J MONTES-PÉREZ, J.F HUIDOBRO a M.T SANCHO. Evolution of fructose and glucose in honey over one year: influence of induced granulation. *Food Chemistry*. 2002, roč. 78, č. 2, s. 157-161. ISSN 03088146. DOI: 10.1016/S0308-8146(01)00393-4
- [42] MURRAY, K., BENDER, D., KENNELLY, P. a WEIL, P. *Harper's illustrated biochemistry*. 29. vyd. New York: Mcgraw-Hill, 2012. LANGE: Basic Science, 818 s, ISBN 978-007-1765-763.
- [43] ELLIOTT, William H a Daphne C ELLIOTT. *Biochemistry and molecular biology*. 4th ed. New York: Oxford University Press, 2009, ISBN 01-992-2671-7
- [44] Béguin, Pierre a Jean-Paul AUBERT. The biological degradation of cellulose. *FEMS Microbiology Reviews*. 1994, roč. 13, č. 1, s. 25-58. ISSN 01686445. DOI: 10.1111/j.1574-6976.1994.tb00033.x
- [45] MUNARIN, Fabiola, Sabrina BOZZINI, Livia VISAI, Maria C. TANZI a Paola PETRINI. Sterilization treatments on polysaccharides: Effects and side effects on pectin. *Food Hydrocolloids*. 2013, roč. 31, č. 1, s. 74-84. ISSN 0268005x. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2012.09.017
- [46] IBANEZ, Elena, Alejandro CIFUENTES, Livia VISAI, Maria C. TANZI a Paola PETRINI. Benefits of using algae as natural sources of functional ingredients: Effects and side effects on pectin. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2013-03-15, roč. 93, č. 4, s. 703-709. ISSN 00225142. DOI: 10.1002/jsfa.6023.
- [47] HELLWIG, Michael, Alejandro HENLE, Livia VISAI, Maria C. TANZI a Paola PETRINI. Quantification of the Maillard reaction product 6-(2-formyl-1-pyrrolyl)-l-norleucine (formyl-line) in food: Effects and side effects on pectin. *European Food Research and Technology*. 2012, roč. 235, č. 1, s. 99-106. ISSN 1438-2377. DOI: 10.1007/s00217-012-1738-
- [48] SCHAAFSMA, Gertjan, Thomas HENLE, Livia VISAI, Maria C. TANZI a Paola PETRINI. Lactose and lactose derivatives as bioactive ingredients in human nutrition: Effects and side effects on pectin. *International Dairy Journal*. 2008, roč. 18, č. 5, s. 458-465. ISSN 09586946. DOI: 10.1016/j.idairyj.2007.11.013

- [49] WADE, L. G. Organic chemistry. 5. ed., International ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall [u.a.], 2003. ISBN 978-013-1103-108.
- [50] [online]. [cit. 2013-04-13]. Dostupné z: <http://ulb.upol.cz/praktikum/visnav.pdf>
- [52] PRÁŠILOVÁ, Alena. Vliv reologie maziv na tloušťku mazacího filmu. Brno, 2009. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce prof. Ing. Ivan Křupka, Ph.D.
- [52] JANUŠ, Petr. Studium viskozity kapalných materiálů. Brno, 2010. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Martin Frk, Ph.D.
- [53] DRÁBKOVÁ, Sylva. Mechanika tekutin. Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2007. ISBN 978-80-248-1508-4.
- [54] FIGURA, Ludger O a Arthur A TEIXEIRA. Food physics: physical properties-- measurement and applications. New York: Springer, c2007, xv, 550 p. ISBN 35-403-4191-9.
- [55] [online]. [cit. 2013-04-13]. Dostupné z: <http://web.ft.utb.cz/cs/docs/uloha-6.pdf>
- [56] [online]. [cit. 2013-04-13]. Dostupné: <http://www.helago-cz.cz/product/hbdv-ii-pro-rotacni-viskozimetr/>
- [57] MEZGER, Thomas G. The Rheology Handbook: For users of rotational and oscillatory rheometers. Hannover: Curt R. Vincentz Verlag, 2002, 252 s. ISBN 38-787-0745-2.
- [58] BJALONČÍKOVÁ, Petra. Mikrorgeologie v systémech polymerních koloidů. Brno, 2012. Bakalářské práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Tereza Halasová.
- [59] BARTOVSKÁ, Lidmila. Fyzikální chemie povrchů a koloidních soustav. 5. přeprac. vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2005, 244 s. ISBN 80-708-0579-X.
- [60] BARTOVSKÁ, Lidmila a Marie ŠIŠKOVÁ. Fyzikální chemie povrchů a koloidních soustav. Vyd. 6., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2010, 262 s. ISBN 978-80-7080-745-3.
- [61] [online]. [cit. 2013-04-13]. Dostupné z: <http://www.bdl-cee.com/viskozimetr-ubbelohde-skleneny-kinematicky>
- [62] TANFORD, Charles. Intrinsic viscosity and kinematic viscosity. The Journal of Physical Chemistry. 1955, roč. 59, čís. 8, s. 798-799.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Např.	například
Atd.	a tak dále
Apod.	a podobně
Aj.	a jiné
%	procent
kJ	kilojouly
kcal	kilokalorie
°C	stupeň Celsia
mmol	milimol
l	litr
g	gram
Pa	pascal
s	sekunda
m	metr
ml	mililitr
mm	milimetr
hm	hmotnostní
CMC	karboxymethyl celulosa
HEC	2-hydroxyethyl celulosa

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Glukosa</i>	16
<i>Obr. 2. Tetrahydrofuran</i>	16
<i>Obr. 3. D-glyceraldehyd</i>	20
<i>Obr. 4. D-ribosa</i>	20
<i>Obr. 5. 2-deoxy-D-ribosa</i>	20
<i>Obr. 6. D-glukosa</i>	21
<i>Obr. 7. D-manosa</i>	22
<i>Obr. 8. D-galaktosa</i>	22
<i>Obr. 9. D-fruktosa</i>	23
<i>Obr. 10. Inositol</i>	24
<i>Obr. 11. D-glucitol</i>	24
<i>Obr. 12. Sacharosa</i>	29
<i>Obr. 13. Maltosa</i>	30
<i>Obr. 14. Laktosa</i>	31
<i>Obr. 15. Amylosa</i>	35
<i>Obr. 16. Amylopektin</i>	36
<i>Obr. 17. Celulosa</i>	39
<i>Obr. 18. Rotační viskozimetr (typ válec – válec) [56]</i>	47
<i>Obr. 19. Grafické zobrazení závislosti smykové rychlosti na smykovém napětí 1% 2-hydroxyethyl celulosy</i>	49
<i>Obr. 20. Grafické zobrazení závislosti smykové rychlosti na smykovém napětí 1% karborymethyl celulosy</i>	50
<i>Obr. 21. Grafické zobrazení závislosti smykové rychlosti na smykovém napětí 1% karborymethyl celulosy vysokoviskozní</i>	51
<i>Obr. 22. Grafické vyjádření závislosti smykové rychlosti na smykovém napětí vzorku kečupu</i>	52
<i>Obr. 23. Grafické vyjádření závislosti smykové rychlosti na smykovém napětí vzorku medu</i>	53
<i>Obr. 24. Ubbelohdeův viskozimetr [61]</i>	54
<i>Obr. 25. Grafické vyjádření závislosti redukované viskozity na hmotností koncentraci koncentrační řady karboxymethyl celulosy</i>	57

-
- Obr. 26. Grafické vyjádření závislosti redukované viskozity na hmotnostní koncentraci
koncentrační řady hydroxyethyl celulosy 59*
- Obr. 27. Grafické vyjádření závislosti redukované viskozity na hmotnostní koncentraci
koncentrační řady karboxymethyl celulosy vysokoviskozní 61*

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Relativní intenzita sladkosti 5% roztoků různých sacharidů [4]</i>	<i>28</i>
<i>Tab. 2. Naměřené hodnoty 1% 2-hydroxyethylcelulosity na rotačním viskozimetru</i>	<i>49</i>
<i>Tab. 3. Naměřené hodnoty 1% karboxymethylcelulosity na rotačním viskozimetru</i>	<i>50</i>
<i>Tab. 4. Naměřené hodnoty 1% karboxymethylcelulosity vysokoviskozní na rotačním viskozimetru</i>	<i>51</i>
<i>Tab. 5. Naměřené hodnoty vzorku kečupu na rotačním viskozimetru</i>	<i>52</i>
<i>Tab. 6. Naměřené hodnoty vzorku medu květového na rotačním viskozimetru</i>	<i>53</i>
<i>Tab. 7. Naměřené hodnoty destilované vody</i>	<i>56</i>
<i>Tab. 8. Naměřené hodnoty pro koncentrační řadu karboxymethyl celulosy</i>	<i>56</i>
<i>Tab. 9. Vypočítané hodnoty pro koncentrační řadu karboxymethyl celulosu</i>	<i>57</i>
<i>Tab. 10. Naměřené hodnoty destilované vody</i>	<i>58</i>
<i>Tab. 11. Naměřené hodnoty pro koncentrační řadu 2-hydroxyethyl celulosy</i>	<i>58</i>
<i>Tab. 12. Vypočítané hodnoty pro koncentrační řadu hydroxyethyl celulosu</i>	<i>59</i>
<i>Tab. 13. Naměřené hodnoty destilované vody</i>	<i>60</i>
<i>Tab. 14. Naměřené hodnoty pro koncentrační řadu HEC vysokoviskozní</i>	<i>60</i>
<i>Tab. 15. Vypočítané hodnoty pro koncentrační řadu karboxymethyl celulosu vysokoviskozní</i>	<i>61</i>
<i>Tab. 16. Vypočítané hodnoty z rovnice spojnice grafu</i>	<i>62</i>