

Západočeská univerzita v Plzni

Fakulta pedagogická

Katedra chemie

**Stanovení obsahu polyfenolů
v základních potravinách a stanovení
velikosti jejich příjmu v české populaci**

Diplomová práce

Bc. Zuzana Voříšková

Učitelství pro střední školy

Vedoucí práce: Doc. Ing. Zdeněk Zloch, CSc.

Plzeň, 2017

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením Doc. Ing. Zdeňka Zlocha, Csc. a že v seznamu literatury jsem uvedla všechny použité zdroje.

V Plzni dne _____

Touto cestou bych ráda poděkovala panu doc. Ing. Zdeňku Zlochovi,
Csc. za odborné vedení mé diplomové práce.

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Zuzana VOŘÍŠKOVÁ**
Osobní číslo: **P15N0166P**
Studijní program: **N7504 Učitelství pro střední školy**
Studijní obory: **Učitelství chemie pro střední školy**
Učitelství biologie pro střední školy
Název tématu: **Stanovení obsahu polyfenolů v základních potravinách**
a stanovení velikosti jejich příjmu v české populaci
Zadávající katedra: **Katedra chemie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Laboratorní analýzou stanovit celkový obsah rostlinných polyfenolů v zelenině, ovoci, bramborách, čaji, pivu a vínu (asi 25 - 30 vzorků).
2. Alternativní metodou stanovit v nejběžnějších druzích ovoce, zeleniny, v pivu a víně obsah flavonoidů.
3. S pomocí databáze spotřeby potravin v ČR vypočítat průměrný příjem polyfenolů na 1 obyvatele a rok.
4. Porovnat zjištěné množství a skladbu polyfenolů v ČR s příjmem polyfenolů v jiných zemích.
5. Vyhodnotit zjištěné hodnoty z hlediska jejich nutričního přínosu a doporučit žádoucí změny stravovacích zvyklostí s cílem zlepšit velikost příjmu rostlinných polyfenolů.



Rozsah grafických prací:

Rozsah kvalifikační práce: 40 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

Blažej A., Šutý L., Rastlinné fenolové zlúčeniny. Alfa Bratislav 1973, 236 s.

Štípek S. a kol., Antioxidanty a volné radikály ve zdraví a nemoci. Grada Publishing 2000, 314 s.

Velíšek J. a kol., Chemie potravin 2. OSSIS Tábor 1999, 304 s.

Davídek J. a kol., Chemie potravin. SNTL/Alfa Praha 1983, 629 s.

Volf K. Andrs F., Flavonoidy a jejich biologické působení. Firemní literární rešerše 2008, 216 s.

Zannotti I. et al., Atheroprotective effects of (poly)phenols: a focus on cell cholesterol metabolism. Food Funct. 6: 13-28, 2015.

González-Vallinas M. et al., Dietary phytochemicals in cancer prevention and therapy: a complementary approach with promising perspectives. Nutr.Rev. 71(9): 585-599, 2012.

Statistická ročenka ČR 2013.

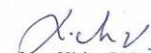
Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Zdeněk Zloch, CSc.
KCH

Datum zadání diplomové práce: 15. března 2016

Termín odevzdání diplomové práce: 30. června 2017


RNDr. Miroslav Randa, Ph.D.
děkan




Doc. Mgr. Václav Richtř, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. března 2016

OBSAH

1 Úvod.....	1
2 Teoretická část.....	2
2.1. Polyfenoly.....	2
2.2. Dělení polyfenolů.....	2
2.2.1 Fenolové kyseliny.....	3
2.2.2 Stilbeny.....	4
2.2.3 Lignany.....	5
2.2.4 Flavonoidy.....	6
2.2.4.1 Flavonoly.....	6
2.2.4.2 Flavony.....	7
2.2.4.3 Flavanony.....	8
2.2.4.4 Anthokyanidiny.....	9
2.2.4.5 Isoflavony.....	10
2.2.4.6 Flavan-3-oly.....	11
2.2.5 Taniny.....	12
2.2.6 Kurkumin.....	13
2.3 Antioxidační aktivita flavonoidů.....	14
2.4 Účinky polyfenolů při kardiovaskulárních chorobách.....	15
2.5 Účinky polyfenolů při zhoubných nádorech.....	15
2.5.1 Nádory prostaty.....	16
2.5.2 Nádory prsu.....	16
2.5.3 Nádory tlustého střeva a konečníku.....	16
2.5.4 Leukémie.....	17
2.6 Účinky polyfenolů při neurodegenerativních chorobách.....	17
2.7 Polyfenoly a diabetes mellitus 2. typu.....	18

3 Praktická část	19
3.1 Spektrofotometrie	19
3.2 Příprava extraktu pro analýzu	19
3.3 Stanovení celkového obsahu polyfenolů	20
3.4 Výsledky měření	20
3.4.1 Koncentrace polyfenolů v ovoci.....	21
3.4.2 Koncentrace polyfenolů v zelenině	22
3.4.3 Koncentrace polyfenolů v obilovinách, okopaninách a luštěninách ..	23
3.4.4 Koncentrace polyfenolů v čaji a kávě.....	23
3.5 Příjem polyfenolů českou populací	25
3.6 Stanovení množství flavonoidů v potravinách.....	27
3.7 Výsledky měření	28
3.7.1 Koncentrace flavonoidů v ovoci.....	28
3.7.2 Koncentrace flavonoidů v zelenině	29
3.7.3 Koncentrace flavonoidů v obilovinách, okopaninách a luštěninách ..	30
3.7.4 Koncentrace flavonoidů v čaji a kávě.....	31
3.8 Příjem flavonoidů českou populací	32
3.9 Srovnání příjmu polyfenolů v České republice s příjmem polyfenolů v jiných zemích	34
3.9.1 Příjem polyfenolů brazilskou populací	34
3.9.2 Příjem polyfenolů finskou populací	34
3.9.3 Příjem polyfenolů francouzskou populací	35
3.9.4 Příjem polyfenolů španělskou populací.....	35
3.10 Doporučení o stravování s přihlédnutím na množství polyfenolů a flavonoidů v potravinách	36
3.11 Využití polyfenolů v pedagogické praxi	38
3.11.1 Pokus-antokyany v rostlinách	39
3.11.2 Pokus-reakce přírodních fenolů.....	40

3.11.3 Pokus-reakce flavonoidů.....	40
3.11.4 Pokus-důkaz chlorofylu v červených listech.....	40
3.11.5 Barevné změny korunních lístků, které obsahují anthokyany	41
3.11.6 Dělení barviv pomocí kruhové chromatografie	41
4 Závěr	43
Seznam použité literatury.....	45
Seznam obrázků, tabulek a grafů.....	49
Resumé	51

1 Úvod

Rostlinné fenolické a polyfenolické látky patří k nejvýznamnějším skupinám přírodních látek v potravinách rostlinného původu. Zahrnují širokou skupinu fenolických látek (např. flavonoidy, lignany, stilbeny, fenolové kyseliny), kterých se při běžném způsobu stravování přijímá denně přibližně 1 g na osobu. Těmto sloučeninám se připisují účinky antioxidační. Zkoumá se jejich působení v prevenci kardiovaskulárních, nádorových, neurodegenerativních a dalších nemocí. V posledních několika letech se v mnoha zemích vyhodnocuje velikost příjmu polyfenolů obyvateli, zastoupení jednotlivých podskupin fenolů a nejvýznamnější potravní zdroje těchto sloučenin. V České republice systematické zpracování této problematiky zatím chybí, předložená diplomová práce je příspěvkem k orientačnímu testování profilu polyfenolů v naší stravě.

2 Teoretická část

2.1. Polyfenoly

Polyfenoly jsou látky rostlinného původu, mající ve svých molekulách více než dvě hydroxylové skupiny, které se vážou k aromatickému jádru. Nacházejí se ve všech rostlinných orgánech, ale i jejich patologických útvech. Jejich funkcí je chránit rostliny před ultrafialovým zářením, oxidačním stresem a různými patogeny. Taniny, nebo-li třísloviny, zajišťují rostlině ochranu před býložravci svou svíravou, hořkou chutí. Ligniny jsou důležité pro stavbu rostlin, tvoří jejich mechanickou oporu. Polyfenoly v rostlinném organismu mají význam i jako repelenty či atraktanty. Rovněž působí jako rostlinná antibiotika antivirotika a antimykotika.

Je prokázána široká škála účinků těchto látek i na organismus lidský. Polyfenoly vykazují účinnost v prevenci nádorových, srdečně-cévních a neurodegenerativních onemocnění a také v prevenci diabetu 2. typu. Působí také jako antioxidanty.

Bohatým zdrojem fenolových sloučenin je především zelenina, ovoce, káva, víno, čaj a pivo.

Rostlinné polyfenoly lze využít i k činění kůží.[18,8]

2.2. Dělení polyfenolů

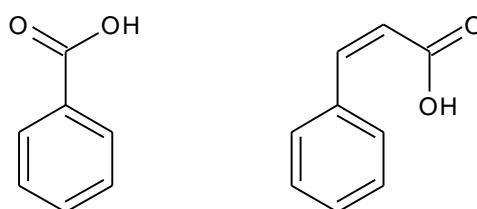
Na konci století 18. byly provedeny první pokusy o izolaci účinných látek z rostlin. Podle kvalitativních reakcí účinných látek bylo částečně možné orientačně stanovit jejich fenolový charakter. První pokusy o rozřídění fenolických látek, vycházely z botanické systematiky. Poté se začaly třídit podle svých společných vlastností, například podle reakcí s proteiny, dále dle fyziologických účinků, rozkladných produktů při zahřívání a kvalitativních chemických reakcí. S vývojem techniky bylo možno rozdělit fenolové sloučeniny podle jejich struktury. [2]

Dnes je známo více než 8000 druhů polyfenolových sloučenin. Nejjednodušší je rozdělení na nonflavonoidy a flavonoidy. Mezi nonflavonoidy řadíme stilbeny, taniny a lignany a fenolové kyseliny. [18]

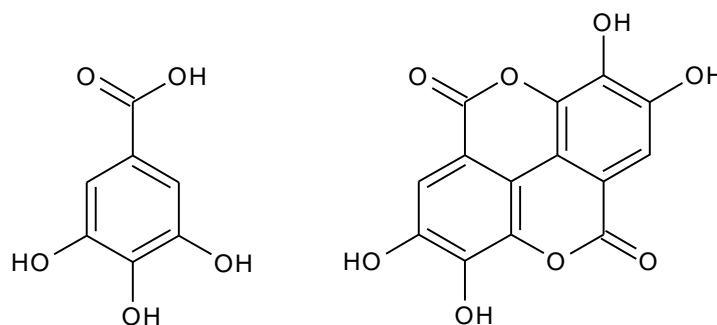
2.2.1 Fenolové kyseliny

Působí jako primární antioxidanty. Fenolové kyseliny jsou hydroxylové deriváty karboxylových aromatických kyselin. Vznikají z kyseliny benzoové či skořicové. Z kyseliny skořicové se vytváří kyselina kávová, p-kumarová, ferulová, chlorogenová. Deriváty kyseliny benzoové jsou kyselina gallová, ellagová a hydrolyzovatelné taniny.

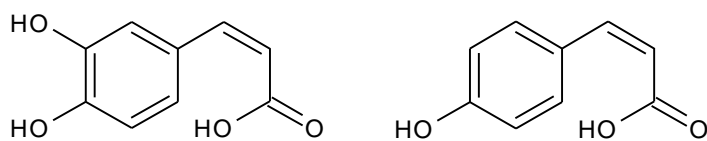
Zdrojem kyseliny gallové jsou především víno a čaj. Kyselina ellagová se nachází v jahodách a malinách. V potravě jsou zastoupeny pouze v malém množství. Více než deriváty benzoové kyseliny se v potravě vyskytují deriváty kyseliny skořicové. Kyselinu ferulovou nalezneme především v obilovinách. Kyselinu kávovou a její ester kyselinu chlorogenovou obsahuje káva, kyselina chlorogenová je navíc ještě v ovoci a zelenině. Antioxidační aktivita těchto látek závisí na počtu hydroxylových skupin, které jsou vázány k aromatickému jádru. [14]



Obr. č. 1 Kyselina benzoová a kyselina skořicová (zleva) [14]



Obr. č. 2 Kyselina gallová a ellagová (zleva) deriváty kyseliny benzoové [14]



Obr. č. 3 **Kyselina kávová a p-kumarová** (zleva) deriváty kyseliny skořicové [14]

2.2.2 Stilbeny

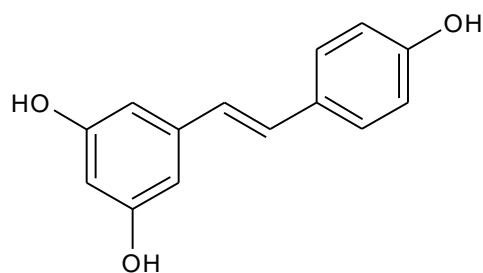
Stilbeny se v rostlině vyskytují především v kořenech a ve dřevě. Jedná se o látky příbuzné flavonoidům. Řadí se mezi fytoalexiny, což je označení pro rostlinné obranné látky. Jejich syntéza je aktivována po průniku patogenu do rostlinného organismu. Nejznámějším reprezentantem skupiny je resveratrol čili 3,4',5- trihydroxystilben.

Resveratrol byl prokázán ve více než 72 druzích rostlin. Poprvé se tento stilben podařilo izolovat z kýchavice velkokvěté. Nejbohatším zdrojem resveratrolu jsou červené hrozny. Litr červeného vína obsahuje kolem 2-6 mg resveratrolu. V bílém víně je jeho koncentrace menší, jen kolem 0,2-0,8 mg/dm³. Dalšími významnými zdroji této látky jsou zejména červené zelí, červená řepa a brokolice.

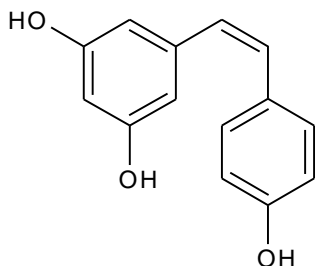
3,4',5- trihydroxystilben existuje ve dvou geometrických isomerech. V rostlinách se objevují oba isomery, avšak obvykle trans-isomer převažuje nad cis-isomerem. Tento stilben můžeme zařadit mezi fytoalexiny.

Fytoalexiny jsou rostlinné sekundární metabolity, jež se začínají vytvářet po napadení rostliny viry, bakteriemi a houbami či po mechanickém poškození rostliny.

V dnešní době se na trhu vyskytuje řada preparátů, které obsahují buď čistý 3,4',5- trihydroxystilben, nebo směs polyfenolických látek izolovaných z vinných hroznů, které jsou často obohaceny extraktem hroznových jader. Tyto přípravky slibují antimutagenní, antioxidační a protizánětlivé účinky.[1,2,10]



Obr. č. 4 **Struktura trans-resveratrolu** [10]



Obr. č. 5 **Struktura cis-resveratrolu**[10]

2.2.3 Lignany

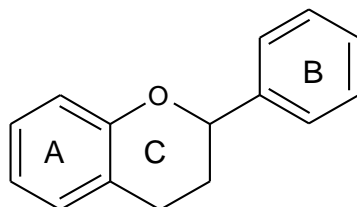
Lignany se definují jako dimery, které vznikají oxidativní dimerizací dvou fenylpropanových jednotek. Tyto jednotky jsou propojené centrálními uhlíky obou postranních řetězců. Je známo přes 200 druhů lignanů. Nachází se ve všech částech rostlin, nejvíce koncentrované jsou v kůře, dřevě a pryskyřici. Významným zdrojem je lněný olej. Funkce lignanů v rostlině zatím není zcela prokázána, předpokládá se, že rostlině zajišťuje ochranu před cizorodými látkami.

Lignany se však nevyskytují jen u rostlin. Prokázala se jejich přítomnost i v moči a krvi člověka i ostatních savců. Vznikají ve střevech přeměnou rostlinných lignanů. V organismu člověka pravděpodobně působí jako fytoestrogeny. S největší pravděpodobností působí preventivně proti nádorovým onemocněním.

Lignany se v medicíně využívají jako cytostatika a antivirotika. Vykazují i aktivitu vůči viru HIV. Jejich konzumace vede také ke snížení LDL cholesterolu.[8,12,13]

2.2.4 Flavonoidy

Nejvýznamnější skupinou polyfenolů jsou flavonoidy. Struktura flavonoidů je tvořena dvěma substituovanými benzenovými kruhy a jedním pyranovým kruhem. [4]



Obr. č. 6 Flavonoidní skelet [4]

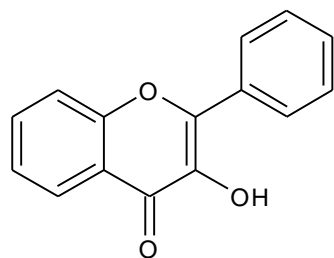
Flavonoidy se nacházejí v listech, květech a plodech rostlin. V přírodě se vyskytují především jako flavonoidní glykosidy, vážou se na různé cukry, nejčastěji na rhamnosu či glukosu. Přítomností cukrů a hydroxylových skupin se zvyšuje rozpustnost flavonoidů ve vodě. Oproti tomu methylové a jiné skupiny navázané na aromatickém jádře jejich rozpustnost ve vodě snižují. Obecně však platí, že aby sloučenina lépe procházela přes lipidovou membránu buňky, musí být co nejvíce lipofilní.

Všechny flavonoidy, též zvané bioflavonoidy, fungují v lidském těle jako antioxidanty. Antioxidanty jsou pro organismus důležité, protože chrání tkáň lidského těla před jejich oxidačním poškozením vlivem volných radikálů. Volné radikály napadají především proteiny, nukleové kyseliny a lipidy v lidském těle a způsobují tak řadu nemocí.

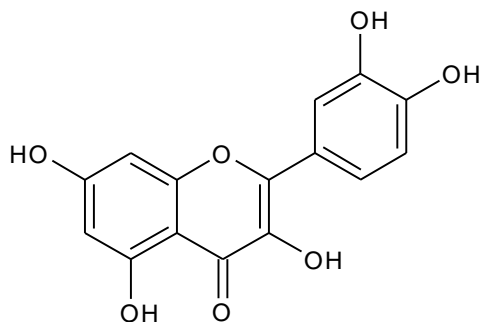
Flavonoidní sloučeniny dělíme na flavonoly, flavony, flavanony, anthokyanidiny, isoflavony a flavan-3-oly. [4]

2.2.4.1 Flavonoly

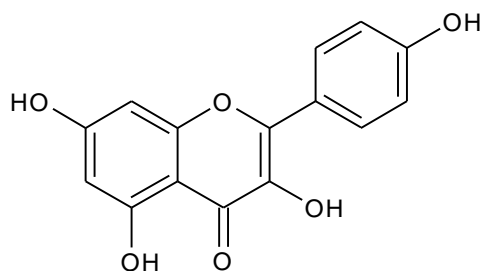
V přírodě jsou ze všech skupin flavonoidů rozšířeny nejvíce. Zdrojem flavonolů je cibule červená i žlutá, rajčata, brokolice, chmel, špenát a jablka. Mezi flavonoly patří například kvercetin, isorhamnetin, kaempferol a myricetin. [4,24]



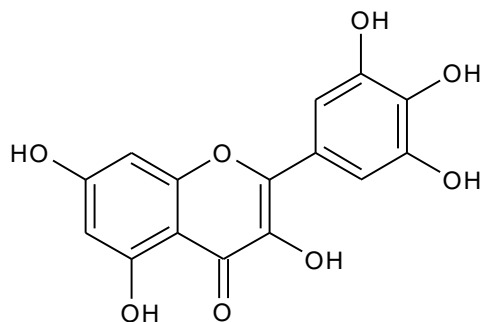
Obr. č. 7 **Základní struktura flavonolů**[4]



Obr. č. 8 **Struktura kvercetinu** [4]



Obr. č. 9 **Struktura kaempferolu** [4]

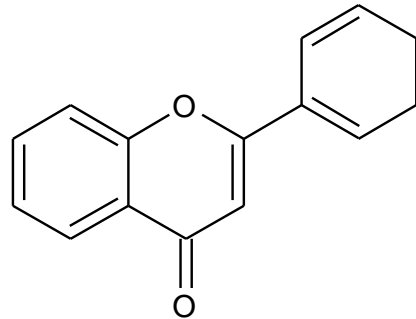


Obr. č. 10 **Struktura myricetinu** [4]

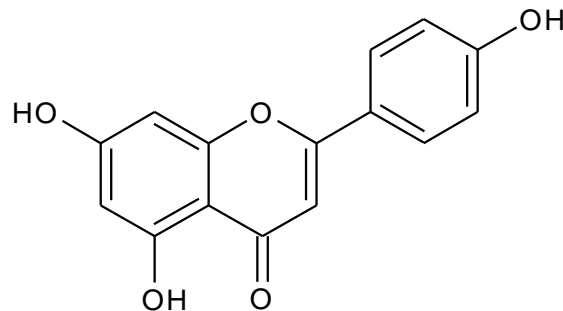
2.2.4.2 Flavony

Tato skupina flavonoidů není v přírodě příliš rozšířena. Nejčastěji se nachází v citrusových plodech, celeru a petrželi. Jedná se o žlutě zbarvené látky,

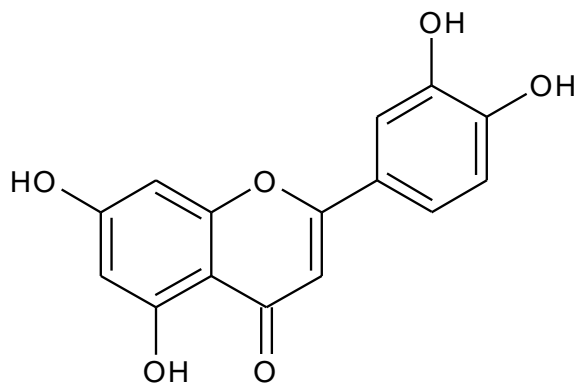
které jsou buď bez chuti, nebo jsou nahořklé. Příkladem flavonů může být apigenin a luteolin, nacházející se v celeru a petrželi. Citrusové plody obsahují například flavon nobiletin. Ze struktury je patrné, že se flavony od flavonolů liší tím, že na pyranovém kruhu nemají navázanou hydroxylovou skupinu. [4,24,25]



Obr. č. 11 **Základní struktura flavonů** [4]



Obr. č. 12 **Struktura apigeninu** [4]

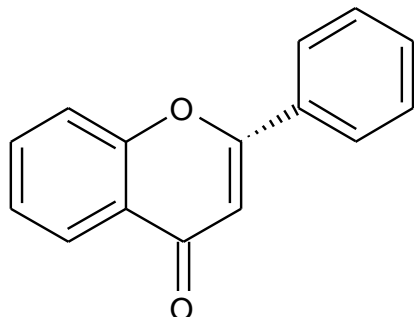


Obr. č. 13 **Struktura luteolinu** [4]

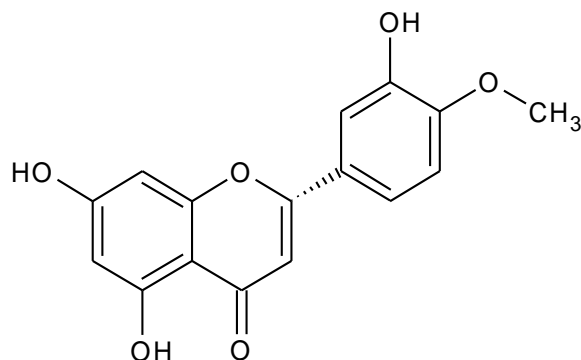
2.2.4.3 Flavanony

Jsou obsaženy v citrusových plodech. Bylo prokázáno, že šťáva z pomeranče příznivě působí na kardiovaskulární choroby i na některá nádorová onemocnění. Nejvýznamnějším flavanonem je hesperetin. Hesperetin má ve své

molekule nejen hydroxylové skupiny, ale navíc obsahuje ještě jednu skupinu methylovou. Přítomnost methylové skupiny snižuje rozpustnost ve vodě, proto by hesperidin měl lipidovou membránou buňky procházet lépe než předešlé flavonoidy. [4,24]



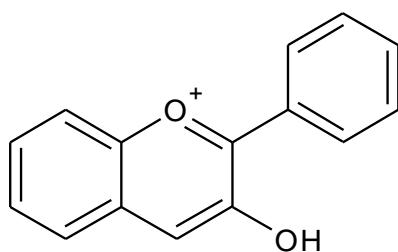
Obr. č. 14 **Základní struktura flavanonů** [4]



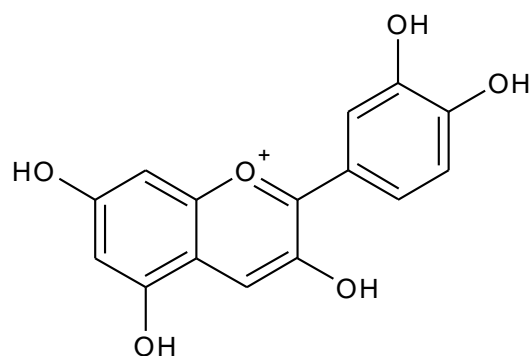
Obr. č. 15 **Struktura hesperetinu** [4]

2.2.4.4 Anthokyanidiny

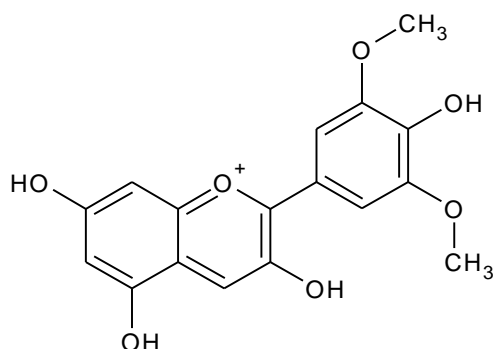
Tyto látky jsou zodpovědné za zbarvení květů plodů rostlin červenou, fialovou a modrou barvou. Vyskytují se především vázané na cukry. Pokud anthokyanidiny vytvoří vazbu se sacharidy, označují se poté jako anthokyaniny. Anthokyanidiny jsou například kyanidin, malvidin a pelargonidin. Zdrojem kyanidinu mohou být růže, červené zelí nebo třešně. Malvidin se nachází v prvosence jarní a pelargonidin v pelargoniích. [4,6,11,24]



Obr. č. 16 **Základní struktura anthokyanidinů** [4]



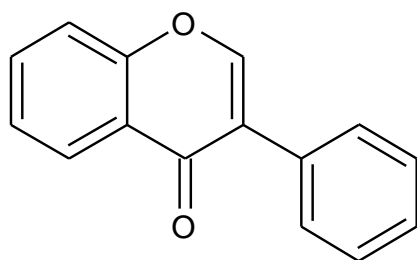
Obr. č. 17 **Struktura kyanidinu** [4]



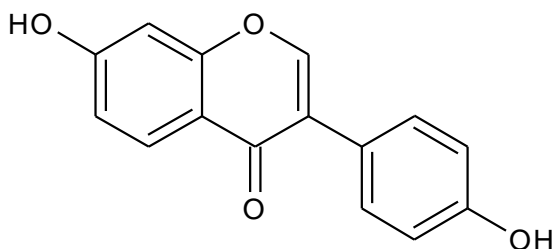
Obr. č. 18 **Struktura malvidinu** [4]

2.2.4.5 Isoflavony

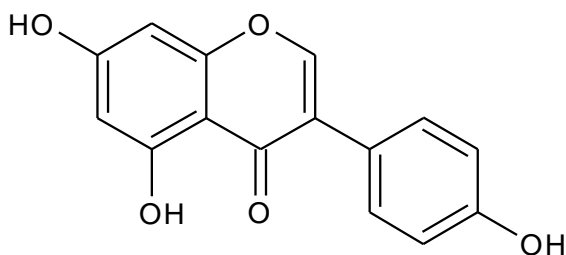
Isoflavony se od ostatních flavonoidů odlišují svou strukturou. Vazba benzenového jádra kruhu B se u isoflavonů nachází v pozici 3 na heterocyklickém kruhu, zatímco u ostatních flavonoidů se benzenové jádro váže k heterocyklickému systému v pozici 2. Isoflavony jsou polohové izomery flavonů, které se v přírodě vyskytují ve větší míře. Tato skupina flavonoidů je zastoupena především v rostlinných čeledích Fabaceae (bobovité) a Viciaceae (vikvovité), nejvíce jich bylo prokázáno v sóji. Isoflavony jsou důležité, protože napodobují steroidní hormon estradiol. Studie prokázaly příznivý vliv těchto fytoestrogenů v prevenci nádorových onemocnění prostaty a prsu, srdečních onemocnění a také v prevenci osteoporosy. Nejznámějšími isoflavony jsou daidzein a genistein. [4,11]



Obr. č. 19 **Základní struktura isoflavonoidů** [4]



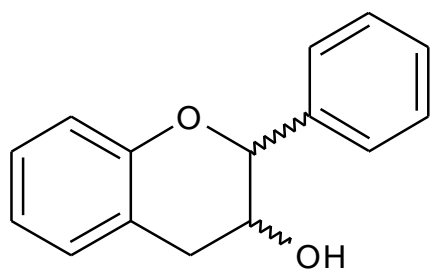
Obr. č. 20 **Struktura daidzeinu** [4]



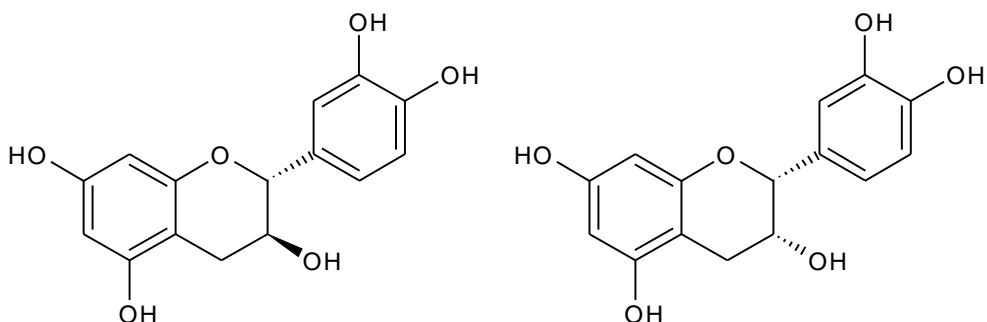
Obr. č. 21 **Struktura genisteinu** [4]

2.2.4.6 Flavan-3-oly

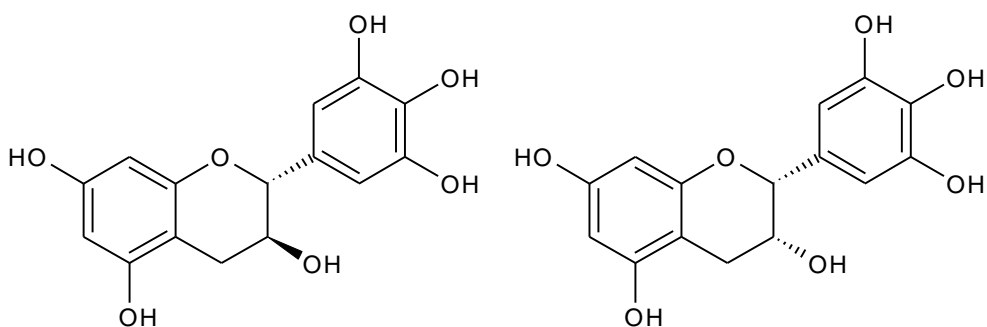
Tyto sloučeniny se ve vysokém množství nacházejí v zeleném čaji, který není fermentovaný. Fermentací čaje se obsah flavan-3-olů snižuje až o 90%. Nejznámější zástupci této skupiny jsou katechin a jeho isomer epikatechin. Epikatechin a katechin obsahují dvě centra chiralit na C₂ a C₃, z čehož vyplývá, že mohou existovat čtyři isomery. Tyto isomery mohou být na kruhu B hydroxylovány a vytvářet gallokatechiny. Esterifikací kyselinou gallovou vznikají epigallokatechin, gallokatechin. [4,24]



Obr. č. 22 **Základní struktura flavan-3-olů** [4]



Obr. č. 23 **(+)-katechin a (-)-epikatechin** (zleva), více obvyklé formy v přírodě [4]



Obr. č. 24 **(+)-gallokatechin a (-)-epigallokatechin** (zleva) [4]

2.2.5 Taniny

Taniny se vyskytují v kůře stromů, především v kůře dubů, rovněž tak se nachází v ovoci. Jsou hlavní příčinou svíravé chuti, protože taniny reagují s bílkovinami slin a sliznic ústní dutiny včetně jazyka a precipitují je. Tato reakce má za následek to, že proteiny slin denaturují, ztrácí svou ochrannou funkci a tak dochází k interakci taninů s bílkovinami dutiny ústní.

Taniny rozlišujeme do dvou skupin na hydrolyzovatelné a kondenzované. Hydrolyzovatelné trísloviny jsou tvořeny polymery kyseliny gallové, popřípadě

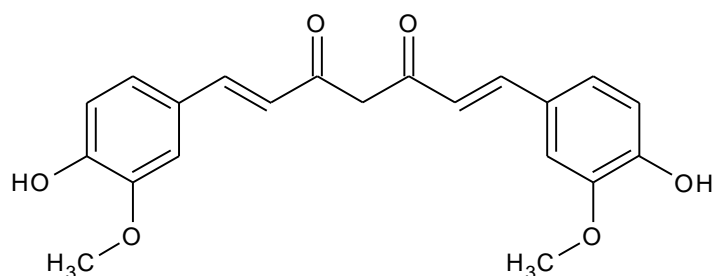
kyseliny ellagové, která se pomocí esterových vazeb poutá na D- glukosu, méně často se váže k jiným sacharidům.

Kondenzované třísloviny jsou polymerní sloučeniny 3- hydroxyflavanu. Tato skupina se též nazývá flavolany, které se řadí mezi flavonoidy.

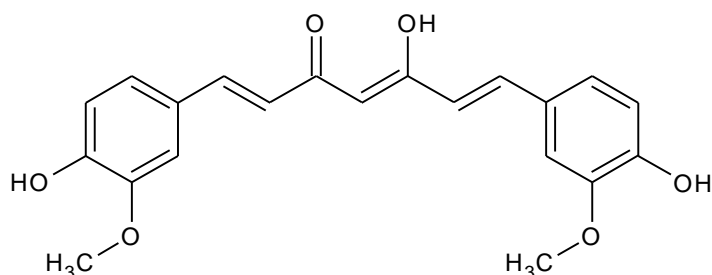
Taniny značně ovlivňují chuť potravin. U kávy a čaje je žádoucí přiměřená trpkost. Tuto vlastnost však můžeme odstranit přidáním mléka, protože třísloviny zreagují s bílkovinami obsaženými v mléce. U nápojů, jakými jsou pivo a víno jsou třísloviny na obtíž z toho důvodu, že při reakci s proteiny tvoří zákal. Proto se před výrobou nápojů taniny odstraňují pomocí různých aditivních látek. Mezi aditivní látky patří například želatina či polyamidy. [1,15]

2.2.6 Kurkumin

Kurkumin je žluté barvivo, které se nachází v oddencích zázvorovitých rostlin, především v kurkumovníku dlouhém (*Curcuma longa*). Kurkuma je běžně používané koření, především je složkou kari koření. Kurkumin se v potravinářství označuje jako E 100 či jako přírodní žluť 3. Z chemického hlediska se jedná o 1,7-bis (4-hydroxy-3-methoxyfenol)-1,6-heptadien-3,5-dion. V lékařství se využívá především pro jeho protizánětlivé účinky. Uplatňuje se i v prevenci aterosklerosy, protože je schopen předcházet peroxidaci tuků. Snižuje hladinu krevního cukru, a proto se zkoumají jeho účinky v léčbě diabetu. Další možné využití kurkuminu se jeví i při respiračních a pankreatických chorobách, při onemocnění žaludku a jater. V posledních letech se zkoumá i jeho působení v potlačování projevů Alzheimerovy a Parkinsonovy choroby. Též vykazuje antikarcerogenní účinky, protože vyvolává apoptózu, neboli zánik, nádorových buněk. Především se jedná o buňky rakoviny plic, prsu, prostaty a kůže.[19,26]



Obr. č. 25 **Struktura kurkuminu, keto-forma** [19]



Obr. č. 26 **Struktura kurkuminu, enol-forma** [19]

2.3 Antioxidační aktivita flavonoidů

Antioxidanty jsou látky, které z těla odstraňují volné radikály. Volné radikály vznikají při metabolických pochodech v organismu. Jedná se o různé formy reaktivního kyslíku a dusíku, jež vznikají především v mitochondriích v dýchacím řetězci. Mají značný fyziologický i patogenní vliv na organismus. Volné radikály v organismu reagují s řadou vysokomolekulárních i nízkomolekulárních látek a proto jsou významnými zprostředkovateli přenosu energie, zajišťují imunitní ochranu a buněčnou regulaci. Mohou však působit i jako toxické látky, které mohou organismus poškodit či ho dokonce usmrtit.

Antioxidační ochrana organismu je založena na třech možných postupech. První a také tou nejvíce bezpečnou možností je zabránění tvorby nadměrného množství všech reaktivních forem dusíku a kyslíku. Tento způsob spočívá v regulaci enzymové aktivity, které tyto reaktivní formy vytvářejí. Další možnost je založena na záchytu a následném odstranění již vytvořených radikálů. Posledním typem ochrany jsou takzvané reparační mechanismy poškozených biomolekul. Jedná se o fosfolipasy, enzymy odstraňující z fosfolipidů poškozené mastné kyseliny, a ostatní enzymy které mohou opravit poškozenou DNA nebo bílkoviny. Z tohoto plyne, že antioxidanty lze rozdělit do dvou skupin a to na enzymy a látky, které s volnými radikály vytváří stabilní a tím pádem i méně jedovaté sloučeniny.

Flavonoidy ovlivňují aktivitu některých enzymů podílejících se antioxidačním mechanismu. Inhibují metabolity z kyseliny arašidonové, které přispívají vzniku zánětů a také inhibují tvorbu superoxidového radikálu. Zneškodňují i radikály oxidu dusnatého, který je nebezpečný pro oxidační poškození tkání. Flavonoidy rovněž zabraňují oxidaci proteinů a lipidů. [3,4]

Tab. 1 **Přehled některých reaktivních forem dusíku a kyslíku** [3]

Reaktivní formy kyslíku a dusíku	
Hydroxylový radikál	HO·
Superoxidový radikál	O ₂ ·
Alkoxylový radikál	RO·
Peroxylový radikál	ROO·
Hydroperoxidový radikál	HO ₂ ·
Oxid dusičitý	NO ₂ ·
Peroxid vodíku	H ₂ O ₂
Kyselina chlorná	HOCl
Kyselina dusitá	HNO ₂
Oxid dusitý	N ₂ O ₃

Z tabulky je patrné, že reaktivními formami dusíku a kyslíku nejsou jen volné radikály, ale patří mezi ně i molekuly, které volné radikály poskytují. [3]

2.4 Účinky polyfenolů při kardiovaskulárních chorobách

Polyfenoly, popřípadě jiné antioxidanty, zabraňují lipidové peroxidaci, způsobené volnými radikály. To znamená, že omezují oxidační poškození LDL částic a tím brání jejich přeměně na pěnové buňky a ateromastosní pláty v cévních stěnách. Snižují tak riziko vzniku aterosklerozy a srdečně-cévních chorob.

Polyfenolické sloučeniny také pozitivně ovlivňují průtok krve a vasorelaxaci, čímž pomáhají zabraňovat aterosklerose a tím snižují výskyt hypertenze, ischemických chorob srdečních a infarktu myokardu. Mají příznivý vliv na snížení obsahu cholesterolu a triacylglycerolů v krevní plasmě. [3,4]

2.5 Účinky polyfenolů při zhoubných nádorech

Studie prokázaly příznivé působení při prevenci a léčbě různých typů nádorových onemocnění. Jejich protinádorový vliv spočívá především v tom, že jsou schopny potlačit růst karcinogenních buněk, případně mohou vyvolat jejich apoptózu. Tento fakt je však závislý na koncentraci polyfenolů v organismu a době jejich působení. [4]

2.5.1 Nádory prostaty

Karcinom prostaty je ve většině případů závislý na hormonálním působení. Hlavní roli při vzniku nádorů hrají androgeny. U populace mužů, kteří mají nižší množství androgenů v organismu, se vyskytuje menší riziko vzniku karcinomu.

Bylo prokázáno, že konzumování sojových výrobků snižuje riziko vzniku nádoru prostaty. Soja obsahuje fytoestrogeny, především genistein a daidzen, patřící do skupiny iso flavonů. Důkazem může být skutečnost, že karcinomy prostaty se objevují méně často u mužů z asijských zemí, v jejichž stravě se sójové výrobky vyskytují ve vyšší míře. Denní příjem iso flavonů se v asijské populaci udává v miligramech, oproti tomu v západní populaci se jejich denní příjem pohybuje pouze v mikrogramech. Dalšími podpůrnými látkami jsou polyfenoly ze zeleného čaje. [4]

2.5.2 Nádory prsu

U tohoto typu nádorů se uplatňují estrogeny. Na prevenci karcinomu prsu se rovněž jako u karcinomu prostaty podílejí fytoestrogeny. Jedná se o lignany a flavony přijímané ve vyšších koncentracích v potravě. Svou úlohu zde mají také iso flavony, které vykazují příznivý vliv na snížení rizika vzniku karcinomu prsu. Výskyt prsních nádorů je v asijské populaci asi o třetinu nižší než v ostatních populacích. Byl zkoumán i účinek resveratrolu. Zjistilo se, že tento stilben zabraňuje životaschopnosti těchto nádorových buněk. Předpokládá se, že resveratrol s největší pravděpodobností snižuje bujení nádorových buněk, ovlivněním některé části buněčného cyklu. [4]

2.5.3 Nádory tlustého střeva a konečníku

Tato nádorová onemocnění se vyskytují u lidí, v jejichž stravě převládají masné výrobky, tučná jídla a příjem potravy bohaté na vlákninu je minimální. Doporučuje se do jídelníčku zahrnout zeleninu, vitamíny A, C a E, kyselinu listovou, selen a ovoce, které je bohaté na flavonoidy.

Ochranný efekt na vznik těchto nádorových onemocnění má především konzumace sóje a zeleného čaje, který je bohatý na katechiny. [4]

2.5.4 Leukémie

Flavonoidy mají funkci i v tomto onemocnění. Uplatnění zde nachází kaempferol, luteolin a kvercetin. Největší význam má rostlina Sophora subprostrata běžně používaná v čínské medicíně, jejíž kořen obsahuje flavonoid sophoranon, který je schopen způsobit apoptózu leukemických buněk. Apoptóza buněk vyvolaných tímto flavonoidem je mnohem silnější než v případech, kdy byly aplikovány ostatní flavonoidní sloučeniny. [4]

2.6 Účinky polyfenolů při neurodegenerativních chorobách

Neurodegenerativní choroby jsou spojovány se vzrůstajícím oxidačním stresem. To znamená, že v organismu dochází k nárůstu koncentrace volných radikálů a k poklesu aktivity antioxidačních enzymů. Oxidačnímu stresu zabraňují různé polyfenoly, mající hydrofobní povahu. Hydrofobní povaha těchto látek napomáhá lepšímu průniku do cytoplasmy buňky, ve které se nacházejí volné radikály.

Podpurný vliv na Alzheimerovu chorobu měly polyfenolické sloučeniny ze šalvěje. Využívá se také kurkuminu, jako dalšího podpurného prostředku. Epidemiologické studie našly i nepřímé pouto mezi výskytem Alzheimerovy choroby a konzumací červeného vína v množství 3-5 dcl denně. Červené víno obsahuje značné množství resveratrolu a flavonoidů, které vykazují značnou antioxidační aktivitu.

Pro zmírnění příznaků Parkinsonovy choroby lze využít kurkuminu, resveratrolu či kvercetin.

Polyfenoly borůvek, jahod a brusinek vykazují zlepšení paměti. Polyfenolické látky hroznů dokážou potlačit poškození neuronů, které je vyvolané ethanolem. Na neurodegenerativní choroby působí také jinan dvoulaločný (Ginkgo biloba), který snižuje peroxidaci lipidů, zlepšuje krevní tok v mozku a celkovou mozkovou funkci. Rovněž zabraňuje buněčné smrti, zapříčiněné oxidačním stresem. Žen-Šen podporuje paměť a snižuje poškození neuronů při mozkové ischemii. [4]

2.7 Polyfenoly a diabetes mellitus 2. typu

Význam polyfenolů při diabetu mellitu spočívá v tom, že dokážou zpomalit resorpci sacharidů v tenkém střevě, protože inhibují trávicí enzymy. Z polyfenolických sloučenin jsou důležité zejména anthokyaniny, které jsou schopny stimulovat sekreci insulinu v β -buňkách slinivky břišní, a tím snížit hladinu glukosy v krvi. [7]

3 Praktická část

Tato část práce se zabývá spektrofotometrickým stanovením celkových polyfenolů a flavonoidů v běžně konzumovaných potravinách rostlinného původu. Na obsahu polyfenolických sloučenin v potravinách se však podílí řada faktorů, jakými jsou například odrůda a země původu. Z tohoto důvodu množství polyfenolů a flavonoidů v ovoci a zelenině velmi kolísá, leckdy o více než jeden řád.

3.1 Spektrofotometrie

Spektrofotometrie patří mezi optické metody analytické chemie. Využívá se ke stanovení látek, které absorbují elektromagnetické záření ultrafialové a viditelné oblasti spektra. Touto metodou lze stanovit jak kapalné tak i plynné vzorky. K vyhodnocení koncentrace stanovované látky se využívá Lambertova-Beerova zákona. Lambertův-Beerův zákon má tvar $A = \epsilon_{\lambda} \cdot c \cdot d$, kde A představuje absorbanci, ϵ_{λ} absorbanční koeficient stanovované látky závislý na vlnové délce, při kterém se látka stanovuje, c je koncentrace měřené látky a d představuje délku měřené vrstvy. Ze zákona vyplývá, že koncentrace měřené látky je přímoúměrná naměřené absorbanci. [5]

3.2 Příprava extraktu pro analýzu

Ovoce a zeleninu je potřeba nejprve očistit a zbavit nejedlých částí (pecky, slupky brambor, apod.). Z takto upravených potravin se naváží 20 g, ke kterým se přidá 80 ml extračního činidla a směs se zhomogenizuje. Extračním činidlem je směs ethanolu a vody v poměru 1:1, k homogenizaci směsi lze využít ponorného mixéru. Víno, čaj a ostatní tekuté vzorky se také připravují s extračním činidlem v poměru 2:8. Takto připravené směsi se přefiltrují a dále zpracovávají. [17]

3.3 Stanovení celkového obsahu polyfenolů

Analýza obsahu polyfenolických látek je založena na reakci vzorku s Folin-Ciocalteuovým činidlem. Tato reakce se projeví v zásaditém prostředí modrým zabarvením, které lze sledovat spektrofotometricky. Standardem pro toto měření je roztok kyseliny gallové, připravený rozpuštěním 10 mg kyseliny ve 20 ml destilované vody.

Postup práce byl následovný. Do zkumavky bylo pipetováno 50 μ l extraktu vzorku, 1 ml naředěného Folin-Ciocalteuova činidla (1:9) a 1 ml destilované vody. Obsah zkumavky byl promíchán. Po 5 minutách se ke směsi přidal 1 ml nasyceného roztoku uhličitanu sodného a obsah zkumavky se promíchal. Po 15 minutách bylo možno provést spektrofotometrické stanovení při 750 nm proti slepému vzorku. Slepý vzorek byl připraven stejným způsobem jako extrakt vzorku, s tím rozdílem, že neobsahoval extrakt. Standard pro měření byl připraven rovněž tak, akorát místo 50 μ l extraktu bylo do zkumavky pipetováno 50 μ l roztoku kyseliny gallové. [17]

3.4 Výsledky měření

Absorbance vzorků byla stanovena dvakrát. Množství polyfenolů v dané potravíně je uvedeno většinou v mg na 100 g potraviny, protože takto se uvádějí nutriční hodnoty všech potravin.

Naměřená absorbance standardu byla 0,573 a 0,574, jejich průměr činí 0,5735. Tato absorbance odpovídá 0,025 mg kyseliny gallové v 50 μ l standardu. Pro přepočítání množství polyfenolů ve zkoumaných potravinách bylo využito přímé úměry, jelikož absorbance je přímoúměrná koncentraci látek.

Výpočet:

Absorbance standardu 0,025 mg polyfenolů

Absorbance vzorku x mg polyfenolů

Z této závislosti byl sestaven obecný vzorec, kde A_{vz} představuje absorbanci vzorku a x odpovídá množství polyfenolů.

$$x = \frac{A_{vz} * 0,025}{0,5735}$$

Zjištěné množství polyfenolů z tohoto vzorku však odpovídá 0,01 g vzorku. Množství polyfenolů v 0,01 g potraviny bylo poté přepočítáno na obsah polyfenolů ve 100 g potraviny. Rovněž bylo využito přímé úměrnosti.

Výpočet:

0,01 g vzorku x mg polyfenolů

100 g vzorku y mg polyfenolů

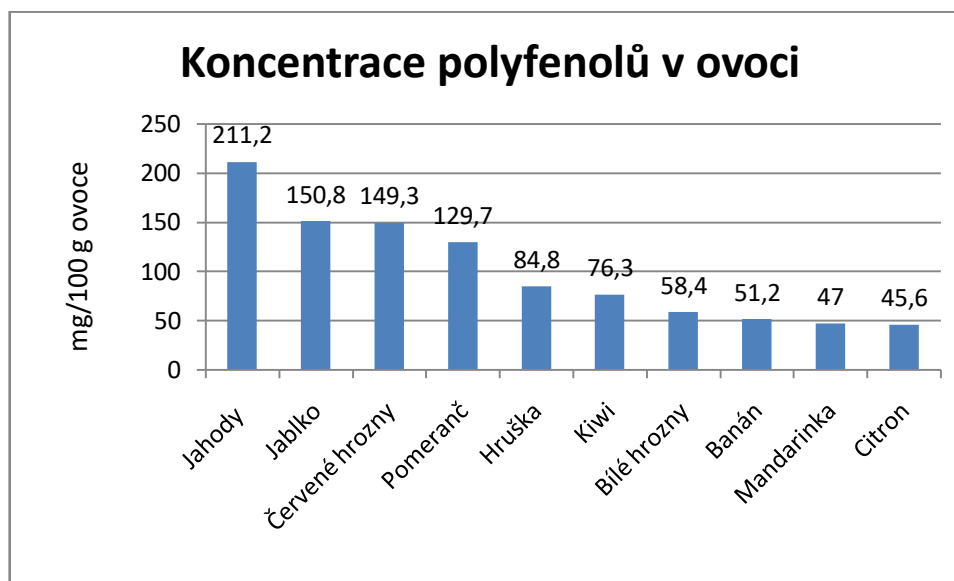
$$y = \frac{x * 100}{0,01}$$

3.4.1 Koncentrace polyfenolů v ovoci

Tab. 2 Naměřené absorbance a koncentrace polyfenolů v ovoci

Druh ovoce	Absorbance 1. měření	Absorbance 2. měření	Průměr měření	Koncentrace polyfenolů [mg/100g ovoce]
Jablko	0,345	0,347	0,346	150,8
Banán	0,117	0,118	0,1175	51,2
Mandarinka	0,107	0,108	0,1075	47
Bílé hrozny	0,134	0,134	0,134	58,4
Červené hrozny	0,342	0,343	0,3425	149,3
Hruška	0,194	0,195	0,1945	84,8
Kiwi	0,175	0,175	0,175	76,3
Pomeranč	0,297	0,298	0,2975	129,7
Citron	0,104	0,105	0,1045	45,6
Jahody	0,484	0,485	0,4845	211,2

Graf 1 Koncentrace polyfenolů v ovoci



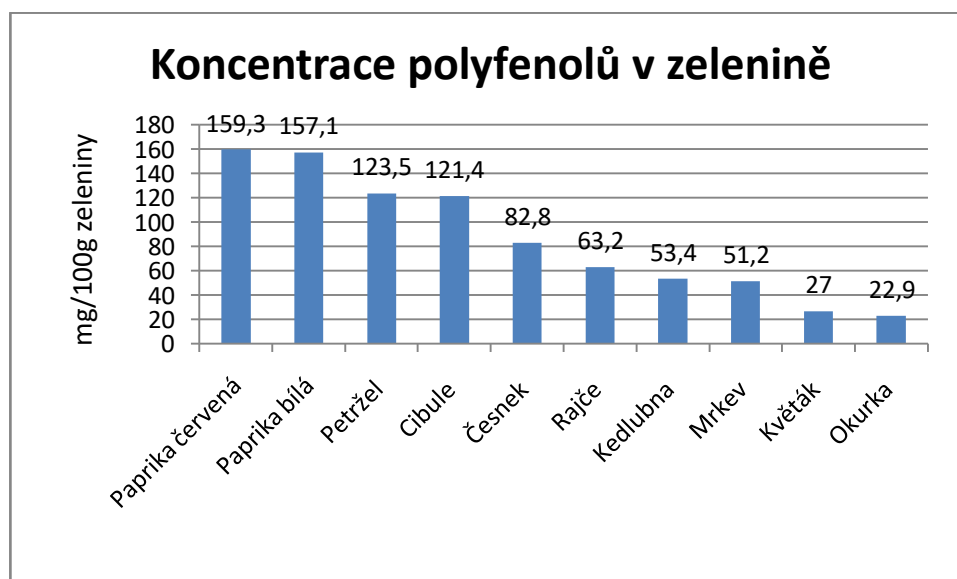
Nejvyšší koncentrace polyfenolů byla naměřena u jahod, kde množství polyfenolů činilo 211,2 mg na 100 g ovoce. Jablka a červené hrozny obsahovaly kolem 150 mg polyfenolů na 100 g ovoce. Významný podíl těchto sloučenin se nachází rovněž v pomeranči. Nejméně polyfenolů obsahují citrony a mandarinky. Bílé hrozny v porovnání s červenými obsahují o třetinu polyfenolů méně. Tento rozdíl bude zapříčiněn tím, že červené hrozny obsahují navíc anthokyaniny.

3.4.2 Koncentrace polyfenolů v zelenině

Tab. 3 Koncentrace polyfenolů v zelenině

Druh zeleniny	Absorbance 1. měření	Absorbance 2. měření	Průměr měření	Koncentrace polyfenolů [mg/100 g zeleniny]
Paprika červená	0,366	0,363	0,3645	159,3
Paprika bílá	0,360	0,361	0,3605	157,1
Rajče	0,146	0,144	0,145	63,2
Mrkev	0,117	0,118	0,1175	51,2
Okurka	0,052	0,053	0,0525	22,9
Cibule	0,278	0,279	0,2785	121,4
Česnek	0,189	0,191	0,190	82,8
Kedlubna	0,122	0,123	0,1225	53,4
Květák	0,062	0,062	0,062	27
Petržel	0,283	0,284	0,2835	123,5

Graf 2 Koncentrace polyfenolů v zelenině



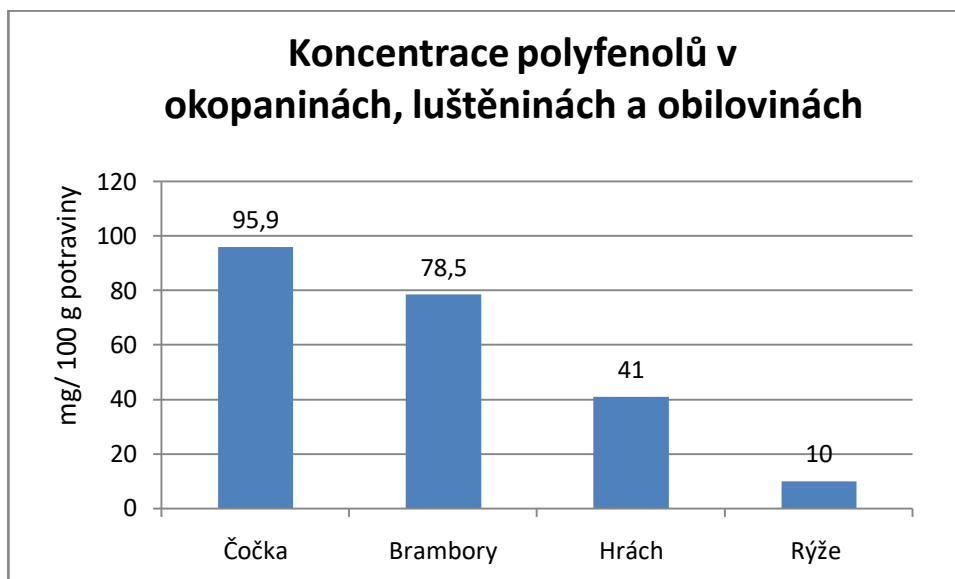
Obsah polyfenolů v bílé a červené paprice se velmi nelišil. U obou druhů se zjištěné množství pohybovalo kolem 160 mg. Z kořenové zeleniny je na koncentraci polyfenolických látek bohatší petržel, naměřená hodnota činila 123,5 mg. U mrkve byla tato hodnota pouze 51,2 mg. Nejnižší množství polyfenolů bylo zjištěno v okurce a kvěťáku.

3.4.3 Koncentrace polyfenolů v obilovinách, okopaninách a luštěninách

Tab. 4 Koncentrace polyfenolů v obilovinách, okopaninách a luštěninách

Vzorek	Absorbance 1. měření	Absorbance 2. měření	Průměr měření	Koncentrace polyfenolů [mg/100 g vzorku]
Rýže	0,180	0,180	0,180	10
Brambory	0,023	0,023	0,023	78,5
Čočka	0,220	0,220	0,220	95,9
Hrách	0,094	0,094	0,094	41

Graf 3 Koncentrace polyfenolů v obilovinách, okopaninách a luštěninách



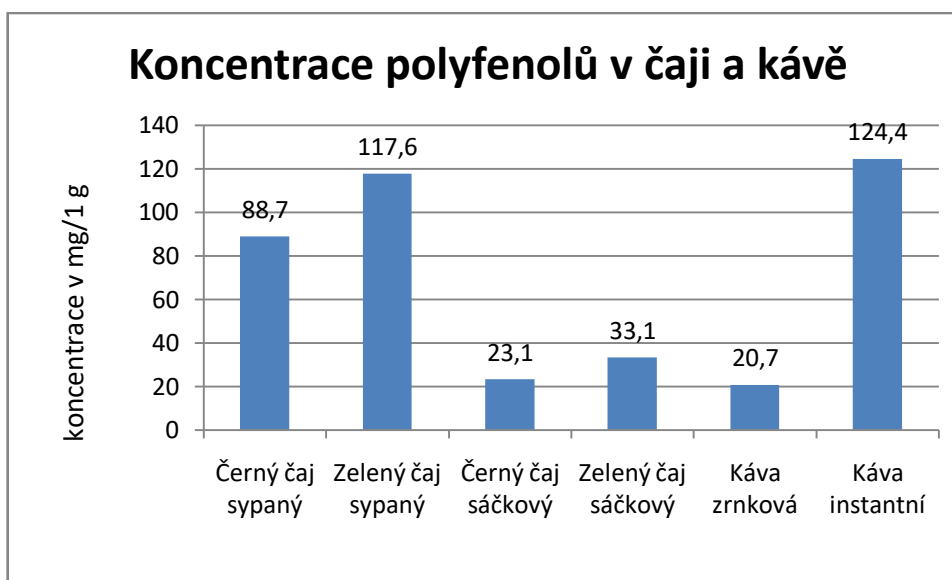
Nejvyšší podíl polyfenolů z těchto potravin obsahovala čočka. Minimální množství polyfenolů bylo zjištěno u rýže.

3.4.4 Koncentrace polyfenolů v čaji a kávě

Tab. 5 Koncentrace polyfenolů v čaji a kávě

Vzorek	Absorbance 1. měření	Absorbance 2. měření	Průměr měření	Koncentrace polyfenolů [mg/1g vzorku]
Černý čaj sypaný	0,203	0,204	0,2035	88,7
Zelený čaj sypaný	0,270	0,270	0,270	117,6
Černý čaj sáčekový	0,079	0,080	0,0795	23,1
Zelený čaj sáčekový	0,114	0,114	0,114	33,1
Káva zrnková	0,474	0,475	0,4745	20,7
Káva instantní	0,570	0,571	0,5705	124,4

Graf 4 Koncentrace polyfenolů v čaji a kávě



Extrakt z čaje a kávy byl připraven z 20 ml jejich nálevu. Nálev černého a zeleného čaje byl připraven z 1 g suchého podílu. Sáčekový čaj obsahuje 1,5 g čajové směsi. Nálev z instantní kávy byl připraven ze 2 g kávy. Zrnkové kávy bylo na přípravu nálevu použito 10 g. Všechny nálevy byly připraveny přidávkem 100 ml horké vody k suchému podílu.

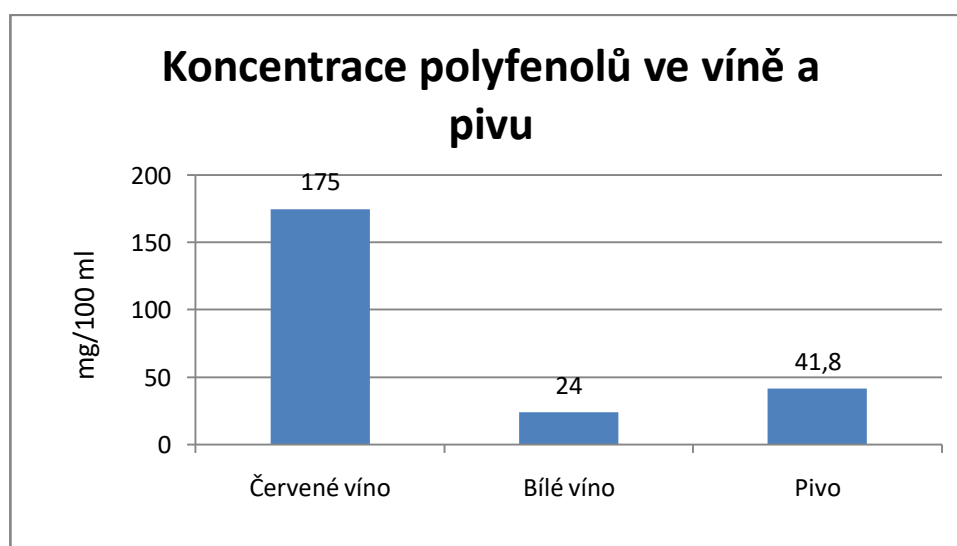
Největší obsah polyfenolů byl v nálevu z instantní kávy, oproti tomu bylo v zrnkové kávě zjištěno šestinásobně nižší množství těchto látek.

Koncentrace polyfenolů v čaji je vyšší v čaji zeleném než černém a to jak u sáčkové tak sypané formy. U sypaných čajů je množství polyfenolických látek mnohem vyšší než u čajů sáčkových.

Tab. 6 **Koncentrace polyfenolů ve víně a pivu**

Vzorek	Absorbance 1. měření	Absorbance 2. měření	Průměr měření	Koncentrace polyfenolů [mg/100 ml vzorku]
Červené víno	0,402	0,402	0,402	175
Bílé víno	0,055	0,055	0,055	24
Pivo	0,096	0,096	0,096	41,8

Graf 5 **Koncentrace polyfenolů ve víně a pivu**



Vysoký podíl polyfenolů byl zjištěn také v červeném víně, které jich oproti vínu bílému obsahuje sedmkrát větší množství.

3.5 Příjem polyfenolů českou populací

Ke zjištění průměrného denního příjmu polyfenolů českou populací bylo využito statistické ročenky spotřeby potravin České republiky za rok 2015. Roční příjem byl přepočítán na denní příjem potravin a na množství polyfenolů v nich obsažených.

Tab. 7 **Příjem polyfenolů českou populací [27]**

Potravina	Roční příjem [kg (<i>I</i>)/os./r.]	Denní příjem [g (<i>ml</i>)/os./d.]	Denní příjem polyfenolů z potravin [mg]
Jablko	22,3	61,1	92,14
Červené hrozny	1,6	4,4	6,57
Pomeranč	8	21,9	28,40
Hruška	3,5	9,6	8,14
Kiwi	0,7	1,9	1,45
Bílé hrozny	1,6	4,4	2,57
Mandarinka	5,1	14	6,58
Banán	9,9	27,1	9,49
Paprika	5,6	15,3	24,20
Petržel	0,8	2,2	2,72
Cibule	10,1	27,7	33,63
Česnek	0,6	1,6	1,32
Brambory	66,3	181,6	142,56
Rajče	11,2	30,7	19,40
Kedlubna	2,2	6	3,20
Mrkev	6,7	18,4	9,42
Květák	2,6	7,1	1,92
Okurka	6,5	17,8	4,08
Rýže	6,5	17,8	1,78
Jahody	2,5	6,8	14,36
Čočka	0,7	1,9	1,82
Hrách	1,3	3,6	1,48
Citron	3	8,2	3,74
Zelený čaj sáčekový	0,05	0,14	4,63
Černý čaj sáčekový	0,05	0,14	3,23
Zelený čaj sypaný	0,05	0,14	16,46
Černý čaj sypaný	0,05	0,14	12,42
Káva instantní	1,9	5,2	646,88
Káva zrnková	1,9	5,2	106,6
Červené víno	9,5	26	45,5
Bílé víno	9,5	26	6,24
Pivo	146,6	401,6	167,87
Součet			1430,8

Ze zjištěných hodnot množství polyfenolů v potravinách bylo vypočítáno, že průměrný denní příjem těchto látek za rok 2015 činí přibližně 1430,8 mg. Příjem polyfenolů z potravy bude však ještě vyšší, jelikož nebylo zkoumáno jejich množství ve všech dostupných rostlinných potravinách. Nebylo také zjišťováno množství polyfenolických látek v ovocných nápojích, které jsou také běžnou součástí našeho jídelníčku.

Jednoznačně největším zdrojem polyfenolů v české populaci je instantní káva. Druhé místo ze zkoumaných potravin zaujímá pivo. Obsah polyfenolických látek v něm není sice nějak závažný, ale vzhledem k jeho vysoké spotřebě, která v České republice činí na osobu 146,6 litrů/rok, jej lze zařadit mezi významný zdroj polyfenolů.

Z ovoce jsou významná především jablka a pomeranče. Ze zeleniny jsou hlavními přispěvateli brambory, kterých se ročně zkonsumuje 66 kg na osobu.

3.6 Stanovení množství flavonoidů v potravinách

Tato část práce zkoumá jaké množství z polyfenolických látek ve stanovovaných potravinách zaujímají flavonoidy. Obsah flavonoidů v potravinách byl opět zjišťován pomocí spektrofotometrie.

Standardní roztok byl připraven rozpuštěním 10 mg epikatechinu ve 30 ml vody.

Do zkumavky bylo pipetováno 0,5 ml standardního roztoku epikatechinu, 1,5 ml vody a 0,2 ml 5% roztoku dusitanu sodného, obsah zkumavky byl promíchán a ponechán 5 minut v klidu. Po 5 minutách se do zkumavky pipetovalo 0,2 ml 10% roztoku chloridu hlinitého. Obsah zkumavky byl opět promíchán a po dalších 5 minutách se přidalo ještě 1,5 ml 1 M roztoku hydroxidu sodného a 1 ml vody. Po 15 minutách se takto připravený standard fotometroval proti slepému vzorku při 510 nm.

Slepý vzorek byl připraven stejným způsobem, jen s tím rozdílem, že místo standardního roztoku a vody byly do zkumavky pipetovány jen 2 ml vody.

Extrakt pro stanovení flavonoidů v potravinách byl připraven stejným způsobem jako extrakt pro stanovení polyfenolů. Pro stanovení obsahu flavonoidů bylo do zkumavky pipetováno 0,5 ml extraktu vzorku a 1,5 ml vody. Další postup byl stejný jako při přípravě standardního roztoku. [17]

Absorbance standardu byla při prvním měření 1, 018, při druhém stanovení byla naměřena stejná hodnota. Průměr měření absorbance je tudíž roven 1,018.

Při výpočtu obsahu flavonoidů byl postup stejný jako u výpočtu obsahu polyfenolů. Rozdíl byl však v tom, že naměřená absorbance odpovídala 0,17 mg epikatechinu v 0,5 ml standardu.

Výpočet:

Absorbance standardu 0,17 mg flavonoidů

Absorbance vzorku x mg flavonoidů

Z této závislosti byl sestrojen obecný vzorec, kde A_{vz} představuje absorbanci vzorku a x odpovídá množství flavonoidů.

$$x = \frac{A_{vz} * 0,17}{1,018}$$

Zjištěné množství flavonoidů z tohoto vzorce však odpovídá 0,1 g vzorku. Množství flavonoidů v 0,1 g potraviny bylo poté přepočítáno na obsah flavonoidů ve 100 g potraviny. Zde rovněž platila přímá úměrnost.

Výpočet:

0,1 g vzorku x mg polyfenolů

100 g vzorku y mg polyfenolů

$$y = \frac{x * 100}{0,1}$$

3.7 Výsledky měření

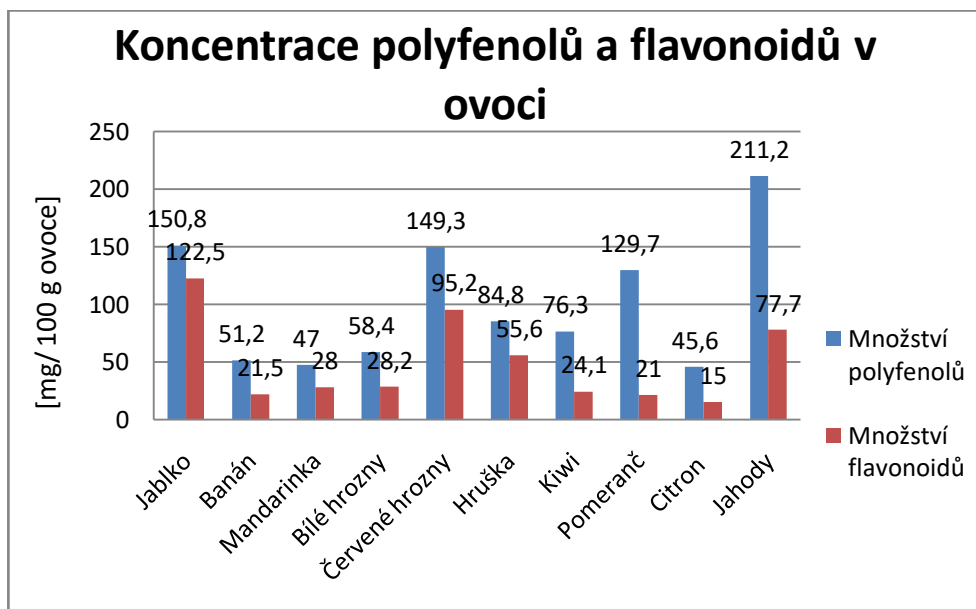
3.7.1 Koncentrace flavonoidů v ovoci

Tab. 8 **Koncentrace flavonoidů v ovoci**

Druh ovoce	Absorbance 1. měření	Absorbance 2. měření	Průměr měření	Koncentrace flavonoidů [mg/100g ovoce]
Jablko	0,735	0,733	0,734	122,5
Banán	0,129	0,128	0,1285	21,5
Mandarinka	0,168	0,167	0,1675	28
Bílé hrozny	0,196	0,195	0,1955	28,2
Červené hrozny	0,570	0,570	0,570	95,2
Hruška	0,333	0,333	0,333	55,6
Kiwi	0,145	0,144	0,1445	24,1
Pomeranč	0,126	0,125	0,1255	21

Citron	0,090	0,090	0,090	15
Jahody	0,466	0,464	0,465	77,7

Graf 6 Srovnání koncentrace celkových polyfenolů s obsahem flavonoidů v ovoci

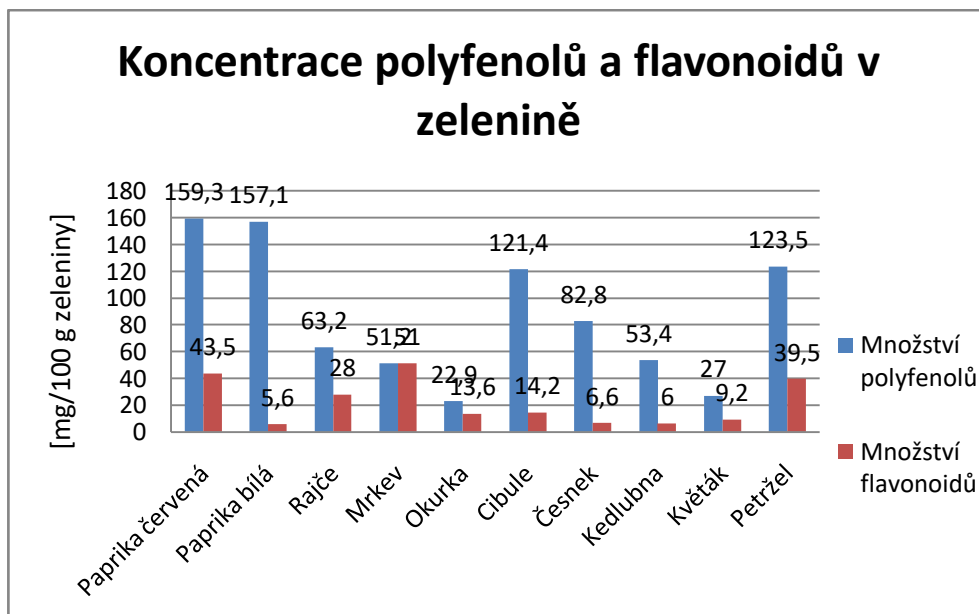


3.7.2 Koncentrace flavonoidů v zelenině

Tab. 9 Koncentrace flavonoidů v zelenině

Druh zeleniny	Absorbance 1. měření	Absorbance 2. měření	Průměr měření	Koncentrace flavonoidů [mg/100 g zeleniny]
Paprika červená	0,262	0,259	0,2605	43,5
Paprika bílá	0,035	0,034	0,0345	5,6
Rajče	0,168	0,167	0,1675	28
Mrkev	0,306	0,304	0,305	51
Okurka	0,081	0,082	0,0815	13,6
Cibule	0,085	0,085	0,085	14,2
Česnek	0,040	0,039	0,0395	6,6
Kedlubna	0,036	0,036	0,036	6
Květák	0,055	0,055	0,055	9,2
Petržel	0,236	0,237	0,2365	39,5

Graf 7 Srovnání koncentrace celkových polyfenolů s obsahem flavonoidů v zelenině

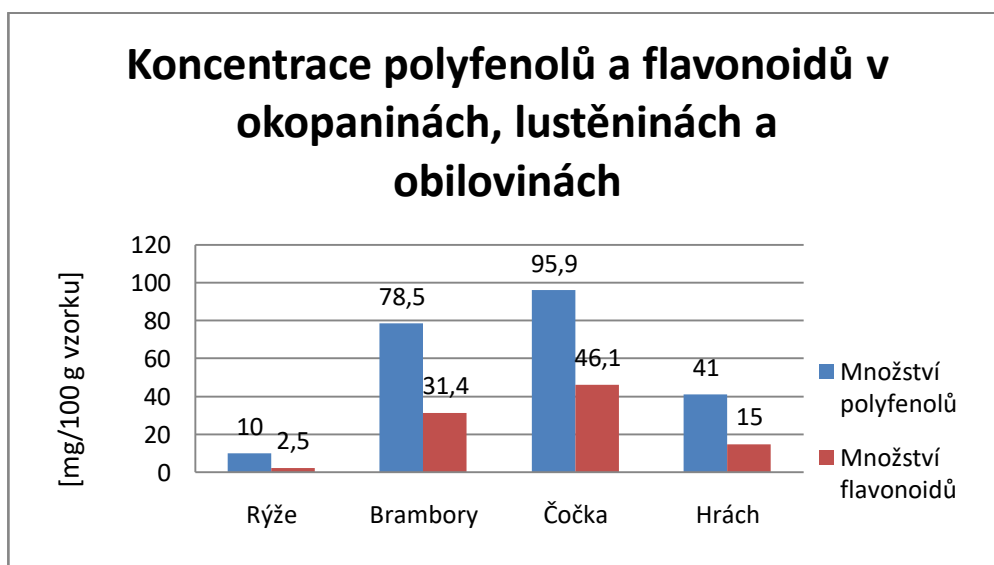


3.7.3 Koncentrace flavonoidů v obilovinách, okopaninách a luštěninách

Tab. 10 Koncentrace flavonoidů v obilovinách, okopaninách a luštěninách

Vzorek	Absorbance 1. měření	Absorbance 2. měření	Průměr měření	Koncentrace flavonoidů [mg/100 g vzorku]
Rýže	0,016	0,014	0,015	2,5
Brambory	0,188	0,188	0,188	31,4
Čočka	0,275	0,277	0,276	46,1
Hrách	0,143	0,142	0,1425	15

Graf 8 Srovnání koncentrace celkových polyfenolů s obsahem flavonoidů v okopaninách, obilovinách a luštěninách

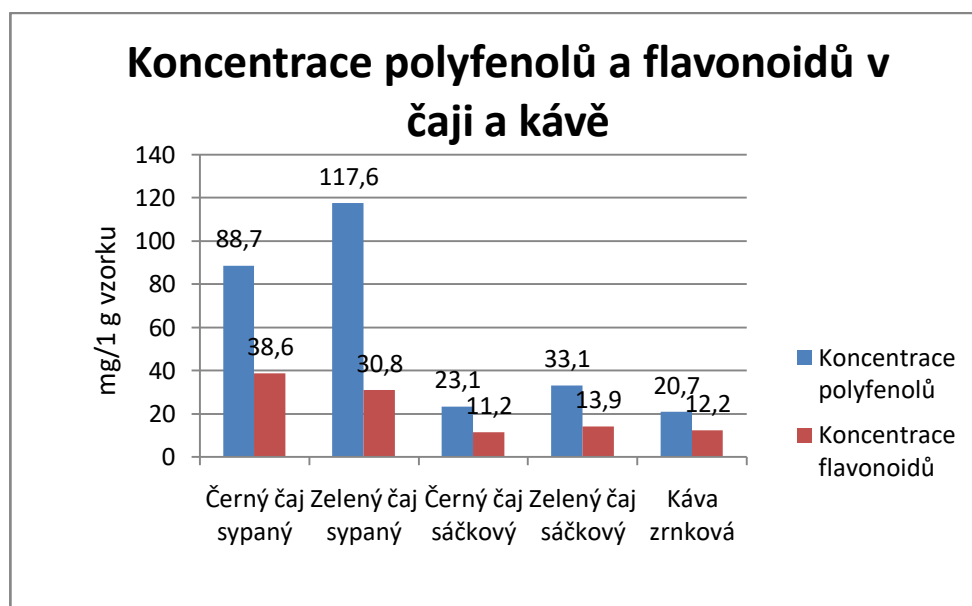


3.7.4 Koncentrace flavonoidů v čaji a kávě

Tab. 11 Koncentrace flavonoidů v čaji a kávě

Vzorek	Absorbance 1. měření	Absorbance 2. měření	Průměr měření	Koncentrace flavonoidů [mg/1g]
Černý čaj sypaný	0,231	0,231	0,231	38,6
Zelený čaj sypaný	0,183	0,186	0,1845	30,8
Černý čaj sáčekový	0,101	0,100	0,1005	11,2
Zelený čaj sáčekový	0,125	0,124	0,1245	13,9
Káva zrnková	0,727	0,728	0,7275	12,2
Káva instantní	0,739	0,739	0,739	61,8

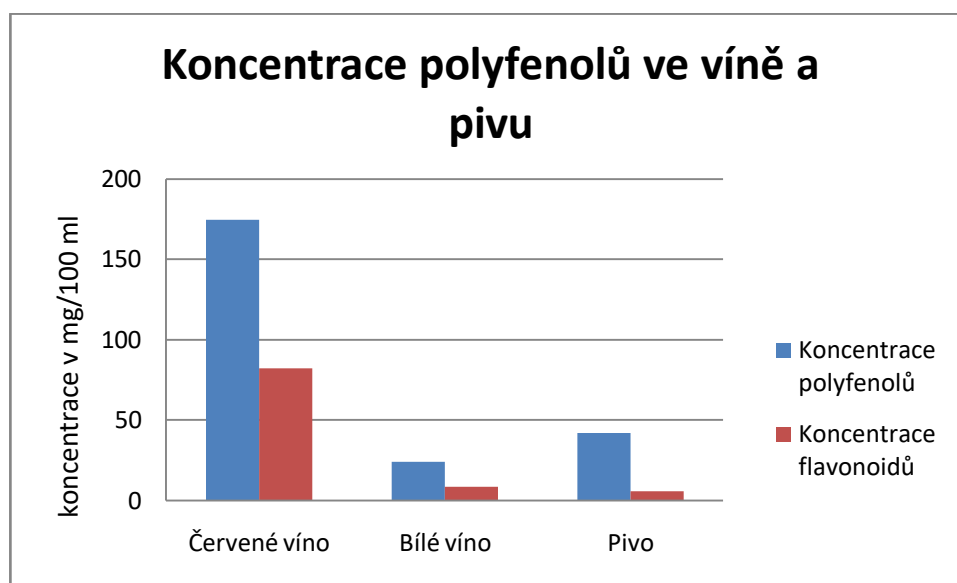
Graf 9 Srovnání koncentrace celkových polyfenolů s obsahem flavonoidů v čaji a kávě



Tab. 12 Koncentrace flavonoidů ve víně a pivo

Vzorek	Absorbance 1. měření	Absorbance 2. měření	Průměr měření	Koncentrace flavonoidů [mg/100 ml]
Červené víno	0,492	0,491	0,4915	82,1
Bílé víno	0,050	0,050	0,050	8,4
Pivo	0,033	0,034	0,0335	5,6

Graf 10 Srovnání koncentrace celkových polyfenolů s obsahem flavonoidů ve víně a pivu



3.8 Příjem flavonoidů českou populací

Ke zjištění průměrného denního příjmu flavonoidů českou populací bylo rovněž využito statistické ročenky spotřeby potravin České republiky za rok 2015. Roční příjem byl opět přepočítán na denní příjem potravin a na množství flavonoidů v nich obsažených.

Tab. 13 Příjem flavonoidů českou populací [27]

Potravina	Roční příjem [kg (<i>l</i>)/osoba/rok]	Denní příjem [g (<i>ml</i>)/osoba/den]	Denní příjem flavonoidů z potravin [mg]
Jablko	22,3	61,1	74,85
Červené hrozny	1,6	4,4	4,19
Pomeranč	8	21,9	4,6
Hruška	3,5	9,6	5,34
Kiwi	0,7	1,9	0,46
Bílé hrozny	1,6	4,4	1,24
Mandarinka	5,1	14	3,92
Banán	9,9	27,1	5,83
Paprika	5,6	15,3	3,76

Petržel	0,8	2,2	0,87
Cibule V	10,1	27,7	3,93
Česnek	0,6	1,6	0,11
Brambory	66,3	181,6	57,02
Rajče	11,2	30,7	8,6
Kedlubna	2,2	6	0,36
Mrkev	6,7	18,4	9,38
Květák	2,6	7,1	0,65
Okurka	6,5	17,8	2,42
Rýže	6,5	17,8	0,45
Jahody	2,5	6,8	5,28
Čočka	0,7	1,9	0,88
Hrách	1,3	3,6	0,54
Citron	3	8,2	1,23
Zelený čaj sáčekový	0,05	0,14	1,95
Černý čaj sáčekový	0,05	0,14	1,57
Zelený čaj sypaný	0,05	0,14	4,31
Černý čaj sypaný	0,05	0,14	5,4
Káva instantní	1,9	5,2	321,36
Káva zrnková	1,9	5,2	63,44
Červené víno	9,5	26	21,35
Bílé víno	9,5	26	2,18
Pivo	146,6	401,6	22,49
n o Součet			639,96

Průměrný denní příjem polyfenolů ze zkoumaných potravin byl stanoven přibližně na 1430,8 mg. Z tohoto množství tvoří cca 640 mg flavonoidy. Tyto hodnoty se vztahují k roku 2015.

Na obsah flavonoidů jsou vzhledem k jejich konzumaci bohaté především jablka, instantní káva, brambory, červené víno a pivo. Přestože i jiné suroviny obsahují větší množství flavonoidů, jejich spotřeba není tak vysoká. Jedná se například o červené hrozny, jahody, hrušky, mrkev, petržel a čočku.

Ovšem je potřeba zmínit fakt, že byl zkoumán jen malý vzorek potravin. Metody pro stanovení polyfenolů a flavonoidů nebyly vhodné pro výrobky z kakaa a obilovin. Také nebyly zkoumány ovocné a zeleninové šťávy. Z tohoto důvodu si myslím, že celkový příjem polyfenolů i flavonoidů v naší populaci je vyšší.

3.9 Srovnání příjmu polyfenolů v České republice s příjmem polyfenolů v jiných zemích

Názory na biologický význam polyfenolů v potravě a na jejich velikost příjmu v různých zemích se v posledních letech intenzivně rozšiřují a doplňují. Publikují se celonárodní přehledy o kvalitativním zastoupení i celkovém příjmu polyfenolů v příslušné národní stravě.

3.9.1 Příjem polyfenolů brazilskou populací

Průměrný denní příjem polyfenolů byl v brazilské populaci stanoven na 460 mg, z toho 138 mg představovaly flavonoidy. Největší vliv na celkový příjem měla konzumace kávy, černých fazolí, ostatních luštěnin a obilovin. Příjem polyfenolů z ovoce a zeleniny zde nebyl nijak značný. Konzumace ovoce a zeleniny v Brazílii není příliš vysoká, ani 10% populace nedosáhne na doporučení Světové zdravotnické organizace o konzumaci 400 g zeleniny a 200 g ovoce denně. S tímto faktem značně souvisí celkově nízký příjem polyfenolů, který je ve srovnání s naší populací menší. [23]

3.9.2 Příjem polyfenolů finskou populací

Ve Finsku byl celkový průměrný denní příjem polyfenolických látek stanoven na 863 mg. Příjem flavonoidů činil 103 mg/den u mužů. U žen byl tento příjem nižší, činil jen 80 mg/den. Největší množství přijímaných polyfenolů bylo zastoupeno v kávě, obilovinách, čaji a ovoci.

Celkový příjem polyfenolů ve finské populaci je ve srovnání s brazilskou populací vyšší. Oproti tomu je příjem flavonoidů ve finské populaci nižší než u nás.[21]

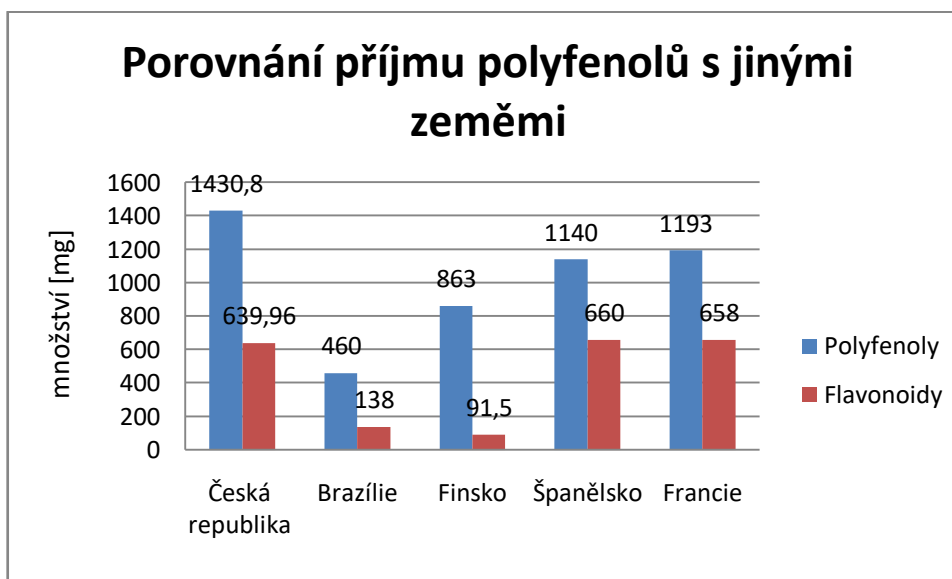
3.9.3 Příjem polyfenolů francouzskou populací

Ve francouzské populaci činil celkový příjem polyfenolických sloučenin 1193 mg/den. Hlavními zdroji tohoto příjmu byly nealkoholické nápoje množstvím 658 mg/den a ovoce, které přispělo 206 mg/den. Příspěvky kakaových výrobků, alkoholických nápojů a zeleniny činily cca 100 mg/den. Denní průměrný příjem flavonoidů byl stanoven na 506 mg. [22]

3.9.4 Příjem polyfenolů španělskou populací

Příjem polyfenolů ve Španělsku se pohybuje kolem 1140 mg za den. Flavonoidy z této sumy činí 660 mg. Hlavními zdroji těchto látek jsou zde káva a ovoce. Dalšími velmi důležitými přispěvateli se stávají rovněž olivy a olivový olej. [20]

Graf 11 Porovnání příjmu polyfenolů a flavonoidů s jinými zeměmi



Příjem polyfenolů je v České republice nejvyšší v porovnání se zmíněnými zeměmi. Příjem flavonoidů je vyšší ve Francii a Španělsku. Nejnižší příjem polyfenolů byl zjištěn v Brazílii. Nejnižší příjem flavonoidů byl ve Finsku.

3.10 Doporučení o stravování s přihlédnutím na množství polyfenolů a flavonoidů v potravinách

Polyfenoly jsou zdraví prospěšné látky. Jak již bylo zmíněno, mají vliv na prevenci kardiovaskulárních, neurodegenerativních, nádorových a jiných onemocnění.

Tato část práce se bude věnovat dietnímu doporučení vzhledem k obsahu polyfenolických látek v dané potravine.

Tab. 14 Seřazení potravin podle největšího denního příjmu polyfenolů

Potravina	Denní příjem polyfenolů z potravin [mg]
Káva instantní	646,88
Pivo	167,87
Brambory	142,56
Káva zrnková	106,6
Jablko	92,14
Červené víno	45,5
Cibule	33,63
Pomeranč	28,4
Paprika	24,2
Rajče	19,4
Zelený čaj sypaný	16,46
Jahody	14,36
Černý čaj sypaný	12,42
Banán	9,49
Mrkev	9,42
Hruška	8,14
Mandarinka	6,58
Červené hrozny	6,57
Bílé víno	6,24
Zelený čaj sáčekový	4,63
Okurka	4,08
Citron	3,74
Černý čaj sáčekový	3,23
Kedlubna	3,2
Petržel	2,72
Bílé hrozny	2,57

Květák	1,92
Čočka	1,82
Rýže	1,78
Hrách	1,48
Kiwi	1,45
Česnek	1,32

Největším zdrojem polyfenolů v naší stravě je instantní káva, pivo, zrnková káva, dále brambory a jablka. S přihlédnutím na obsah těchto fytoprotektivních látek bych doporučovala do jídelníčku zahrnout více ovoce, především jahod, červených hroznů, pomerančů a hrušek.

Ze zeleniny by se měl zvýšit příjem petržele, čočky, papriky a česneku. Zelenina a ovoce nejsou však důležité jen pro svůj obsah polyfenolů, ale také kvůli vysokému obsahu vlákniny a vitamínů. Denně by se dle doporučení Světové zdravotnické organizace mělo zkonsumovat alespoň 200 g ovoce a 400 g zeleniny.

Dále bych doporučovala zaměřit se na konzumaci sypaných čajů, jejichž obsah polyfenolických látek je minimálně dvojnásobný oproti čajům sáčkovým. Červené víno obsahuje sedmkrát více polyfenolů než víno bílé. Dospělému člověku se doporučuje denně vypít jednu až dvě skleničky červeného vína.

Tab. 15 Seřazení potravin podle největšího denního příjmu flavonoidů

Potravina	Denní příjem flavonoidů z potravin [mg]
Káva instantní	321,36
Jablko	74,85
Káva zrnková	63,44
Brambory	57,02
Pivo	22,49
Červené víno	21,35
Mrkev	9,38
Rajče	8,6
Banán	5,83
Černý čaj sypaný	5,4
Hruška	5,34
Jahody	5,28
Pomeranč	4,6

Zelený čaj sypaný	4,31
Červené hrozny	4,19
Cibule	3,93
Mandarinka	3,92
Paprika	3,76
Okurka	2,42
Bílé víno	2,18
Zelený čaj sáčekový	1,95
Černý čaj sáčekový	1,57
Bílé hrozny	1,24
Citron	1,23
Čočka	0,88
Petržel	0,87
Květák	0,65
Hrách	0,54
Kiwi	0,46
Rýže	0,45
Kedlubna	0,36
Česnek	0,11

Příjem flavonoidů je v naší stravě zastoupen především jablky, instantní a zrnkovou kávou, bramborami, červeným vínem a pivem. V zelenině se flavonoidy vyskytují většinou ve velmi malém množství. Větší koncentrace se nachází v mrkvi, petrželi a rajčatech, proto by se mělo těchto surovin konzumovat více. Vhodným zdrojem flavonoidů shledávám také čočku. Čočka jakož to luštěnina obsahuje navíc vysoký podíl vlákniny a bílkovin.

Z ovoce by se mělo do stravování zahrnout větší množství jahod, červených hroznů a hrušek.

Celkově by se však měla zvýšit spotřeba kvercetinu, rutinu, kurkuminu, resveratrolu, katechinů a kyseliny ferulové, jež vykazují značnou biologickou aktivitu. Tyto látky se vyskytují v jablkách, barevných bobulovinách, zázvoru, čaji a sóji.

3.11 Využití polyfenolů v pedagogické praxi

V pedagogické praxi se z polyfenolických sloučenin dají uplatnit především anthokyany. Anthokyany mají schopnost v závislosti na pH měnit

zbarvení a proto je lze využít jako levné acidobazické indikátory. Uvádím však i jiné zajímavé experimenty s rostlinami, které lze využít například v přírodovědeckém kroužku.

3.11.1 Pokus-antokyany v rostlinách

K tomuto pokusu je zapotřebí připravit si stojánek na zkumavky, 3 zkumavky, zředěnou kyselinu sírovou, zředěný roztok hydroxidu sodného, vodu, červené víno a výluh z ovocného čaje.

Zkumavky postavíme do stojánu. Do první zkumavky přidáme 3 ml zředěného roztoku hydroxidu sodného, do druhé zkumavky 3 ml vody a do poslední zředěnou kyselinu sírovou. Do všech zkumavek poté přilijeme 2-3 ml výluhu čaje. Stejným způsobem postupujeme i s červeným vínem.

Po přidání výluhu z čaje i červeného vína by se měla projevit změna zbarvení. V kyselém prostředí se červená barva vyjasní, v zásaditém prostředí se barva změní na modrou až zelenou. Ve vodném prostředí nenastane změna žádná.

Tento pokus lze provést i v domácím prostředí. Místo roztoku hydroxidu sodného, lze využít roztok jedlé sody a roztok mýdla, místo kyseliny sírové lze užít ocet a kyselina citronová.

Rovněž místo červeného vína a výluhu z čaje lze použít jiné zdroje antokyanů, jakými jsou například borůvky a červené zelí, ze kterých je zapotřebí udělat výluh krátkým povařením ve vodě.[28]



Obr. č. 27 Barevná škála indikátoru z červeného zelí [30]



Obr. č. 28 Změna barvy antokyanů z červeného zelí v závislosti na pH: a) po přidání octu, b) původní roztok červeného zelí, c) po přidání roztoku mýdla [31]

3.11.2 Pokus-reakce přírodních fenolů

K tomuto pokusu je zapotřebí sady zkumavek, stojánek na zkumavky, kapátka, 5% roztok železnaté nebo železité soli a 5% roztok hydroxidu sodného.

Připravíme si výluhy z citrónové kůry, kůry z mandarinky, cibulové slupky a cibule, vlašských ořechů, černého a ovocného čaje a žaludů.

5 ml z výluhu odlijeme do zkumavky a poznamenejeme si barvy výluhů. Do každé zkumavky přikápneme 1-3 kapky železité či železnaté soli. Obsah zkumavky promícháme a poznamenejeme si změnu barvy.

Se železitými či železnatými solemi tvoří fenoly komplexní sloučeniny. Taniny tvoří sloučeniny modročerného zbarvení, flavonoidy jsou zbarvené dohněda.

Do dalších zkumavek opět nalijeme po 5 ml z výluhů a do každé přidáme 5 kapek roztoku NaOH, obsah promícháme a pozorujeme změnu zbarvení. Podle podobného zbarvení rozdělíme barviva do skupin.

V zásaditém prostředí se projeví žluté zbarvení u flavonů, modré či zelené u anthokyanů. Taniny se zbarví červenohnědě. [29]

3.11.3 Pokus-reakce flavonoidů

Flavonoidy mohou posloužit také jako indikátory pH. V zásaditém prostředí se zbarvují do žluté až žlutooranžové barvy. V prostředí kyselém a neutrálním jsou bezbarvé.

K pokusu je zapotřebí pipeta, nůž, 5% vodný roztok hydroxidu sodného, 5% ethanolový roztok hydroxidu sodného, roztok kyseliny a kůra z citrusu.

Na vnitřní bílou stranu kápneme vodný roztok hydroxidu, vedle pak ethanolový roztok a roztok kyseliny. Důkaz flavonoidů se projeví žlutooranžovým zbarvením, rychleji na místě aplikace ethanolového roztoku, protože jsou v ethanolu lépe rozpustné. Na místě aplikace roztoku kyseliny nenastane žádná změna. [29]

3.11.4 Pokus-důkaz chlorofylu v červených listech

Tento pokus vyžaduje zkumavku, kádinku, třecí misku, benzín, 96 % etanol, horkou vodu a listy červeného zelí.

Červené zelí nakrájíme na menší kousky a přendáme je do kádinky. Listy přelijeme 100 ml vroucí vody. Po chvilce vodu slijeme, listy vložíme do třecí misky a přidáme 150 ml etanolu. Takto připravenou směs rozetřeme. 5 ml získaného roztoku nalijeme do zkumavky a přidáme 5 ml benzínu. Zkumavku poté zazátkujeme a protřepáme.

Ve zkumavce se oddělí dvě vrstvy. Spodní vrstva je tvořena etanolem obsahující anthokyany a svrchní vrstva benzínem obsahující chlorofyly. [29]

3.11.5 Barevné změny korunních lístků, které obsahují anthokyany

U plicníku (*Pulmonaria sp.*) či u pomněnky (*Myosotis sp.*) se během vývoje květu mění pH buněčné šťávy. Tímto faktem je zapříčiněna změna barvy květu v různých stádiích vývoje. Buněčná šťáva v poupěti je kyselá, proto je poupě zabarveno dočervena, těsně po rozvinutí květu se barva mění na modrofialovou, jelikož se mění i pH buněčné šťávy z kyselého na neutrální. Později květ zmodrá, pH buněčné šťávy se mění na slabě alkalické.



Obr. č. 29 Barevné změny na *Pulmonaria sp.* [32]

3.11.6 Dělení barviv pomocí kruhové chromatografie

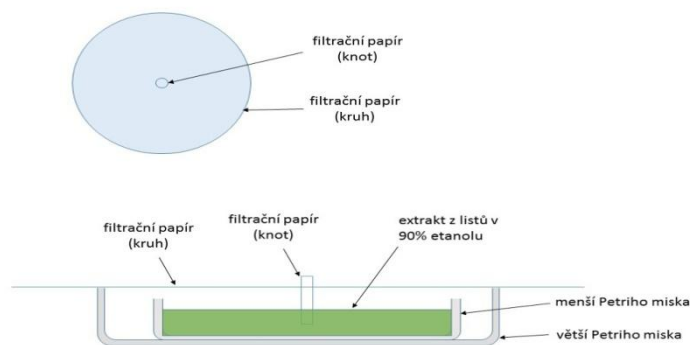
K pokusu je nutné připravit listy červeného zelí, 90% etanol, filtrační papír, křemitý písek, dvě různě velké Petriho misky, třecí misku s tloučkem, stojan, kádinku, nálevku.

Listy červeného zelí natrháme na menší kousky a ve třecí misce je smícháme s pískem a rozetřeme. Poté přidáme 90% ethanol. Necháme chvilku louhovat a poté roztok zfiltrujeme.

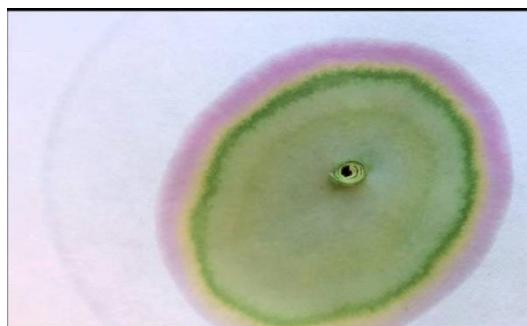
Menší Petriho misku vložíme dnem dolů do větší Petriho misky a nalijeme do ní zfiltrovaný roztok. Z filtračního papíru si připravíme kolečko o větším průměru než je průměr větší Petriho misky. Doprostřed připraveného

filtračního papíru vystříhneme malou díрку, kterou prostrčíme knot (proužek stočeného filtračního papíru). Tento knot poté vložíme do menší Petriho misky s připraveným roztokem.

Roztok prolíná knotem na kruhový filtrační papír a dochází k oddělení barviv. Zelenou vrstvu tvoří chlorofyly, žlutou karotenoidy a fialovou anthokyany. [31]



Obr. č. 30 Schéma aparatury-kruhová chromatografie [31]



Obr. č. 31 Výsledek dělení barviv červeného zelí [31]

4 Závěr

Cílem této diplomové práce je stanovit průměrný denní příjem celkových polyfenolů a flavonoidů v české populaci.

Teoretická část se zabývá především klasifikací jednotlivých podskupin polyfenolických látek, jakými jsou fenolové kyseliny, taniny, stilbeny, flavonoidy a lignany. Věnuje se také jejich struktuře a rozšířením v rostlinné říši. Je zde zahrnut i kurkumin, který vykazuje velkou biologickou aktivitu.

Další část teoretického bloku se věnuje působení polyfenolů na zdraví člověka. Bylo prokázáno několik kladných vlivů polyfenolů v prevenci různých kardiovaskulárních, nádorových a neurodegenerativních chorob. Také se diskutuje o vlivu těchto látek při léčbě diabetu a HIV.

Experimentální část práce je věnována spektrofotometrickému stanovení celkových polyfenolů v potravinách, které jsou běžnou součástí našeho jídelníčku. Analyzováno bylo kolem třiceti potravin. Ze zjištěných hodnot obsahu polyfenolů v potravinách, za pomoci statistické ročenky České republiky o spotřebě potravin v roce 2015, byl vypočítán průměrný denní příjem polyfenolů, který činil 1430,8 mg/osobu. Stejnou metodou byly poté samostatně stanovovány flavonoidy, jakožto nejvýznamnější skupina polyfenolických látek. Jejich průměrný denní příjem byl vypočítán na 639,96 mg/osobu. Příjmy polyfenolů i flavonoidů byly porovnány se čtyřmi dalšími státy. Česká republika v tomto srovnání zaujímala první místo v příjmu polyfenolů, třetí místo v příjmu flavonoidů.

Největšími zdroji polyfenolických látek v české populaci byly jablka, brambory, instantní a zrnková káva, červené víno a pivo.

Vzhledem ke zjištěnému množství polyfenolů v potravinách bych doporučovala zvýšit konzumaci jahod, červených hroznů, sypaných čajů, čočky, pomerančů, mrkve, hrušek, petržele a paprik. A také zvýšit příjem kvercetinu, rutinu, katechinů, kurkuminu a dalších významně biologicky působících látek.

Stanovený denní příjem polyfenolů a flavonoidů je však pouze orientační. Metoda, kterou byla analýza prováděna, nebyla vhodná pro výrobky z obilovin a kakaa. Do analýzy rovněž nebyly zahrnuty ovocné a zeleninové šťávy. Vzhledem k této skutečnosti je velmi pravděpodobné, že příjem

polyfenolů v České republice je ještě o něco větší. V poslední fázi diplomové práce se věnuji využití tématu v pedagogické praxi. Zahrnuty jsou pokusy na fenolické látky, především na anthokyany a flavonoidy.

Seznam použité literatury

- (1) VELÍŠEK J. a kol.: Chemie potravin 2. Osis, Tábor 1999.
- (2) BLAŽEJ A., ŠUTÝ L.: Rastlinné fenolové zlúčeniny. Alfa, Bratislava 1973
- (3) ŠTÍPEK S. a kol.: Antioxidanty a volné radikály ve zdraví a v nemoci. Grada Publishing, Praha 2000
- (4) VOLF K., ANDRS F.: Flavonoidy a jejich biologické působení. JuWital s.r.o., Praha 2008
- (5) VONDRÁK D., VULTERIN J.: Analytická chemie. Státní nakladatelství technické literatury, Praha 1985
- (6) DRÁBEK J., JALŮVKOVÁ M., FRÉBORT I.: Kvantitativní PCR detekce nepovoleného přibarvení vína bezinkami (*Sambucus nigra*). In: *Chemické listy*. **2007**, 101, s. 550-555.
- (7) KOUPÝ D., KOTOLOVÁ H., KUČEROVÁ J.: Současné fytotherapeutické možnosti v léčbě diabetes mellitus. In: *Praktické lékařství*. **2014**, 10(6), s. 229-232.
- (8) ČEPIČKA J., KARABÍN M.: Polyfenolové látky piva – přirozené antioxidanty. In: *Chemické listy*. **2002**, 96, s. 90-95.
- (9) MORAVCOVÁ J., KLEINOVÁ T.: Fytoestrogeny ve výživě – Přinášejí užitek nebo riziko?. In: *Chemické listy*. **2002**, 96, s. 282-289.
- (10) ŠMIDRKAL J., FILIP V., MELZUCH K., HANZLÍKOVÁ I., BUCKIOVÁ D., KŘÍŠA B.: Resveratrol. In: *Chemické listy*. **2001**, 95, s. 602-609.
- (11) KLEJDUS B., ŠTĚRBOVÁ D., STRATIL P., KUBÁŇ V.: Identifikace a

charakterizace isoflavonů v rostlinných extraktech za použití kombinace HPLC s hmotnostním detektorem a detektorem s diodovým polem (HPLC-DAD-MS). In: *Chemické listy*. **2003**, 97, s. 530-539.

(12) SLATINA J.: Biologická a farmakologická aktivita lignanů. In: *Chemické listy*. **2000**, 94, s. 111-116.

(13) HARMATHA J.: Strukturní bohatství a biologický význam lignanů a jim příbuzných rostlinných fenylpropanoidů. In: *Chemické listy*. **2005**, 99, s. 622-632.

(14) MAŇÁSKOVÁ V.: Extrakce fenolových kyselin z rostlinných potravin pevného charakteru. Diplomová práce. Zlín 2013.

(15) ČOPÍKOVÁ J., WIMMER Z., LAPČÍK O., CAHLÍKOVÁ L., OPLETAL L., MORAVCOVÁ J., DRAŠAR P.: Přírodní látky svíravé a trpké chuti. In: *Chemické listy*. **2014**, 108, s. 1053-1057.

(16) ŠNÓBLOVÁ M.: Monitoring fenolických sloučenin u řas a sinic. Disertační práce. Brno 2011.

(17) ZLOCH Z., ČELAKOVSKÝ J., AUJEZDSKÁ A.: Stanovení obsahu polyfenolů a celkové antioxidační kapacity v potravinách rostlinného původu. Závěrečná zpráva o plnění výzkumného projektu podpořeného finančně Nadačním fondem Institutu Danone. Plzeň 2004.

(18) ZENDULKA O.: Polyfenoly ve výživě jako možná prevence nádorových onemocnění. Disertační práce. Brno 2008.

(19) TŮMOVÁ L., ZATLOUKALOVÁ L.: Kurkuma – terapeutické účinky a možné interakce. In: *Praktické lékárenství*. **2010**, 6(4), s. 209-211.

(20) TRESSERRA-RIMBAU A., MEDINA-REMÓN A., PERÉZ-JIMÉNEZ J., MARTÍNEZ-GONZÁLEZ M. A., COVAS M. I., CORELLA D., SALAS-

SALVADÓ J., GÓMEZ-GRACIA E., LAPETRA J., ARÓS F., FIOL M., ROS E., SERRA-MAJEM L., PINTÓ X., MUÑOZ M. A., SAEZ G. T., RUIZ-GUTIÉRREZ V., LAMUELA-RAVENTÓS R. M.: Dietary intake and major food sources of polyphenols in a Spanish population at high cardiovascular risk: The PREDIMED study. In: *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*. **2013**, 23, s. 953-959.

(21) OVASKAINEN M. J., TÖRRÖNEN R., KOPONEN J. M., SINKKO H., HELLSTRÖM J., REINIVUO H., MATTILA P.: Dietary intake and major food sources of polyphenols in Finnish adults. In: *The Journal of Nutrition*. **2008**, 138(3), s. 562-566.

(22) PERÉZ-JIMÉNEZ J., FEZEU L., TOUVIER M., ARNAULT N., MANACH C., HERCBERG S., GALAN P., SCALBERT A.: Dietary intake of 337 polyphenols in French adults. In: *The American Journal of Clinical Nutrition*. **2011**, 93, s. 1220-1228.

(23) CORRÊA V. G., TURECK C., LOCATELI G., PERALTA R. M., KOEHNLEIN E. A.: Estimate of consumption of phenolic compounds by Brazilian population. In: *Revista de Nutrição*. 2015, 28(2), s. 185-196.

(24) SLATINA J., TÁBORSKÁ E.: Příjem, biologická dostupnost a metabolismus rostlinných polyfenolů u člověka. In: *Chemické listy*. **2004**, 98, s. 239-245.

(25) KOLEČKÁŘ V., ŘEHÁKOVÁ Z., BROJEROVÁ E., KUČA K., JUN D., MACÁKOVÁ K., OPLETAL L., DRAŠAR P., JAHODÁŘ L., CHLEBEK J., CAHLÍKOVÁ L.: Proanthocyanidiny a jejich antioxidační aktivita. In: *Chemické listy*. **2012**, 106, s. 113-121.

(26) ČOPÍKOVÁ J., UHER M., LAPČÍK O., MORAVCOVÁ J., DRAŠAR P.: Přírodní barevné látky. In: *Chemické listy*. **2005**, 99, s. 802-816.

(27) Český statistický úřad, <https://www.czso.cz/csu/czso/spotreba-potravin-2015>, staženo 12. 4. 2017

- (28) Chemický pokus- antokyany v rostlinách,
<http://www.studiumchemie.cz/pokus.php?id=196>, staženo 12. 6. 2017
- (29) Pokusy- reakce přírodních fenolů a flavonoidů,
http://www.priroda21.upol.cz/docs/Experimenty_pro_prirodovedne_krouzky_na_tema_rostliny_lecive_latky_drogy.pdf, staženo 20. 6. 2017
- (30) Obrázek- indikátor z červeného zelí,
<http://www.enviroexperiment.cz/chemie-stredni-skola/indikator-ze-zeli>, staženo 20. 6. 2017
- (31) Pokusy a obrázky,
http://www.botanickafotogalerie.cz/novinky.php#curiosity_83, staženo 21. 6. 2017
- (32) Obrázek plicníku, <http://www.biolib.cz/cz/image/id75952/>, staženo 21. 6. 2017

Seznam obrázků, tabulek a grafů

Obr. č. 1 Kyselina benzoová a kyselina skořicová	3
Obr. č. 2 Kyselina gallová a ellagová.....	3
Obr. č. 3 Kyselina kávová a p-kumarová.....	4
Obr. č. 4 Struktura trans-resveratrolu	5
Obr. č. 5 Struktura cis-resveratrolu.....	5
Obr. č. 6 Flavonoidní skelet.....	6
Obr. č. 7 Základní struktura flavonolů.....	7
Obr. č. 8 Struktura kvercetinu	7
Obr. č. 9 Struktura kaempferolu.....	7
Obr. č. 10 Struktura myricetinu.....	7
Obr. č. 11 Základní struktura flavonů.....	8
Obr. č. 12 Struktura apigeninu	8
Obr. č. 13 Struktura luteolinu	8
Obr. č. 14 Základní struktura flavanonů.....	9
Obr. č. 15 Struktura hesperetinu	9
Obr. č. 16 Základní struktura anthokyanidinů	9
Obr. č. 17 Struktura kyanidinu	10
Obr. č. 18 Struktura malvidinu	10
Obr. č. 19 Základní struktura isoflavonoidů	11
Obr. č. 20 Struktura daidzeinu.....	11
Obr. č. 21 Struktura genisteinu	11
Obr. č. 22 Základní struktura flavan-3-olů	12
Obr. č. 23 (+)-katechin a (-)-epikatechin.....	12
Obr. č. 24 (+)-gallokatechin a (-)-epigallokatechin	12
Obr. č. 25 Struktura kurkuminu, keto-forma	13
Obr. č. 26 Struktura kurkuminu, enol-forma.....	14
Obr. č. 27 Barevná škála indikátoru z červeného zelí	39
Obr. č. 28 Změna barvy antokyanů z červeného zelí v závislosti na pH.....	39
Obr. č. 29 Barevné změny na <i>Pulmonaria</i> sp.....	41
Obr. č. 30 Schéma aparatury-kruhová chromatografie	42
Obr. č. 31 Výsledek dělení barviv červeného zelí	42

Tab. 1 Přehled některých reaktivních forem dusíku a kyslíku	15
Tab. 2 Naměřené absorbance a koncentrace polyfenolů v ovoci	21
Tab. 3 Koncentrace polyfenolů v zelenině	22
Tab. 4 Koncentrace polyfenolů v obilovinách, okopaninách a luštěninách..	23
Tab. 5 Koncentrace polyfenolů v čaji a kávě.....	23
Tab. 6 Koncentrace polyfenolů ve víně a pivu.....	25
Tab. 7 Příjem polyfenolů českou populací	25
Tab. 8 Koncentrace flavonoidů v ovoci.....	28
Tab. 9 Koncentrace flavonoidů v zelenině	29
Tab. 10 Koncentrace flavonoidů v obilovinách, okopaninách a luštěninách	30
Tab. 11 Koncentrace flavonoidů v čaji a kávě.....	31
Tab. 12 Koncentrace flavonoidů ve víně a pivu.....	31
Tab. 13 Příjem flavonoidů českou populací.....	32
Tab. 14 Seřazení potravin podle největšího denního příjmu polyfenolů	36
Tab. 15 Seřazení potravin podle největšího denního příjmu flavonoidů.....	37
Graf 1 Koncentrace polyfenolů v ovoci.....	21
Graf 2 Koncentrace polyfenolů v zelenině	22
Graf 3 Koncentrace polyfenolů v obilovinách, okopaninách a luštěninách..	23
Graf 4 Koncentrace polyfenolů v čaji a kávě.....	24
Graf 5 Koncentrace polyfenolů ve víně a pivu.....	25
Graf 6 Srovnání koncentrace celkových polyfenolů s obsahem flavonoidů v ovoci	29
Graf 7 Srovnání koncentrace celkových polyfenolů s obsahem flavonoidů v zelenině.....	29
Graf 8 Srovnání koncentrace celkových polyfenolů s obsahem flavonoidů v okopaninách, obilovinách a luštěninách	30
Graf 9 Srovnání koncentrace celkových polyfenolů s obsahem flavonoidů v čaji a kávě	31
Graf 10 Srovnání koncentrace celkových polyfenolů s obsahem flavonoidů ve víně a pivu	32
Graf 12 Porovnání příjmu polyfenolů a flavonoidů s jinými zeměmi.....	35

Resumé

Tato diplomová práce se zabývá dělením, strukturou a výskytem polyfenolových sloučenin a také jejich působením v prevenci různých onemocnění. Praktická část je zaměřena na stanovení množství celkových polyfenolů a flavonoidů ve třiceti základních potravinách. Ze zjištěného obsahu těchto látek v potravinách je vypočítán průměrný denní příjem polyfenolických látek a flavonoidů českou populací. Rovněž jsou zde popsány jednoduché chemické pokusy s polyfenoly, které se dají využít ve školní praxi.

This diploma thesis deals with the division, structure and occurrence of polyphenol compounds as well as their effect on the prevention of various diseases. Practical part is focused on determination of total polyphenols and flavonoids in thirty basic foods. The average daily intake of polyphenols and flavonoids by the Czech population is calculated from the determined content of these substances in foodstuffs. There are also described simple chemical experiments with polyphenols that can be used in school practice.