

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA PEDAGOGICKÁ

**SACHARIDY V POTRAVINÁCH A METODY JEJICH
STANOVENÍ**
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Lucie Křížová

Přírodovědná studia, Chemie se zaměřením na vzdělávání

Vedoucí práce: Ing. Jan Hrdlička, Ph.D.

Plzeň 2019

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a zdrojů informací.

Plzeň, 30. dubna 2019

.....
vlastnoruční podpis

Ráda bych poděkovala svému vedoucímu Ing. Janu Hrdličkovi, Ph.D., za odborné vedení mé bakalářské práce, za ochotu, trpělivost, čas a cenné rady, které mi poskytl při jejím zpracování.

ORIGINÁLNÍ ZADÁNÍ

ORIGINÁLNÍ ZADÁNÍ

OBSAH

SEZNAM ZKRATEK	8
ÚVOD	9
1 TEORETICKÁ ČÁST	11
1.1 OBECNÁ CHARAKTERISTIKA SACHARIDŮ	11
1.2 KLASIFIKACE SACHARIDŮ	11
1.3 MONOSACHARIDY	12
1.3.1 Glukosa.....	13
1.3.2 Fruktosa.....	14
1.4 OLIGOSACHARIDY	14
1.4.1 Sacharosa.....	15
1.5 POLYSACHARIDY	16
1.5.1 Škrob	17
1.5.2 Glykogen	18
1.6 VÝZNAM SACHARIDŮ VE VÝŽIVĚ ČLOVĚKA.....	18
1.6.1 Glukosa ve výživě člověka.....	19
1.6.2 Fruktosa ve výživě člověka	19
1.6.3 Sacharosa ve výživě člověka	20
1.6.4 Škrob ve výživě člověka	20
1.7 ZDRAVOTNÍ RIZIKA SPOJENÁ S CUKREM.....	20
1.7.1 Obezita	22
1.7.2 Diabetes mellitus (cukrovka).....	23
1.8 METABOLISMUS SACHARIDŮ	23
1.8.1 Glykolysa.....	23
1.8.2 Glukoneogenese.....	25
1.8.3 Pentósový cyklus	26
1.9 TRÁVENÍ SACHARIDŮ.....	27
1.10 PŘÍRODNÍ NÁHRADY CUKRU	28
1.10.1 Agávový sirup.....	28
1.10.2 Javorový sirup.....	29
1.10.3 Med	29
1.11 IZOLACE SACHARIDŮ A JEJICH ČIŘENÍ	30

1.11.1	Izolování sacharidů extrakcí ethanolem	30
1.11.2	Čiření	30
1.12	METODY STANOVENÍ SACHARIDŮ	31
1.12.1	Chemické metody	31
1.12.2	Fyzikální metody.....	34
2	PRAKTICKÁ ČÁST	36
2.1	STANOVENÍ REDUKUJÍCÍCH SACHARIDŮ METODOU LUFFA-SCHOORLA	36
2.1.1	Příprava vzorků.....	36
2.1.2	Příprava Carrezova čířidla.....	36
2.1.3	Příprava Luffova roztoku	37
2.1.4	Příprava škrobového mazu	37
2.1.5	Příprava a standardizace roztoku thiosíranu sodného	37
2.1.6	Stanovení redukujících sacharidů	38
2.2	STANOVENÍ ALDOS METODOU AUERBACHA-BODLÄNDERA-BORRIESE	38
2.2.1	Příprava vzorků.....	38
2.2.2	Příprava a standardizace roztoku jodu	38
2.2.3	Stanovení aldosa	39
2.3	VÝSLEDKY	40
2.3.1	Metoda Luffa-Schoorla	40
2.3.2	Metoda Auerbacha-Bodländera-Borriese.....	40
2.4	ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ.....	41
	ZÁVĚR.....	43
	RESUMÉ	44
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	45
	SEZNAM OBRÁZKŮ	48
	SEZNAM GRAFŮ.....	49
	SEZNAM TABULEK	50
	PŘÍLOHY.....	I

SEZNAM ZKRATEK

ESFA – European Food Safety Authority

ADP – adenosindifosfát

ATP – adenosintrifosfát

GTP – guanosintrifosfát

PEP-karboxykinasa – fosfoenolpyruvátkarboxykinasa

BMI – body mass index

NADP – nikotinamidadeninukleotidfosfát

NAD – nikotinamidadeninukleotid

WHO – world health organization

FID – flame ionization detector

ÚVOD

Zdraví člověka velmi úzce souvisí s výživou, která tělu poskytuje důležité živiny nezbytné pro získání energie a celkové fungování organismu. Mezi základní živiny patří právě sacharidy spolu s bílkovinami a tuky, a proto by sacharidy měly tvořit u dospělého člověka průměrně 60–75 % celkového energetického příjmu.

V poslední době se však o sacharidech a jejich množství v potravě velmi spekuluje. Nové studie a výzkumy ukazují, že nadměrný příjem zvláště jednoduchých cukrů může způsobovat obezitu, kardiovaskulární onemocnění nebo cukrovku 2. typu. Existují dokonce i diety nebo životní styly, které jsou založené na velmi nízkém příjmu sacharidů a naopak vysokém příjmu tuků např. low carb high fat nebo ketodieta.

Žijeme v době, kdy se na trhu vyskytuje škála různých druhů potravin, kterými si můžeme zpestřit každodenní jídelníček. Výzkumy ukazují, že cukr na lidské tělo působí jako droga a jeho účinky jsou dokonce horší než heroin. Proč tedy tuto legální drogu konzumujeme po kilech? Protože když sníme potravinu bohatou na cukry, zvýší se v našem mozku hladina dopaminu. To je látka, která ovlivňuje naše emoce a pocity radosti. Při poklesu cítíme nedostatek energie, nesoustředěnost nebo dokonce deprese, a tak si dáme opět sladkou potravinu, a protože náš mozek chce víc a víc, zvyšujeme i dávku cukru. Při nedostatku cukru dochází k abstinčním příznakům jako u drog. A protože výrobci potravin ví, jak je cukr a jeho sladká chuť návyková, produkty cíleně doslazují. Jsou doslazovány i potraviny, kde byste cukr rozhodně nečekali např. rajčatové omáčky, zálivky na salát nebo sušené maso. Konzumací těchto produktů, doslova nabitých cukrem však překračujeme doporučený denní příjem a nedostatkem pohybu se tento cukr přeměňuje na tuky a stáváme se obézními. Protože cukr je velmi diskutované téma a v posledních letech čím dál tím více lidí ví o jeho rizicích, konzumace cukru klesá. Výrobci tedy nahrazují cukr jinými sladidly, nebo nabízejí produkty sugarfree neboli bez cukru. Lidé, kteří potřebují sladkou chuť potravin, ale nechtějí konzumovat bílý cukr, se snaží najít vedlejší řešení a tím jsou sladidla. Proto jsem se v praktické části této práce zaměřila především na přírodní sladidla jako je javorový sirup, agávový sirup a med, které jsou velmi často využívané právě jako náhrada cukru, a protože jsem sama dávala přednost těmto sladidlům před bílým cukrem, než jsem zjistila, že jsou údajně tato sladidla kvůli vysokému obsahu fruktosy horší než běžný cukr.

Cílem této práce je popsat sacharidy z chemického hlediska, charakterizovat jednotlivé skupiny sacharidů, jejich zástupce a význam jednotlivých sacharidů ve výživě člověka. Protože sacharidy jsou velmi rozsáhlé téma, zaměřila jsem se především na jednoduché sacharidy, glukosu a fruktosu, na jejich metabolismus v organismu člověka a jejich možná zdravotní rizika, která jsou v dnešní době velkým tématem a jejich problematika mě samotnou zajímá.

Cílem praktické části je otestovat metodu stanovující sacharidy v potravinách. Vybrala jsem si dvě metody, pomocí nichž bych chtěla stanovit množství glukosy a fruktosy v javorovém sirupu, agávovém sirupu a medu a zhodnotit, zda je lepší sladit těmito přírodními sladidly než běžným bílým cukrem.

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 OBECNÁ CHARAKTERISTIKA SACHARIDŮ

Obecným názvem sacharidy se označují polyhydroxysloučeniny, které obsahují v molekule funkční aldehydovou nebo ketonovou skupinu a minimálně tři alifaticky vázané atomy uhlíku. Pod sacharidy spadají také látky, které se z nich tvoří vzájemnou kondenzací za vzniku acetalových neboli glykosidových vazeb a jejich deriváty, které ze sacharidů vznikají oxidačními, redukčními, substitučními a jinými reakcemi.

Sacharidy mohou v buňkách sloužit jako:

- zdroj a zásoba energie,
- stavební materiál,
- biologicky aktivní látky nebo složky biologicky aktivních látek. ^[1]

1.2 KLASIFIKACE SACHARIDŮ

Sacharidy se podle své struktury dělí na dvě hlavní skupiny: na jednoduché sacharidy a složené sacharidy. Jednoduché sacharidy obsahují ve své molekulové kostře pouze jednu cukernou jednotku a nelze je dále hydrolyticky štěpit na menší cukry. Složené sacharidy obsahují 2 a více cukerných jednotek, které jsou spojeny acetalovými vazbami a lze je pomocí hydrolytických enzymů rozštěpit až na jednotlivé monosacharidy, ze kterých jsou složeny. Dle počtu cukerných jednotek vázaných v molekule se složené sacharidy dělí na oligosacharidy (2–10 monosacharidů) a polysacharidy (10 a více monosacharidů). Zvláštní skupinu tvoří sacharidy, které jsou navázány na další molekuly jako jsou lipidy a bílkoviny nebo peptidy, které se označují jako komplexní neboli konjugované sacharidy. ^[2]

Monosacharidy lze rozdělit podle dvou hledisek: podle počtu atomů uhlíku přítomných v molekule na triosy, tetrosy, pentosy, hexosy a heptosy nebo podle karbonylové skupiny, kterou sacharidy obsahují. Sacharidy obsahující aldehydovou funkční skupinu se nazývají aldosity a sloučeniny obsahující ketonovou funkční skupinu se nazývají ketosy. ^[2]

Z výživového hlediska se rozlišují sacharidy podle využitelnosti v organismu na využitelné (stravitelné), špatně využitelné a nevyužitelné (nestravitelné) sacharidy. ^[3]

1.3 MONOSACHARIDY

Základní monosacharidy jsou odvozeny od nejjednodušší aldosa glycerinaldehydu a nejjednodušší ketosa dihydroxyacetonu. Schéma odvození D-aldosa a D-ketosa se nachází v příloze. Vzhledem k prostorovému uspořádání funkčních skupin, obsahuje molekula chirální (asymetrický) atom uhlíku, díky kterému sacharidy vykazují optickou aktivitu, tzn. stáčí rovinu polarizovaného světla doprava nebo doleva. Existují tedy ve formě dvou isomerů – D (pravotočivý) a L (levotočivý). Označení D a L však neurčuje směr otáčení roviny polarizovaného světla. D a L označuje konfigurační uspořádání na posledním uhlíku. Tyto isomery, označovány jako enantiomery nebo optické antipody, mají vzájemný zrcadlový obraz. Směr otáčení roviny polarizovaného světla se vyjadřuje označením + a –. Chemické i fyzikální vlastnosti mají oba typy isomerů téměř stejné, liší se optickou otáčivostí. Sacharidy mají obvykle i více stereogenních center, proto existuje určité množství konfiguračních isomerů pro daný monosacharid. Počet možných isomerů je 2^n , kde n je počet chirálních atomů uhlíku. [4]

Monosacharidy se vyskytují převážně v cyklické formě. V molekule je přítomna vysoce reaktivní karbonylová skupina, která interaguje s volnými elektronovými páry hydroxylové skupiny. Na čtvrtém nebo pátém uhlíku dochází k nukleofilní adici hydroxyly na aldehydovou nebo ketonovou skupinu za vzniku cyklického poloacetalu. Vzniklé pětičlenné cykly se označují jako furanosy, šestičlenné cykly jako pyranosy. [2]

Uzavřením lineárního řetězce vznikne cyklus a tím i nový chirální atom molekuly. Vzniklé molekuly se nazývají anomery a liší se konfigurací na poloacetalovém uhlíku. Pro rozlišení takto vzniklých isomerů, se používá označení symboly α a β . Pokud hydroxylová skupina na prvním uhlíku v cyklické formě zakreslené Haworthovým vzorcem míří nahoru, jedná se o β -anomer. V opačném případě, kdy hydroxylová skupina míří dolů, se jedná o α -anomer. [5]

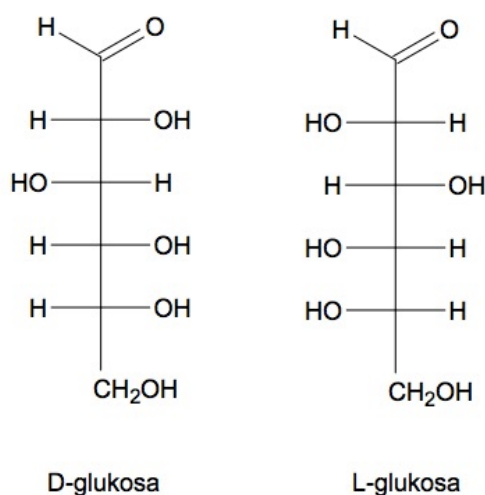
Monosacharidy jsou součástí naší každodenní stravy a mohou tvořit dokonce až 25 % přijaté energie. Mezi nejvýznamnější monosacharidy patří D-glukosa, která se vyskytuje v ovocných plodech, v medu, ale i v krvi vyšších živočichů. Dalším významným monosacharidem je D-fruktosa. Nachází se ve velké míře v ovoci, společně s D-glukosou tvoří disacharid sacharosu. Monosacharidy se ve formě D-ribosy a 2-deoxy-D-ribosy podílejí i na struktuře nukleových kyselin. [6]

1.3.1 GLUKOSA

1.3.1.1 Chemická struktura

Glukosa se řadí se šesti uhlíky a aldehydovou skupinou v molekule mezi aldohexosy. Její sumární vzorec je $C_6H_{12}O_6$ a triviálním názvem je označována jako hroznový cukr nebo dextrosa. [7]

Glukosa se vyskytuje ve dvou isomerech, L-glukosa a D-glukosa, která se vyskytuje častěji. D-glukosa je bílá krystalická látka sladké chuti, která je rozpustná ve vodě. [3]



Obrázek 1: Enantiomery glukosy

1.3.1.2 Výskyt glukosy

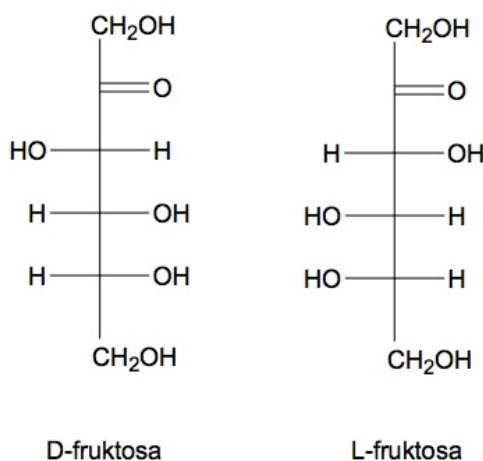
D-glukosa je nejdůležitější a nejrozšířenější monosacharid. Vyskytuje se volná i vázaná v živočišných a rostlinných tkáních. V zelených rostlinách je syntetizována procesem zvaným fotosyntéza, kdy je sluneční světlo využito ve formě energie pro přeměnu vody a oxidu uhličitého na kyslík a glukosu, kterou rostlina využívá jako zdroj energie. Pro živé organismy je klíčovou složkou metabolismu a také zdrojem energie. Glukosa vstupuje v metabolismu do nejvýznamnějšího katabolického procesu glykolisy.

Tvoří základní stavební jednotku oligosacharidů např. maltosy, sacharosy a laktosy a je monomerem polysacharidů např. škrobu, glykogenu a celulosy. [2][6]

1.3.2 FRUKTOSA

1.3.2.1 Chemická struktura

Fruktosa se řadí se šesti uhlíky a ketonovou skupinou mezi ketohexosy. Její sumární vzorec je $C_6H_{12}O_6$ a triviálním názvem je označována jako ovocný cukr, dříve také označována jako levulosa z důvodu negativní optické otáčivosti. Stejně jako glukosa se fruktosa vyskytuje ve dvou isomerech, D-fruktosa a L-fruktosa. ^{[1][7]}



Obrázek 2: Enantiomery fruktosy

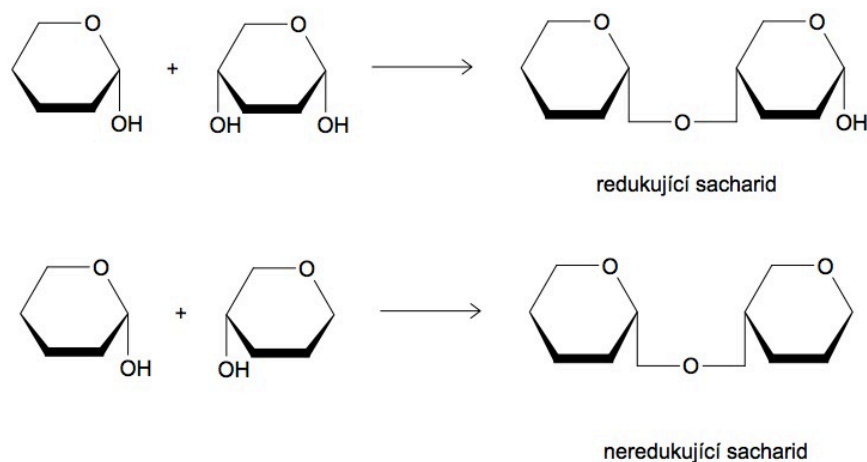
1.3.2.2 Výskyt fruktosy

Volná fruktosa se nejvíce vyskytuje v medu a v ovoci. Společně s molekulou glukosy tvoří disacharid sacharosu. Tvoří základní stavební jednotku polysacharidu inulinu. ^[1]

1.4 OLIGOSACHARIDY

Oligosacharidy se skládají ze 2–10 cukerných jednotek monosacharidů, které lze enzymatickou hydrolyzou rozštěpit na jednoduché sacharidy. Dle počtu jednotek se dělí na disacharidy, trisacharidy, tetrasacharidy až dekasacharidy. Vznikají odštěpením molekuly vody z cyklické struktury monosacharidu. Jednotlivé monosacharidy jsou v molekule oligosacharidů spojeny glykosidickou vazbou, přesněji O-glykosidickou vazbou, která vzniká spojením poloacetalové hydroxylové skupiny jedné molekuly monosacharidu s hydroxylovou skupinou druhého monosacharidu přes atom kyslíku. Podle typu vzniklé glykosidické vazby dělíme sacharidy na redukující a neredukující:

- redukující – v molekule se nachází alespoň jedna volná poloacetalová OH-skupina (např. maltosa, laktosa)
- neredukující – v molekule není žádná volná OH-skupina (např. sacharosa)



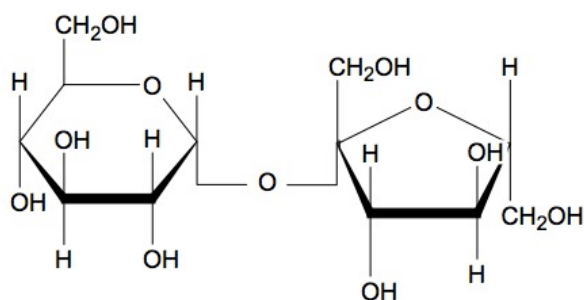
Obrázek 3: Redukující a neredukující sacharid

Mezi nejdůležitější oligosacharidy patří jednoznačně disacharid sacharosa a maltosa. Maltosa je tvořena dvěma molekulami D-glukosy, vyskytuje se v klíčících semenech, ve sladu a při výrobě piva tvoří podstatnou složku mladiny, proto se nazývá též sladový cukr. Maltosa je stavební jednotkou škrobu a glykogenu. Dalším důležitým disacharidem je laktosa, též zvaná jako mléčný cukr. Skládá se z jedné molekuly D-glukosy a D-galaktosy a je obsažena v mléce savců. V lidském mléce tvoří až 7 % a je jediným zdrojem cukrů pro kojence. ^[1]

1.4.1 SACHAROSA

1.4.1.1 Chemická struktura

Jak bylo uvedeno v předchozí kapitole, sacharosa se skládá z jedné molekuly α -D-glukosy a jedné molekuly β -D-fruktosy, které jsou spojeny glykosidickou vazbou na uhlíku C1 a C2. Její sumární vzorec je $C_{11}H_{22}O_{11}$ a vzhledem ke své struktuře patří mezi neredukující sacharidy. Jedná se o nejrozšířenější organickou látku, která pochází ze třtiny nebo cukrové řepy a je známá pod názvem řepný nebo třtinový cukr. ^[2]



Obrázek 4: Strukturní vzorec sacharosy

1.4.1.2 Výskyt sacharosy

V přírodě se vyskytuje v ovocných šťávách, v ovoci, v zelenině, ve stoncích a plodech mnoha rostlin. V zelených rostlinách slouží jako transportní sacharid. Sacharosa se hojně využívá jako sladidlo v potravinářství. Ve vyšších koncentracích inhibuje růst mikroorganismů, proto se používá i jako konzervační činidlo např. do marmelád nebo kompotů. [6][7]

1.5 POLYSACHARIDY

Polysacharidy neboli glykany, jsou přírodní nebo syntetické makromolekulární látky, které se skládají z desítek, stovek, někdy i tisíců monosacharidů. Počet jednotlivých jednotek nemusí být vždy určen. Jednotlivé sacharidy jsou spojeny glykosidovými vazbami a jejich prostorové uspořádání je lineární (větvené nebo nevětvené) nebo cyklické. Polysacharid tvořen identickými monomery se označuje homopolysacharid (homoglykan). Častěji jsou však polysacharidy tvořeny dvěma a více monomery, ty se označují jako heteropolysacharidy (heteroglykany).

Podle původu se sacharidy dělí na rostlinné a živočišné. Rostlinné polysacharidy mají ve výživě člověka největší význam. Polysacharidy vykonávají v živých organismech, v pletivech a buňkách rostlin základní funkce, dle kterých se dělí na:

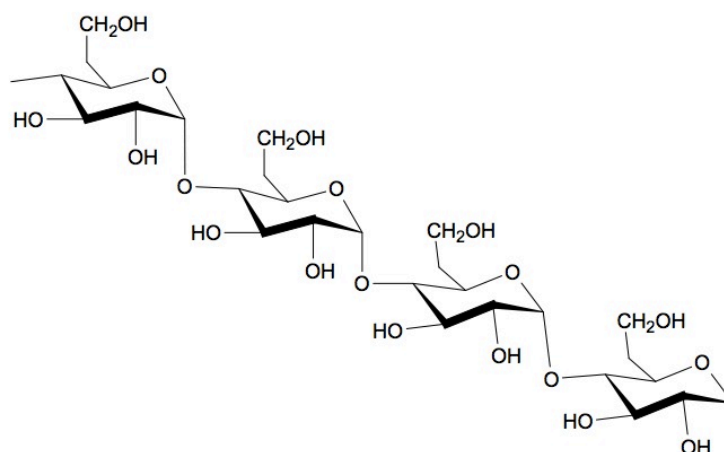
- zásobní (rezervní) – glykogen, škrob
- stavební (strukturní) – celuloza, chitin
- mající jiné funkce – inulin, heparin

Stavební polysacharidy např. chitin zajišťuje mechanickou stabilitu buněk nebo tvoří vnější kostru koryšů měkkýšů a celulóza tvoří buněčné stěny vyšších rostlin. Pro živé organismy jsou důležité zásobní polysacharidy – škrob a glykogen. [1]

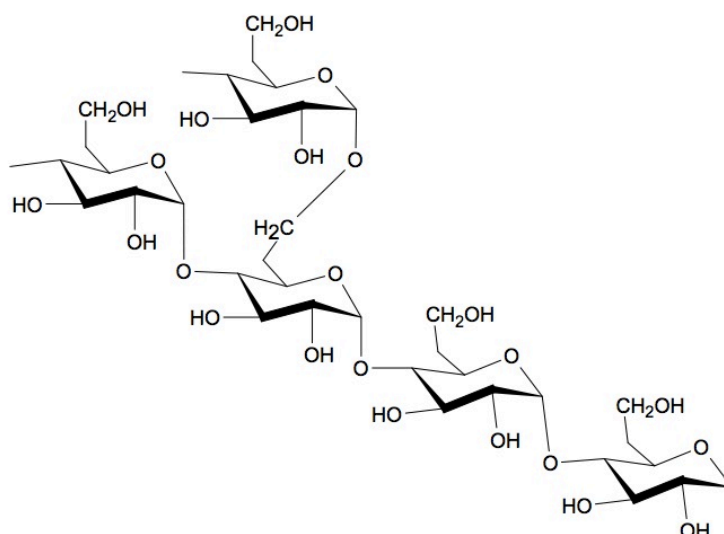
1.5.1 ŠKROB

1.5.1.1 Chemická struktura

Škrob je tvořen dvěma homopolysacharidy, amylosou a amylopektinem. Amylosa je lineární nevětvený řetězec stovek molekul α -(1→4)-D-glukosy a ve škrobu je její obsah kolem 20 %. Zbýlých 80 % představuje amylopektin, rozvětvený řetězec stovek molekul α -(1→4)-D-glukosy, který obsahuje zhruba každých 20–25 jednotek jedno glykosidové větvení α -(1→6). [8]



Obrázek 5: Strukturní vzorec amylosy



Obrázek 6: Strukturní vzorec amylopektinu

1.5.1.2 Výskyt škrobu

Škrob je důležitým zásobním polysacharidem rostlin. Je syntetizován v chloroplastech zelených rostlin, poté degradován na rozpustné sacharidy a syntetizován na zásobní škrob, z něhož si rostlina podle potřeby uvolňuje D-glukosu.^[6]

Škrob je velice využívaný polysacharid zejména v potravinářství, papírenství i v textilním průmyslu. Hlavními rostlinnými zdroji škrobu jsou brambory, kukuřice, pšenice nebo rýže.^[8]

1.5.2 GLYKOGEN

1.5.2.1 Chemická struktura

Glykogen je strukturně velice podobný molekule amylopektinu s tím rozdílem, že glykogen obsahuje až 100 000 glukosových jednotek vázaných stejně jako v amylopektinu (1→4) a (1→6).^[2]

1.5.2.2 Výskyt glykogenu

Tak jako pro rostliny je zásobní polysacharid škrob, pro živočichy je to glykogen (tzv. živočišný škrob). Tělo potřebuje přijmout v potravě určité množství sacharidů k okamžitému pokrytí potřeby energie. Pokud je sacharidů přijato více než je nutné, tělo je přeměňuje na glykogen, jež je dlouhodobě uložen především v játrech nebo i ve svalech. V době hladovění slouží jako rychle využitelná energetická zásoba. Lidský organismus je schopen uložit až 150 g glykogenu v játrech, kde slouží především k udržení glykémie¹. Ve svalech se může skladovat až 300 g glykogenu, kde slouží jako energetická rezerva.^{[1][5]}

1.6 VÝZNAM SACHARIDŮ VE VÝŽIVĚ ČLOVĚKA

Sacharidy společně s tuky a bílkovinami tvoří základní živiny ve výživě člověka. Jeden gram sacharidu poskytuje 4 kcal = 17 kJ. Evropský úřad bezpečnosti potravin (EFSA) uvádí, že sacharidy, včetně cukrů, by měly tvořit 45 až 60 % našeho denního energetického příjmu. Z celkového příjmu sacharidů by mělo být 75 % energie z polysacharidů a zbývajících 25 % z monosacharidů a oligosacharidů. Sacharidy tedy

¹ glykémie – hladina cukru v krvi.

bez pochyby patří do každodenního jídelníčku. Ovšem není sacharid jako sacharid a v našem jídelníčku by se měly vyskytovat zejména polysacharidy. [9]

1.6.1 GLUKOSA VE VÝŽIVĚ ČLOVĚKA

Glukosa je nejzákladnější, nejrychlejší a bez pochyby nejdůležitější sacharid pro organismus člověka. Slouží jako rychle dostupný a vydatný zdroj energie nebo k udržení glykémie na konstantní úrovni. Dále slouží k syntéze glykogenu v játrech a ve svalech. Při nadměrném příjmu glukosy se její část přeměňuje na mastné kyseliny ve formě triacylglycerolů, které se ukládají hlavně v podkoží za účelem dlouhodobého zdroje energie. Glukosa je důležitá také pro mozkovou činnost, proto by určitě neměla v našem jídelníčku chybět, avšak v rozumném množství, a především z přírodních zdrojů, nikoliv z průmyslově zpracovaných potravin. V případě, že glukosu nepřijmeme v potravě v potřebném množství, tělo si ji dokáže samo vytvořit procesem zvaným glukoneogeneze. [3] [5]

1.6.1.1 Glykémie

Glykémie neboli koncentrace glukosy v krvi, je v těle přísně regulována. K její regulaci slouží hormon insulin a glukagon, které jsou produkovány v Langerhansových ostrůvcích slinivky břišní. U zdravého člověka by se hodnota glykémie měla pohybovat mezi 4,2 až 6,4 mmol/l. Při vyšším příjmu nejen glukosy, ale i ostatních sacharidů může dojít tzv. hyperglykémii. To je stav, kdy hodnota glykémie dosáhne hodnoty nad 8,0 mmol/l. Pokud hodnoty klesnou pod 4,2 mmol/l, nastává tzv. hypoglykémie a při poklesu hodnot pod 2,5 mmol/l nastává tzv. hypoglykemický šok. [6]

1.6.2 FRUKTOSA VE VÝŽIVĚ ČLOVĚKA

Fruktosa se snadno a rychle metabolizuje v játrech. Před desítkami let lidé konzumovali v průměru 16–20 g fruktosy denně převážně z ovoce. Důsledkem západního stravování a hojného doslazování pokrmů, především sacharosou, se zvýšila konzumace fruktosy na 85–100 g za den. V posledních letech se několik výzkumů věnovalo právě fruktose a jejímu dopadu na lidské zdraví, které ukazují, že nadměrná konzumace fruktosy, především z průmyslově zpracovaných potravin, má hned několik negativních vlivů na zdraví. Vede k tvorbě triacylglycerolů a tím se zvyšuje jejich hladina, dále

zapříčiňuje inzulínovou rezistenci, obezitu, a to vede k civilizáčním onemocněním jako je cukrovka nebo kardiovaskulární onemocnění. ^[10]

Přirozeně se vyskytující fruktosa v ovoci člověku nijak neškodí. Příroda to zařídila tak, že v ovoci se kromě fruktosy nachází i vláknina a řada enzymů, které fruktosu štěpí. Problémem, na který výzkumy poukazují, je přidaný cukr, který se běžně využívá k dochucení průmyslově zpracovaných potravin. Fruktosa se využívá k doslazování nápojů a potravin ve formě glukoso-fruktosového sirupu, který slouží jako levná náhrada cukru. Fruktosa se při zvýšeném příjmu přeměňuje na tuk až ze 40 %. Proto pro naše zdraví je nejlepší fruktosu přijímat právě z ovoce, kde se přirozeně vyskytuje a vyhnout se glukoso-fruktosovým sirupům a potravinám, kde se používá, protože pro tělo nemají kromě energie žádnou přidanou výživovou hodnotu. ^[11]

1.6.3 SACHAROSA VE VÝŽIVĚ ČLOVĚKA

Sacharosa je v potravinářském průmyslu hojně využívána díky své sladké chuti, kterou potravinám dodává, ale z výživového hlediska neobsahuje mnoho významných výživových složek. Pro organismus představuje určitou zátěž, protože je velmi rychle využívána. Sacharosa také vytváří návyk na sladkou chuť potravin a stává se tak pravidelně vyžadovanou složkou potravy a člověk si navyká stále na vyšší koncentrace. ^[12]

1.6.4 ŠKROB VE VÝŽIVĚ ČLOVĚKA

Škrob je nejvýznamnějším polysacharidem. Je nejvíce zastoupenou složkou všech obilovin, brambor a dalších. Škrob patří mezi využitelné sacharidy a je snadno štěpen α -amylasou slin. Patří mezi pomalu stravitelné sacharidy, nezatěžují organismus a energie se z nich uvolňuje postupně, proto by měly tvořit 75 % přijatých sacharidů. ^{[3] [8]}

1.7 ZDRAVOTNÍ RIZIKA SPOJENÁ S CUKREM

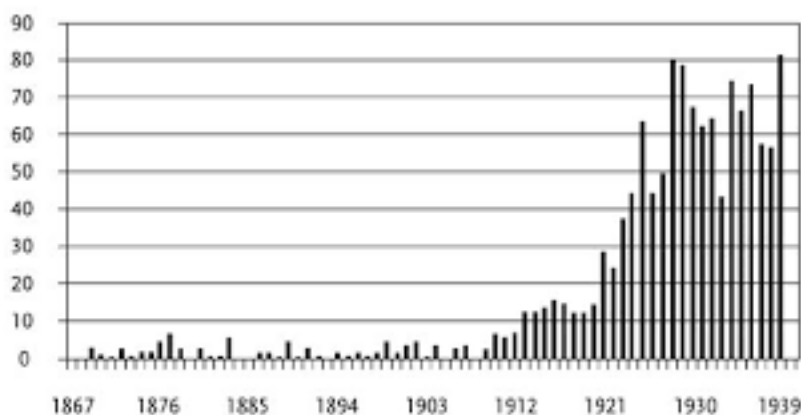
V dnešní době, kdy člověk konzumuje průmyslově zpracované potraviny téměř každý den, se cukr v potravě vyskytuje častěji, než by měl. Cukr se přidává do potravin za cílem zlepšení chuti, činí potraviny atraktivnější a chutnější. Dokazují to i statistiky, které ukazují, že v Evropě byla před 200 lety spotřeba sacharosy na 1 osobu v průměru 8,1 kg ročně. V roce 2002 to bylo 45,3 kg ročně. Aktuální čísla pro Českou republiku

ukazují, že od roku 2007 spotřeba klesá. Dle Českého statistického úřadu je průměrná spotřeba sacharosy v ČR 33,6 kg. [3]

Tabulka 1: Roční spotřeba sacharosy v Evropě

ROK	SPOTŘEBA (kg na osobu)
1800	8,1
1970	35,4
2002	45,3

Výroba cukrové třtiny sahá až do dávné historie, avšak produkce cukru byla velmi nízká a lidé znali sladkou chuť pouze z potravin obsahující přirozené cukry např. ovoce. První cukrovary vznikly na českém území kolem roku 1810 a od roku 1830 byl cukr v Evropě běžně dostupným zbožím. Začaly se hojně stavět cukrovary a produkce cukru začala ve velkých číslech stoupat. S produkcí cukru rostla nejen jeho spotřeba, ale následně i obezita lidí a počet lidí s cukrovkou, jak je vidět v následujícím grafu. Počet diabetiků je uveden v tisících. [13]



Graf 1: Počet diabetiků přijatých v Pensylvánské nemocnici

Převzato z [13]

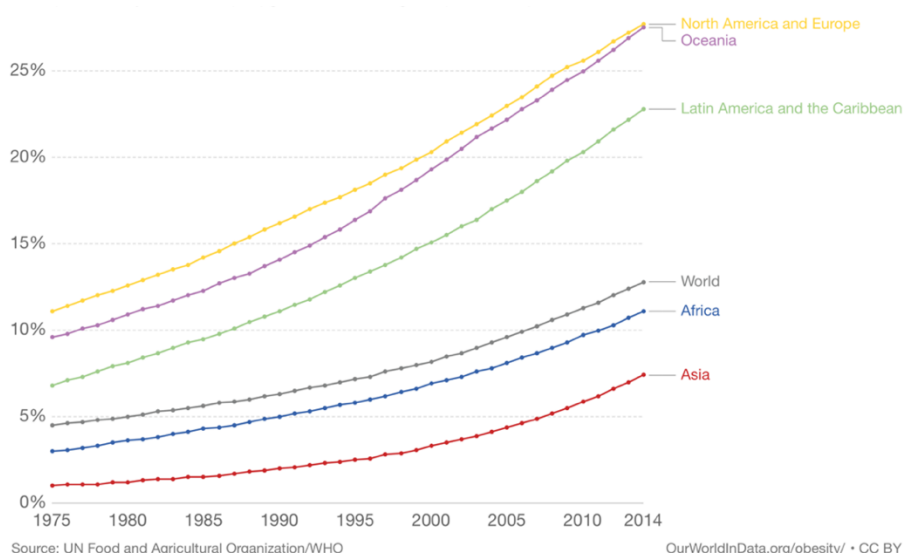
Lidé byli obéznější, trpěli na srdeční onemocnění a vědci pátrali proč. Ve 20. století, kdy propukla ve Spojených státech amerických epidemie srdečních onemocnění, vědci tenkrát usoudili, že viníkem jsou tuky. To vedlo ke snížení tuků v potravě, tedy ke vzniku nízkotučné stravy. V dnešní době je ale tato hypotéza odborníky zcela vyvrácena a za viníka se považuje právě cukr. Nadměrná spotřeba cukru způsobuje závažná onemocnění jako jsou nadváha, obezita, diabetes II. typu nebo hyperaktivita u dětí, avšak negativní vliv cukru na zdraví člověka není zcela prokazatelný. Neexistuje

jednoznačný důkaz, protože ke statistickému srovnání chybí skupina lidí, která cukr vůbec nekonzumuje, tj. monosacharidy a disacharidy, med, ovocné šťávy. [14]

1.7.1 OBEZITA

Obezita je definována jako zvýšené množství tukové tkáně a přesahuje 20–25 % celkové hmotnosti. Alarmující nárůst obezity především v rozvinutých zemích je často spojován s vysokou konzumací jednoduchých cukrů. Obecně platí, že riziko nadváhy a obezity souvisí hlavně s energetickou rovnováhou – energetický příjem a výdej, ne jen s obsahem cukrů ve stravě. Růst obezity také souvisí se změnou životního stylu. Jídlo je dostupné, je rozmanitější výběr, a také lidé nemají tolik pohybové aktivity jako dříve např. díky automobilům a sedavému zaměstnání. Protože obezita způsobuje spoustu zdravotních onemocnění např. kardiovaskulárního systému nebo pohybového aparátu a počet lidí s obezitou roste, doporučuje se snížit konzumaci jednoduchých cukrů na polovinu. [3] [9]

V následujícím grafu je zachycen nárůst lidí nad 18 let s BMI² vyšším než 30, tj. obézních lidí, od roku 1975 až do roku 2016 v celém světě. Jak je vidět, nárůst je za 40 let obrovský. V Evropě a Severní Americe dosahuje v dnešní době téměř 30 %, tj. téměř každý 3. člověk trpí obezitou, přitom před 40 lety to bylo 11 %. V USA je dokonce 36,2 % populace obézních. V České republice je to 26 % k roku 2016 neboli každý 5. člověk. [15]



Graf 2: Počet dospělých nad 18 let s BMI vyšším než 30

Převzato z [15]

² BMI (Body mass index) – index tělesné hmotnosti, který lze spočítat vydělením hmotnosti (kg) druhou mocninou jeho výšky (m).

1.7.2 DIABETES MELLITUS (CUKROVKA)

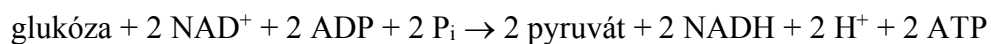
Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, zvýšený příjem jednoduchých cukrů má vliv na účinky insulinu. Vliv sacharidů se tak dostal do pozornosti v souvislosti i s dalším onemocněním, a to s cukrovkou 2. typu neboli diabetes. Tento typ cukrovky je způsobený inzulínovou rezistencí neboli sníženou citlivostí tkání k insulinu. Pro tyto lidi je normální produkce insulinu nedostatečná. Toto onemocnění se vyskytuje u lidí v rozmezí 55–65 let a z 80 % u obézních lidí. Diabetes II. typu lze tak léčit zařazením pohybové aktivity do pravidelného režimu, která vede ke snížení tělesné hmotnosti. Dále se doporučuje konzumace spíše komplexních sacharidů a jednoduché cukry nahradit syntetickými sladidly nebo sladidly strukturou podobné glukose, aby se předešlo hypoglykémii. [3]

1.8 METABOLISMUS SACHARIDŮ

Metabolismus je látková a energetická přeměna chemických sloučenin v buňkách a živých organismech. Pomocí metabolismu se v organismu zpracovávají živiny, transportují přes buněčnou membránu a dochází k rozkladu nebo ke vzniku chemicky složitějších látek. Mezi nejdůležitější procesy metabolismu sacharidů patří glykolysa, glukoneogenese a pentósový cyklus.

1.8.1 GLYKOLYSA

Glykolysa je nejvýznamnější katabolický děj, do kterého glukosa vstupuje. Při tomto procesu dochází k přeměně glukosy na pyruvát. Tento metabolický děj probíhá v cytoplazmě, aerobně i anaerobně a slouží k získávání energie nebo tvorbě acetylu-CoA. Obecně lze tento proces vyjádřit následující rovnicí. [5] [6]



Glykolysa se skládá z 10 kroků. Schéma glykolysy je uvedeno v příloze.

1. Glukosa je po vstupu do buňky fosforylována na glukosu-6-fosfát za pomoci enzymu hexokinasa a dodáním molekuly ATP, která slouží jako donor fosfátového zbytku.
2. Vzniklá molekula glukosy-6-fosfátu se isomeruje účinkem glukoso-6-fosfátisomerasy a vzniká fruktosa-6-fosfát.

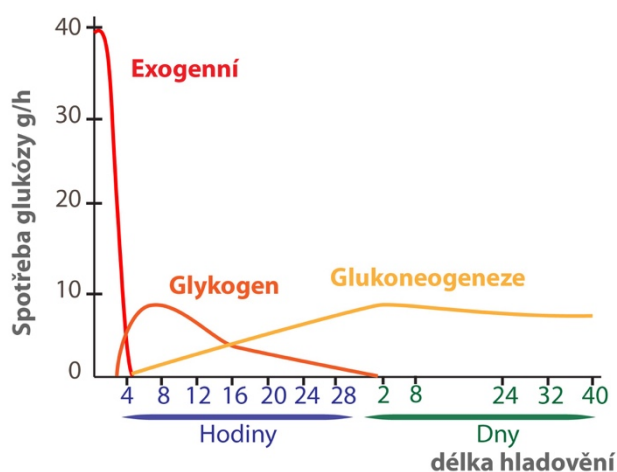
3. Fruktosa-6-fosfát se fosforyluje pomocí fosfofruktokinasy a další molekuly ATP a vzniká fruktosa-6-bisfosfát.
4. Molekula fruktosy-6-bisfosfátu se účinkem aldolasy rozpadne na dva tříuhlíkaté řetězce – glyceraldehyd-3-fosfát a dihydroxyacetonfosfát.
5. V glykolyse dále pokračuje jen glyceraldehyd-3-fosfát, ale tyto produkty jsou v rovnováze a účinkem enzymu triosafosfátisomerasy se dihydroxyacetonfosfát přeměňuje na glyceraldehyd-3-fosfát.
6. U glyceraldehyd-3-fosfátu se působením enzymu glyceraldehyd-3-fosfátdehydrogenasy oxiduje aldehydová skupina. Na nově vzniklou karboxylovou skupinu se připojí fosfátový zbytek, který se v tomto kroku připojuje do reakce jako anorganický fosfát a vzniká 1,3-bisfosfoglycerát. V tomto kroku vzniká molekula NADH, která je reoxidována.
7. Z 1,3-bisfosfoglycerátu se fosfátová skupina přenesse účinkem fosfoglycerátkinasy na molekulu ADP, dochází tedy k fosforylaci na substrátové úrovni a vzniká 3-fosfoglycerát. V tomto kroku organismus efektivně přeměňuje a ukládá získanou energii do molekuly ATP.
8. 3-fosfoglycerát isomeruje účinkem fosfoglycerátmutasy. Přesune fosfátovou skupinu do polohy 2 a vzniká 2-fosfoglycerát.
9. Z 2-fosfoglycerátu se působením enzymu enolasy odštěpí voda a vzniká fosfoenolpyruvát.
10. V poslední kroku přenesse pyruvátkinasa fosfátový zbytek na ADP a vznikne konečný produkt glykolysy – pyruvát.

Během reakce se spotřebovaly 2 molekuly ATP na 1 molekulu glukosy, ale zároveň vznikly 4 molekuly ATP. Výsledným ziskem jsou tedy 2 molekuly ATP a 2 molekuly pyruvátu. Za aerobních podmínek se pyruvát transportuje do mitochondrií, kde se může oxidačně dekarboxylovat na acetyl-CoA, který vstupuje do citrátového cyklu a vzniklý NADH se reoxiduje v dýchacím řetězci. Při anaerobních podmínkách vzniká z pyruvátu a NADH laktátovou fermentací neboli mléčným kvašením laktát, nebo aldehyd. Aldehyd je následně redukován pomocí NADH na ethanol a v tomto případě se

proces nazývá alkoholová fermentace. Ve schématu jsou tyto kroky označeny čísly 11, 12 a 13. ^{[5][6]}

1.8.2 GLUKONEOGENESE

Glukoneogeneze též glukogenese nebo neoglukogenese je proces, při kterém se vytváří glukosa, pokud není v potravě dostatek sacharidů a dojde k vyčerpání zásob jaterního glykogenu, jak je vidět v následujícím grafu. ^[16]



Graf 3: Nástup glukoneogeneze

Tento proces probíhá v játrech. Mezi výchozí látky pro syntézu glukózy patří pyruvát, laktát nebo meziprodukty glykolýsy např. glyceraldehyd-3-fosfát. Glukoneogeneze je katalyzována enzymy, které se podílejí na reakcích i v glykolýse. Dalo by se tedy říct, že glukoneogeneze je glykolýsa opačným směrem. Glukoneogeneze a glykolýsa se liší pouze v pár bodech. Schéma tohoto metabolického děje se nachází v příloze.

1. V prvním kroku se laktát účinkem laktátodehydrogenasy oxiduje na pyruvát za vzniku NADH.
2. Pyruvát se v dalším kroku nemění na fosfoenolpyruvát jako tomu bylo u glykolýsy, protože hydrolýza ATP by nestačila k tomu, aby se pyruvát přímo fosforyloval. Pyruvát se proto nejdříve karboxyluje působením pyruvátkarboxylasy na oxalacetát. Oxalacetát je dále přeměněn účinkem fosfoenolpyruvátkarboxykinasy (PEP-karboxykinasa) na fosfoenolpyruvát za spotřeby GTP (guanointrifosfát).

3. Fosfoenolpyruvát se dále přeměňuje na stejné meziprodukty pomocí stejných enzymů jako při glykolyse až na fruktosa-1,6-bisfosfát.
4. Z fruktosy-1,6-bisfosfátu se hydrolyticky odštěpí fosfátová skupina z polohy 1 působením enzymu fruktosa-1,6-bisfosfatasa a vznikne fruktosa-6-fosfát, který se isomeruje na glukosa-6-fosfát.
5. Glukosa-6-fosfát se účinkem glukosa-6-fosfatasou přeměňuje na glukosu. Tento proces probíhá v endoplasmatickém retikulu. Transport glukosy do plasmy zajišťuje speciální transportér a poté se glukosa uvolňuje do krve pomocí GLUT 2. [5][6]

1.8.3 PENTÓSOVÝ CYKLUS

Pentósový cyklus probíhá stejně jako glykolysa v cytoplazmě a vychází z glukosa-6-fosfátu. Při tomto ději vzniká molekula NADPH, potřebná k syntéze mastných kyselin a ribulosa-5-fosfát, která se může isomerovat na ribosa-5-fosfát a slouží jako prekurzor pro biosyntézu nukleotidů.

Pentósový cyklus je cyklický děj a má dvě části, oxidační (dehydrogenační) a regenerační. Schéma cyklu se nachází v příloze.

1. Do děje vstupuje jako první glukosa-6-fosfát, která se oxiduje pomocí glukosa-6-fosfátdehydrogenasou. Vznikne 6-fosfoglukonolakton a molekula NADPH.
2. Vzniklý 6-fosfoglukonolakton je hydrolyzován pomocí hydrolasy 6-fosfoglukonolaktonasy, který proces výrazně urychluje a vzniká 6-fosfoglukonát.
3. 6-fosfoglukonát je oxidačně dekarboxylován pomocí 6-fosfoglukonátdehydrogenasy. Toto je poslední krok oxidační části pentózového cyklu a vzniká pentosa ribulosa-5-fosfát a druhá molekula NADPH.

V regenerační části pentosového cyklu se přeměňuje ribulosa-5-fosfát na hexosafosfáty. Ze vzniklých 3 molekul ribulosity-5-fosfátu se vytvoří 2 molekuly fruktosa-6-fosfátu a jedna molekula glyceraldehyd-3-fosfátu. Tyto sloučeniny se pak reakcemi glukoneogeneze přeměňují na glukosa-6-fosfát.

4. V regenerační fázi se přeměňuje ribulosa-5-fosfát buď na ribosu-5-fosfát nebo na xylulosu-5-fosfát. Záleží, který enzym na ribulosu-5-fosfát působí. V případě, že na ribulosu-5-fosfát působí ribosa-5-fosfátisomerasa, tak vzniká ribosa-5-fosfát. V druhém případě se ribulosa-5-fosfát přeměňuje účinkem ribulosity-5-fosfát epimerasy na xylulosu-5-fosfát.
5. Další reakce jsou katalyzovány transaldolasa a transketolasa. Transaldolasa štěpí aldehydovou skupinu a vytváří keton, transketolasa štěpí ketonovou skupinu a vytváří aldehyd.
6. Vzniklá molekula fruktosa-6-fosfát se může následně isomerovat na glukosa-6-fosfát a vstupovat do oxidační fáze pro další tvorbu NADPH. [5][6]

1.9 TRÁVENÍ SACHARIDŮ

Trávení sacharidů začíná již v ústech, kde se vyskytuje enzym α -amylasa, který štěpí amylosu a složené sacharidy rozštěpí na jednoduché. Sacharidy, konkrétně glukosa a fruktosa, jsou vstřebávány převážně v tenkém střevě. Glukosa je transportována do krevního řečiště s využitím adenosintrifosfátu (ATP). Po vstupu glukosy do krve stoupne její koncentrace (glykémie) a slinivka břišní aktivuje vyloučení hormonu insulinu pro její regulaci. Glukosa se následně transportuje do jater, kde se přemění na glykogen a do tkání, kde slouží jako zdroj energie.

Metabolismus fruktosy probíhá jinak než u glukosy, a právě proto současné studie ukazují, že zvýšený příjem fruktosy může způsobovat obezitu, diabetes mellitus 2. typu a vede ke kardiovaskulárnímu onemocnění. Fruktosa je do krve přenášena pomocí glukosových transportních bílkovin GLUT 5. Tato transportní bílkovina usnadňuje přenos fruktosy do tenkého střeva a závisí na koncentračním gradientu³, který je udržován bílkovinou GLUT 2 a fruktokinasou. GLUT 2 usnadňuje přenos z tenkého střeva do krevního řečiště. Fruktokinasa je produkována pouze jaterními buňkami, a proto metabolismus fruktosy probíhá v játrech. Fruktosa se v játrech se kumuluje a využívá se pro tvorbu pyruvátu, laktátu a triacylglycerolů a zároveň inhibuje oxidaci lipidů. Zvýšená

³ koncentrační gradient – veličina vystihující změnu koncentrace v nerovnovážné soustavě

tvorba triacylglycerolů může vést ke zvýšené tvorbě lipidů, které mohou vést ke kardiovaskulárním potížím. [3]

1.10 PŘÍRODNÍ NÁHRADY CUKRU

Jak jsem výše zmínila, nadměrný příjem cukrů, především fruktosy, vede k obezitě a ke kardiovaskulárnímu onemocnění. Průměrný dospělý člověk by měl přijmout cukrů za 1 den maximálně ve výši 10 % z celkového energetického příjmu, to je zhruba 60 g. Ovšem kdybychom si spočítali, kolik cukrů opravdu přijmeme, obzvláště v průmyslově zpracovaných potravinách, většina lidí bude mít příjem daleko vyšší. Spousta lidí, kteří si zakládají na zdravém životní stylu a celkovém zdraví jejich těla, se proto snaží běžný cukr co nejvíce omezit. V dnešní době je mezi lidmi velmi populární sugarfree styl neboli život bez cukru. Tito lidé konzumují cukry pouze v přírodně se vyskytujících potravinách ve velmi malé míře. Pro lidi, kteří si bez sladké chutě nedokáží představit svůj život se tu nabízí možnost přírodních sladidel např. med, javorový sirup nebo agávodový sirup. Možností existuje samozřejmě daleko více, ale já se zaměřila na tyto 3 nejčastěji používané. [17]

1.10.1 AGÁVOVÝ SIRUP

Vzhledem k tomu, že odborníci se shodují na škodlivých účincích bílého cukru, stávají se velmi populárními přírodní sladidla. Jedním z nich je právě agávodový sirup. Agávodový sirup pochází z rostliny agáve, která pochází z jižní části USA a Jižní Ameriky. Tato rostlina se pěstuje pro její léčivé účinky, ale jejím zpracováním se téměř všechny, možná dokonce úplně všechny zdravé účinky zničí.

Rostlina se nejdříve utrhne a lisuje, aby se získala sladká míza rostliny. Tato šťáva stále obsahuje vlákninu a další prospěšné látky pro náš metabolismus. Zpracováním této šťávy se však tyto látky extrahují a vystavením vysokému teplu se tyto látky ničí. Výsledkem je vysoce rafinovaný nezdravý sirup bohatý především na fruktosu. Agávodový sirup obsahuje malé množství glukosy, přibližně 10–15 %, proto nezvyšuje hladinu krevního cukru tak rychle a sirup má tak nízký glykemický index. Obsah fruktosy v agávodovém sirupu je mnohem větší než u běžného cukru, přibližně 85 % a právě fruktosa má nepříznivé účinky na naše zdraví. Způsobuje kumulaci tuku v oblasti břicha a ztučnění jater. Agávodový sirup tedy není dobrá volba, kterou bychom měli volit místo běžného cukru. [18]

1.10.2 JAVOROVÝ SIRUP

Javorový sirup je šťáva, která se získává navrtáním kmene cukerného javoru. Šťáva se sbírá do kontejnerů a poté se vaří, aby se odpařila většina vody. V nádobě po odpaření zůstane hnědý hustý sladký sirup, který je přefiltrován a zbaven nečistot. Javorový sirup je ze dvou třetin tvořen sacharosou a má o polovinu nižší sladivost než běžný cukr. Co odlišuje tento sirup od rafinovaného cukru je obsah minerálů a antioxidantů např. mangan, zinek nebo železo. Obsah minerálů je ale velmi malý a museli bychom sníst velké množství sirupu, abychom mohli mluvit o javorovém sirupu jako o zdroji minerálních látek.

Javorový sirup se konzumuje po několik století hlavně v Severní Americe. Přes 80 % světové produkce připadá na Kanadu, kde jsou dobré podmínky pro růst javoru. V závislosti na barvě sirupu se rozlišuje několik druhů. Tmavší barva má výraznější chuť a používá se především při pečení. Světlejší barva se používá jako topping na palačinky a k doslazení nápojů. ^[19]

1.10.3 MED

Med je hustý sladký sirup vytvářený včelami z nektaru kvetoucích rostlin. Med je velmi často považován za zdravou alternativu běžného cukru, a to kvůli obsahu antioxidantů. Med je bohatý na sacharidy s velmi malým obsahem mikronutrientů jako je železo nebo zinek. Obsah těchto prvků je do 1 %. Vysoce kvalitní medy však obsahují několik důležitých antioxidantů jako je kyselina fenolová nebo flavonoidy. Antioxidanty jsou důležité pro naše zdraví. Mohou nás ochraňovat před onemocněním srdce, rakovinou nebo cukrovkou. O příznivých účincích medu na naše srdce proběhl výzkum, který dokazuje, že med snižuje rizikové faktory srdečního onemocnění. Med dokonce snižuje i hladinu LDL cholesterolu, a naopak zvyšuje hladinu HDL cholesterolu a snižuje hodnotu triacylglyceridů. Výzkumy na zvířatech prokázaly i snížení systolického tlaku.

I když je med lepší volbou než běžný cukr, je stále bohatý na kalorie a cukry a měl by se používat v přiměřeném množství. Vysoká množství mohou vést ke zvýšení tělesné hmotnosti a dále k obezitě. ^[20]

1.11 IZOLACE SACHARIDŮ A JEJICH ČIŘENÍ

Izolace je proces, který se provádí u analyzovaných vzorků před samotným stanovením a analýzu nelze provést přímo. Analýza se tak provádí až u extraktu, do něhož cukry přechází. Pomocí extrakce se izoluje většina sacharidů z potravinářských surovin. K dokonalé extrakci je zapotřebí materiál velice jemně rozemlít, aby se velikost částic pohybovala okolo 0,3 mm. K rozmělnění se využívají různé typy mlýnků a homogenizátorů a jako extrakční činidlo se používá voda nebo 80% ethanol. Ethanol je vhodné použít u vzorků, kde může docházet k enzymovým změnám např. vznik redukujících cukrů ze škrobu. Teplota extrakce by se měla pohybovat mezi 40 až 50°C. Překročením této teploty může dojít k porušení koloidního systému vzorku. Při stanovení u škrobnatého materiálu je extrakční teplota ještě nižší s ohledem na mazovatění škrobu. U vzorků obsahujícího tuk, např. čokoláda, se extrakce provádí při teplotě rovné bodu tání přítomného tuku, aby částice sacharidu nezůstaly uzavřeny v tukovém obalu. ^[21]

1.11.1 IZOLOVÁNÍ SACHARIDŮ EXTRAKCÍ ETHANOLEM

Použití této metody je vhodné pro všechny druhy potravinářských materiálů. Rozpustné sacharidy přecházejí do 80% ethanolu. 5–10 g rozemletého vzorku se extrahuje 80% ethanolem za stálého míchání při laboratorní teplotě. Poté se extrakt zfiltruje, k nerozpustnému zbytku se přidá další podíl 80% ethanolu a směs se zahřívá na vroucí lázni pod zpětným chladičem. Pokud je ethanolový podíl po filtraci stále zabarven, lze provést další extrakci v Soxhletově přístroji. Všechny ethanolové filtráty se spojí, doplní na určitý objem a zfiltrují. Zbylý ethanol se odstraní odpařením na vroucí lázni, odparek se rozpustí ve vodě a zahřeje na 80 °C, aby se vysrážely balastní látky. Tekuté vzorky se zahustí do sirupovité konzistence. ^[21]

1.11.2 ČIŘENÍ

Cukerné roztoky získané extrakcí nejsou ještě použitelné pro konečné stanovení. Zákal roztoku zvyšuje chyby a zbarvení roztoku téměř znemožňuje polarimetrické měření. Cílem čiření je odstranit opticky aktivní látky z cukerných roztoků a odbarvit roztok.

Použití čířidla se řídí druhem analyzovaného roztoku a zvolenou metodou stanovení, avšak čířidlo nesmí adsorbovat cukry. Číření lze provést několika způsoby a lze použít různé roztoky, jejich přehled je uveden níže viz Tabulka 2. ^[21] ^[22]

Tabulka 2: Roztoky vhodné pro číření cukerných roztoků

Roztok	Vzorec	Odstranění	Použití čířidla
neutrální octan olovnatý (35% roztok)	Pb(C ₂ H ₃ O ₂) ₂	opticky aktivní organické kyseliny	stanovení invertního cukru (redukujících látek)
zásaditý octan olovnatý		bílkoviny, opticky aktivní kyseliny	neutrální nebo slabě alkalické šťávy
zásaditý dusičnan olovnatý (<i>Herles</i>)	Pb(NO ₃) ₂	opticky aktivní kyseliny	slabě kyselé, neutrální i slabě alkalické roztoky
kyselina fosfowolframová (5% roztok)	H ₃ P(W ₃ P ₁₀) ₄	bílkoviny a jejich štěpné produkty	kyselé roztoky (roztok škrobu)
kyanoželeznatan zinečnatý (<i>Carrez</i>)	Zn ₂ [Fe(CN) ₆]	bílkoviny, slizovité látky	kyselé roztoky

1.12 METODY STANOVENÍ SACHARIDŮ

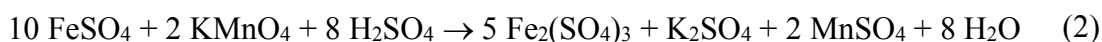
Sacharidy se stanovují chemickými, fyzikálními i biochemickými metodami. Analýza se provádí přímo u cukrovarnických produktů nebo z extraktů u ostatních surovin a potravin. Obsah i zastoupení jednotlivých sacharidů jsou důležitým ukazatelem jakosti, proto lze analyticky stanovovat celkový obsah, obsah redukujících cukrů i obsah jednotlivých cukrů. Dříve se k důkazu jednotlivých cukrů používaly postupy, které byly založené na barevných reakcích. Vzhledem k tomu, že je v potravinách obvykle obsaženo více různých cukrů, proto se nyní využívají spolehlivější chromatografické metody, kterými lze lépe stanovit jednotlivé sacharidy. ^[21] ^[23]

1.12.1 CHEMICKÉ METODY

Tyto metody využívají redukčních vlastností sacharidů. Jako oxidační prostředek se používá alkalický roztok měďnaté soli, který se v přítomnosti tepla a redukujícího cukru redukuje na oxid měďný. ^[22]

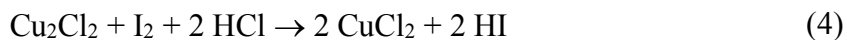
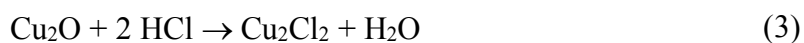
1.12.1.1 Bertrandova metoda

Směs Fehlingova roztoku I a II se přivede k varu, poté se přidá cukerný roztok a směs se zahřívá přesně 2 minuty. Redukcí vyloučený oxid měďný se zfiltruje a je rozpuštěn v roztoku síranu železitého a kyseliny sírové. Zároveň dochází k redukci trojmocného železa na dvojmocné, jehož roztok se s přidavkem kyseliny trihydrogenfosforečné titruje odměrným roztokem manganistanu draselného ze zeleného zbarvení na růžové. Ze spotřeby odměrného roztoku na slepý pokus odečteme spotřebu odměrného roztoku na vlastní stanovení. Přepočítáme na ekvivalentní množství mědi a dle příslušných tabulek se vyhledá množství glukosy. Stanovení probíhá dle rovnic (1) a (2).^{[22][23]}



1.12.1.2 Ofnerova metoda

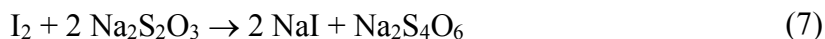
Vyloučený oxid měďný se rozpustí v HCl a vzniklý chlorid měďný je stanoven jodometricky. Měďné ionty se zoxidují na měďnaté a nespotřebovaný jod se titruje odměrným roztokem thiosíranu sodného na škrobový indikátor. 1 cm³ odměrného roztoku odpovídá 1 mg invertního cukru. Tato metoda se využívá ke stanovení redukujících cukrů v pečivu a pekárenských výrobcích. Reakce probíhají dle rovnic (3), (4) a (5).^{[22][23]}



1.12.1.3 Schoorlova metoda

Vzorek se rozpustí v destilované vodě, přidá se k němu Fehlingovo činidlo I a II a směs se musí přivést k varu do 3 minut. Poté se vaří přesně 2 minuty a ochladí. Po ochlazení se k roztoku přidá jodid draselný a k okyselení zředěná kyselina sírová. Roztok

se následně hned titruje thiosíranem sodným na škrobový indikátor do úplného odbarvení. Stejným způsobem se provádí i slepý pokus a z rozdílu spotřeb thiosíranu sodného je zjištěno množství stanovovaného cukru v příslušných tabulkách. Reakce probíhají dle rovnic (6) a (7).^[22]



1.12.1.4 Luffova-Schoorlova metoda

Schoorlova metoda je vhodná pro stanovení vzorku obsahující jeden redukující cukr. Pro vzorek obsahující více redukujících je vhodná tato metoda. Nejdříve je nutné si připravit ethanolový výluh, tzn. rozemletý vzorek rozpustit v 80% etanolu. Vzorek se následně zahřívá 1 hodinu na vroucí lázni a poté se zfiltruje. K čiření se používají Carrezova čiridla. Roztok se poté opět zfiltruje a filtrát musí být čirý. U této metody se místo Fehlingových činidel používá Luffův roztok, který se smíchá s extraktem a 10 minut se vaří pod zpětným chladičem. Poté je postup stejný jako v předchozí metodě. K roztoku se přidá jodid draselný, kyselina sírová a roztok se ihned titruje thiosíranem sodným o koncentraci $0,1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$. Po přidání škrobového indikátoru se roztok dotitruje. Obsah redukujících cukrů je stanoven z rozdílu spotřeb slepého pokusu a vlastního stanovení. Z tohoto rozdílu se zjistí v příslušných tabulkách množství přítomného cukru v mg.^{[21][22]}

1.12.1.5 Auebachova-Bodländerova-Borriesova metoda

Pomocí této metody se stanovují aldosity, které se v slabě alkalickém prostředí oxidují jodem na příslušné kyseliny a přebytek jódu se stanoví titračně thiosíranem sodným. Tato metoda je vhodná pro stanovení aldosity vedle redukujících cukrů, např. glukosy vedle fruktosy v medu, které se vypočítají z rozdílu veškerých redukujících cukrů a obsahu glukosy.^[21]

1.12.2 FYZIKÁLNÍ METODY

1.12.2.1 Optické metody

1.12.2.1.1 Refraktometrické metody

Refraktometrie je analytická metoda měřící indexu lomu. Paprsek prochází rozhraním dvou transparentních prostředí a mění se jeho rychlost a směr, paprsek se láme. Index lomu je určen poměry rychlosti světla v těchto dvou prostředích. Pro pozorování indexu lomu se volí vhodné prostředí, v praxi je to nejčastěji vzduch. Index lomu je závislý na vlnové délce. [24, 25]

Refraktometrické metody lze využít pro stanovení cukrů v čistých cukerných roztocích. Jestliže roztok obsahuje směs cukrů, popřípadě i malém množství jiných látek, používá se pojem stanovení refraktometrické sušiny. K jednoduchému a rychlému stanovení refraktometrické sušiny se může využívat ruční refraktometr, který poskytuje okamžitý přehled o množství cukru ve vzorku, např. při výrobě slazených nápojů nebo při výrobě vína ke zjištění cukernatosti hroznů. [22]

1.12.2.1.2 Polarimetrie

Polarimetrie je založená na měření optické aktivity, tj. schopnost některých látek stáčet rovinu polarizovaného světla procházejícího roztokem o určitý úhel. Pomocí této metody lze stanovovat cukry ve směsi pouze s látkami opticky neaktivními. Úhel, o který je rovina polarizovaného světla procházejícího roztokem stočena, závisí na charakteru látky, na tloušťce vrstvy, na koncentraci roztoku, na teplotě a na vlnové délce použitého světla. Pro posouzení látek na základě jejich optické aktivity, byla zavedena tzv. měrná otáčivost. Tato veličina slouží jako měřítko optické aktivity a udává úhel, o který se rovina polarizovaného světla stočí po průchodu 100 mm vrstvou roztoku o koncentraci $1 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ při teplotě $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Měření se provádí v bílém světle. Při stanovení u bezbarvých roztoků se doporučuje použít dichromanový filtr (roztok dichromanu draselného) nebo zdroj monochromatického světla (sodíkové výbojky). [22]

1.12.2.2 Chromatografické metody

Chromatografie je laboratorní metoda pro separaci směsi, založená na dělení analytu mezi fázi mobilní (pohyblivou) a stacionární (nepohyblivou). Migrováním složek směsi mezi těmito dvěma nemísitelnými fázemi dochází k oddělení jednotlivých složek

na základě rozdělovacího koeficientu a zadržení složek. Dle skupenství mobilní fáze dělíme chromatografii na kapalinovou a plynovou. Jak z názvu vyplývá, v kapalinové chromatografii je mobilní fáze kapalina, v plynové chromatografii plyn. [25]

1.12.2.2.1 Kapalinová chromatografie

Při kapalinové chromatografii se stanovují jednotlivé cukry vstříknutím čirého kapalného vzorku přímo na kolonu. Pokud je vzorek v pevném skupenství, je nutné připravit nejdříve jeho extrakt. V případě zbarvení nebo zakalení roztoku, se musí vzorek vyčeřit pomocí Carrezových roztoku I a II a přefiltrovat. Roztoky sycené oxidem uhličitým musí projít ultrazvukovou lázní, aby se plyn odstranil. [22]

1.12.2.2.2 Plynová chromatografie

V plynové chromatografii musí být mobilní fáze ve skupenství těkavého plynu, proto je nutné k využití této metody převést cukry na ethery nebo estery. Z tohoto důvodu se plynová chromatografie používá jen zřídka.

Jako nosný plyn se používá dusík nebo helium. Stanovení probíhá na náplňové nebo kapilární koloně. K detekci se nejčastěji používá plamenově ionizační detektor (FID) nebo tepelně vodivostní. Plynová chromatografie je vhodná ke stanovení cukrů v ovoci, ovocných šťávách, medu nebo alkoholických nápojích. [21] [22] [25]

2 PRAKTICKÁ ČÁST

Cílem praktické části bylo vybranou metodou stanovit obsah sacharidů v potravinách. Vzhledem k tomu, že jsem již ve výše zmíněných kapitolách uvedla, jak může být pro tělo nadbytek příjmu cukrů škodlivý a zmínila jsem i náhradní způsoby, jak cukr nahradit, rozhodla jsem se otestovat, zda javorový sirup, agávový sirup a med může být lepší a zdravější alternativou, kterou můžeme cukr nahradit nebo je to pouze tah potravinářského průmyslu a lidé si doslazují své pokrmy těmito sirupy s vědomím, že je to zdravé.

Postupy metod podle Luffa-Schoorla i podle Auerbacha-Bodländera-Borriese jsou převzaty z knihy [21].

2.1 STANOVENÍ REDUKUJÍCÍCH SACHARIDŮ METODOU LUFFA-SCHOORLA

2.1.1 PŘÍPRAVA VZORKŮ

Pro stanovení redukujících cukrů metodou Luffa-Schoorla je zapotřebí si nejdříve připravit ze vzorků ethanolový výluh. Navážku vzorku jsem kvantitativně převedla do 250ml odměrné baňky se 125 ml ethanolu. Obsah baňky jsem zahřívala přibližně jednu a půl na vodní lázni a občas jsem baňku krouživým pohybem promíchala. Poté jsem baňky nechala odstát do druhého dne, doplnila po rysku ethanolem, promíchala a nechala usadit. Čirý roztok jsem následně zfiltrovala, odměřila jsem 100 ml filtrátu a nechala odpařovat na vodní lázni, dokud se roztok nezahustil na 30 ml. Roztoky jsem následně ochladila proudem studené vody a převedla do 100ml odměrných baněk. Poté jsem ke vzorkům přidala 3 ml Carrezova čířidla I a 3 ml Carrezova čířidla II, doplnila po rysku destilovanou vodou a promíchala. Po usazení sraženiny jsem roztoky zfiltrovala.

2.1.2 PŘÍPRAVA CARREZOVA ČÍŘIDLA

Vypočítala jsem si potřebné množství síranu zinečnatého ($ZnSO_4$) pro přípravu čířidla Carrez I, tj. 15% roztok síranu zinečnatého a hexakyanoželeznatanu draselného ($K_2[Fe(CN)_6]$) pro přípravu čířidla Carrez II, tj. 30% roztok hexakyanoželeznatanu draselného. Navážky jsem kvantitativně převedla do 50ml odměrných baněk, doplnila vodou po rysku a promíchala.

2.1.3 PŘÍPRAVA LUFFOVA ROZTOKU

Navážila jsem si 38,8 g krystalického dodekahydrátu uhličitanu sodného ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$) a rozpustila ve 40 ml destilované vody. Roztok jsem následně převedla do 100ml odměrné baňky. Dále jsem si navážila 5 g kyseliny citronové ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$), kterou jsem rozpustila v 5 ml vody a 2,5 g síranu měďnatého ($\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), který jsem rozpustila v 10 ml vody. Roztok uhličitanu sodného jsem mírně zahřála, aby se navážka lépe rozpustila a následně ochladila. K ochlazenému roztoku jsem přidala roztok kyseliny citrónové, poté roztok síranu měďnatého, doplnila po rysku destilovanou vodou a důkladně promíchala.

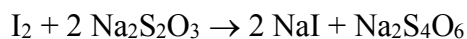
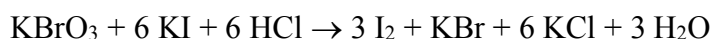
2.1.4 PŘÍPRAVA ŠKROBOVÉHO MAZU

Dle pracovního postupu bylo zapotřebí si připravit 2% roztok škrobu. Navážila jsem si 1 g škrobu a odměřila 49 ml destilované vody. Navážku škrobu jsem nejdříve rozetřela v trošce destilované vody pokojové teploty, poté přilila zbytek odměřené destilované vody a pomocí kahanu zahřála, aby se škrob rozpustil. Při prvních známkách varu jsem kádinku odebrala a nechala vychladnout.

2.1.5 PŘÍPRAVA A STANDARDIZACE ROZTOKU THIOSÍRANU SODNÉHO

Pro přípravu 0,1M roztoku jsem si nejprve vypočítala potřebné množství pentahydrátu thiosíranu sodného ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$). Navážku jsem kvantitativně převedla do 500ml odměrné baňky, rozpustila v destilované vodě, doplnila po rysku a promíchala.

Ke standardizaci jsem použila bromečnan draselný (KBrO_3) a dle následujících rovnic jsem si vypočítala přesnou koncentraci thiosíranu sodného.



Ke stanovení jsem potřebovala jodid draselný (KI), zředěnou kyselinu chlorovodíkovou (HCl, 1:4), bromečnan draselný (KBrO_3) o známé koncentraci ($c=0,01 \text{ mol/l}$), destilovanou vodu a škrobový maz. Nejprve jsem si navážila 2 g KI do litrové Erlenmeyerovy baňky se zábrusem, přidala 25 ml HCl a 25 ml KBrO_3 . Baňku jsem zazátkovala, promíchala a na 5 min nechala odstát. Poté jsem k roztoku přidala přibližně 250–300 ml destilované vody a ihned titrovala $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$. Roztok přešel

z červenohnědé barvy do žluté. V té chvíli jsem k roztoku přidala 5 ml škrobového mazu, roztok zmodral a pokračovala v titraci, dokud se roztok zcela neodbarvil. Zapsala jsem si hodnotu spotřeby, celý postup zopakovala a vypočítala přesnou koncentraci $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$.

2.1.6 STANOVENÍ REDUKUJÍCÍCH SACHARIDŮ

Do 250ml Erlenmeyerovy baňky jsem napipetovala 25 ml Luffova roztoku, 10 ml vzorku a 15 ml destilované vody. Obsah baňky jsem na vařiči přivedla během 2–3 minut k varu a zahřívala pod zpětným chladičem po dobu 10 minut. Po uplynutí této doby jsem baňku ochladila proudem studené vody. K vychlazenému roztoku jsem přidala 3 g jodidu draselného (KI) a 20 ml 25% kyseliny sírové (H_2SO_4). Roztok jsem následně titrovala roztokem thiosíranu sodného ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) do slabě žlutého zbarvení. Poté jsem přidala 3 ml škrobového mazu a roztok dotitrovala do odbarvení modré barvy. Roztok po titraci měl bílou mléčnou barvu.

K následnému vyhodnocení je zapotřebí provést slepý pokus. Ten se provádí stejně jako u vzorku, akorát místo vzorku přidáme stejné množství destilované vody. Obsah redukujících cukrů se následně stanoví na základě rozdílu spotřeb thiosíranu sodného slepého pokusu a vlastním stanovením. Tato hodnota odpovídá dle tabulky (viz příloha) obsahu redukujících cukrů v mg v alikvotním podílu.

2.2 STANOVENÍ ALDOS METODOU AUERBACHA-BODLÄNDERA-BORRIESE

2.2.1 PŘÍPRAVA VZORKŮ

Dle postupu se mělo navážít přibližně 5 g, aby vzorek obsahoval 10 až 200 mg glukosy. Vzhledem k tomu, že já měla velmi koncentrované roztoky a v předchozím měření jsem vzorek navážila v menším množství, navážila jsem i v tomto případě agávového sirupu a medu 10x méně, tzn. 0,5 g a javorového sirupu o polovinu méně, tzn. 2,5 g. Navážené vzorky jsem převedla do 100ml odměrné baňky doplnila po rysku vodou a promíchala.

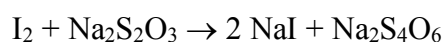
2.2.2 PŘÍPRAVA A STANDARDIZACE ROZTOKU JODU

Pro přípravu 0,05M roztoku jsem si nejdříve vypočítala potřebné množství jodu (I_2). Vzhledem ke špatnému rozpouštění jodu jsem si navážila množství v 15% přebytku, tzn. 14,62 g I_2 . Jodidu draselného (KI) jsem si navážila 12,5 g a přesypala ho do třetí

misky. Postupně jsem k jodidu draselného přidávala navážku jodu a směs těla, dokud mi nevznikl jemný prášek. Poté jsem postupně přidávala destilovanou vodu a rozpuštěné podíly jsem po částech převedla do 1l odměrné baňky. Po převedení celé navážky jsem baňku doplnila destilovanou vodou po rysku, promíchala a uložila do skříně do tmy.

Ke standardizaci jsem použila thiosíran sodný o známé koncentraci z předchozí metody. Do Erlenmeyerovy baňky jsem napipetovala 10 ml roztoku jodu, naředila vodou a přidala 5 ml zředěné kyseliny chlorovodíkové (HCl, 1:4). Roztok jsem následně titrovala thiosíranem sodným do světle žlutého zbarvení. Poté jsem přidala ještě 5 ml roztoku škrobu a roztok titrovala do odbarvení.

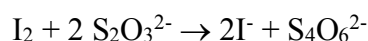
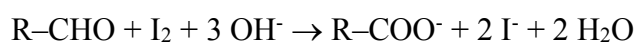
Koncentraci roztoku jodu jsem vypočítala na základě spotřeby a stanovené koncentrace thiosíranu sodného dle následující rovnice.



2.2.3 STANOVENÍ ALDOS

Do 500ml Erlenmeyerovy baňky jsem napipetovala 25 ml připraveného cukerného vzorku, přidala jsem 50 ml roztoku uhličitanu sodného (Na_2CO_3) o koncentraci $0,2 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$, 50 ml roztoku hydrogenuhličitanu sodného (NaHCO_3) o koncentraci $0,2 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ a 15 ml roztoku jódu o koncentraci $0,05 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$. Baňku jsem zazátkovala a nechala stát přibližně 1 h v temnu. Po 1 h jsem do baňky přidala 12 ml zředěné kyseliny sírové (H_2SO_4 , 1:4) a roztok titrovala 0,1M roztokem thiosíranu sodného ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) o koncentraci $0,1 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ do odbarvení.

Množství glukosy jsem vypočítala na základně uvedených rovnic.



2.3 VÝSLEDKY

2.3.1 METODA LUFFA-SCHOORLA

Tabulka 3: Stanovení obsahu redukcujících cukrů

	navážka	Ø spotřeba	slepý pokus- spotřeba	obsah redukcujících cukrů v mg	obsah redukcujících cukrů v 1 g
slepý pokus		22 ml			
agávový sirup	0,787 g	7,1 ml	14,9 ml	35,23 mg	1119,123 mg
javorový sirup	7,521g	16,7 ml	5,3 ml	11,94 mg	39,8 mg
med	0,722 g	15,7 ml	6,3 ml	14,24 mg	461,13 mg

2.3.2 METODA AUERBACHA-BODLÄNDERA-BORRIESE

Tabulka 4: Stanovení obsahu glukosy a fruktosy

	obsah redukcujících cukrů v 1 g	obsah glukosy v 1 g	obsah fruktosy v 1 g
agávový sirup	1119,123 mg	143,52 mg	975,603 mg
javorový sirup	39,8 mg	28,704 mg	11,096 mg
med	461,13 mg	247,296 mg	213,834 mg

2.4 ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

V praktické části jsem se pokusila stanovit veškeré množství redukujících sacharidů pomocí metody Luffa-Schoorla. Ačkoliv je tato metoda vhodná ke stanovení sacharidů v potravinách, mně se tato metoda u sladidel neosvědčila. Podle výsledků je zřejmé, že metoda je při stanovení sacharidů v tak velkých koncentracích nejistá.

S problémy jsem se u této metody potýkala již na samotném začátku stanovení, kdy se dle postupu mělo navážít 5–10 g vzorku. V prvním měření jsem navázila 7,5 g, ale vzhledem k tomu, že jsem měla velmi koncentrované roztoky, byla navážka příliš velká. Při zahřívání u samotného stanovení celý vzorek zreagoval. Při druhém měření jsem proto optimalizovala podmínky a agávového sirupu a medu jsem navázila 10x méně. Při stanovení metodou Auerbacha-Bodländera-Borriese jsem agávového sirupu a medu navázila také 10x méně a u javorového sirupu jsem navázila o polovinu méně, než bylo zadané v postupu.

U agávového sirupu je evidentně zcela nepřesný údaj, který ukazuje větší množství redukujících sacharidů, než byla samotná navážka. Tato nepřesnost může být zapříčiněna několika důvody, které nejsou zřejmé. Nelze vyloučit obsah dalších redukujících látek s nižší molární hmotností než glukosa, které interagují s Fehlingovo činidlem a nebo chybu při extrakci nebo navažování. Z časových důvodů však nebylo možné tuto chybu odhalit, a proto je tento výsledek pouze orientační. Vzhledem k nepřesnému údaji celkového množství redukujících sacharidů, jsou obsahy glukosy a fruktosy také pouze informativní. Za kladný výsledek považuji výsledný poměr fruktosy a glukosy, který jsem stanovila metodou Auerbacha-Bodländera-Borriese. Jak jsem již zmínila, agávový sirup obsahuje vysoké množství fruktosy a malé množství glukosy. Výsledky zde potvrdily 87,17% podíl fruktosy a 12,82% podíl glukosy. Pokud jsou tedy tvrzení o negativním dopadu fruktosy na naše zdraví pravdivá, agávový sirup není vhodnou náhradou běžného cukru.

U javorového sirupu také není výsledek zcela přesný. Javorový sirup obsahuje z velké většiny sacharosu, která má neredukující účinky a nelze jí touto metodou stanovit. Z tohoto důvodu je celkové množství redukujících sacharidů velmi malé. Za kladný výsledek ale považuji opět výsledný poměr glukosy a fruktosy, kde je zřejmý vyšší obsah glukosy a nižší obsah fruktosy. Vzhledem k nepřesným hodnotám nelze určit, zda je lepší náhradou běžného cukru nebo ne, ale dle zahraniční literatury, jak jsem zmínila již

v kapitole o javorovém sirupu, se příliš nedoporučuje pro vysoký obsah sacharosy, kterou by měl nahradit.

U medu se obsah sacharidů pohybuje kolem 70–80 %. Samotný výrobce u stanovovaného medu uvádí 81,7 sacharidů na 100 g. Mé výsledky, které ukazují pouze 46,1 g na 100 g nejsou opět zcela přesné a zavádějící mohou být i samotná množství glukosy a fruktosy. Kladně bych zde opět zhodnotila poměr glukosy a fruktosy, který je téměř 1:1 a odpovídá předpokladům. Díky tomu se zdá být relativně dobrou náhradou bílého cukru.

Celkově bych výsledky praktické části považovala pouze za orientační a informativní. Cílem bylo vybranou metodu otestovat, a ačkoliv jsem metodu Luffa-Schoorla považovala za vhodnou, příště bych raději zvolila např. kapalinovou nebo plynovou chromatografii, kterou lze jednotlivé sacharidy a jejich množství identifikovat přesněji. Při stanovení poměru množství glukosy a fruktosy se však osvědčila metoda Auerbacha-Bodländera-Borriese a výsledné poměry glukosy a fruktosy této metody by se daly považovat za relevantní.

ZÁVĚR

V teoretické části této práce byla popsána základní charakteristika sacharidů z chemického hlediska a jejich základní rozdělení. Byly charakterizovány jednotlivé skupiny a nejdůležitější zástupci každé z nich, jejich chemická struktura a výskyt. Byly zmíněny dva monosacharidy (glukosa, fruktosa), jeden disacharid (sacharosa) a dva polysacharidy (škrob, glykogen), které mají velmi důležitý význam ve výživě člověka a je popsán v následující kapitole. Tato bakalářská práce se zaměřila především na jednoduché cukry, glukosu a fruktosu, proto se další kapitoly věnují právě metabolismu glukosy v organismu člověka, trávení a zdravotním rizikům, která mohou způsobit. Dále byly v této práci popsány metody, kterými lze sacharidy identifikovat a stanovit jejich kvalitu i kvantitu.

V praktické části se bakalářská práce zabývá tím, zda je možné běžný cukr nahradit přírodními sladidly. Byly proto vybrány 3 přírodní sladidla, konkrétně javorový sirup, agávní sirup a med a pomocí metod Luffa-Schoorla a Auerbacha-Bodländera-Borriese byly stanoveny obsahy glukosy a fruktosy. Vzhledem k tomu, že výsledky metody Luffa-Schoorla nelze považovat za správné, nelze ani jednoznačně říct, které sladidlo je vhodnější jako náhrada běžného cukru. Já bych na základě zjištěného poměru glukosy a fruktosy rozhodně nevolila agávní sirup z důvodu vysokého obsahu fruktosy. Místo běžného cukru bych raději volila med, protože neobsahuje zbytečně velké množství fruktosy a antioxidantní látky v něm obsažené mají pro naše tělo pozitivní vliv.

RESUMÉ

Tato bakalářská práce pojednává o sacharidech v potravinách a metodách jejich stanovení. Popisuje nejvýznamnější zástupce jednotlivých skupin sacharidů, jejich chemickou strukturu, výskyt a následně i jejich význam ve výživě člověka. Dále se zabývá zdravotními riziky, která mohou sacharidy způsobovat a možnosti alternativních sladidel, kterými lze sacharidy nahradit. Jsou zde popsány i základní metabolické děje sacharidů.

V praktické části byla testována 3 přírodní sladidla nahrazující běžný cukr a byl zjištěn obsah cukrů, konkrétně glukosy a fruktosy. Praktická část měla ověřit, zda tyto alternativní sladidla jsou vhodnější k doslazování pokrmů než běžný cukr (sacharosa).

klíčová slova: glukosa, fruktosa, výživa, obezita, metoda Luffa-Schoorla, metoda Auerbacha-Bodländera-Borriese

This bachelor thesis examines carbohydrates in food and the methods of their determination. It describes significant representatives of carbohydrates' particular groups, focusing on their chemical structure, the occurrence and the significance in human nutrition. The bachelor thesis also explores the health effects of consuming carbohydrates and options of artificial sweeteners which function as a substitute. In this thesis also describe fundamental metabolic actions of carbohydrates.

In the practical part of the thesis, there were examined three natural sweeteners that substitute ordinary sugar. The examination determined contain of sugar in natural sweeteners, specifically glucose and fructose. The practical part was supposed to verify whether alternative sweeteners are better for sweetening meals than common sugar (sucrose).

keywords: glucose, fructose, nutriton, obesity, method Luff-Schoorl, method Auerbach-Bondländer-Borries

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] M. ČERNÝ, T. TRNKA a M. BUDEŠÍNSKÝ, *Sacharidy*, Praha: Česká společnost v edici Chemické listy, 2016. ISBN 978-80-86238-92-0
- [2] J. MCMURRY, *Organická chemie*, Brno: VUTIUM, 2015. ISBN 978-80-7080-930-3
- [3] M. SLUKOVÁ a kolektiv, *Výroba potravin a nutriční hodnota*, Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2016. ISBN 978-80-7080-947-1
- [4] B. KOPŘIVA, *Chemie sacharidů*, Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 1964.
- [5] J. KOOLMAN a K. H. RÖHM, *Barevný atlas biochemie*, Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-2977-0
- [6] M. KODÍČEK, O. VALENTOVÁ a R. HYNEK, *Biochemie: chemický pohled na biologický svět*, Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2018. ISBN 978-80-7592-013-3
- [7] L. HŘIVNA, *Technologie sacharidů*, Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2014. ISBN 978-80-7509-022-5
- [8] J. VELÍŠEK, *Chemie potravin I*, Tábor: Osis, 2002. ISBN 80-86659-00-3
- [9] D. GABROVSKÁ a M. CHÝLKOVÁ, *Sladká fakta o cukrech a sladidlech aneb čím si osladit život*, Praha: Potravinářská komora České republiky, 2017. ISBN 978-80-88019-17-6
- [10] H. BASCIANO, L. FEDERICO a K. ADELI, *Fructose, insulin resistance and metabolic dyslipidemia* [online]. 2005. [cit. 11.4.2019] Dostupné z: <https://nutritionandmetabolism.biomedcentral.com/articles/10.1186/1743-7075-2-5>
- [11] Vím co jím. Cukr, nebo glukózo-fruktózový sirup? Po náhražce rostou špeky [online]. 2013. [cit. 11.4.2019] Dostupné z: https://www.vimcojim.cz/magazin/clanky/o-vyzive/Cukr,-nebo-glukozo-fruktozovy-sirup-Po-nahrazce-rostou-speky__s10010x7855.html

- [12] J. PÁNEK, J. POKORNÝ a J. DOSTÁLOVÁ, *Základy výživy a výživová politika*, Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2012. ISBN 978-80-7080-468-1
- [13] G. TAUBES, *Doba jedová 9*, Praha: Triton, 2018. ISBN 978-80-7553-342-5
- [14] M. SLIMÁKOVÁ, *Grafy, které ukazují proč lidé tloustnou* [online]. 2014. [cit. 11.4.2019] Dostupné z: <https://www.margit.cz/grafy-lide-tloustnou/>
- [15] H. RITCHIE a M. ROSER, *Obesity & BMI* [online]. [cit. 11.4.2019] Dostupné z: <https://ourworldindata.org/obesity>
- [16] J. FONTANA a P. LAVŘÍKOVÁ, *Odbourávání a syntéza glukózy* [online] [cit. 11.4.2019] .Dostupné z: <http://fbtl.cz/skripta/ii-premena-latek-a-energie-v-bunce/9-odbouravani-a-synteza-glukozy/>
- [17] O. KLEIN, *Sladíte chytře! Je skutečně bílý cukr než med, agávodý sirup nebo cukr třtinový?* [online]. 2018. [cit. 11.4.2019] Dostupné z: <https://aktin.cz/sladte-chytre-je-skutecne-bily-cukr-horsi-nez-med-agavovy-sirup-nebo-cukr-trtinovy>
- [18] J. LEECH, *Agave Nectar: A sweetener that is even worse than sugar?* [online]. 2018. [cit. 11.4.2019] Dostupné z: <https://www.healthline.com/nutrition/agave-nectar-is-even-worse-than-sugar>
- [19] K. GUNNARS, *Maple syrup: Healthy or unhealthy?* [online]. 2018. [cit. 11.4.2019] Dostupné z: <https://www.healthline.com/nutrition/maple-syrup>
- [20] R. LINK, *Is honey good for you, or bad?* [online]. 2019. [cit. 11.4.2019] Dostupné z: <https://www.healthline.com/nutrition/is-honey-good-for-you>
- [21] J. DAVÍDEK, *Laboratorní příručka analýzy potravin*, Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1977.
- [22] J. HÁLKOVÁ, M. RUMÍŠKOVÁ a J. RIEGLOVÁ, *Analýza potravin*, Újezd u Brna: Ivan Straka, 2001. ISBN 80-86494-02-0
- [23] V. KUBÁŇ a P. KUBÁŇ, *Analýza potravin*, Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2007. ISBN 978-80-7375-036-7
- [24] F. OPEKAR, *Základní analytická chemie*, Praha: Karolinum, 2002. ISBN 80-246-0553-8

[25] K. ZÁRUBA, *Analytická chemie*, Praha: Vysoká škola chemicko-technologická,
2016. ISBN 978-80-7080-950-1

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Enantiomery glukosy.....	13
Obrázek 2: Enantiomery fruktosy.....	14
Obrázek 3: Redukující a neredukující sacharid	15
Obrázek 4: Strukturní vzorec sacharosy.....	16
Obrázek 5: Strukturní vzorec amylosy.....	17
Obrázek 6: Strukturní vzorec amylopektinu.....	17

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Počet diabetiků přijatých v Pensylvánské nemocnici	21
Graf 2: Počet dospělých nad 18 let s BMI vyšším než 30.....	22
Graf 3: Nástup glukoneogenese	25

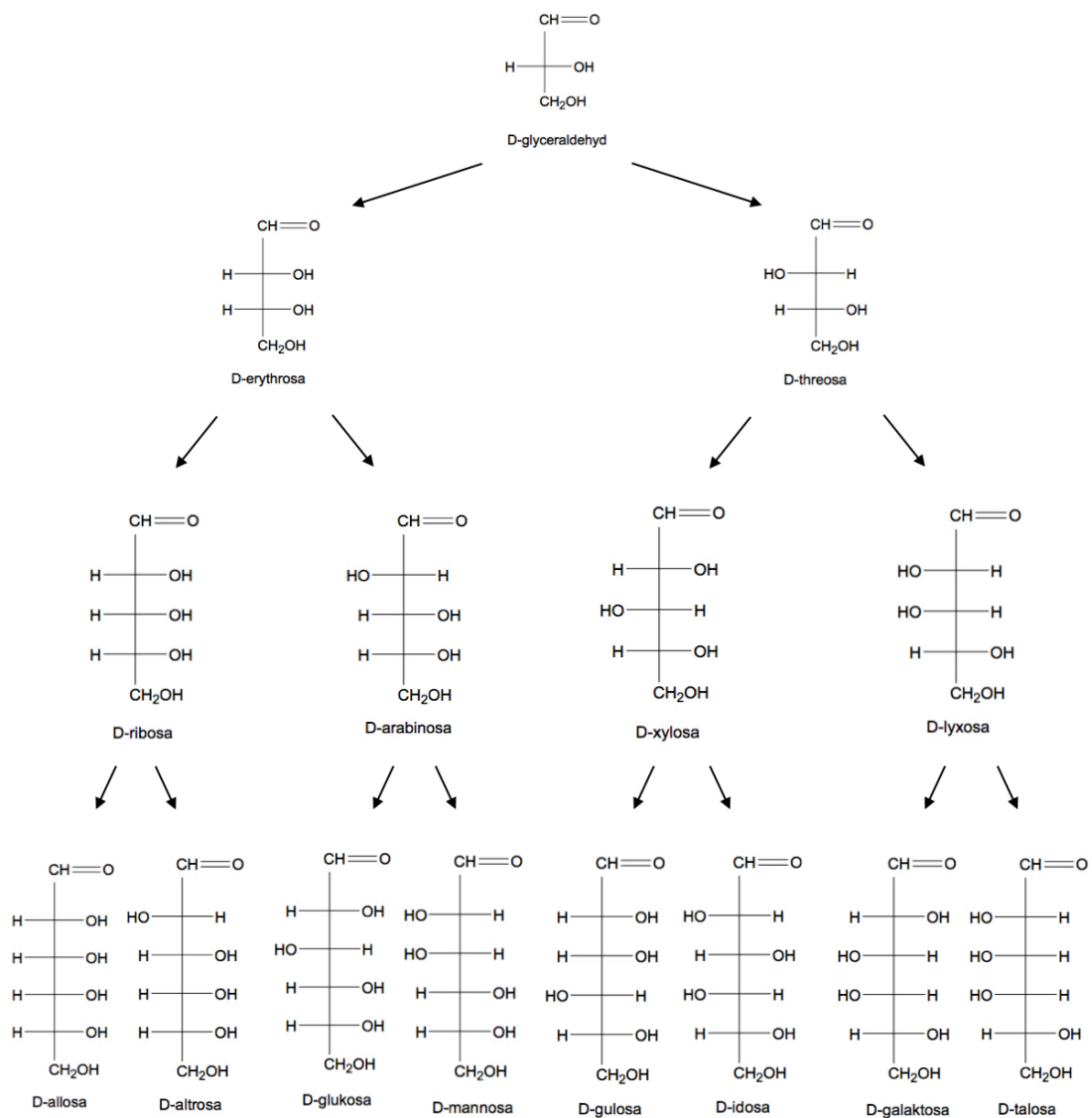
SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Roční spotřeba sacharosy v Evropě.....	21
Tabulka 2: Roztoky vhodné pro čiření cukerných roztoků	31
Tabulka 3: Stanovení obsahu redukujících cukrů.....	40
Tabulka 4: Stanovení obsahu glukosy a fruktosy	40

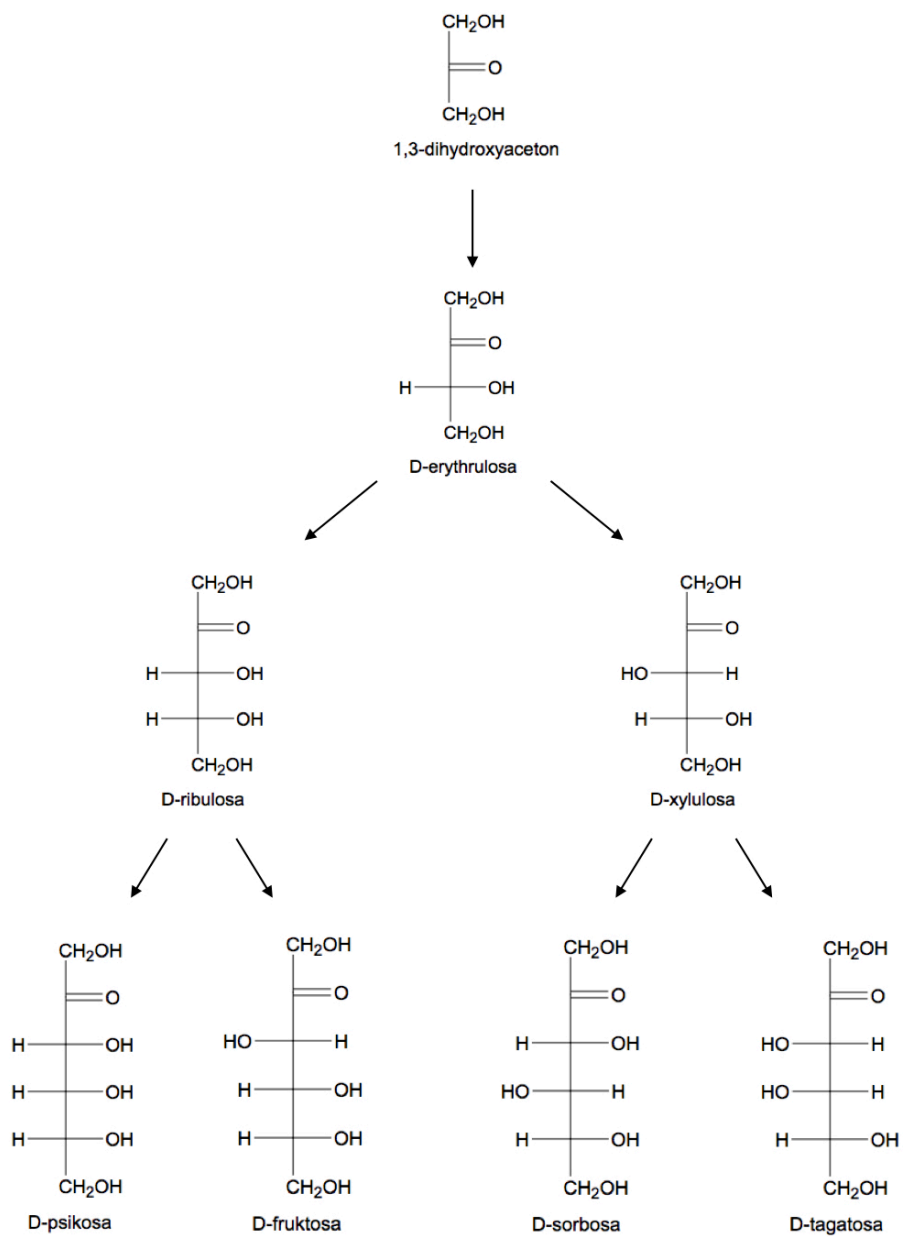
PŘÍLOHY

Příloha 1: Odvození aldos od glycerinaldehydu	II
Příloha 2: Odvození ketos od dihydroxyacetonu	III
Příloha 3: Glykolysa.....	IV
Příloha 4: Glukoneogenese	V
Příloha 5: Pentósový cyklus.....	VI
Příloha 6: Stanovení veškerých redukujících cukrů vyjádřených odměrným roztokem Na ₂ S ₂ O ₃ o c = 0,1 mol/l podle Luffa-Schoorla.....	VII

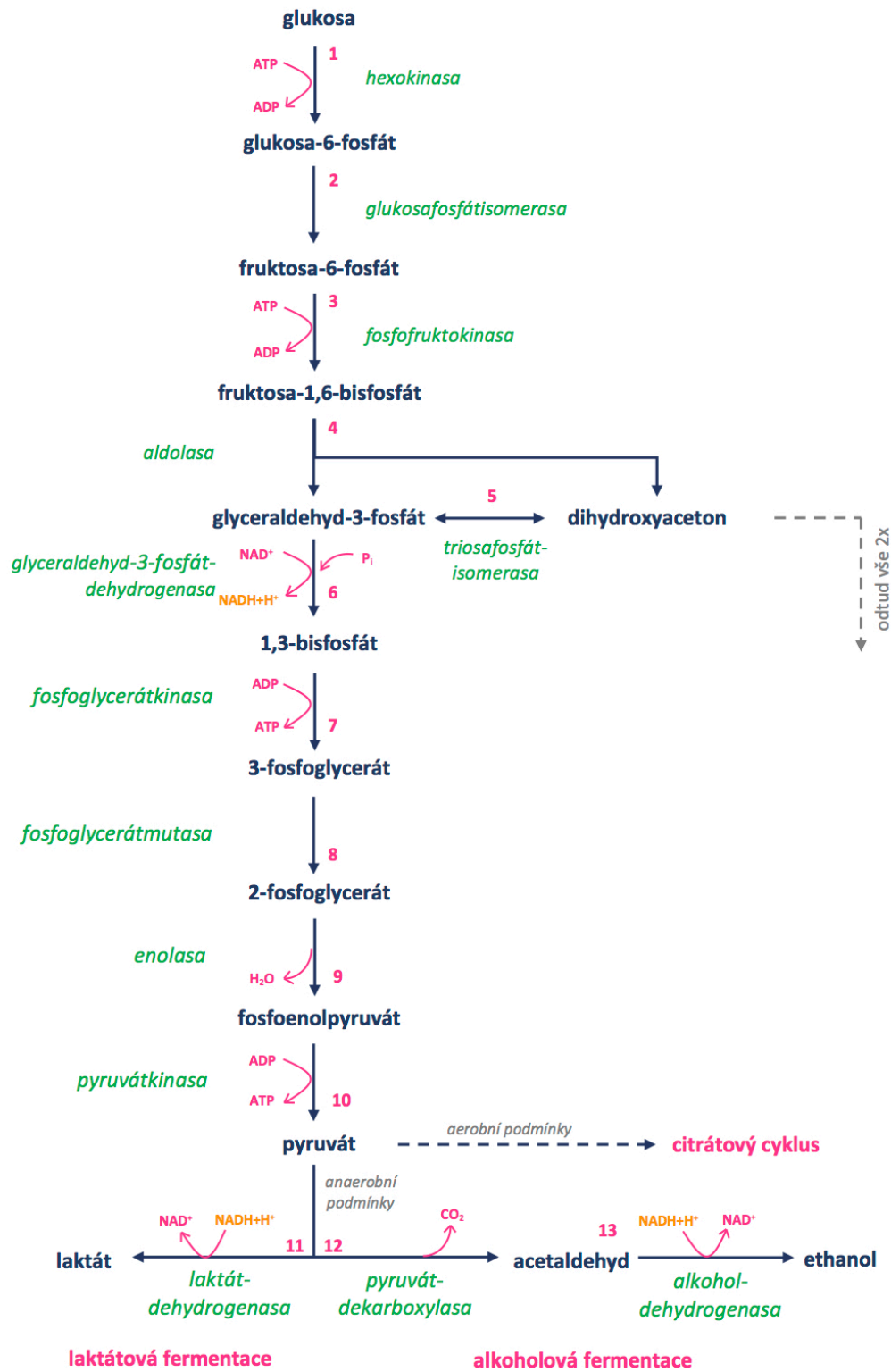
Příloha 1: Odvození aldós od glycerinaldehydu [1]



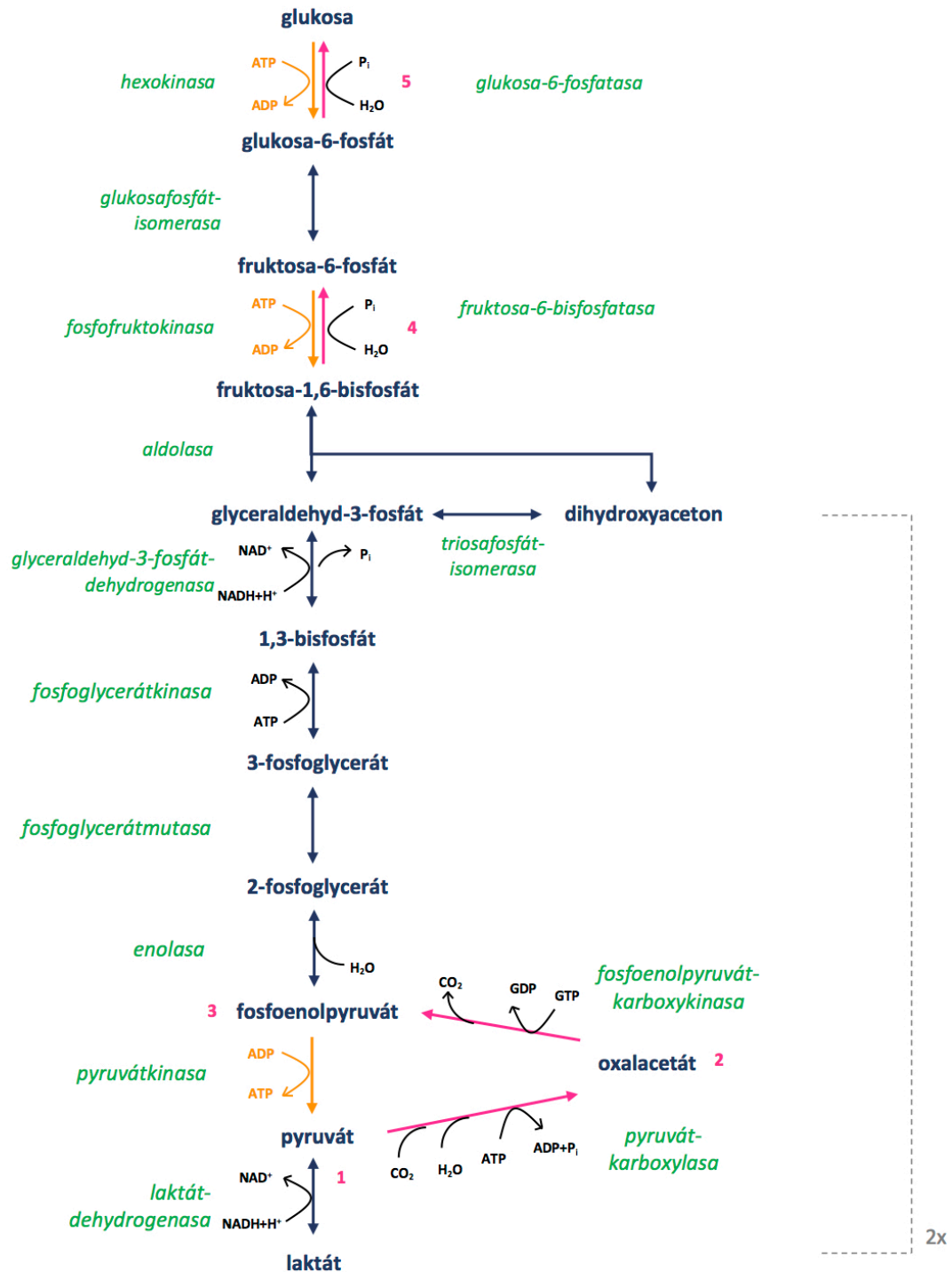
Příloha 2: Odvození ketos od dihydroxyacetonu [1]



Příloha 3: Glykolysa [6]

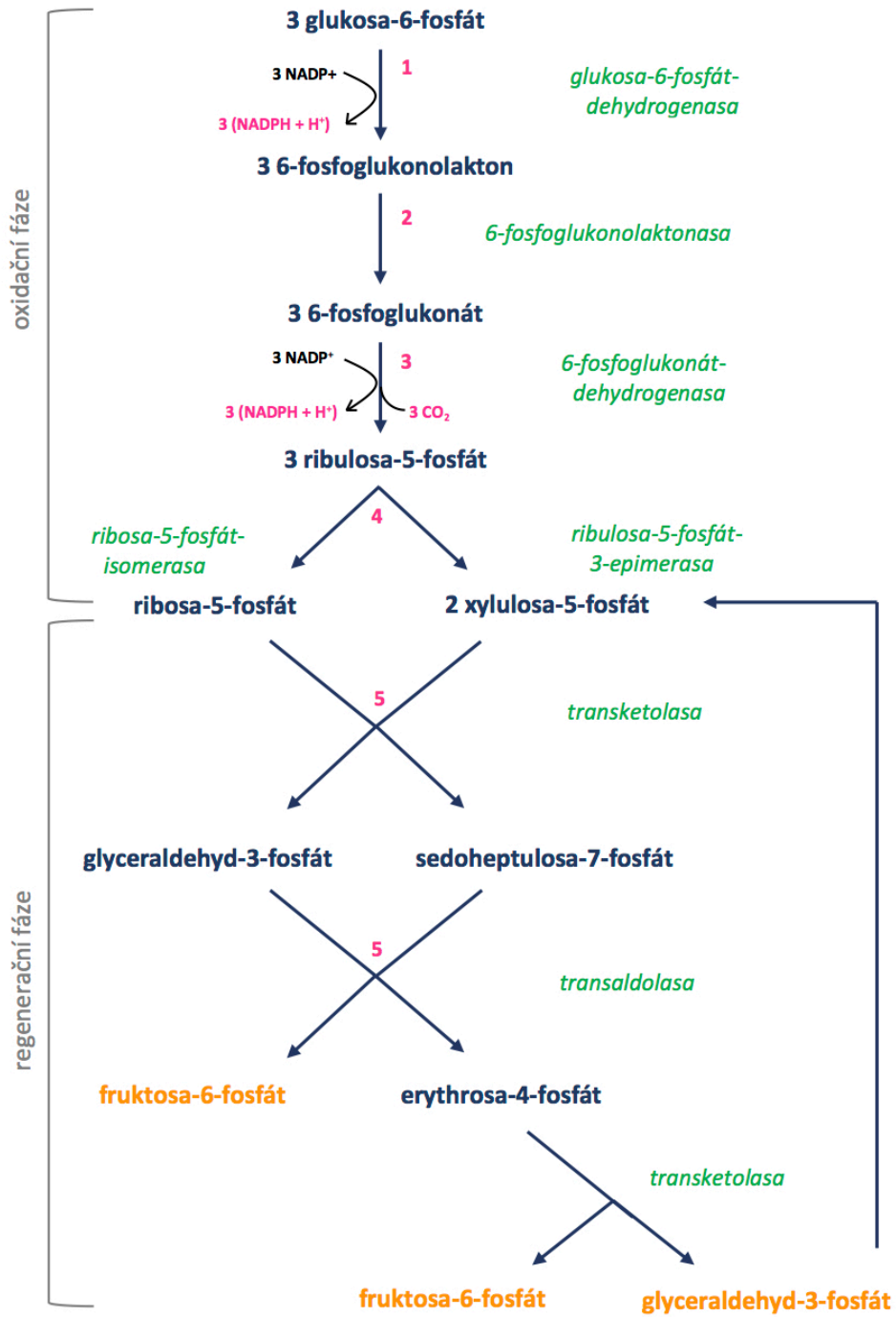


Příloha 4: Glukoneogenese [6]



Pro lepší přehlednost jsou společné reakce glykolysy a glukoneogenese označeny dvojsměrnými modrými šipkami. Samotné reakce glykolysy jsou označeny oranžově a reakce, které probíhají pouze u glukoneogenese jsou označeny růžově.

Příloha 5: Pentósový cyklus [6]



Příloha 6: Stanovení veškerých redukujících cukrů vyjádřených odměrným roztokem $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ o $c = 0,1 \text{ mol/l}$ podle Luffa-Schoorla

celé ml $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	desetiny ml $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	0,22	0,44	0,66	0,88	1,11	1,33	1,55	1,77	1,99
1	2,21	2,43	4,65	2,87	3,09	3,32	3,54	3,76	3,98	4,20
2	4,42	4,64	4,87	5,09	5,31	5,54	5,76	5,98	6,20	6,43
3	6,65	6,88	7,11	7,34	7,57	7,80	8,02	8,25	8,48	8,71
4	8,84	9,17	9,40	9,63	9,86	10,10	10,33	10,56	10,79	11,02
5	11,25	11,48	11,71	11,94	12,17	12,40	12,63	12,86	13,09	13,32
6	13,55	13,78	14,01	14,24	14,47	14,70	14,93	15,16	15,39	15,62
7	15,85	16,09	16,33	16,57	16,81	17,05	17,29	17,53	17,27	18,01
8	18,25	18,49	18,73	18,97	19,21	19,45	19,68	19,92	20,16	20,40
9	20,64	20,88	21,12	21,36	21,60	21,84	22,08	22,32	22,56	22,80
10	23,04	23,28	23,53	23,77	24,02	24,26	24,50	24,75	24,99	25,24
11	25,48	25,72	25,97	26,21	26,46	26,70	26,94	27,19	27,43	27,68
12	27,92	28,17	28,42	28,67	28,92	29,17	29,41	29,66	29,91	30,16
13	30,41	30,66	30,91	31,16	31,41	31,67	31,92	32,17	32,43	32,68
14	32,93	33,19	33,44	33,70	33,95	34,21	34,46	34,72	34,97	35,23
15	35,48	35,74	36,00	36,27	36,53	36,79	37,05	37,31	37,58	37,84
16	38,10	38,36	38,63	38,89	39,15	39,42	39,68	39,94	40,20	40,47
17	40,73	41,00	41,27	41,54	41,81	42,08	42,34	42,61	42,88	43,15
18	43,42	43,69	43,96	44,23	44,50	44,78	45,05	45,32	45,59	45,86
19	46,13	46,41	46,67	46,96	47,23	47,51	47,79	48,06	48,34	48,61
20	48,89	49,17	49,44	49,72	49,99	50,27	50,55	50,82	51,10	51,37
21	51,65	51,93	52,21	52,50	52,78	53,06	53,34	53,62	53,91	54,19
22	54,47	54,75	55,03	55,32	55,60	55,88	56,16	56,44	56,73	57,01