

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra chemie**



**Vliv vodního stresu na obsah fenolických sloučenin  
a antioxidační kapacity v hlízách brambor**

**Bakalářská práce**

**Autor práce: Markéta Strankmüllerová**

**Obor studia: Výživa a potravin**

**Vedoucí práce: Ing. Matyáš Orsák, Ph.D.**

© 2018 ČZU v Praze

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Vliv vodního stresu na obsah fenolických sloučenin a antioxidační kapacity v hlízách brambor" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 16.4.2018

---

### **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala panu Ing. Matyáši Orsákovi, Ph.D. za vedení při zpracování této bakalářské práce, odborné rady, ochotu a vstřícnost.

# Vliv vodního stresu na obsah fenolických sloučenin a antioxidační kapacity v hlízách brambor

## Souhrn

Brambory jsou po pšenici, rýži a kukuřici čtvrtou nejdůležitější pěstovanou plodinou ve světě, co se týče lidské výživy. Jsou dobře stravitelné, mají nízký potenciál alergenů a je tak možné je zahrnout do jídelníčku v převážné většině diet.

Z chemického hlediska jsou bramborové hlízy bohatým zdrojem sacharidů (kde 60 – 80 % tvoří škrob) a tedy i energie, dále obsahují bílkoviny, které se řadí mezi jedny z nejhodnotnějších bílkovin rostlinného původu, a jsou téměř bez tuku. V bramborách mají zastoupení i minerální látky (hlavně draslík) a z mikrobiogenních prvků také selen, který zároveň vykazuje antioxidační aktivitu, dále jsou brambory bohaté na vitaminy, z barviv nejvíce na karotenoidy a u červených a fialových odrůd jsou důležité též anthokyany. V neposlední řadě obsahují hlízy fenolické látky (zejména kyselinu chlorogenovou), které jsou zde nejhojněji zastoupenými antioxidanty.

Mezi nejdůležitější antioxidanty brambor patří tedy polyfenoly (např. aminokyselina tyrosin, chlorogenová a kávová kyselina), karotenoidy, askorbová kyselina, anthokyany, tokoferoly,  $\alpha$ -lipoová kyselina a selen. Antioxidanty působí pozitivně na lidské zdraví tím, že zachycují a neutralizují volné radikály a brání tak vzniku oxidačních změn v našem těle.

Na obsahové látky má vliv mnoho faktorů, jedním z nich jsou i faktory stresové. U rostlin nastává stres, když proměnlivost vnějších faktorů překročí určitou mez. Stresové faktory se pak rozdělují na biotické (kam patří hlavně původci chorob) a abiotické, které se ještě dále člení na fyzikální a chemické. Mezi fyzikální se řadí právě nedostatek vody (stres suchem), na který jsou brambory citlivé.

Pro stanovení celkové antioxidační kapacity se nejčastěji používají metody založené buď na sledování inaktivace volných radikálů (TEAC, DPHH,...) nebo na měření redukční schopnosti antioxidantů (FRAP, HPLC, atd.). Pro stanovení polyfenolů jsou nejběžnější spektrofotometrické zkoušky např. s činidlem Folin-Ciocalteu.

Studie zatím neprokázaly, že by měl stres suchem nějak významný vliv na koncentraci fenolických sloučenin ani na obsah ostatních antioxidantů. Při nedostatku vody však např. stoupá syntéza aminokyseliny prolinu (jakožto netoxické a ochranné látky).

**Klíčová slova:** antioxidant, brambory, chlorogenová kyselina, kávová kyselina, polyfenol, stres

# **Effect of water stress on the content of phenolic compounds and antioxidant capacity in potato tubers**

## **Summary**

Potatoes are the fourth world's most important food crop after wheat, rice and corn in terms of human nutrition. Potatoes are easy to digest. They have a low potential of allergens; therefore, it is possible to include them into the majority of diets.

Potato tubers are, from a chemical perspective, a rich source of carbohydrates (it contains 60 – 80 % of starch) as well as energy. They also include proteins which belong to one of the most valuable proteins of vegetal origin and are almost without fat. Potatoes also contain mineral substances, in particular potassium and from micro biogenic elements there is also selenium which shows antioxidant activity. Potatoes are rich in vitamins, from pigments mostly in carotenoids; anthocyanins are important in red and purple coloured cultivars. Last but not least, potato tubers contain phenolic substances (particularly chlorogenic acid) which are there the most highly represented antioxidants.

Polyphenols (for example amino acid, tyrosine, chlorogenic and caffeic acid), carotenoids, ascorbic acid, anthocyanins, tocopherol,  $\alpha$ -lipoic acid and selenium belong to the most important potato antioxidants. The antioxidants have a positive effect on human health because they catch and neutralize free radicals and so they impede the oxidative changes in our body.

A lot of factors, one of them being a stress factor, have an effect on the on the substances. A plant stress occurs when the changeability of external factors surpasses a certain level. We distinguish biotic stress factors (in particular disease originators) and abiotic stress factors which are further divided into chemical and physical ones. Potatoes are sensitive to water shortage (drought stress) which is classified among physical stress factors.

In order to determine a total antioxidant capacity we use methods based either on an observation of inactivation of free radicals (TEAC, DPHH,...) or on a measurement of reductive abilities of antioxidants (FRAP, HPLC, ect.). Spectrophotometric experiments (for example the Folin–Ciocalteu reagent) are the most common measurements to determine polyphenols.

The experiments have not proved so far that the drought stress would have a significant impact on the concentration of phenolic compounds or on the content of other

antioxidants. In the case of a water shortage increases for example the synthesis of amino acid of proline (as a non/toxic substance).

**Keywords:** antioxidant, potatoes, chlorogenic acid, caffeic acid, polyphenols, stress

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Cíl práce.....</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Literární rešerše.....</b>	<b>3</b>
<b>3.1</b>	<b>Brambory .....</b>	<b>3</b>
3.1.1	Historie brambor .....	3
3.1.2	Obecná charakteristika brambor .....	4
3.1.3	Bramborová hlíza a její morfologie .....	5
3.1.4	Rozmnožování brambor.....	5
<b>3.2</b>	<b>Chemické složení bramborových hlíz.....</b>	<b>5</b>
3.2.1	Voda.....	6
3.2.2	Sacharidy .....	6
3.2.3	Dusíkaté látky .....	8
3.2.4	Lipidy.....	9
3.2.5	Vitaminy .....	9
3.2.6	Minerální látky.....	10
3.2.7	Organické kyseliny .....	11
3.2.8	Aromatické látky.....	11
3.2.9	Barviva.....	11
3.2.10	Glykoalkaloidy.....	12
3.2.11	Fenoly .....	12
<b>3.3</b>	<b>Antioxidanty .....</b>	<b>13</b>
3.3.1	Anthokyany.....	14
3.3.2	Karotenoidy .....	14
3.3.3	Vitamin C.....	15
3.3.4	Tokoferoly a $\alpha$ -lipoová kyselina .....	16
3.3.5	Selen.....	16
3.3.6	Polyfenoly .....	16
<b>3.4</b>	<b>Stresové faktory.....</b>	<b>18</b>
3.4.1	Biotické faktory .....	19
3.4.1.1	Bakteriální choroby .....	19
3.4.1.2	Virové choroby.....	19
3.4.1.3	Houbové choroby .....	20
3.4.1.4	Škůdci.....	20
3.4.2	Abiotické faktory .....	21
3.4.2.1	Chemické faktory – salinita půdy.....	21
3.4.2.2	Chemické faktory – nedostatek a nadbytek živin v půdě .....	22
3.4.2.3	Chemické faktory – nedostatek kyslíku .....	22

3.4.2.4	Fyzikální faktory – voda .....	23
3.4.2.5	Fyzikální faktory - záření .....	26
3.4.2.6	Fyzikální faktory – teplota .....	27
<b>3.5</b>	<b>Antioxidační kapacita .....</b>	<b>28</b>
3.5.1	Metody stanovení antioxidační kapacity .....	29
3.5.1.1	Metody sledující inaktivaci volných radikálů .....	29
3.5.1.2	Metody měřící redukční schopnost antioxidantů .....	31
<b>3.6</b>	<b>Stanovení celkového obsahu fenolických sloučenin .....</b>	<b>32</b>
<b>4</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>34</b>
<b>5</b>	<b>Seznam literatury .....</b>	<b>35</b>
<b>6</b>	<b>Seznam použitých zkratk a symbolů .....</b>	<b>44</b>



# 1 Úvod

Brambory (*Solanum tuberosum*) patří mezi nejvýznamnější celosvětově pěstované plodiny pro lidskou výživu, konkrétně se řadí na čtvrté místo na světě v celkové produkci. V České republice je předčí jen pšenice a jejich spotřeba u nás přesahuje 65 kg na osobu za rok. Kromě toho, že slouží jako lidská potravinu, využívají se také jako krmivo pro hospodářská zvířata či ve zpracovatelském průmyslu.

Bramborové hlízy jsou levným a výborným zdrojem energie a také nutričně významných látek (např. vitaminů), díky čemuž neplní pouze funkci sytící a objemovou, ale i funkci ochrannou. Dále obsahují plnohodnotné bílkoviny, minerály a v neposlední řadě také látky s antioxidační aktivitou, jejichž největší část tvoří fenolické sloučeniny (hlavně kyselina chlorogenová a její izomery a kyselina kávová), karotenoidy, askorbová kyselina a další. U antioxidantů jsou prokázány pozitivní účinky na lidské zdraví a vzhledem k hojnému zastoupení brambor v lidské stravě, jsou pro nás brambory jejich velmi bohatým zdrojem.

Zastoupení obsahových látek v bramborách ovlivňuje mnoho faktorů – např. odrůda, zralost hlíz a podmínky pěstování, které mohou být pro rostliny při nepříznivém působení stresorem. K nejvýznamnějším stresorům řadíme nadměrné záření, extrémní teploty, některé biotické faktory, salinitu půdy a především právě nedostatek vláhy neboli stres suchem.

V důsledku klimatických změn začíná být v dnešní době v zemědělství nedostatek vody velkým problémem, který má následně vliv i na kvalitu plodin a je mu tak věnována stále větší pozornost a je předmětem mnoha vědeckých prací.

## **2 Cíl práce**

Cílem této bakalářské práce je studiem odborné literatury zjistit, jak stres obecně ovlivňuje obsahové látky v bramborových hlízách, zvláště potom fenolické sloučeniny a antioxidanty. Dalším cílem je najít možné metody analýz polyfenolů a metody stanovení antioxidační kapacity.

## 3 Literární rešerše

### 3.1 Brambory

Brambory (*Solanum tuberosum*) jsou velmi významnou zemědělskou plodinou a nutričně bohatou potravinou. Ve světě mají z hlediska lidské výživy větší podíl jen pšenice, rýže a kukuřice. V České republice jsou však díky našim přírodním podmínkám hned na druhém místě po pšenici (Čepl, 2005). Není proto divu, že již od té doby, kdy se u nás začaly využívat k potravinářskému účelu, jsou označovány jako „druhý chléb“. Tento název naznačuje sytící účinek škrobu, který v sušině bramborových hlíz tvoří největší podíl, jako je tomu i v sušině mouky chlebové (Rybáček et al., 1988).

Ve výživě lidí mají tři hlavní funkce: objemovou, sytící a také ochrannou (díky obsahu vitaminů), (Diviš, 2007). Nutriční hodnota brambor je však velmi podceňována. Jsou zdrojem různých vitaminů (především vitaminu C a skupiny B), polyfenolů, které mají význam pro zdraví, a v neposlední řadě jsou bohaté na minerální látky, hlavně draslík a železo (Lister et Munro, 2000). Také se uvádí, že je lze zařadit do jídelníčku ve všech formách diet, a to dokonce i v dietách pro alergiky. Důvodem je obsah hodnotných bílkovin, dobrá stravitelnost a nízký potenciál alergenů (Vokál et al., 2003).

#### 3.1.1 Historie brambor

Brambory původně pochází z Jižní Ameriky, kde byly dlouhá staletí využívány místními obyvateli nejen jako potravina, ale sloužily též v sušené formě jako platidlo (Hruška et al., 1974).

První potravinářské využití bramborových hlíz v Evropě je připisováno Španělsku, kam byly v 16. století dovezeny právě z Jižní Ameriky (Vokál et al., 2003). Zápisy z klášterního špitálu v Seville z roku 1573 svědčí o nákupu brambor pro nemocné, neobsahují ale žádné zmínky o způsobu pěstování (Rybáček et al., 1988). Polní plodinou se tedy staly až v Irsku v 17. století (Vokál et al., 2003).

Na počátku 18. století se brambory začaly pěstovat na polích i u nás a to nejdříve v okolí hustě obydlených hornických měst – Jáchymovsko, Vlašimsko a Příbramsko, přičemž více než půl století byly brambory jakousi nouzovou potravinou, protože lidé neměli zkušenosti s výrobou ani kuchyňskou úpravou (Rybáček et al., 1988). Větší rozšíření pěstování můžeme tedy sledovat od druhé poloviny 18. století (Vokál et al., 2003).

Rozšíření brambor v Evropě zajistilo na přelomu 18. a 19. století dostatek potravy a zároveň díky vysokému obsahu vitamínu C chránilo obyvatele před kurdějemi. Avšak v polovině 19. století napadla v Irsku brambory plíseň a v důsledku hladomoru zemřel asi milión lidí a další milión se odstěhoval do USA (Čepl, 2005).

Spotřeba bramborových hlíz pro výživu lidí u nás se velmi rychle zvyšovala a rekordního čísla dosáhla roku 1850 – 170 kg na osobu. V dalších letech už spotřeba postupně klesala díky zlepšování životních podmínek, a tak byly již dostupnější i ostatní potraviny (Vokál et al., 2003). V České republice podle Českého statistického úřadu (2015) činila v roce 2015 kolem 66,3 kg na osobu.

### 3.1.2 Obecná charakteristika brambor

Rybáček et al. (1988) i Hruška et al. (1974) uvádí, že Lilek brambor (*Solanum tuberosum* L.) se řadí mezi rostliny čeledi lilkovité (*Solanacea* Pers), rodu lilek (*Solanum* Tourn), kam patří asi ještě 200 druhů.

Jednou z vlastností brambor, která je typická pro čeleď lilkovitých, je vytváření bikolaterálních cévních svazků, díky čemuž se v rostlině rychleji a efektivněji přenáší živiny. Další vlastností je produkování jedovatých látek v podobě glykosidů a alkaloidů (Rybáček et al., 1988). Brambor vytváří glykosid solanin a jeho nejvyšší obsah je v nezralých hlízách (Hruška et al., 1974).

Morfologicky dělíme brambor na dvě části – podzemní a nadzemní. Nadzemní část zahrnuje stonek, list, květenství, květ a plod. Podzemní část potom tvoří kořeny, podzemní stonek a stolon (podzemní oddenek) a hlíza (Hruška et al., 1974).

**Tabulka 1** Taxonomické zařazení brambor (Kubát et al., 2002)

	Český název	Latinský název
Říše	Rostliny	<i>Plantae</i>
Podříše	Vyšší rostliny	<i>Cormobionta</i>
Oddělení	Krytosemenné	<i>Magnoliophyta</i>
Třída	Vyšší dvouděložné	<i>Dicotyledones</i>
Řád	Lilkokvěté	<i>Solanales</i>
Čeleď	Lilkovité	<i>Solanaceae</i>
Rod	Lilek	<i>Solanum</i>
Druh	Lilek brambor	<i>Solanum tuberosum</i>

### **3.1.3 Bramborová hlíza a její morfologie**

Funkčně je bramborová hlíza přirozeným vegetativním rozmnožovacím orgánem. Je v ní proto vysoká koncentrace zásobních a dalších nativních látek, které jsou potřebné pro růst klíčků, a je hustě osázena spícími pupeny (Rybáček et al., 1988).

Morfologicky se jedná o ztlustlý stolon (Rybáček et al., 1988). Je to oddenek, který dělíme na část pupkovou a část korunkovou. Na povrchu hlízy se nachází slupka (periderm) chránící hlízu před ztrátou vody a plísněmi. Pod slupkou je korová vrstva, která se dělí na vnější vrstvu (bohatá na bílkoviny) a vnitřní vrstvu (bohatá na škrob). Dále rozlišujeme vrstvu cévních svazků tvořenou floémem a xylémem. Xylém zajišťuje transport vody a floém přenos organických látek. Střed hlízy je tvořen vnější dřeví z vodnatých buněk a vnitřní dřeví (Pelikán et Sáková, 2001).

### **3.1.4 Rozmnožování brambor**

Brambory se mohou rozmnožovat dvěma způsoby – generativně (pomocí semen) nebo vegetativně (pomocí hlíz). V České republice se praktikuje především vegetativní rozmnožování, avšak v některých teplých částech světa (USA, Čína apod.) se někdy využívá i rozmnožování generativní. Jinak má tento způsob množení význam pouze ve šlechtění nových odrůd. Při vegetativním rozmnožování množíme stále stejnou odrůdu (Vokál et al., 2000). Genetický základ rostliny tedy zůstává nezměněný, mění se však negenetické vlastnosti ovlivňující životnost (vitalitu) nově vzniklých kusů (Rybáček et al., 1988).

## **3.2 Chemické složení bramborových hlíz**

Bramborové hlízy představují jediný využitelný orgán bramborového trsu, proto je pro nás důležitá vnější i vnitřní kvalita a hodnota, která je dána chemickým složením (Vokál et al., 2000). Důležitou charakteristikou chemického složení je obsah sušiny, který má vliv na kvalitu produktu a výnosnost zpracování. Výše obsahu sušiny je ovlivněna především odrůdou, pěstebním prostředím a interakcí mezi nimi. Obecně lze říci, že odrůdy pozdní mají vyšší obsah sušiny než odrůdy rané. Obsah sušiny se pohybuje v rozmezí 13 – 37 % a zbytek tvoří voda (Lister et Munro, 2000).

Jednotlivé látky sušiny hlíz můžeme rozdělit na látky, které:

1. svým obsahem ovlivňují technologickou i nutriční hodnotu hlíz (kalorické látky)
2. se svými fyzikálně chemickými vlastnostmi podílejí na konečném vzhledu i vlastnostech výrobku (nekalorické a pochutinové látky)

Do první skupiny patří sacharidy, tuk a dusíkaté látky. Škrob, dusíkaté látky a tuk se ovšem také řadí do druhé skupiny, protože zároveň ovlivňují vůni a chuť konečného produktu. Proto se nekalorické látky mohou ještě dále rozlišovat na látky mající svůj význam, ale z hlediska vůně a chuti bezvýznamné (sem řadíme polysacharidy kromě škrobu, vitaminy, enzymy a barviva) a látky pochutinové, mající zároveň i nutriční význam (cukry, minerály, aromatické látky, organické kyseliny, glykosidy a fenoly), (Rybáček et al., 1988).

Tyto jednotlivé látky jsou však v hlízách rozmístěny nerovnoměrně. Ve slupce se nachází vláknina, pod slupkou dusíkaté látky, v korové vrstvě se vyskytuje hlavně tuk, alkaloidy a organické kyseliny a v oblasti cévních svazků cukry (Pelikán et Sáková, 2001).

**Tabulka 2** Obsahy významných látek v bramborách (Rybáček et al., 1988)

Složka bramborové hlízy	Obsah	
	v % původní hmoty	v % sušiny
Voda	76,3	-
Sušina	23,7	-
Škrob	17,5	73,8
Cukry	0,5	2,1
Bílkoviny	2	8,4
Tuky	0,1	0,4
Celkový popel	1,1	4,6

### 3.2.1 Voda

Voda v hlízách brambor představuje největší část – a to až 76,3 % z celkové hmoty (Rybáček et al., 1988). Má v rostlině na starost významné metabolické pochody - přepravu asimilátů a metabolitů, syntézu organických sloučenin a regulaci teploty (Pelikán et Sáková, 2001). V buňkách se vyskytuje ve třech formách – jako vázaná, hydratační nebo volná (Hruška et al., 1974).

### 3.2.2 Sacharidy

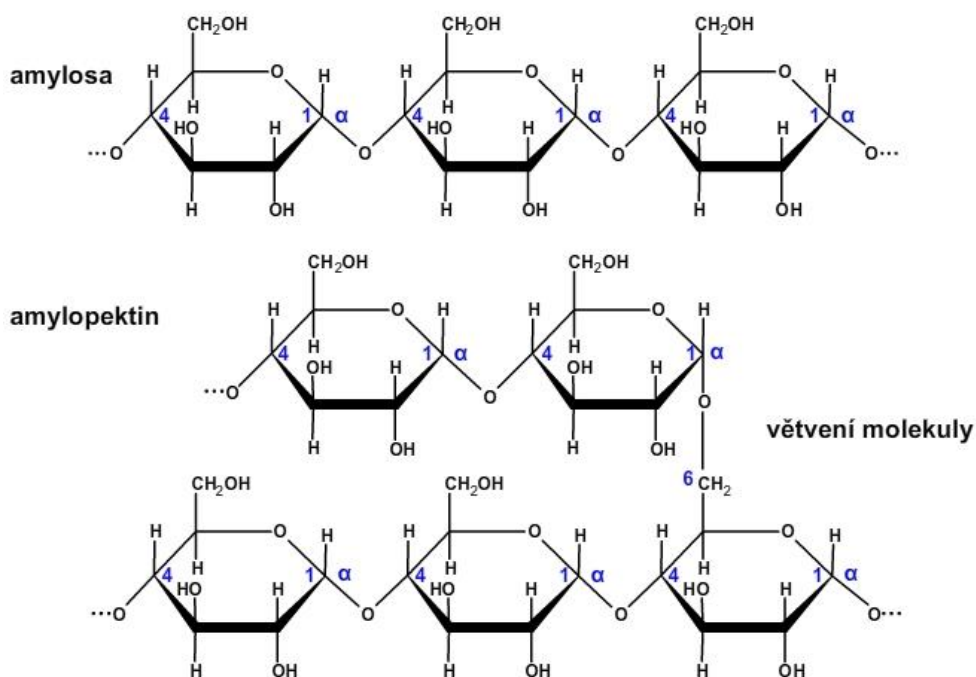
Sacharidy vznikají v bramborových hlízách procesem fotosyntézy. Největší část veškeré sušiny tvoří škrob a to až 60 – 80 %. Škrob je zásobním polysacharidem a je v bramborách uložen ve formě škrobových zrn různé velikosti (Es et Hartmans, 1987). Co se

tvaru týče, je pro brambory typický lasturovitý tvar. Zrna bramborového škrobu nejsou homogenní sloučeninou a skládají se tedy ze dvou polymerních látek – amylosy a amylopektinu, které se od sebe liší chováním ve vodním prostředí, strukturou a vztahem k barvení jódem. Základní stavební jednotka je pro obě tyto složky stejná – monosacharid  $\alpha$ -D-glukosa (Rybáček et al., 1988). Právě rozdílné uspořádání řetězce tohoto monosacharidu v amylose a amylopektinu je příčinou jejich odlišných vlastností. Amylosa má glukosové jednotky spojené vazbou 1,4, na rozdíl od amylopektinu, který má značně rozvětvenou strukturu a tvoří jednotky amylosy spojené navzájem vazbou 1,6 (Hruška et al., 1974). Poměr amylosy k amylopektinu je přibližně 1:4 (Rybáček et al., 1988).

Škrob hraje v lidské výživě významnou roli, a tak jsou brambory díky jeho vysokému obsahu cenným zdrojem energie (Es et Hartmans, 1987). Brambory však mají poměrně vysoký glykemický index, který je způsoben právě vysokým obsahem sacharidů. Hodnota glykemického indexu závisí na odrůdě. Díky jinému složení škrobu mají rané brambory hodnotu glykemického indexu nižší než brambory pozdní (Buono et al., 2009).

Kromě škrobu se v bramborových hlízách nalézají ještě další polysacharidy, které se podílejí na tvorbě buněčných stěn a mezibuněčných složek. Řadíme sem celulosu, hemicelulosy, pentosany a pektiny. Celulosa tvoří asi 10 – 20 % z celkových polysacharidů (mimo škrobu) a skládá se z glukosových zbytků s vazbou  $\beta$ -1,4. Hemicelulosy obsahují jako typickou stavební složku kyselinu uronovou, která se váže na pentosy. Podíl hemicelulos na celkovém obsahu polysacharidů činí pouze 1 %. Pentosany tvoří zhruba 5,5 – 8,5 % a celkový obsah pektinů je v rozmezí 0,21 – 0,41 % (Rybáček et al., 1988).

Vedle polysacharidů se ve vyzrálých hlízách vyskytují v malém množství (okolo 0,5 %) i jednodušší cukry, které mají nejen zpracovatelský význam, ale podílí se i na chuti a vůni brambor (Pelikán et Sáková, 2001). Jsou to především redukující monosacharidy glukosa a fruktosa a neredukující disacharid sacharosa (Es et Hartmans, 1987). Jejich obsah se udává většinou v rozmezích – glukosa 0,02 – 0,2 %, fruktosa 0,11 – 0,4 % a sacharosa 0,09 – 0,25 % z čerstvé hmoty (Hruška et al., 1974). Nevyzrálé brambory mají podstatně vyšší procento cukrů, hlavně sacharosy. Její obsah po sklizni nezralých hlíz zpočátku několik dní klesá a zároveň obsah glukosy a fruktosy roste. Množství cukrů je velmi ovlivňováno teplotou skladování, kdy při teplotách pod 10 °C se obsah cukrů zvyšuje (Rybáček et al., 1988).



**Obrázek 1** Amylosa a amylopektin (<http://www.studiumbiochemie.cz/struktury/skrob.jpg>)

### 3.2.3 Dusíkaté látky

Dusíkaté látky představují asi jen 2 % v čerstvé hmotě, jejich obsah závisí na odrůdě, nicméně může být ovlivněn i vnějšími podmínkami. Mezi dusíkaté látky řadíme bílkoviny, volné aminokyseliny, amidy glutaminu a asparaginu a dusičnany (Rybáček et al., 1988).

Největší podíl dusíkatých látek představuje čistá bílkovina – tedy až 50 % (Hruška et al., 1974). Proteiny brambor dělíme do tří skupin: patatin (má významnou antioxidační aktivitu), inhibitory proteáz a ostatní bílkoviny (převážně bílkoviny s enzymovou účastí na syntéze škrobu), (Bárta et Čurn, 2004).

Bílkoviny brambor náleží mezi nejhodnotnější bílkoviny rostlinného původu díky jejich skladbě aminokyselin, kdy mají největší význam aminokyseliny esenciální, které jsou v bramborách hojně zastoupeny (Bárta et Čurn, 2004). Brambory jsou velmi dobrým zdrojem lysinu, za limitující aminokyseliny však v bramborách považujeme selenové aminokyseliny cysteinu a methioninu (Es et Hartmans, 1987). I přesto se však udává kvalita bramborové bílkoviny přibližně 70 % kvality vaječné bílkoviny (Lister et Munro, 2000). Nutriční hodnota bílkovin brambor je odrůdově závislá a je též ovlivněna pěstebními podmínkami a dále pak skladováním a způsobem přípravy (Es et Hartmans, 1987). Proteiny obsažené v bramborách vynikají řadou výhod – regulují krevní tlak a cholesterol, mají antioxidační, antikarcinogenní a antimikrobiální účinky a zároveň mají nízký výskyt alergických reakcí (Karboune et Waglay, 2016).



**Tabulka 3** Obsah esenciálních aminokyselin v bramborových hlízách (Burton, 1989)

Aminokyselina	Obsah mg/100 g čerstvé hmoty
Valin	143
Leucin	151
Isoleucin	102
Threonin	91
Methionin	40
Lysin	154
Fenylalanin	112
Tryptofan	39

### 3.2.4 Lipidy

Obsah tuku v bramborových hlízách je velmi nízký (asi 0,1 %) a tedy prakticky nemá vliv na jejich energetickou bilanci i přesto, že je energetická hodnota bramborového tuku vysoká. Tuk bývá rozčleňován na volné mastné kyseliny, neutrální tuk a fosfolipidy. Složením mastných kyselin se tyto tři frakce však nijak výrazně neliší. Nejvíce zastoupenou mastnou kyselinou v bramborách je kyselina linolová (přibližně 50 %), dále linolenová (20 %), palmitová (20 %) a stearová (5 %). Vyšší obsah nenasycených mastných kyselin než nasycených má za následek nestabilitu tuku brambor (Rybáček et al., 1988).

### 3.2.5 Vitaminy

Vitaminy jsou pro život významné látky, které si lidský organismus nedokáže syntetizovat sám a musí je proto přijímat potravou (Hruška et al., 1974). V hlízách brambor se nacházejí vitaminy především v dužině kolem cévních svazků (Brown, 2004). Nejvíce zastoupeným vitamínem v bramborách je vitamin C. Z 300 g vařených brambor člověk přijme až 50 % doporučené denní dávky tohoto vitamínu. Právě jeho poměrně vysoký obsah dělá z brambor tzv. ochrannou potravinu (Rybáček et al., 1988). V porovnání s 98 vzorky zeleniny se zjistilo, že brambory jsou snadno dostupným a především nejlevnějším zdrojem vitamínu C (Navarre et al., 2016).

Dalšími důležitými vitamíny jsou vitaminy skupiny B - thiamin (vitamin B1), riboflavin (B2), niacin nebo niacinamid (B3), pantotenová kyselina (B5), pyridoxin (B6) a listová kyselina (B9), (Navarre et al., 2016). Kromě vitamínu C a vitamínů skupiny B byly

v bramborách dále nalezeny i vitamin K (fylochinon), vitamin E a vitamin A. U všech těchto vitaminů platí, že šetrná úprava má velký význam při zachování obsahu vitaminů v hlízách (Rybáček et al., 1988).

**Tabulka 4** Průměrný obsah vitaminů v bramborách a jejich podíl na denní potřebě (Čepl, 2005)

Vitamin	Obsah (mg.100 g <sup>-1</sup> )	% denní potřeby
Vitamin C	20	33
B1 thiamin	0,1	5
B2 riboflavin	0,03	2
B3 niacin	1,1	6
B6 pyridoxin	0,2	9
Listová kyselina	0,018	5
Pantotenová kyselina	0,3	3
Vitamin K	0,0029	4

### 3.2.6 Minerální látky

Minerální látky v bramborách jsou komplexem několika prvků, které jsou v hlízách nerovnoměrně rozloženy. Některé z minerálních látek představují esenciální katalyzátory rostlinného metabolismu a vedle toho jiné jsou přijímány společně s esenciálními prvky z půdního roztoku (Rybáček et al., 1988).

Obsah minerálních látek stanovujeme z popeloviny, která se v sušině brambor pohybuje kolem 5 % (Hruška et al., 1974). Brambory jsou dobrým zdrojem železa, vápníku, fosforu a především draslíku. Ten tvoří skoro polovinu všech minerálních látek a jeho obsah se udává v průměru 1,7 – 2 % v sušině. Draslík má významnou úlohu z hlediska lidské výživy, neboť dělá brambory zásaditou potravinou a vyvažuje díky tomu kyselé složky stravy (maso, tuky, atd.), (Rybáček et al., 1988). Draslík je tedy důležitý pro udržení acidobazické rovnováhy v organismu, dále také pro správnou funkci trávicího systému, svalů, ledvin a srdce (Navarre et al., 2016).

Významný je též obsah některých mikrobiogenních prvků, zejména selenu. Selen se účastní obranného antioxidantního systému v buňkách spolu s vitaminem E, kdy zastavuje reakce volných radikálů (Zrůst, 2004).

### 3.2.7 Organické kyseliny

V bramborových hlízách se kromě aminokyselin a mastných kyselin nacházejí i další organické kyseliny, jako například: kyselina citrónová, isocitrónová, šťavelová, vinná, jablečná, pyrohroznová, fytinová a další. Kyselina jablečná a citrónová tvoří až 1 % čisté hmotnosti hlíz a mají význam v celkovém biochemismu rostlinného organismu. Organické kyseliny v bramborách mají vliv na pufovací schopnost a aciditu. Hodnota pH hlíz výrazně ovlivňuje výslednou chuť a vůni brambor (podporuje enzymatické procesy uvolňující chuťové látky) a udává se mezi 5,6 – 6,5 (Rybáček et al., 1988).

### 3.2.8 Aromatické látky

Většina sloučenin, které ovlivňují aroma, vzniká až při určité úpravě brambor. V hlízách syrových najdeme tedy jiné aromatické látky než v hlízách tepelně upravených (Hruška et al., 1974). Velký podíl na konečném aroma vařených brambor mají těkavé sirné sloučeniny vznikající zejména odbouráním sirných aminokyselin. Při reakcích aminokyselin a cukrů (hlavně fruktosy) pak vznikají těkavé aldehydy s krátkým řetězcem (Rybáček et al., 1988). Na vůni syrových brambor se výrazně podílí 2,5-dimethylpyrazin (tvoří zemité aroma) a 2-isopropyl-3-methoxypyrazin (Velíšek et Hajšlová, 2009).

### 3.2.9 Barviva

Dužina brambor má bílé až sytě žluté zbarvení v závislosti na obsahu karotenoidů a jejich formách, ve kterých se v hlízách vyskytují. Odrůdy se světlou barvou obsahují 50 – 100 µg karotenoidů ve 100 g čisté hmotnosti, zatímco sytě žluté odrůdy mohou dosahovat hodnot až 2000 µg ve 100 g čisté hmotnosti (Brown, 2005). Karotenoidy řadíme mezi lipofilní barviva a jsou aktivní složkou chromoplastů. Můžeme je rozdělit na dvě základní skupiny: xanthofyly a karoteny (Velíšek et Hajšlová, 2009).

Karotenoidy mají pozitivní vliv na zdraví a snižují riziko vzniku různých onemocnění. Především jejich působení na oči je významné, pomáhají totiž snižovat riziko vzniku makulární degenerace, která někdy ve stáří způsobuje ztrátu zraku (Navarre et al., 2016).

Při působení světla mění brambory své zbarvení do zelené. Tento jev je zapříčiněn tvorbou chlorofylu (přeměnou leukoplastů na chloroplasty) přímo pod slupkou hlíz. Tvorbu chlorofylu velmi ovlivňuje teplota – teplota kolem 20 °C je pro jeho tvorbu ideální, naopak při 4 °C se i při vystavení světlu skoro nevytváří (Rybáček et al., 1988).

Kromě karotenoidů a chlorofylu se v bramborách vyskytují i další barviva jako flavonoly, flaviny a flavony (Rybáček et al., 1988). Slupka některých odrůd je zbarvena

do červené, modré nebo fialové, což způsobují anthokyany. Anthokyany jsou barviva obsažená v buněčné šťávě vnějších částí korové vrstvy (Hruška et al., 1974).

### 3.2.10 Glykoalkaloidy

Stejně jako v ostatních rostlinách čeledi *Solanaceae* vyskytují se i v bramborách přírodní toxiny – glykoalkaloidy. Tyto sekundární metabolity jsou spojovány s tím, že zlepšují odolnost vůči patogenům a pomáhají rostlině v ochraně před škůdci (Navarre et al., 2016).

Množství glykoalkaloidů v celé bramborové rostlině není rovnoměrné. Nejvíce se jich nachází v nadzemních částech, v bramborových hlízách je jejich zastoupení podstatně menší. Obsah glykoalkaloidů v hlízách je také ovlivněn vnějším prostředím a odrůdou (Friedman et Levin, 2016).

Nejvíce se v bramborách vyskytují  $\alpha$ ,  $\beta$  a  $\gamma$ -solanin a  $\alpha$ ,  $\beta$  a  $\gamma$ -chaconin. Tyto jednotlivé glykoalkaloidy se liší cukernou složkou v molekule. Všechny druhy glykoalkaloidů brambor bývají většinou v praxi označovány jako solanin (Rybáček et al., 1988). Hlavní část glykoalkaloidů v hlízách (až 95 %) tvoří většinou  $\alpha$ -solanin  $\alpha$ -chaconin (Pelikán et Sáková, 2001).

Maximální obsah glykoalkaloidů byl stanoven na 200 mg/kg čerstvé hmoty, přičemž jejich množství se obvykle pohybuje v rozmezí od 12 do 150 mg/kg čerstvé hmoty (Pelikán, Sáková, 2001). Z dietologického hlediska považujeme glykoalkaloidy za antinutriční sloučeniny a požití velkého množství je pro člověka nebezpečné. Může způsobit např. křeče, průjem, zvracení, pocení a v kritických dávkách až kóma nebo dokonce smrt. Glykoalkaloidy mají však v malých množstvích i pozitivní účinky jak na lidské zdraví, tak i na chuť brambor (Navarre et al., 2016).

### 3.2.11 Fenoly

Fenoly jsou látky způsobující hnědé a modrošedé zbarvení tepelně zpracovaných i syrových bramborových hlíz. Do fenolových látek brambor řadíme aminokyselinu tyrosin, fenolická barviva (flavon, antokyanidin, flavonol), kyselinu kávovou, chlorogenovou, p-kumarovou a také deriváty latkonu kyseliny kumarové (Pelikán et Sáková, 2001).

Během zpracování mohou vznikat tři různé druhy zbarvení:

- 1 Enzymaticky způsobené zbarvení – vyskytuje se jen v syrových hlízách.
- 2 Tmavnutí brambor po uvaření – je ovlivňováno hodnotou pH a přítomností železa, chlorogenové, citrónové a kávové kyseliny.

- 3 Neenzymatické hnědnutí – reakce redukujících cukrů s volnými aminokyselinami. Tuto reakci nazýváme Maillardova reakce a probíhá při sušení nebo smažení (Rybáček et al., 1988).

Fenoly patří mezi nejvíce zastoupené antioxidanty v naší stravě a brambory jsou jejich velmi dobrým zdrojem. Po jablkách a pomerančích jsou brambory třetím nejvýznamnějším zdrojem fenolických látek (Ezekiel et al., 2013).

### 3.3 Antioxidanty

Antioxidanty jsou látky prodlužující údržnost potravin. Zachytávají totiž volné radikály a tím zabraňují oxidaci potravin. Při oxidačním znehodnocení dochází ke žluknutí přítomných tuků a jiných látek potravin, které se snadno oxidují (Velíšek et Hajšlová, 2009).

Volné radikály jsou molekuly nebo atomy s nepárovým elektronem ve valenční vrstvě, který se snaží doplnit na elektronový pár, což má za následek to, že jsou volné radikály vysoce reaktivní. Ideální poměr mezi antioxidanty a volnými radikály je stanoven na 3:1 (Hřebíčková, 2009). V případě, že dojde k narušení tohoto poměru a začnou převládat volné radikály, nastává tzv. oxidační stres (Kvasnička et Ševčík, 2009), kdy se oxidují i sacharidy, lipidy, proteiny a DNA. Oxidace DNA může mít mutagenní a karcinogenní účinky. Oxidační stres bývá příčinou kardiovaskulárních a neurodegenerativních onemocnění, dále také poruch imunitního systému, plicních chorob, mužské neplodnosti apod. (Hřebíčková, 2009).

Antioxidanty tedy zpomalují nebo zcela brání vzniku oxidačních změn látek v lidském těle. Snižují pravděpodobnost koronárních srdečních onemocnění, ukládání cholesterolu v krevním séru, zpomalují aterosklerotické procesy a v neposlední řadě také zvyšují rezistenci cévních stěn (Zrůst, 2004).

V bramborách se nachází významné množství látek s antioxidační aktivitou. Nejhojněji zastoupenými antioxidanty jsou polyfenoly, vitamin C, karotenoidy,  $\alpha$ -tokoferol, selen či  $\alpha$ -lipoová kyselina (Lachman et al., 2000). V případě modře a červeně barvených hlíz tvoří podstatnou část obsahu antioxidantů také anthokyany (Lachman et Hamouz, 2004). Určité výzkumy dokázaly, že hlízy se žlutou a bílou dužinou mají větší antioxidační kapacitu, což by nejspíše znamenalo, že množství pigmentů na antioxidační kapacitu nemá vliv (Ezekiel et al., 2013). Na druhou stranu však Lachman et al. (2005) uvádí opak – červeně nebo fialově až modře zbarvené hlízy vykazují až 2,5 vyšší antioxidační aktivitu než hlízy žlutomasé. Antioxidanty působí synergicky a vzájemně tak zvyšují své pozitivní účinky (Lachman et al., 2000).

**Tabulka 5** Průměrný obsah antioxidantů v bramborách (Burlingame et al., 2009)

Antioxidant	Průměrná hodnota v hlíze o	Rozmezí v hlíze o hmotnosti
	hmotnosti 100 g	100 g
Askorbová kyselina	17,1 mg	2,8-42 mg
Karotenoidy	328 µg	0,0-2690 µg
Polyfenoly	74,1 mg	0,2-580 mg
Anthokyany	41,3 mg	0,0-508 mg
α-tokoferol	0,22 mg	0,07-0,52 mg

### 3.3.1 Anthokyany

Přírodní pigmenty způsobující červené, fialové až modré zbarvení brambor. Mohou být přítomny pouze ve slupce, ve slupce a částečně i v dužině anebo být obsaženy a zbarvovat celou dužinu. Obsah anthokyanů ve slupce je však vyšší než v dužině. V případě, kdy je pigmentována celá dužina, může hlíza obsahovat až 40 mg anthokyanů na 100 g. Anthokyany mají na tělo pozitivní účinky tím, že ho chrání před oxidanty, volnými radikály a též LDL cholesterolem (Brown, 2005).

Anthokyany jsou glykosidy různých aglykonů, které nazýváme anthokyanidiny (Galvano et al., 2004). V přírodě existuje asi celkem 17 různých anthokyanidinů. Z potravinářského hlediska má větší význam jen 6 z nich - malvidin, pelargonidin, cyanidin, petunidin, peonidin a pelargonidin (Velíšek et Hajšlová, 2009). V hlízách s červeně zbarvenou dužinou se vyskytují především acylované glykosidy pelargonidinu, vedle toho fialové odrůdy obsahují navíc ještě acylované glykosidy malvidinu, petunidinu, peonidinu a delphinidinu (Brown, 2005).

Antioxidační aktivitu anthokyanů nám udává počet volných hydroxylových skupin nacházejících se v molekule (Lachman et Hamouz, 2004).

### 3.3.2 Karotenoidy

Nositelem zbarvení bramborových hlíz jsou rostlinná barviva karotenoidy. Jejich obsah se u brambor s bílou dužinou udává od 50 až 100 µg. 100 g<sup>-1</sup> čerstvé hmoty a u odrůd se sytě žlutou až oranžovou dužinou do 2000 µg. 100 g<sup>-1</sup> čerstvé hmoty (Brown, 2005).

Karotenoidy jsou lipofilní látky ze skupiny terpenoidů. Molekula většiny terpenoidů se skládá z 8 isoprenových jednotek a dělíme je (jak již bylo výše uvedeno) na dvě hlavní skupiny: karoteny - uhlovodíky a xantofyly - kyslíkaté sloučeniny odvozené od karotenů (Kotíková et al., 2007).

Hlavními karotenoidy brambor jsou xantofyly lutein, zeaxanthin a violaxanthin. Obsah alfa- a beta-karotenu je pouze stopový, což znamená, že brambory nejsou dobrým zdrojem karotenů provitaminu A (Brown, 2005), na druhou stranu jsou ale bohaté na xantofyly, které jsou součástí lidské sítnice (Brown et al., 2007).

Mezi antioxidační účinky karotenoidů řadíme to, že zvyšují imunitní odpověď a také chrání buňky pokožky před UV zářením (Lachman et al., 2000).

### 3.3.3 Vitamin C

Askorbovou kyselinu (vitamin C) dokáží produkovat všechny zelené rostliny, které provádějí fotosyntézu, pomocí níž získávají energii. V porovnání se zeleninou a ovocem nemají brambory příliš vysoký obsah vitamínu C, avšak pokud bereme v potaz konzumované množství brambor, jsou brambory jedním z nejvýznamnějších zdrojů tohoto vitamínu (Velíšek et Hajšlová, 2009).

Vitamin C je vodorozpustný, tím pádem se v lidském těle neukládá a je tedy potřeba ho do organismu pravidelně potravou dodávat (Yunjeong et Min-Gul, 2016). Doporučená denní dávka askorbové kyseliny se udává mezi 60 a 200 mg a její obsah v bramborových hlízách se pohybuje průměrně v rozmezí 80 – 400 mg/kg čerstvé hmoty (Velíšek et Hajšlová, 2009).

Na množství vitamínu C má vliv hned několik faktorů a to především odrůda, pěstební postupy, způsob sklizně a skladování, teplota a vlhkost půdy a také způsob tepelné úpravy (Brown, 2005). Při skladování obsah kyseliny askorbové značně klesá a to až o 30 – 45 % během prvních 3 měsíců (Augustin et al., 1978).

Askorbová kyselina redukuje primární produkty oxidace o-chinony zpět na o-difenoly a je tak nejvýznamnějším inhibátorem enzymového hnědnutí brambor (Lachman et al., 2000). Vitamin C je také kofaktorem mnoha enzymů, má význam v detoxikaci reaktivní formy kyslíku (Navarre et al., 2016), dále hraje roli v metabolismu cholesterolu, snižuje riziko vzniku rakoviny, povzbuzuje tvorbu kolagenu apod. (Velíšek et Hajšlová, 2009).

### 3.3.4 Tokoferoly a $\alpha$ -lipoová kyselina

Brambory jsou bohaté na  $\alpha$ -tokoferol – vitamin E (0,5 – 2,8 mg/kg), který společně se selenem zastavuje reakce volných radikálů.

$\alpha$ -lipoová kyselina působí jako růstový faktor brambor. V buňkách je snadno redukována na dihydrolipoovou kyselinu, která neutralizuje a ničí volné radikály (Lachman et al., 2000). Regeneruje také vitaminy C a E a prodlužuje jejich dobu působení v lidském těle (Lachman et al., 2001).

### 3.3.5 Selen

Tento prvek řadíme k antioxidantům především proto, že je součástí antioxidantního enzymu glutathion peroxidázy (EC 1.11.1.9). Selen má pozitivní účinky na imunitní systém a zpomaluje proces stárnutí (Jůzl et al., 2006).

Ježek et al. (2008) uvádí, že se obsah selenu v bramborách pěstovaných na našem území pohybuje v rozmezí 0,003 – 0,018 mg/kg. Jeho množství v rostlinách se odvíjí od obsahu selenu v půdě a také od chemické formy, ve které je přítomný v půdním roztoku. Rostliny selen zabudovávají místo síry do aminokyselin a z těchto aminokyselin pak tvoří bílkoviny (Jůzl et al., 2006). Doporučený denní příjem selenu je 55  $\mu$ g pro ženy a 70  $\mu$ g pro muže (Velíšek et Hajšlová, 2009).

### 3.3.6 Polyfenoly

Jsou to sekundární rostlinné metabolity, které pomáhají rostlině v ochraně před napadením houbami, viry a bakteriemi. Nejrozšířenějšími polyfenoly brambor jsou aminokyselina tyrosin, skořicové polyfenolické kyseliny - chlorogenová (představuje zhruba až 90 % z celkového obsahu polyfenolů), neochlorogenová, kávová a ferulová a dále flavonoidy (Lachman et al., 2000). Nejvíce zastoupenými flavonoidy jsou katechin a epikatechin (Lewis et al., 1998).

Obsah polyfenolů v hlíze a slupce je rozdílný. Dužina obsahuje většinou zhruba 0,1 – 0,2 mg na 1 g fenolických kyselin a 0 – 0,03 mg na 1 g flavonoidů, zatímco ve slupkách je množství polyfenolů vyšší – pohybuje se okolo 2 – 5 mg na 1 g fenolických kyselin a 0,2 – 0,3 mg na 1 g flavonoidů (Lewis et al., 1998).

Na obsah fenolických látek v bramborách má vliv především odrůda, dále lokalita a způsob pěstování, povětrnostní podmínky, zralost hlíz a období sklizně (Křišťůfek et al., 2001). Friedman (1997) uvádí, že množství polyfenolů výrazně ovlivňují také stresové faktory jako například napadení patogeny, působení světla na hlízy nebo též jejich



mechanické poškození. Podle Browna et al. (2008) se při vaření obsah polyfenolů zvyšuje (při srovnání se syrovými hlízkami), především pak u odrůd, které jsou vysoce pigmentované.

Donedávna se věnovala pozornost polyfenolům pouze jako prekursorům sloučenin, které jsou zodpovědné za nežádoucí barevné změny. Nicméně od doby, kdy se odhalily jejich pozitivní účinky na zdraví, se začal výzkum zajímat o způsoby, jak jejich obsah v hlízkách zvýšit (Friedman, 1997).

Polyfenoly mají nejen silné antioxidační účinky, ale i další zdraví prospěšné vlastnosti – jsou antiglykemické, antikarcinogenní, animutagenní a snižují též hladinu cholesterolu (Friedman, 1997). Svou antioxidační aktivitu projevují fenolické látky (hlavně flavonoidy) tedy především tím, že zachytávají volné radikály kyslíku nebo reagují s radikály hydroperoxidů nebo alkoxylovými radikály, jimž poskytne atom vodíku a ukončí tak řetězovou reakci peroxidace lipidů (Čopíková, 2001).

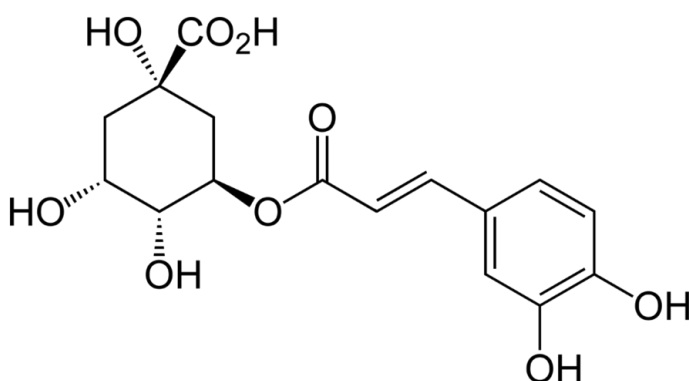
Flavonoidy mají také schopnost chelátovat železo a tímto procesem tlumit oxidativní stres. Železo řadíme mezi přechodové prvky, nemá tedy poslední elektronovou vrstvu zaplněnou elektrony a může tak reagovat s volnými radikály (Štípek et al., 2000). V neposlední řadě flavonoidy též zvyšují účinnost askorbové kyseliny (Lachman et al., 2001).

Počet hydroxylových skupin v molekule fenolických kyselin velmi ovlivňuje jejich aktivitu. Mezi látky s vysokou antioxidační aktivitou řadíme skořicovou, kávovou a chlorogenovou kyselinu (Velíšek et Hajšlová, 2009). Například deriváty kyseliny skořicové patří mezi silné antioxidanty a mají schopnost zpomalit či dokonce zastavit růst rakovinných buněk (Lachman et al., 2001).

Znalosti, které zatím o polyfenolech máme, však stále nestačí na to, abychom mohli přesně zhodnotit účinek polyfenolů v prevenci různých onemocnění, neboť většina výzkumů o účincích fenolických látek se prováděla *in vitro* (v laboratorních podmínkách) nebo při experimentech na zvířatech. Při těchto postupech jsou polyfenoly aplikovány ve výrazně vyšších dávkách, než je jejich dostupné množství v potravě. Další komplikací při zjišťování pozitivních účinků na zdraví je velké množství fenolických látek, které se nachází v naší stravě a ztěžuje tak určení, jaká látka způsobuje daný biologický efekt (Scalbert et al., 2005).

**Tabulka 6** Obsah chlorogenové kyseliny v jednotlivých částech rostliny bramboru (Friedman, 1997)

Část rostliny	Obsah kyseliny chlorogenové v mg.kg-1
Hlízy	173,6 ± 11,9
Kořeny	263,4 ± 8,2
Listy	2 235,3 ± 9,5
Klíčky	7 540,6 ± 251,7



**Obrázek 2** Kyselina chlorogenová (<http://www.fitgirl.cz/files/2014/05/Chlorogenic-acid-skeletal-468x272.png>)

### 3.4 Stresové faktory

Stresové faktory jsou takové faktory, které rostlinu ovlivňují většinou negativně, na jejich působení rostlina reaguje aktivací obranných mechanismů, což vyvolává v rostlinném těle změny. Tento stav, který rostliny zatěžuje, nazýváme stres (Kůdela et al., 2013). Stresový faktor může působit pouze na úrovni organely, ale i buňky, pletiva, celé rostliny, rostlinného společenstva nebo ekosystému (Bláha et al., 2003). Na rostliny rostoucí v přírodních podmínkách většinou působí více stresorů najednou a zkoumání vlivu stresu je tím značně komplikováno (Procházka et al., 1998).

Schopnost přežít podmínky, které nejsou pro rostlinu příznivé, se označuje jako odolnost – rezistence. Rostlina může při působení stresorů díky kompenzačním procesům přejít do nového rovnovážného stavu, avšak při nezvládnutí stresu může dojít i k úhynu rostliny (Bláha et al., 2003).

Stresová reakce tedy probíhá v několika fázích. První je poplachová, při ní dochází ihned po začátku účinku stresoru k narušení životních funkcí a buněčných struktur rostliny. Dále navazuje fáze restituční, kdy začínají působit kompenzační mechanismy, pokud ovšem nedojde k překročení letální úrovně. Třetí fází je fáze rezistence, při níž se zvyšuje odolnost rostliny. Poslední je fáze vyčerpání, která nastává v případě dlouhodobého intenzivního působení stresorů a rezistence rostliny může opět poklesnout. Stresová reakce může mít tak za následek aklimatizaci, což je jev kdy se může přechodně zlepšit odolnost vůči abiotickým stresorům. Rostliny se většinou snaží dosáhnout tolerance vůči stresu, jsou však známy rostlinné druhy, které mají schopnost se působení stresu i přímo vyhnout (Bláha et al., 2003).

Stresové faktory můžeme rozdělit na biotické (faktory živých organismů, živé přírody) a abiotické (faktory neživé přírody), (Kúdela et al., 2013).

### 3.4.1 Biotické faktory

Mezi biotické stresory řadíme především původce chorob jako bakterie, viry a houby. Dále mezi ně počítáme mezidruhové interakce (alelopatie, konkurence) a také působení býložravců (Nilsen et Orcutt, 1996).

#### 3.4.1.1 Bakteriální choroby

Bakterie *Streptomyces scabiei* vyvolává onemocnění nazývané aktinobakteriální obecná strupovitost bramboru, které způsobuje znehodnocení vzhledu hlíz vznikem strupů na slupkách.

Původcem měkké hniloby a černání stonku jsou bakterie *Pectobacterium atrosepticum*, *Pectobacterium carotovorum* a *Dickeya chrysanthemi*. Zapříčiňují černání stonkových bází vadnutí až celkové odumření rostliny. Příznakem je měknutí nebo i rozklad hlíz za přítomnosti silného zápachu (Hausvater et Doležal, 2014).

#### 3.4.1.2 Virové choroby

Virové choroby se dosti snadno přenášejí, a to buď dotykem, pomocí přenašečů (např. háďátka, mšice) nebo i samotnou sadbou. Dalším důvodem jejich nebezpečnosti je to, že velmi snižují výnosy (Vokál et al., 2000).

Jedním z nejvýznamnějších virů je svinutka bramboru, která může způsobit snížení výnosů až o 40 – 80 % - záleží na odrůdě, podmínkách pěstování a ročníku (Vokál et al., 2000).

Další virovou chorobou je Y-viróza bramboru, kterou vyvolává *Potato virus Y*. Mezi příznaky patří kadeření listů, čárkovitost nebo vznik mozaiky na listech. Na samotných hlízách se pak toto onemocnění projevuje nekrózami a zduřeninami (Hausvater et Doležal, 2014). Y-viróza snižuje výnosy o 30 – 70 % (Vokál et al., 2000).

#### 3.4.1.3 Houbové choroby

Jedním z hospodářsky nejvýznamnějších onemocnění, které je rozšířené po celém světě, je plíseň bramborová, jehož původcem je *Phytophthora infestans* (Rybáček et al., 1988). Na rostlinách se příznaky projevují odumíráním listů a stonku na vegetačním vrcholu, až vznikem vodnatých, nekrotických skvrn na stoncích i listech (Hausvater et Doležal, 2014). Toto onemocnění má dopady na snížení výnosů až o 50 % a vyskytuje se častěji ve vlhkých a chladnějších oblastech (Rybáček et al., 1988).

Závažnou a velmi rozšířenou chorobou je dále rakovina bramboru, kterou vyvolává houba *Synchytrium endobioticum*. Na bramborových hlízách i stolonech dochází k tvorbě bradavčitých nádorů díky neorganizovanému dělení buněk (Rybáček et al., 1988).

Další známá onemocnění způsobené houbami jsou např. stříbřitost slupky bramboru, fusariová hniloba, vločkovitost hlíz, fomová hniloba a mnoho dalších (Hausvater et Doležal, 2014).

#### 3.4.1.4 Škůdci

Škůdci brambor mohou být hrozbou pro celou rostlinu, jelikož napadají její podzemní i nadzemní části. Parazitují na rostlinách mnoha způsoby – sáním, požerem, vytvářejí možné vstupní brány pro původce různých onemocnění nebo dokonce tyto původce přímo přenášejí (Vokál et al., 2000).

Mezi významné škůdce brambor určitě patří mandelinka bramborová. Na výskyt mandelinky mají značný vliv klimatické podmínky, možnosti přezimování a dostatečné množství potravy (Rybáček et al., 1988). Mandelinka způsobuje hlavně požerky na nati, může je ovšem způsobit i na hlízách, pokud vystupují z půdy. Po odumření natě (ke konci vegetace) pak už škodí dospělí brouci na celých hlízách (Hausvater et Doležal, 2014).

Háďátka bramborové je dalším příkladem škůdců. Působí velké škody na hlízách a výrazně tak snižuje výnos. Napadá kořeny, které v případě velkého poškození následně odumírají. Rostliny postižené háďátkem obvykle mívají pouze málo drobných hlíz (Vokál et al., 2003).

Na bramborách mohou také škodit drátovci, což jsou vlastně larvy kovaříků, které si vytváří v těle hlíz chodbičky a vyplňují je svým tmavým trusem (Hausvater et Doležal, 2014).

Mšice působí především jako nepřímý škůdce brambor a to tím, že působí jako přenašeči virů (např. vir svinutky). Pouze při velkém přemnožení mohou škodit na bramborách přímo. V tomto případě dochází k oslabení trsů vlivem sání mšic (Vokál et al., 2000).

### **3.4.2 Abiotické faktory**

Tyto faktory se dají rozdělit na chemické (kam řadíme toxiny, znečištění ovzduší, pesticidy, kontaminaci těžkými kovy, salinitu půdy,...) a fyzikální (mezi které můžeme počítat teplotu, záření, povětrnostní podmínky, magnetické pole nebo právě sucho), (Nilsen et Orcutt, 1996).

#### **3.4.2.1 Chemické faktory – salinita půdy**

K zasolení půd dochází procesem salinizace, kdy se v půdním horizontu kumulují rozpustné soli ve velkém množství, což má následně negativní dopad na úrodnost. V půdě se hromadí hlavně sodík, síran a chlor a na druhou stranu je zde většinou velmi nízký obsah fosforu a vápníku (Kůdela et al., 2013).

Zasolení půdy je způsobeno klimatickými i půdními podmínkami a není problémem pouze pouští a polopouští, ale také vnitrozemských oblastí, kde výpar vody převažuje nad srážkami. U nás se vyskytují přirozeně slané půdy především v místech minerálních pramenů (Bláha et al., 2003).

Pokud rostlina roste na zasolené půdě, působí na ni toxicky právě nahromaděné množství jednotlivých iontů a to hlavně  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  a  $\text{Mg}^{2+}$ . Tato vysoká koncentrace zhoršuje fyzikální vlastnosti půdy a snižuje vodní potenciál. Rostliny, které se těmito podmínkám nepřizpůsobily, tyto ionty v buňkách kumulují a ty následně zhoršují funkce některých enzymů, což vede k zastavení růstu nebo až k odumření rostliny (Procházka et al., 1998).

Při působení stresu ze zasolení půdy se v rostlinách většinou snižuje obsah některých aminokyselin (methionin, cystein, arginin), množství prolinu však roste. Rostliny ho produkují jako netoxickou a ochrannou látku. Dále u brambor dochází k otoku mitochondrií a endoplazmatického retikula, k rozvoji vakuolizace, poškození cytoplasmy, zmenšení mezibuněčných prostor a také ubývá chloroplastů. V případě, že byly rostliny brambor

ošetřeny roztokem chloridu sodného, byl u nich též zaznamenán pokles obsahu škrobu (Parida et Das, 2005).

#### 3.4.2.2 Chemické faktory – nedostatek a nadbytek živin v půdě

Fyzikální, chemické a biologické vlastnosti půdy podstatně ovlivňují příjem živin rostlinami. Větší výměnnou kapacitu mají půdy, které obsahují hodně organické hmoty a jílu než půdy písčité. Také pH půdy má vliv na dostupnost živin pro rostliny (Nilsen et Orcutt, 1996).

Předávkování rostlin živinami způsobuje podobné problémy jako zasolení, naopak při nedostatku je limitujícím faktorem ten prvek, který je minimálně dostupný. Tedy nedostatek ale i nadbytek může být pro rostliny stresorem (Bláha et al., 2003). Dostatek živin dokážeme do určité míry ovlivnit obohacením půdy právě o tyto živiny (Vokál et al., 2000).

Základním stavebním prvkem života a tedy i rostlin je dusík, jenž rostliny přijímají jako  $\text{NH}_4^+$  a  $\text{NO}_3^-$  (Vokál et al., 2000). Nedostatek dusíku způsobuje zpomalení růstu, světle zelené zbarvení brambor a celkové snížení výnosů. Při nadbytku dusíku příliš roste nať, listy jsou deformované a malé a také se oddaluje tvorba hlíz (Kůdela et al., 2013).

Brambory mají střední schopnost přijímat fosfor a to ve formách  $\text{H}_2\text{PO}_4^+$  a  $\text{HPO}_4^{2-}$  jako ostatní rostliny (Vokál et al., 2000). Pokud má rostlina na začátku vegetace nedostatek fosforu, bývá zpomalen konečný růst, což může způsobit zakrňelost rostlin. Listy u brambor jsou tmavší než obvykle a starší listy se krouť a postupně mohou začít i opadávat (Kůdela et al., 2013).

Hořčík má důležitou roli v procesu fotosyntézy, syntézy bílkovin a aktivaci enzymů (Vokál et al., 2000). Příznaky jeho nedostatku pozorujeme nejdříve u dospělých listů, u kterých se tvoří mezižilkové chlorózy, poté může vznikat i nekróza. Listy jsou také ztloustlé, křehké a svinuté nahoru (Kůdela et al., 2013).

Pro brambory je dobře dostupný draslík, který hojně čerpají z půdy (Vokál et al., 2000). Nedostatek draslíku je pozorovatelný především na spodních listech, mohou být jinak zelené nebo až černé, u starších listů se na okrajích tvoří často nekrózy. Bramborové hlízy jsou menší a také se na jejich pupeční části mohou objevovat nekrotické léze (Kůdela et al., 2013).

#### 3.4.2.3 Chemické faktory – nedostatek kyslíku

Velmi důležitým prvkem v půdě je kyslík, který je nepostradatelný pro dýchání jak kořenů rostlin, tak i půdních organismů. V půdě je koncentrace kyslíku podstatně nižší, než je

tomu ve volné atmosféře. V případě, že jeho koncentrace v mezibuněčných prostorech klesne pod 2 až 4 %, začne se rostlina nedostatku kyslíku bránit zpomalováním aerobních respiračních procesů, čímž dochází ke změně obsahu fytohormonů a produkci stresových proteinů (Procházka et al., 1998).

Nedostatek nebo nedostupnost kyslíku pro kořeny rostlin často nastává u utužených nebo zaplavených a podmáčených půd. Voda zde vyplní půdní póry a blokuje tak difúzi kyslíku z plynné fáze. Při teplotách přes 20 °C mohou půdní organismy a kořeny rostlin zcela odčerpávat kyslík z půdy (Taiz et Zeiger, 2006).

Když nastane u hlízy nedostatek kyslíku a dostupný kyslík není schopen proniknout pletivem až do středu hlízy, v její dužině se začne tvořit černě ohraničená plocha a může vzniknout i dutina. Tento útvar označujeme jako černé srdéčko (Kúdela et al., 2013).

#### 3.4.2.4 Fyzikální faktory – voda

Ze všech složek tvoří voda největší část rostlinného těla. V buněčných strukturách se nachází buď voda volná, nebo vázaná, její rozložení po těle rostliny se liší a pro jednotlivé orgány je pak podle toho voda také různě potřebná. Semena například obsahují vody jen 5 – 15 % a přežijí tak bez vody o poznání déle než listy, které vody obsahují až 90 % (Vokál et al., 2000).

Nedostatečné množství vody pro rostlinu může být způsobeno nejen její nedostupností, ale také salinitou půdy, kdy se snižuje vodní potenciál půdního roztoku pod hodnotu vodního potenciálu buněk kořene a znemožňuje tak rostlině příjem vody (Pavlová, 2005). Nedostatek vody je samozřejmě způsoben hlavně nízkými srážkami. Stresovým faktorem, kterému se rostliny musely během evoluce také přizpůsobit, je sezónnost srážek, která též ovlivňuje vodní bilanci (Nilsen et Orcutt, 1996).

Heuer et Nadler (1998) uvádí, že brambory jsou na nedostatečný příjem vody citlivé a nedostatek má vliv na celkovou výšku rostliny, živou hmotnost a listovou plochu. Zároveň však dodává, že na délku listů nebo obsah sušiny nedostatek vody nijak nepůsobí.

Voda je pro pěstování brambor tedy limitujícím faktorem a je tak vhodné po celou dobu vegetace používat umělou závlahu, čímž se vyhneme nepravidelnému přísunu vody, což pozitivně působí na zdraví rostliny a konečné výnosy (Ati et al., 2012). Předpokládá se, že během následujících 30 let může dojít v produkci brambor ke ztrátám až 18 až 32 %, které budou způsobeny právě suchem. Mnoho šlechtitelů a biotechnologů se také proto snaží o zvýšení tolerance brambor k suchu (Monneveux et al., 2013).

Za vodní deficit považujeme stav, kdy je jakýkoliv obsah vody v buňce nebo tkáni nižší než při maximálním nasycení. Tento stav způsobuje ztrátu turgoru a následně se projevuje zastavením růstu a vadnutím. Také jsou při vodním deficitu rostliny citlivější k působení ostatních stresorů - např. k vyšší teplotě okolí (Pavlová, 2005).

Hale et al. (1987) rozděluje vlivy vodního stresu do pěti kategorií. První je snížení vodního potenciálu, následuje snížení turgoru, snížení koncentrace makromolekul i malých molekul na základě snížení turgoru, dále jsou to změny prostorových vztahů v tonoplastu, plasmatické membráně a membránách organel kvůli změně objemu a nakonec změny struktury nebo celkového uspořádání makromolekul.

Pokud na rostlinu působí stres suchem, snižuje se hlavně růst a fotosyntéza. Významnou rolí vody je totiž udržování turgidity a právě turgor má u rostlin hlavní úlohu při růstu a prodlužování buněk a hraje důležitou roli při otevírání průduchů, pohybu listů a květních obalů. Citlivější na snížení turgoru je však růst a dochází tak nejdříve k redukci prodlužování listů a až následně k redukci fotosyntézy (Bláha et al., 2003). Turgorový tlak je proměnlivý, pohybuje se v rozmezí 1,0 – 0,5 MPa mezi druhy za normálních podmínek s dostatkem vody (Nilsen et Orcutt, 1996). Procházka et al. (1998) označuje u běžných mezofytních druhů rostlin hodnoty turgoru do -0,5 MPa za mírný vodní stres. U hodnot od -0,5 do -1,5 se jedná o středně silný stres a od -1,5 níže jde o velmi silný stres.

Zpomalení růstu můžeme zaznamenat i při malých ztrátách vody, kdy turgor klesá jen o 0,1 až 0,2 MPa. K úplnému zastavení růstu pak dochází, pokud se vodní potenciál sníží na -0,3 až -0,4 MPa. Při ještě větším poklesu turgoru na hodnotu asi -0,2 až -0,8 MPa nastávají změny aktivity enzymů, snižuje se syntéza proteinů a také se zpomaluje buněčné dělení. V případě, že nedostatek vody dále přetrvává, projevují se další metabolické změny a to hlavně u fotosyntézy. U vyšších rostlin má stres suchem vliv především na průduchy, jejichž uzavíráním zpomaluje výměnu CO<sub>2</sub> (Bláha et al., 2003).

Pokud nastane nedostatek vody, rostlina na tento stav reaguje syntézou mnoha látek, které zvyšují osmotický tlak v buňkách, především se zvyšuje obsah kyseliny abscisové – zkráceně ABA a také aminokyseliny prolinu. Koncentrace prolinu se často zvyšuje až stonásobně (Procházka et al., 1998). Zvýšená koncentrace ABA v listech způsobuje zavírání průduchů rostlin a dále je důležitým mediátorem exprese genů pro stresové proteiny. Uzavírání průduchů snižuje výměnu plynů, což snižuje i rychlost fotosyntézy a dýchání (Bláha et al., 2003). Koncentrace kyseliny abscisové se v listech zvyšuje až padesátkrát (Taiz et Zeiger, 2006). Této kyselině se připisuje celkově nejvýznamnější role v obraně rostlin vůči stresorům, neboť snižuje negativní dopady nejen



nedostatku vláhy, ale i dalších stresorů, které v buňkách způsobují nedostatek vody – zasolení, nízké teploty atd. (Procházka et al., 1998).

U brambor je přizpůsobení osmotického tlaku do určité míry omezené. Z toho důvodu potom není udržováno napětí v listech rostlin při nedostatku vody. Bylo však zjištěno, že odrůdy snášející stres suchem lépe mají schopnost úpravy osmotického tlaku vyšší (Monneveux et al., 2013).

Při stresu suchem se zároveň mění účinnost využití vody, která nám udává množství sušiny vyprodukované rostlinou na jednotku spotřebované vody. V případě, že mají brambory z počátku růstu nedostatek vody, jejich účinnost využití vody se snižuje (Farooq et al., 2012).

#### Abitokózy

Nedostatek vláhy v půdě a současné působení vysokých teplot zapříčiňuje poškození porostu suchem a vadnutí natě. Jak už bylo uvedeno výše, nastává ztráta turgoru v listech i stoncích (Hausvater et Doležal, 2015).

Abiotická sklovitost hlíz bramboru se projevuje tím, že jsou hlízy protažené, jejich pupková část má světlejší sklovitou barvu, je vodnatá a za nějaký čas uhnívá. Tato abiotikóza je následkem nevyrovnaných vláhových poměrů v půdě. Stejnou příčinu mají i růstové rozprasky hlíz, nárůstky na hlízách či různé deformace hlíz (Hausvater et Doležal, 2015).

U brambor se mohou také tvořit dceřiné hlízy v důsledku zmlazování. K tomuto jevu dochází při obnovení intenzivního růstu po delším období sucha a projevuje se tedy vyrůstáním stolonů ze starších hlíz, ze kterých následně rostou mladé hlízky (Hausvater et Doležal, 2015).

Pokud dojde v druhé polovině vegetace k narušení dormance velkými výkyvy teplotních a vlhkostních podmínek, může nastat klíčení hlíz v brázdě ještě před jejich sklizením. Hlízy tedy klíčí a tvoří nové podzemní i nadzemní orgány (Hausvater et Doležal, 2015).

#### Vliv na polyfenoly

Vliv sucha na obsah antioxidantů v bramborových hlízách zkoumali Andre et al. (2009). U odrůd žlutých (Sipancachi, SS-2613) nezpůsobil stres suchem téměř žádné změny v obsahu antioxidantů, u červené (Sullu) a fialové odrůdy (Guincho Negra) však vyzorovali snížení množství anthokyanů a ostatních polyfenolů. Naopak odrůda s fialovou slupkou a žlutou dužinou (Huata Colorada) nakonec vykazovala vyšší množství polyfenolů než při běžných pěstebních podmínkách.

Při studiích vlivu záplav a na druhé straně vlivu nedostatku vody - tedy sucha (Lin et al. 2006) na obsah antioxidantů ve sladkých bramborách byly vyhodnocovány tři varianty – sucho, záplavy a normálně zalévané brambory. Výsledky se nijak výrazně nelišily, avšak nejvyšší množství polyfenolů bylo zaznamenáno u normálně zalévaných brambor.

Do jisté míry odlišný pokus prováděli Lachman et al. (2006), když sledovali, jak působí lokalita (nadmořská výška, srážky atd.) na obsah antioxidantů. Prostředím s nejvyšším úhrnem srážek (755 mm za rok) byly Stachy s nadmořskou výškou 860 m a naopak Praha – Suchdol v nadmořské výšce 286 m byla místem s nejmenším úhrnem ročních srážek (510 mm). V této studii se nakonec potvrdilo, že stanoviště s větším úhrnem srážek, větší nadmořskou výškou a tedy i celkově chladnějším počasím pozitivně ovlivňují množství polyfenolů, neboť hlízy z lokality Stachy obsahovaly polyfenolů v průměru o 11,4 % více, než ostatní varianty. Zde však působí více faktorů a nelze tak tvrdit, že by pouze větší množství srážek způsobovalo vyšší obsah fenolických látek.

#### 3.4.2.5 Fyzikální faktory - záření

Stejně jako živočichové, tak i rostliny vnímají vlivy počasí, chemické složení vzduchu, intenzitu a kvalitu dopadajícího slunečního záření atd. Aby rostliny přežily i v extrémních intenzitách slunečního záření nebo také teplotách, musely si vytvořit vlastní adaptační mechanismy, neboť se nemohou před působením takovýchto podmínek ukrýt – tedy přemístit se (Bláha et al., 2003).

Sluneční záření je pro rostliny nutným zdrojem energie pro fotosyntézu a pro výměnu tepla, dále také reguluje jejich růst a vývoj. Na záření rostliny reagují orientačním růstovým pohybem, změnou tvarů orgánů a mnoha dalšími aktivitami (Kúdela et al., 2013).

Záření je tedy pro rostliny nezbytné, avšak v jistých případech se pro ně může stát stresorem. Stres může být vyvolán extrémními hodnotami intenzity slunečního záření anebo také ultrafialovým zářením (Bláha et al., 2003).

Příliš vysoká intenzita záření má za následek nejdříve fotooxidaci chloroplastových pigmentů, především chlorofylů. Rostlina se tomuto brání stáčením listů, tvorbou ploch s vysokou odrazivostí, obranným prostředkem je také zřejmě glykolátový metabolismus, celkově pak může docházet ke snižování intenzity fotosyntézy. Při nadměrném dopadu UV záření nastává nejen fotooxidace, ale také fotodestrukce nukleových kyselin a bílkovin a akutní poškození cytoplazmy (Bláha et al., 2003).

Světlo také ovlivňuje hladinu polyfenolů v bramborách. Při vystavení hlíz světlu u nich stoupá koncentrace kyseliny chlorogenové a dochází k biosyntéze chlorofylu, což se následně projevuje zelenáním hlíz (Friedman, 1997).

Mezi abiotikózy brambor způsobené zářením patří např. sluneční úžeh hlíz bramboru, který vzniká, pokud silné sluneční záření působí na nezakryté hlízy. Na hlízách se začnou tvořit hnědé nekrózy (Hausvater et Doležal, 2015). Dále hlízy dostávají kovový vzhled (Kůdela et al., 2013).

Dalším problémem je abiotické zelenání bramborových hlíz, které je vyvolané působením denního nebo umělého světla na hlízy a slupka i dužina dostávají zelenou bravu. Této abiotikóze můžeme zabránit dostatečnou hloubkou výsadby a nahrnutím hrůbků a následně také skladováním brambor ve tmě (Hausvater et Doležal, 2015).

#### 3.4.2.6 Fyzikální faktory – teplota

Sluneční záření je (jak již bylo zmíněno) pro rostliny zdrojem světelné energie, dále však také mění teplotu vzduchu v okolí rostliny a ohřívá tak i jejich povrch (Bláha et al., 2003). Teplota má na růst brambor velmi významný vliv, uvádí se, že hraje důležitější roli než výživa nebo vlhkost. Rozmezí teplot, ve kterém nedochází k žádnému poškození brambor, je úzké, neboť brambory jsou na změny teplot velmi citlivé. Teplota, při které rostlina začíná růst je označována jako teplota pro růst minimální. Optimální teplota pro růst je taková teplota, při níž rostlina roste nejrychleji a růst se úplně zastavuje při dosažení maximální teploty pro růst. V případě brambor se jejich růst velmi zpomaluje, pokud se teplota zvýší nad 30 °C (Vokál et al., 2000).

Jako stresový faktor můžou na rostliny působit jak teploty vysoké, tak i teploty kolem 0 °C nebo pod bodem mrazu. V případě nízkých teplot tedy rozlišujeme citlivost na chlad (tedy teploty nad bodem mrazu) a citlivost na mráz (Bláha et al., 2003).

Jednotlivé orgány rostlin snáší teplotní stres různě. Obecně však platí, že generativní orgány jsou na teplotní extrémů náchylnější a bývají jimi více poškozovány než vegetativní orgány (Bláha et al., 2003).

Abiotikózou, kterou způsobují extrémní změny teplot ke konci vegetace, při přepravě sadby nebo při samotné výsadbě, je tzv. abiotická hlízkovitost bramboru. Příznakem je jev, kdy se po výsadbě kolem matečné hlízy objevují dceřinné hlízky na krátkých stolonech, přičemž nadzemní část rostliny neroste nebo je redukována (Hausvater et Doležal, 2015).

Dalším problémem je zmrznutí hlíz, ke kterému dochází v případě, že teplota klesá pod bod mrazu. Dužina brambor má šedohnědou barvu a hlízy po rozmrznutí uvolňují vodu.

Toto poškození může nastat na poli, při převozu či při skladování. Abychom tedy zmrznutí hlíz předešli, je nutná včasná sklizeň a také zajištění vhodné teploty během skladování (Hausvater et Doležal, 2015).

Pokud teplota půdy klesne pod 13 °C na déle než 5 až 7 dní, může v hlíze vzniknout chladové hnědé a duté srdéčko. Ve středu hlízy totiž dochází ke změně zbarvení a pletiva hnědnou. Když pak hlíza rychle roste, tato napadená pletiva se od sebe oddělují a tvoří se tak dutina – tzv. duté srdéčko (Kůdela et al., 2013)

Vlivem extrémních výkyvů teplot také může docházet k abiotickému prorůstání klíčků hlízou. Vysokoteplotní nitkovitost klíčků bramboru nastává při teplotních výkyvech a horkém a suchém počasí na konci vegetace a projevuje se vyrůstáním dlouhých a tenkých klíčků z hlízy (Hausvater et Doležal, 2015).

Teplota při skladování má také vliv na obsah fenolických látek v hlízách, kdy při nižších skladovacích teplotách je množství polyfenolů v bramborách vyšší. Pokud jsou totiž brambory vystaveny vyšším teplotám, aktivizuje se v nich enzym polyfenoloxidáza (PPO), který má za následek urychlení přeměny polyfenolů na polymerní pigmenty (Friedman, 1997).

### **3.5 Antioxidační kapacita**

Antioxidační kapacitu dále označujeme také jako antioxidační aktivitu nebo potenciál (Boyle et al., 2000). Antioxidační aktivita je schopnost sloučenin zabránit oxidačnímu poškození jiných sloučenin (jako např. peroxidaci lipidů), (Šulc et al., 2007).

Antioxidační kapacita nám vlastně udává délku trvání antioxidačního účinku. Na antioxidační aktivitu má vliv obsah řady látek, hlavně však anthokyanů, fenolových kyselin (především izomerních chlorogenových kyselin) a v neposlední řadě také karotenoidů (Lachman et Hamouz, 2004). Vliv vitamínu C na antioxidační kapacitu a jeho obsah v bramborových hlízách také není zanedbatelný. Brambory ho obsahují v průměru 20 mg.100 g<sup>-1</sup> čerstvé hmotnosti a může odpovídat až za 13 % celkové antioxidační aktivity (Brown, 2005).

Brambory s modře nebo červeně zbarvenou dužinou tedy mají díky vyššímu obsahu anthokyanů až třikrát větší antioxidační kapacitu ve srovnání s bramborami se žlutou (či bílou) dužinou (Lachman et Hamouz, 2004). Brown et al. (2004) svým měřením (metodami ORAC a FRAP) toto tvrzení potvrdili, neboť u odrůd brambor s modrou a červenou dužinou též zjistili větší antioxidační kapacitu. Hlízy s dužinou bílou však podle nich také vykazují značnou antioxidační aktivitu – až 930 – 1380 troloxových ekvivalentů na kg čerstvé hmoty.

Lachman et Hamouz (2004) uvádí, že tepelná úprava antioxidační kapacitu neovlivňuje a zůstává tedy i po vaření stejná. Působení tepelné úpravy pozorovali i Ševčík et al. (2009), kdy zkoumali brambory vařené bez slupky (12 minut), brambory vařené ve slupce (12 minut), brambory vařené v páře se slupkou (30 minut), mikrovlnný ohřev (5 minut) a smažené hranolky (5 minut v rostlinném oleji). Kromě brambor vařených bez slupky, u kterých antioxidační kapacita slabě klesala, zůstala antioxidační kapacita zachována nebo dokonce i mírně narůstala.

### **3.5.1 Metody stanovení antioxidační kapacity**

Aby bylo možné srovnávat antioxidační účinky směsí hlavně potravinových vzorků, byl zaveden pojem celková antioxidační aktivita. Celková antioxidační aktivita (total antioxidant activity – TAA) je parametr, který udává schopnost biologického materiálu eliminovat radikály (Arnao et al., 1999).

Aktivitu antioxidantů je možné posuzovat různými chemickými a fyzikálními procesy, protože antioxidanty působí různými mechanismy. Při použití fyzikálních metod se sledují změny fyzikálních vlastností a chemické metody se mohou provádět s chemickými činidly. Spojením činidla s volnými kyslíkovými radikály vznikají barevné produkty, jejichž tvorbě zabraňují právě ve vzorku obsažené antioxidanty. Intenzita zbarvení se pak většinou měří spektrofotometricky a obsah látek s antioxidačními účinky se následně zjistí z rozdílů hodnot absorbancí měřeného a slepého vzorku (Karabín et al., 2006).

Antioxidační kapacita potravin se většinou stanovuje paralelně několika různými způsoby, díky tomu ji můžeme spolehlivěji určit a detailněji charakterizovat (Zloch et al., 2004). Používají se dvě hlavní metody pro stanovení antioxidační aktivity – metody sledující inaktivaci volných radikálů a metody měřící redukční schopnost antioxidantů (Paulová et al., 2004).

#### **3.5.1.1 Metody sledující inaktivaci volných radikálů**

Při této metodě se hodnotí schopnost vzorku vychytávat volné radikály. Radikály jsou buď v reakční směsi generovány, nebo se do ní přidávají. Z chemického hlediska se jedná o radikály kyslíkové (peroxyl, hydroxyl, superoxidový anion-radikál) nebo syntetické stabilní radikály (DPPH, ABTS+, galvinoxyl). Zvláštní skupinou jsou metody testující schopnost inhibovat lipidovou peroxidaci (Paulová et al., 2004).

## Metoda TEAC

Jednou z nejpoužívanějších metod pro stanovení celkové antioxidační kapacity je metoda používající ABTS, označována také jako metoda TEAC (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity), (Rice– Evans et al., 1995). Při této metodě se výsledná antiradikálová aktivita vzorku porovnává s antiradikálovou aktivitou syntetické látky Troloxu (6–hydroxy–2, 5, 7, 8 – tetramethylchroman–2–dikarboxylová kyselina). Nejčastěji se pro čisté látky TEAC definuje jako milimolární koncentrace Troloxu odpovídající antioxidační aktivitě testované látky o koncentraci 1 mmol/l. Pro směsi udává koncentraci Troloxu (mmol.l-1), která odpovídá antioxidační aktivitě vzorku (Verhagen et al., 1996).

Metoda TEAC je rychlá na provedení, nenáročná a navíc má také široké uplatnění, jelikož díky ní můžeme hodnotit antioxidační aktivitu čistých látek různého původu i různých směsí (Paulová et al., 2004).

## Metoda používající DPPH

Tato metoda se řadí mezi jednu ze základních pro stanovení antiradikálové aktivity čistých látek i směsných vzorků. Je založena na reakci testované látky se stabilním radikálem difenylpikrylhydrazylem – DPPH, při které se radikál redukuje za vzniku DPPH-H (difenylpikrylhydrazin). Tato reakce se většinou sleduje spektrofotometricky. Při měření směsných vzorků se občas radikálová aktivita vyjadřuje v ekvivalentech askorbové kyseliny (Du Toi et al., 2001) nebo v jednotkách standardu Troloxu (Choi et al., 2000).

Při posuzování antioxidační kapacity bramborových hlíz je tato metoda ideální nejen kvůli přesnosti výsledků, ale také z ekonomického hlediska (Hamouz, 2004).

## Metoda používající galvinoxyl

Principem této metody je redukce stabilního radikálu galvinoxylu látkami, které poskytují vodík podobně jako při testu DPPH. Reakce je sledována spektrofotometricky při vlnové délce 428 nm nebo na základě ESR (Shi et al., 2001). Podle přijetí elektronů se roztok odbarvuje a stanovuje se tak i dynamika aktivity antioxidantu. Metodou používající galvinoxyl tak lze díky tomu nejen stanovit a porovnávat antioxidační kapacitu, ale i získat jiné konstanty, které se týkají daného antioxidantu (Honglian et al., 2001).

## Metoda ORAC

Metoda ORAC (Oxygen radical absorbance capacity) je metodou hodnotící eliminaci kyslíkových radikálů (na rozdíl od předchozích, které se týkaly radikálů syntetických). Při

této metodě se v testované látce vytvářejí kyslíkové radikály a následně se hodnotí schopnost látky zpomalit či až zastavit radikálovou reakci (Cao et al., 1996). Zjišťování je založeno na pozorování poklesu fluorescence  $\beta$ -fykoerytrinu ( $\beta$ -PE) po zapojení radikálů. Původní metoda ORAC, která používá jako sondu  $\beta$ -PE (ORAC<sub>PE</sub>), má velké možnosti uplatnění a také je díky ní možné zjistit důležité údaje o antioxidační kapacitě vzorků různého typu (Cao et al., 1997). Po zavedení dalšího typu fluorescenční sondy - fluoresceinu (FL, ORAC<sub>FL</sub>), se metoda ORAC stala přesnější a to především v důsledku jednoduchého reakčního mechanismu, jehož podstatou je klasický přenos vodíku (Ou et al., 2001).

#### Metody hodnotící eliminaci lipidové peroxidace

Mezi jeden z nejvýznamnějších patologických pochodů v těle patří lipidová peroxidace, kterou vyvolávají volné radikály. Z tohoto důvodu se i řada metod zabývá přímo testováním inhibičních účinků na lipidovou peroxidaci. K nejjednodušším testům řadíme metody, které vycházejí z detekce produktů peroxidace linolové kyseliny, kde se často používá AAPH jako iniciátor radikálové reakce (Rapisarda et al., 1999).

##### 3.5.1.2 Metody měřící redukční schopnost antioxidantů

V případě této metody můžeme neenzymové antioxidanty popsat jako redukční činidla, která oxidanty redukují a inaktivují tím, že s nimi reagují. Antioxidační aktivitu pak lze díky tomu hodnotit podle redukčních schopností látek (Paulová et al., 2004).

#### Metoda FRAP

Metodu FRAP (Ferric reducing antioxidant potential) řadíme mezi metody chemické a zakládá se na principu redoxní reakce (Pedersen et al., 2000). Antioxidanty ze vzorku redukují železitý komplex - 2,4,6-tri(2-pyridyl-1,3,5-triazin) ( $\text{Fe}^{3+}$ -TPTZ). Stupeň antioxidační kapacity vzorku potom představuje nárůst absorbance při 593 nm, která odpovídá množství komplexu  $\text{Fe}^{2+}$ -TPTZ. Nevýhodou této metody je, že se provádí v prostředí s nízkou hodnotou pH (3,6), což způsobuje, že zde nejsou zachyceny thioly a pomalu reagující polyfenolické látky. Metoda FRAP pak kvůli tomu může ukazovat jen schopnost látek redukovat ion  $\text{Fe}^{3+}$ , celkovou antioxidační kapacitu vzorku už však nikoliv (Ou et al., 2002).

## Cyklická voltametrie

Tato metoda patří mezi elektrochemické metody. Cyklická voltametrie signalizuje schopnost látek odštěpovat elektrony. Na pracovní elektrodu u této metody vkládáme potenciálový pulz s určitou rychlostí polarizace a zároveň pozorujeme proudové odezvy v roztoku studované látky. Získaný záznam pak vyobrazuje křivka – tzv. cyklický voltamogram. Redukční schopnost látek se následně posuzuje podle potenciálu anodického oxidačního píku  $E_A$  a jeho anodického proudu  $I_A$ . Pokud je hodnota  $E_A$  nízká, tak látka snadno odevzdává elektrony a může být lepším antioxidantem. Z hodnoty výšky proudu anodického píku  $I_A$  můžeme stanovit koncentraci látek. Touto metodou lze tedy zjistit informace o schopnostech látky odevzdávat elektrony a dále pak můžeme vybrat vhodnou metodu na stanovení antioxidační kapacity (Nakamura et al., 1998; Rapta et al., 1995).

## HPLC metoda s elektrochemickou detekcí

Pomocí amperometrických nebo coulochemických detektorů při analýze HPLC (HPLC–ECD High Performance Liquid Chromatography with Electrochemical Detection) můžeme s velkou přesností detekovat elektroaktivní látky. U této metody vkládáme na pracovní elektrodu detektoru určitý kladný potenciál. Pozorujeme pík látky, který se projeví, jen pokud je látka při tomto potenciálu oxidována. Tato metoda nám umožňuje analýzu směsi a zároveň i identifikaci jednotlivých účinných antioxidačních komponent, neboť retenční čas i potenciál, při kterém dochází k oxidaci, je pro každou látku typický. Při využití metody HPLC–ECD souvisí hodnocení antioxidačních vlastností látek i s ostatními, které používáme pro testování celkové antioxidační kapacity látek - např. s metodou DPPH (Rapta et al., 1995; Peyrat–Maillard et al., 2000).

## 3.6 Stanovení celkového obsahu fenolických sloučenin

Metodami pro posouzení veškerých polyfenolů, které se nejčastěji používají, jsou spektrofotometrické zkoušky s činidlem Folin-Ciocalteu (FCM), Folin-Denis a test Pruskou modří (metoda PBM), dále také titrační a elektrochemické metody nebo spektrometrie nukleární magnetickou rezonancí (Shahidi et Naczki, 2004).

### Metoda Folin-Ciocalteu

Jako činidlo se při této metodě používá Folin-Ciocalteuovo činidlo (směs fosfomolybdenanu a fosfowolframanu), které reaguje s fenoly obsaženými ve vzorku. Fenoly se začínají redukovat za vzniku modrých produktů – chromogenů. Při vlnové délce 750 nm se



následně provádí spektrofotometrické měření a zjištěná koncentrace fenolických látek je přepočítána na ekvivalentní množství kyseliny gallové, neboť se zde tato kyselina používá jako standard. Díky tomu je někdy Folin-Ciocalteuova metoda nazývána Gallic Acid Equivalent method (GAE), (Stratil et al., 2007; Stratil et al., 2008).

#### Metoda Folin-Denis

Tato metoda je velice podobná metodě předchozí, jako činidlo se však používá činidlo Folin-Denisovo (fosfomolybden-fosforečná kyselina) a redukcí fenolických sloučenin v zásaditém prostředí pak vznikají modře zbarvené komplexy (Folin et Denis, 1912). Metoda Folin-Denis patří mezi nejčastěji používané postupy pro stanovení celkového obsahu polyfenolů v rostlinných potravinách a nápojích (Shahidi et Naczka, 2004).

#### Metoda PBM

V případě této metody je anion fenolátu zoxidován na radikál fenolátu, současně se redukuje hexakynoželezitan na hexakynoželeznatan a vzniká tak pruská (neboli berlínská) modř  $K_x(Fe_n^{3+} [Fe^{2+} (CN)_6]_3)$ , (Stratil et al., 2008).

## 4 Závěr

Brambory jsou velmi významnou plodinou s širokým využitím, které zahrnuje např. výrobu hospodářských krmiv, výrobu škrobu pro různá odvětví průmyslu a hlavně mají důležité místo ve výživě lidí. Díky škrobu mají skvělou sytící schopnost a především také obsahují látky pozitivně působící na naše zdraví, kterými jsou právě i fenolické sloučeniny.

Kromě odrůdy mají i přírodní podmínky, ve kterých jsou brambory pěstovány, dopad na konečný výnos, na kvalitu brambor a také na jejich chemické složení. Při překročení určité meze, začínají okolní podmínky působit jako stresory.

Bylo zjištěno, že např. pokud na rostlinu působí stres ze zasolení půdy, klesá v ní koncentrace některých aminokyselin a naopak obsah prolinu, který má ochrannou funkci, se zvyšuje. Dále byl také zaznamenán pokles množství škrobu. Skladovací teploty jsou jedním z faktorů, který má vliv na obsah polyfenolů v bramborových hlízách, neboť jisté studie prokázaly, že při nižších skladovacích teplotách je obsah fenolických sloučenin vyšší.

Brambory jsou plodinou citlivou na nedostatek vody a sucho je tedy pro ně velkým stresovým faktorem. Při nedostatku vláhy se snižuje turgor, intenzita růstu a nastává omezení fotosyntézy. Při zjišťování vlivu stresu suchem na obsah polyfenolů se však výsledky studií rozcházejí a nelze tak s jistotou tvrdit, že nedostatek vláhy nějak výrazně ovlivňuje jejich množství v hlízách. Roste ale obsah kyseliny abscisové, která má asi nejvýznamnější úlohu v obraně rostliny vůči stresorům, a také obsah aminokyseliny prolinu. Díky těmto látkám dokážou brambory období sucha déle přečkat.

## 5 Seznam literatury

Andre, C. M., Schafleitner, R., Guignard, C., Oufir, M., Aliaga, C. A. A., Nomberto, G., Hoffmann, L., Hausman, J. -F., Evers, D., Larondelle, Y. 2009. Modification of the HealthPromoting Value of Potato Tubers Field Grown under Drought Stress: Emphasis on Dietary Antioxidant and Glycoalkaloid Contents in Five Native Andean Cultivars ( *Solanum tuberosum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 57 (2). 599-609.

Arnao, M.B., Cano, A., Acosta, M., 1999. Methods to measure the antioxidant activity in plant material. A comparative discussion. *Free Radical Research*, 31 (Suppl). 89-96.

Ati, S.A., Iyada, D.A., Najim, M.S. 2012. Water use efficiency of potato (*Solanum tuberosum* L.) under different irrigation methods and potassium fertilizer rates. *Annals of Agricultural Science*. 57 (2). 99-103.

Augustin, J., Johnson, S. R., Teitzel, C., Toma, R. B., Hogan, J. M., Deutsch, R. M. 1978. Vitamin composition of freshly harvested and stored potatoes. *Journal of Food Science*. 43. 1566-1570, 1574.

Bárta, J., Čurn, V. 2004. Bílkoviny hlíz bramboru (*Solanum tuberosum* L.) - klasifikace, charakteristika, význam. *Chemické listy*. 98 (7). 373-378.

Bláha, L., Bocková, R., Hnilička, F., Hniličková, H., Holubec, V., Möllerova, J., Štolcová, J., Zieglerová, J. 2003. *Rostlina a stres. Výzkumný ústav rostlinné výroby*. Praha. p. 156. ISBN: 80- 86555-32-1

Boyle, S.P., Dobson, V.L., Duthie, S.J. 2000. Absorption and DNA protective effects of flavonoid glycosides from an onion meal. *European Journal of Nutrition*, 39 (5). 213-223.

Brown C.R., Culley D., Bonierbale M., Amoros W. 2007. Anthocyanin, Carotenoid Content, and Antioxidant Values in Native South American Potato Cultivars. *HortScience*. 42 (7). 1733-1736.

- Brown, C. R. 2005. Antioxidants in potato. *American Journal of Potato Research*. 82 (2). 163-172.
- Brown, C.R., 2004. Nutrient status of potato: Assessment of future trends. In *Proceedings of the Washington State Potato Conference*. 11 – 17.
- Brown, C.R., 2008. Breeding for phytonutrient enhancement of potato. *American Journal of Potato Research*, 85. 298-307.
- Buono V., Paradiso A., Serio F., Gonnella M., Dara L. D., Santamaria P. 2009. Tuber quality and nutritional components of “early” potato subjected to chemical haulm desiccation, *Journal of Food Composition and Analysis*, 22. 556-562.
- Burlingame, B., Mouillé, B., Charrondiére, R. 2009. Nutrients, bioactive non-nutrients and antinutrients in potatoes. *Journal of Food Composition and Analysis*. 22 (6). 494-502.
- Burton W.G. 1989. *The Potato*. Harlow UK, Longman Scientific and Technical, London, p. 742. ISBN: 9780470211915
- Cao. G. H., Sofic, E., Prior, R. L. 1997. Antioxidant and prooxidant behavior of flavonoids: Structure- activity relationships. *Free Radical Biology and Medicine*. 22(5). 749-760.
- Cao, G.H., Sofic, E., Prior, R. L. 1996. Antioxidant capacity of tea and common vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 44 (11). 3426 - 3431.
- Čepl. J. 2005. Brambory - zdravá potravina. *Bramborářství*. 13 (6). 20-21
- Čopíková. J. 2001. Čokoláda a zdraví. *Chemické listy*. 95. 610-615.
- Diviš, J. 2007. Ovlivnění kvality brambor. *Farmář*. 13(1). 13-15.
- Du Toit, R., Volstedt, Y., Apostolides, Z. 2001. Comparison of the antioxidant content of fruits, vegetables and teas measured as vitamin C equivalents. *Toxicology*. 166 (1-2). 63-69.

Es A., Hartmans K.J. 1987. Structure and chemical composition of the potato. In: Rastovski A., Es A. et al. (1987): Storage of Potatoes, Post Harvest Behaviour, Store Design, Storage Practice, Handling, Pudoc, Wageningen , p. 15–78. ISBN: 9789022008973.

Ezekiel, R., Singh, N., Sharma, S., Kaur, A. 2013. Beneficial phytochemicals in potato. Food Research International. 50 (2). 487-496.

Folin, O., Denis, W. 1912. On phosphotungstic-phosphomolybdic compounds as color reagens. The Journal of Biological Chemistry. 12. 239 – 243.

Friedman, M. 1997. Chemistry, biochemistry and dietary role of potato polyphenols. Journal of Food and Chemistry, 45(5). 1523-1540.

Friedman, M., Levin, C.E. 2016. Chapter 7 – Glycoalkaloids and Calystegine Alkaloids in Potatoes. In: Jaspreet, S., Lovedeep, K. (eds.). Advances in Potato Chemistry and Technology (Second Edition). Academic Press. San Diego. p.167-194. ISBN: 9780128000021.

Galvano F., Fauci L.L., Lazzarino G., Fogliano V., Ritieni A., Ciappellano S., Battistini N.C., Tavazzi B., Galvano G. 2004. Cyanidins: metabolism and biological properties. Journal of Nutritional Biochemistry. 15 (1). 2-11.

Hamouz, K. 2004. Kvalita brambor vypěstovaných v různých klimatických podmínkách ČR. In „Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin“: Sborník příspěvků z vědecké konference 15. 9. 2004. Praha: Česká zemědělská univerzita. 8 – 12.

Hausvater, E., Doležal, P. 2014. Praktické informace – nejdůležitější škodliví činitelé bramboru. Výzkumný ústav bramborářský Havlíčkův Brod, s.r.o. a Poradenský svaz „Bramborářský kroužek“. Havlíčkův Brod. p. 23. ISBN: 978-80-86940-54-0.

Hausvater, E., Doležal, P. 2015. Abiotikózy bramboru – Fyziologické vady a poruchy. Výzkumný ústav bramborářský Havlíčkův Brod, s.r.o. a Poradenský svaz „Bramborářský kroužek“. Havlíčkův Brod. p. 19. ISBN: 978-80-86940-64-9.

- Heuer, B., Nadler, A. 1998. Physiological response of potato plants to soil salinity and water deficit. *Plant Science*. 137 (1). 43-51.
- Honglian S., Noguchi N., Etsuo N. 2001. Natural antioxidants – Introducing natural antioxidants. *Antioxidants in Food – Practical Applications*, část 3. Cambridge: Woodhead Publishing.
- Hruška, L., Beránek, J., Daniel, J., Fousek, J., Jun, J., Mejstřík, J., Míča, B., Musil, J., Nohejl, J., Poppr, J., Radil, B., Rasocha, V., Stražil, F., Vaňha, B., Zadina, J., Zrůst, J. 1974. *Brambory*. Státní zemědělské nakladatelství. Praha. p. 416. ISBN 07-019-74.
- Hřebíčková, Š. 2009. Antioxidanty a volné radikály: rozdělení, jejich kapacita a aktivita. *Výživa a potraviny*. 64 (2). 30-32.
- Choi, H.S., Sawamura, M. 2000. Radical-scavenging activities of citrus essential oils and their components: Detection using 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 48 (9). 4156 – 4161.
- Ježek P., Hlušek J., Lošák T. 2008. Influence of selenium application on yield of potatoes (*Solanum tuberosum*) and its content in tubers after heat treatment, Mendel university of Agriculture and Forestry, článek z konference MendelNet'08 Agro. Brno. 2-8.
- Jůzl, M., Hlušek, J., Elzner, P., Lošák, T. 2006. Pokusné pěstování brambor s vyšším obsahem selenu. *Úroda*. 54 (6). 22-23.
- Karabín, M., Dostálek, P., Hofta, P. 2006. Přehled metod pro stanovení antioxidační aktivity v pivovarství. *Chemické listy*. 100. 184 - 189.
- Karboune, S., Waglay, A. 2016. Chapter 4 - Potato Proteins: Functional Food Ingredients. In: Jaspreet, S., Lovedeep, K. (eds.). *Advances in Potato Chemistry and Technology (Second Edition)*. Academic Press. San Diego. p.75-104. ISBN: 9780128000021.

Kotíková Z., Hejtmánková A., Lachman J., Hamouz K., Trnková E., Dvořák P. 2007. Effect of selected factors on total carotenoid content in potato tubers (*Solanum tuberosum* L.). *Plant Soil Environment*. 53. 355-360.

Křišťufek, V., Pelikánová, L., Diviš, J. 2001. Obsah polyfenolických látek ve slupce hlíz brambor ve vztahu k výskytu strupovitosti. *Bramborářství*. 9 (5). 4-7.

Kubát, K., Hrouda, L., Chrtěk, J. jun., Kaplan, Z., Kirschner, J., Štěpánek, J. 2002. Klíč ke květeně České republiky. Academia Praha. p. 928 . ISBN: 80-200-0836-5.

Kůdela, V., Ackermann, P., Prášil, I. T., Rod, J., Veverka, K. 2013. Abiotikózy rostlin: poruchy, poškození a poranění. Academia. Praha. p. 566. ISBN: 978-80-200-2262-2.

Kvasnička, F., Ševčík, R. 2009. Antioxidanty potravin. *Výživa a potraviny*. 64 (5). 136-138.

Lachman, J., Hamouz, K. 2004. Anthokyany v hlízách brambor s červeně až modře zbarvenou dužninou - významný zdroj antioxidantů ve výživě. *Bramborářství*. 12 (2). 12-15.

Lachman, J., Hamouz, K., Čepl, J., Pivec, V., Šulc, M., Dvořák, P. 2006. Vliv vybraných faktorů na obsah polyfenolů a antioxidační aktivitu hlíz brambor. *Chemické listy*. 100 (7). 522- 527.

Lachman, J., Hamouz, K., Orsák, M., Pivec, V. 2001. Polyfenoly, askorbová kyselina a karotenoidy - významné antioxidanty v hlízách brambor. *Bramborářství*. 9 (2). 6-7.

Lachman, J., Hamouz, K., Orsák, M. 2005. Červeně a modře zbarvené brambory – významný zdroj antioxidantů v lidské výživě. *Chemické listy*. 99 (7). 474-482.

Lachman, J., Orsák, M., Pivec, V. 2000. Antioxidant contents and composition in some vegetables and their role in human nutrition: Obsah a složení antioxidantů ve vybraných zeleninách a jejich role v lidské výživě. *Zahradnictví*. 27 (2). 65-78.

- Lewis, C. E., Walker, J. R. L., Lancaster, J. E., Button, K. H. 1998. Determination of anthocyanins, flavonoids and phenolic acids in potatoes: Coloured cultivars of *Solanum tuberosum*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 77. 45-47.
- Lin, K. -H., Chao, P. -Y., Yang, C. -M., Cheng, W. -C., Chang, T. -R. 2006. The effects of flooding and drought stresses on the antioxidant constituents in sweet potato leaves. *Botanical Studies*. 47. 417-426.
- Lister, C.E., Munro, J. 2000. Nutrition and health qualities of potato – a future focus: Crop and Food Research Confidential Report No. 143.
- Monneveux, P., Ramírez, D.A., Pino, M. 2013. Drought tolerance in potato (*S. tuberosum* L.) Can we learn from drought tolerance research in cereals?. *Plant Science*. 205-206. 76-86.
- Nakamura, T., Nishi, H., Kokusenya, Y., Sato, T. 1998. Antioxidative activity estimation of methanol extracts of crude drugs by electrochemical detection high performance liquid chromatography (ECD-HPLC) and correlation with 1, 1 - diphenyl - 2 - picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activities. *Chemical & Pharmaceutical Bulletin*. 46 (9). 1388 - 1392.
- Navarre, A.D., Shakya, R., Hellmann, H. 2016. Chapter 6 – Vitamins, Phytonutrients, and Minerals in Potato. In: Jaspreet, S., Lovedeep, K. (eds.). *Advances in Potato Chemistry and Technology (Second Edition)*. Academic Press. San Diego. p.117-166. ISBN: 780128000021.
- Nilsen, E. T., Orcutt, D. M. 1996. *The physiology of plants under stress: abiotic factors*. John Wiley & Sons, Inc. New York. p. 689. ISBN: 0-471-03152-6.
- Ou B., Huang D., Hampsch-Woodill M., Flanagan J. A., Deemer E. K. 2002. Analysis of Antioxidant Activities of Common Vegetables Employing Oxygen Radical Absorbance Capacity (ORAC) and Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP) Assays: A Comparative Study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50 (11). 3122–3128.



Ou, B., Hampsch-Woodill, M., Prior, R. L. 2001. Development and validation of an improved oxygen radical absorbance capacity assay using fluorescein as the fluorescent probe. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 49 (10). 4619 – 4626.

Parida, A. K., Das, A.B. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 60 (3). 324-349.

Paulová, H., Bochořáková, H., Táborská, E. 2004. Metody stanovení antioxidační aktivity přírodních látek in vitro. *Chemické listy*. 98 (4). 174-179.

Pavlová, L. 2005. *Fyziologie rostlin*. Karolinum. Praha. p. 253. ISBN: 80-246-0985-1.

Pedersen, C.B., Kyle, J., Jenkinson, A.M., Gardner, P.T., McPhail, D.B., Duthie, G.G. 2000. Effects of blueberry and cranberry juice consumption on the plasma antioxidant capacity of healthy female volunteers. *European Journal of Clinical Nutrition*, 54 (5). 405-408.

Pelikán, M., Sáková, L. 2001. *Jakost a zpracování rostlinných produktů*. Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta. České Budějovice. p. 233. ISBN: 80-7040-502-3.

Peyrat - Maillard, M. N., Bonnely, S., Berset, C. 2000. Determination of the antioxidant activity of phenolic compounds by coulometric detection. *Talanta*. 51(4). 709-716.

Procházka S., Krekule, J., Macháčková, I., Šebánek, J. 1998. *Fyziologie rostlin*. Academia. Praha. p. 484. ISBN: 80-200-0586-2.

Rapisarda, P., Tomaino, A., Cascio, R. L., Bonina, F., Pasquale, A. D., Saija, A. 1999. Antioxidant effectiveness as influenced by phenolic content of fresh orange juices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 47 (11). 4718-4723.

Rapta P., Mišík V., Staško A., Vrábek I. 1995. Redox intermediates of flavonoids and caffeic acid esters from propolis: an EPR spectroscopy and cyclic voltammetry study. *Free Radical Biology Medicine*. 18 (5). 901-908

- Rice-Evans, C., Miller, N. J., Bolwell, P. G., Bramlez, P. M., Pridham, J. B. 1995. The relative antioxidant activities of plant-derived polyphenolic flavonoids. *Free Radical Research*. 22 (4). 375 -383.
- Rybáček V., Čača, Z., Fric, V., Fricová, E., Šroller, J, Votoupal, B, Daniel, J., Findejs, R., Míča, B., Radil, B., Rasochová, M, Rasocho, V, Tuček, V., Vokál, B., Zrůst, J. 1988. *Brambory*. Státní zemědělské nakladatelství. Praha. p. 360.
- Scalbert A., Johnson I.T., Saltmarsh M. 2005. Polyphenols: antioxidant and beyond. *Am. J. Clin. Nutr.* 2005. 81, Suppl.1. 215-217.
- Shahidi, F.,Nacz, M. 2004. *Phenolics in food and nutraceuticals*. Boca Raton: CRC Press. p.566. ISBN 1- 58716-138-9.
- Shi, H., Noguchi, N., Niki, E. 2001. Galvinoxyl method for standardizing electron and proton donation activity. *Methods in etymology*. 335. 157 - 166.
- Stratil P., Klejdus B., Kubán V. 2007. Determination of phenolic compounds and their antioxidant activity in fruits and cereals. *Talanta*. 71 (4). 1741–1751.
- Stratil P., Kubán V., Fojtová J. 2008. Comparison of the Phenolic Content and Total Antioxidant Activity in Wines as Determined by Spectrophotometric Methods, *Czech J. Food Sci.* 26 (4). 242–253.
- Štípek, S., Borovanská, J., Čejková, J., Homolka, J. 2000. *Antioxidanty a volné radikály ve zdraví a v nemoci*. Praha: Grada Publishing. p. 320. ISBN 80-7169-704-4
- Šulc, M., Lachman, J., Hamouz, K., Orsák, M., Dvořák, P., Horáčková, V. 2007. Výběr a zhodnocení vhodných metod pro stanovení antioxidantní aktivity fialových a červených odrůd brambor. *Chemické listy*. 101 (7). 584-591.
- Taiz L., Zeiger E. 2006. *Plant physiology*, Sinauer Associates Sunderland, 4. vyd. p. 764. ISBN 978-0-87893-856-8

Velíšek, J., Hajšlová, J. 2009. Chemie potravin 1. 3. OSSIS. Tábor. p. 602. ISBN: 978-80-86659-15-2.

Velíšek, J., Hajšlová, J. 2009. Chemie potravin 2. 3. OSSIS. Tábor. p. 644. ISBN: 978-80-86659-16-9.

Verhagen, J.V., Haenen, G.R.M.M., Bast, A. 1996. Nitric oxide radical scavenging by wines. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44(12). 3733 – 3734.

Vokál, B., Cvrček, M., Čepl, J., Čížek, M., Domkářová, J., Fér, J., Hausvater, E., Králíček, J., Prugar, J., Rasocha, V., Zrůst, J. 2000. *Brambory*. Agrospoj. Praha. p. 245.

Vokál, B., Čepl, J., Hausvater, E., Rasocha, V. 2003. *Pěstujeme brambory*. Grada Publishing. Praha. p. 104. ISBN: 80-247-0567-2.

Yunjeong, K., Min-Gul, K. 2016. HPLC-UV method for the simultaneous determinations of ascorbic acid and dehydroascorbic acid in human plasma. *Translational and Clinical Pharmacology*. 24 (1). 37-42.

Zloch, Z., Čelakovský, J., Aujezdská, A. 2004. Posuzování biologické hodnoty potravin na základě jejich antioxidační aktivity. *Česká a slovenská hygiena*, 1(3). 82 – 87.

Zrůst J. 2004. Glykoalkaloidy u brambor a ostatních komodit, Vědecká práce VVF: PROJ/2003/19/deklas.

## 6 Seznam použitých zkratek a symbolů

AAPH	2,2'azobis(2-amidinopropan)dihydrochlorid
ABA	Kyselina abscisová
ABTS	2,2'-azinobis(3-ethyl-2,3-dihydrobenzothiazol-6-sulfonát)
atd.	a tak dále
DPPH	Difenylpikrylhydrazyl
DPPH-H	Difenylpikrylhydrazin
ESR	Erythrocyte sedimentation rate
FRAP	Ferric reducing antioxidant potential
HPLC	High Performance Liquid Chromatography - vysokoúčinná kapalinová chromatografie
ORAC	Oxygen radical absorbance capacity
TAA	Total antioxidant aktivity – celková antioxidační aktivita
TEAC	Trolox Equivalent Antioxidant Capacity