

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra chemie



**Vliv vodního stresu brambor na obsah monosacharidů
v hlízách**

Bakalářská práce

Autor práce: Klára Podhorecká

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

© 2016 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Vliv vodního stresu brambor na obsah monosacharidů v hlízách" 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 _____

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala panu Ing. Matyáši Orsákovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a odbornou pomoc při psaní této bakalářské práce. Dále bych ráda poděkovala paní doc. Ing. Aleně Hejtmánkové, CSc. za ochotu, pomoc a cenné rady při samotném stanovení HPLC a rovněž patří díky všem zaměstnancům laboratoře Katedry chemie.

Vliv vodního stresu brambor na obsah monosacharidů v hlízách

Souhrn

Bakalářská práce je zaměřena na sledování vlivu stresových faktorů na vybrané metabolity, především monosacharidy. První část je věnována stručné charakteristice brambor, tedy významu plodiny, původu, morfologii, pěstování, dále jsou popsány nároky brambor na prostředí i výživu.

V další části je podrobněji rozebírána problematika chemického složení hlíz se zaměřením na sacharidy. Brambory jsou oblíbeným zdrojem sacharidů a jsou konzumovány v celosvětovém měřítku. Dále jsou brambory bohaté na vitaminy zejména vitamin C, B1, B3 a B6, rovněž obsahují vysoký obsah minerálních látek, hlavně draslíku a hořčíku. Jako další jsou v bramborách přítomny barviva, antioxidační látky, fenolové a příbuzné látky, bílkoviny a v malé míře i lipidy. Uvádí se, že bílkoviny hlíz brambor řadíme mezi nutričně nejhodnotnější bílkoviny rostlinného původu, z nichž patatin je považován za hlavní zásobní bílkovinu a je uložen ve vakuolách. Látky, které naopak působí negativně na lidský organismus, jsou tzv. glykoalkaloidy, syntetizované rostlinami čeledi *Solanaceae*. U brambor je nejvýznamnější α -solanin a α -chaconin.

Hodnota hlíz je dána především jejich chemickým složením, které z nich vytváří potravinu a surovinu. Obsah cukrů v hlíze je relativně nízký (0,5 % v původní hmotě) a i přesto má jejich obsah význam jak z hlediska zpracovatelského, tak i sensorického. Mezi hlavní redukující monosacharidy je řazena glukosa a fruktosa, obvykle s koncentrací od 0,15 do 1,5 %. Obsah cukrů výrazně ovlivňuje vnitřní a vnější znaky kvality především smažených výrobků.

Některé studie potvrzují, že hromadění sacharidů by mohlo pomoci odolávat extrémním stresovým podmínkám, zejména nízkým teplotám, zasolení či vodnímu deficitu. V další kapitole byl vytvořen souhrn stresových faktorů působících na rostliny, se zaměřením na brambory. U rostlin lze hovořit o stresu, pokud proměnlivost negativních faktorů vnějšího prostředí překročí určitou mez. Hlavním tématem a zároveň nejvíce limitujícím faktorem je nedostatek vody neboli vodní stres. Dále byly zmíněny i ostatní abiotické faktory a okrajově i faktory biotické.

Působením stresové reakce vzniká určitá úroveň adaptačních schopností. Přechodně může dojít k aklimatizaci, tedy zvýšení odolnosti vůči abiotickým stresorům. Většina rostlin se pokouší o nastolení tolerance vůči stresu. V rámci kapitoly byly rovněž rozebrány změny během skladování a úpravy brambor, kdy dochází k nežádoucímu tmavnutí hlíz. Nadměrné množství redukujících cukrů způsobuje nepříjemné hnědnutí smažených produktů.

Poslední kapitola teoretické části se zabývá vybranými metodami stanovení sacharidů. Obecně se jedná o metody založené na redukčních vlastnostech sacharidů, na barevných kondenzačních reakcích, měření optické aktivity, měření indexu lomu látek, separačních metodách a dalších.

Metodika práce se týká stanovení redukujících monosacharidů (glukosy, fruktosy) a sacharosy pomocí vysokoúčinné kapalinové chromatografie (HPLC) ve čtyřech vybraných odrůdách brambor ze sklizně roku 2015.

Klíčová slova: stres, brambory, monosacharidy, redukující cukry

The effect of water stress on the content of monosaccharides in potato tubers

Summary

Bachelor thesis is focused on monitoring of influence on selected metabolites, especially monosaccharides. The first part is devoted to short characterization of potatoes, therefore the importance of this crop, morphology, cultivation and also are described demands of potatoes on environment and nutrition.

In the next section is detailed discussed problems of the chemical composition of tubers with a focusing on carbohydrates. Potatoes are globally consumed and are popular source of carbohydrates. Potatoes are rich in vitamins also, especially in vitamin C, B3 and B6. Potatoes contain a high content of minerals, especially potassium and magnesium, too. As another substances are in potatoes colorants, antioxidants, phenolic and related substances, proteins, and small amount of lipids. It is noted that proteins of the potato tuber are ranked among nutritionally valuable proteins of vegetable origin. Among this proteins is ranked Patatin, which is considered to be a major reserve protein and it is placed in the vacuoles. Substances, which has a negative effect on the human body are called Glycoalkaloids the opposite. Glykoalkaloids are synthesized by plants of the family Solanaceae. The most significant substances in potatoes are α - solanine and α - chaconine. Value of tubers is primarily determined by their chemical composition, which forms food and raw materials. The contents of sugars in the tubers are relatively low (0, 5% of the original mass), and even though their contents are important both in aspect of manufacturing and in sensory aspect. The main reducing monosaccharides are ranked glucose and fructose, typically with a concentration of 0,15 – 1,5 %. The sugar content significantly affects internal and external quality characteristics especially fried products. Several studies confirm that the accumulation of carbohydrates might help resist extreme stress conditions, especially low temperatures, salinity and water deficiency.

In the next chapter is created summary of stress conditions effects on plants with focusing on potatoes. In plants we can talk about stress, if variability of negative environmental factors exceeds a certain limit. The main theme and also the most limiting factor is deficiency of water in other words water stress. Also were mentioned other factors abiotic and biotic factors marginally.

By effects of stress reaction is created a specific level of adaptive skills. Temporarily it can lead to acclimatization, which increasing the resistance to abiotic stressors. Most of plants are trying to establish the tolerance to stress. In this Chapter were also described changes during storage and during heat treatments of potato, which leads to an undesirable darkening of the tubers. Excessive levels of reducing sugars cause unacceptable browning of fried products.

In the last chapter is described selected methods of determining carbohydrates. These methods are based on reducing properties of sugars, on their condensing reactions by color, measurement of optical activity, measurement of refractive index, separation methods and others.

The methodic of work clarifies the determination of reducing monosaccharides (glucose, fructose), sucrose by the high performance liquid chromatography (HPLC) in four selected varieties of potatoes from harvest of 2015.

Keywords: stress, potatoes, monosaccharides, reducing sugars

Obsah

1 Úvod.....	10
2 Cíl práce	11
3 Literární přehled	12
3.1 Lilek brambor (<i>Solanum tuberosum</i> L.).....	12
3.1.1 Historie a původ brambor	13
3.1.2 Obecná charakteristika.....	14
3.2 Chemické složení hlíz	20
3.3 Sacharidy, polyoly, organické kyseliny	29
3.3.1 Obecná charakteristika sacharidů.....	29
3.3.2 Význam ve výživě	30
3.3.3 Metabolismus sacharidů u rostlin.....	30
3.3.4 Regulace metabolismu u rostlin během stresu	31
3.3.5 Rozdělení sacharidů	33
3.4 Vybrané stresové faktory rostlin se zaměřením na brambory.....	37
3.4.1 Abiotické faktory chemické	38
3.4.1.1 Voda	38
3.4.1.2 Nedostatek kyslíku	41
3.4.1.3 Nedostatek živin v půdě	41
3.4.1.4 Nadbytek iontů solí a vodíku v půdě.....	42
3.4.1.5 Toxické kovy a organické látky v půdě	43
3.4.1.6 Toxické plyny ve vzduchu	43
3.4.2 Abiotické faktory fyzikální	43
3.4.2.1 Extrémní teploty	43
3.4.2.2 Nadměrné záření	46

3.4.3	Biotické faktory	46
3.4.3.1	Virové choroby.....	47
3.4.3.2	Houbové a bakteriální choroby	47
3.4.3.3	Škůdci bramboru	48
3.4.4	Vliv teplot při skladování a úpravě brambor	48
3.4.4.1	tepelná úprava brambor	48
3.4.4.2	Uskladnění	49
3.4.4.3	Sládnutí hlíz a obsah redukujících cukrů.....	51
3.5	Vybrané metody stanovení sacharidů	53
3.5.1	Chemické	53
3.5.1.1	titrační	53
3.5.1.2	Spektrofotometrické metody	54
3.5.2	Fyzikální	54
3.5.2.1	Gravimetrie.....	54
3.5.2.2	Optické metody.....	54
3.5.2.3	Chromatografické metody.....	55
4	Metodika.....	58
5	Výsledky.....	62
6	Diskuze.....	66
7	Závěr	67
8	Seznam použité literatury	68
9	Seznam použitých symbolů a zkratek.....	75

1 Úvod

Brambory a výrobky z nich jsou považovány za jednu ze základních a tradičních potravin. Jedná se o polní plodinu, která je všestranně využitelná v lidské výživě, krmivech hospodářských zvířat i ve zpracovatelském průmyslu.

Brambory jsou řazeny mezi potraviny, které plní funkci sytící, objemovou, tvoří dostatečný příjem potravy, ale i ochrannou díky vysokému obsahu vitamínu, zejména vitamínu C a dalších minerálních látek. Brambory jsou bohatým zdrojem škrobu, ale obsahují i množství malých molekul a sekundárních metabolitů, které hrají důležitou roli v řadě procesů a jsou velice přínosné pro lidské zdraví.

Složení brambor závisí na odrůdě, oblasti, způsobu obdělávání a na řadě dalších negativních faktorů, které pokud překročí určitou mez, znamenají stres pro rostlinu. Pro překonání určitých stresových faktorů musí rostlina mobilizovat své energetické zdroje, obranné, adaptivní či poplašné reakce.

Brambor je plodina se středně velkými nároky na vodu, ale citlivě reaguje na rozdělení srážek. Nedostatek vody neboli vodní stres, představuje pro rostlinu nejvíce limitující faktor, kdy se snižuje především růst a fotosyntéza a dochází ke změnám v chemickém složení rostlin. Mezi další významné stresory patří např. extrémní teploty, nadměrné záření, zasolení, toxické látky v půdě i ve vzduchu či biotické faktory.

Problematika stresových faktorů rostlin je velice zajímavá, přesto nelze jednoznačně přisuzovat vlivy určitým jednotlivým stresorům, vzhledem k tomu, že často působí na rostlinu více faktorů současně.

Obsah sacharidů a jejich zastoupení je často předmětem analýzy potravin a představuje důležitý jakostní ukazatel ve zpracovatelském průmyslu, zejména při výrobě smažených výrobků.

2 Cíl práce

- 1) Sestavit na základě studia odborné literatury literární přehled vlivu stresu na vybrané metabolity se zaměřením na monosacharidy
- 2) Vytvořit přehled metod možných stanovení monosacharidů v hlízách brambor
- 3) Stanovit obsahy vybraných sacharidů (mono a di) v hlízách brambor ze sklizně roku 2015, které byly stresovány suchem a zavlažovány.

Hypotéza:

- 1) Stres suchem bude zvyšovat obsah monosacharidů a příp. disacharidů

3 Literární přehled

3.1 Lilek brambor (*Solanum tuberosum* L.)

Brambory a výrobky z nich patří v českých zemích k základním a tradičním potravinám. Jedná se o jednu z nejdůležitějších polních plodin, která je všestranně využitelná v lidské výživě, krmení hospodářských zvířat i ve zpracovatelském průmyslu (Jůzl et Jůzl, 2006).

Brambory jsou čtvrtou nejvíce konzumovanou potravinou na světě a globální produkce je přibližně 320 milionů tun (Barra et al., 2013).

S rostoucí životní úrovní obyvatelstva se postupně snižuje spotřeba brambor a zvyšují se nároky spotřebitelů na kvalitu (Vokál et al., 2003). V České Republice se spotřeba brambor pohybuje kolem 75 kg na osobu a rok (Čepl, 2005). Burlingame et al. (2009) uvádí, že ve vyspělých zemích tvoří brambory příjem 540 kJ (130 kcal) na osobu za den, zatímco v rozvojových zemích je to jen 170 kJ (42 kcal) na osobu za den.

Brambory jsou řazeny mezi potraviny, které obsahují nejen sytící složku, ale zároveň zauímají důležité místo ve zdravé výživě díky dobré stravitelnosti a obsahu hodnotných živin. Lze je užívat ve všech formách diet, dokonce i v dietách pro alergiky. Důvodem je obsah hodnotných bílkovin, dobrá stravitelnost, alkalizační účinek a nízký potenciál alergenů (Vokál et al., 2003).

Ve výživě člověka plní brambory funkci objemovou, tvoří dostatečný příjem potravy, dále funkci sytící, protože obsahují vhodné sacharidy a funkci ochrannou, danou vhodným obsahem vitamínu, zejména vitamínu C a dalších minerálních látek (Rybáček et al., 1988).

Jůzl et Jůzl (2006) dodávají, že díky vysokému obsahu vitamínu C, jsou brambory řazeny mezi antiskorbutické potraviny. Dále obsahují látky s antioxidační aktivitou, jako jsou polyfenoly, tokoferoly, karotenoidy, flavonoidy a anthokyaniny.

Hodnota cenných látek v hlízách je výrazně ovlivňována způsobem přípravy. Dochází ke změně konzistence, a tím se mění i vnější projev hlíz. Jedním z nejšetrnějších způsobů je vaření brambor v páře a ve slupce (Rybáček et al., 1988).

3.1.1 Historie a původ brambor

Původ brambor není dosud zcela vyjasněný a dle některých názorů ho lze rozdělit do tří etap. První z nich je objevení a využití brambor obyvateli Jižní Ameriky. Další fází je jejich introdukce do Evropy v 16. století a poslední fází je rozšíření druhů spojené s výpravami po Evropě během 20. století (Hruška et al, 1974).

Původ bramboru začíná v oblasti kolem jezera Titicaca přibližně 3800 m n. m. na hranici současné Bolívie a Peru v pohoří And Jižní Ameriky (De Jong et al., 2011).

Hruška et al. (1974) tvrdí, že původní obyvatelstvo zde pěstovalo brambory již 2000 let před podrobením Inků Španěly, k čemuž došlo v roce 1532.

Barra et al. (2013) uvádí, že ostrov Chiloé a souostroví Chonos jsou považovány za další centra původu a diverzifikace brambor (*Solanum tuberosum subespecies tuberosum*), kde zemědělci udržují krajové odrůdy pro další generace. Tyto odrůdy představují zdroj genetické variability pro použití ve šlechtitelských programech.

Novodobé dějiny brambor začínají střetnutím evropských dobyvatelů vedených Franciskem Pizarrdem s původními Inky na území dnešního Peru v roce 1532. Brambory byly jejich hlavní potravou a připravovali z nich polévku a chléb. Brambory pro ně znamenaly také prostředek výměnného obchodu a náboženského kultu. Cesta přes Atlantský oceán do Evropy dala základ pro jejich další hospodářský a sociální vývoj (Kutnar, 1963).

Brambory se do Evropy dostaly přes Španělsko a Velkou Británii a v podstatě přišly do jiných pěstebných podmínek, než ve kterých prodělávaly svůj fylogenetický vývoj. Jejich rozvoj v Evropě byl celkem nevýrazný. V evropském hospodářství měly prioritní postavení obiloviny a nebylo lehké změnit tradiční jídelní návyky. To jsou důvody, které vedly k plnému uplatnění v polní kultuře až 200 let po jejich dovezení (Hruška et al., 1974).

Koncem 16. a počátkem 17. století se brambory ze Španělska začaly šířit po Evropě jako vzácná zahradní okrasná plodina, dále jako zelenina i jako léčivá rostlina, ne však jako rostlina polní. Na území Čech se brambory pravděpodobně dostaly na počátku 17. století, a to hlavně ze Saska, odkud pochází jejich název „erteple“ z německého Erdapfel (Hruška et al, 1974). Dle Kutnara (1963) název brambory pochází z 60. let 18. století a má spojitost s názvem „bamboly“, kterým označovaly hlízy.

Na našich polích se brambory začaly pěstovat nejdříve ve 20. letech 18. století. Postupně se stále více prosazovaly v polní kultuře a staly se jednou ze základních složek

potravy chudých. V roce 1770 došlo k jejich rozšíření a od počátku 19. století se díky jejich pěstování snížilo nebezpečí hladu a kurdějí (Hruška et al., 1974).

V první polovině 19. století se brambory začaly využívat jako surovina pro výrobu lihu a škrobu. Pěstování brambor znamenalo hlavně v chudších oblastech přechod od extenzivního (trojhonného systému hospodaření) k intenzivnímu hospodaření, tzv. střídavý osevní postup (Hruška et al., 1974).

Ve 40. a 50. letech 19. století se objevila plíseň bramboru (*Phytophthora infestans*), která snížila výnosy o 50 - 70 %. Tato choroba vyvolala bídu a hladovění. Postupně se začaly hledat příčiny této choroby a opatření ke zlepšení odolnosti brambor (Hruška et al., 1974).

De Jong et al. (2011) uvádí, že hladomor v Irsu vedl k migraci mnoha lidí do Severní Ameriky. Čepel (2005) doplňuje, že podobná situace proběhla v Německu uprostřed I. světové války.

Maximální rozvoj bramborářství proběhl v prvních třech desetiletích 20. století. Důraz byl kladen především na produkci jakostních brambor a na produkci brambor pro průmyslové využití. Brambory se staly důležitou složkou výživy člověka a zároveň mají roli v zemědělství jako zlepšující plodina (Hruška et al., 1974).

3.1.2 Obecná charakteristika

Brambory řadíme do čeledi lilkovitých (*Solanaceae Pers.*) a rodu lilek (*Solanum Tourn*) a samostatného druhu *Solanum tuberosum* (Hawkes, 1990). Snahy po systematickém členění vznikaly od počátku 19. století, kdy docházelo k členění dle doby zralosti hlíz a od počátku 20. století dle barvy dužiny, slupky a tvaru hlíz nebo podle vztahu ke geografickému původu. Nejnižší systematickou jednotkou je odrůda neboli kultivar. Odrůdy ve většině případů vznikají vegetativním množением semenáčku (Hruška et al., 1974).

Brambor je obecné označení pro kulturní, polokulturní, ale i příbuzné plané druhy rodu *Solanum*. Brambor hlíznatý, jak již bylo řečeno, patří do čeledi lilkovitých. Jednou z předních společných vlastností lilkovitých je přítomnost rozmanitých jedovatých látek glykosidů a alkaloidů, které jsou obsaženy v různém množství v různých orgánech (Rybáček et al., 1988).

Brambor hlíznatý je jednoletá bylina. Po vyčerpání zásob během vegetace mateřské hlízy odumírají a spolu s nimi také všechny podzemní a nadzemní orgány kromě semen a dceřiných (nových) hlíz s živými spícími pupeny (Rybáček et al., 1988).

Rozmnožování

V případě planých brambor se v přírodě rozmnožují vegetativně, pomocí hlíz nebo generativně semeny. Generativní množení je však nezbytné ve šlechtění bramboru, kdy se ze semen pěstují semencové rostliny (Rybáček et al., 1988).

Při vegetativním množení vyrůstá z pupenů bramborových hlíz zpravidla dva až osm stonků, kdy každý z nich má vlastní druhotnou adventivní kořenovou soustavu. Tyto stonky mohou být propojeny cévní soustavou mateřské hlízy a po přerušení tohoto spojení tvoří soubor samostatných rostlin neboli bramborový trs. Označení trs se používá i v případě, kdy z hlízy vyrůstá pouze jediný stonek. Trsy tvoří základní jednotku porostů a rozlišujeme u nich nadzemní i podzemní část (Rybáček et al., 1988).

Generativní množení představuje jarní typ rostliny. Vývoj u vegetativně množných brambor zahrnuje období, kterými musí hlíza projít, aby mohla vyklíčit a aby z ní vyrostlá rostlina vytvořila nové hlízy. Po sklizni prochází klidovým obdobím (dormancí), tj. obdobím, v kterém nevyklíčí ani za příznivých podmínek. Po sklizni klesá v hlíze hladina inhibičních látek pod úroveň růstových látek, jejichž působením hlíza přechází do klíčení. Průběh vývoje lze členit do těchto fází a to klíčení, vývoj listů, tvorba hlíz, květenství, kvetení, vývoj bobulí, zrání bobulí, semen a stárnutí (Vokál et al., 2003).

Odrůdy

Biodiverzita brambor je obrovská. Existuje přibližně 5000 odrůd, které jsou známé. Nejvíce pěstovaných odrůd patří k druhu *Solanum tuberosum*. Nicméně existuje asi 10 jiných druhů *Solanum*, které jsou kultivovány a 200 volně žijících druhů, které byly zaznamenány (Burlingame et al., 2009).

Dle délky vegetační doby dělíme odrůdy na dvě základní skupiny. První z nich představují stolní odrůdy, které se dále dělí na velmi rané, rané, polorané a polopozdní. Druhou skupinu tvoří průmyslové odrůdy, včetně hospodářských a to polopozdní a pozdní (Hruška et al., 1974).

Dle užitkových směrů dělíme brambory na konzumní brambory rané, tj. určené k lidské výživě k dodání do 31. srpna sklizňového roku, dále na konzumní brambory pozdní, tj. brambory určené k lidské výživě k dodání od 1. září sklizňového roku. Dále průmyslové brambory, tj. brambory průmyslových a jiných odrůd vhodných k průmyslovému zpracování a krmné brambory, tzn. brambory ke krmným účelům (Hruška et al., 1974).

Při výběru se pěstitel rozhoduje dle svých představ, požadavků a nabídky vlastností jednotlivých odrůd. Jedna z nejdůležitějších vlastností pro spotřebitele je stolní hodnota hlíz. Stolní hodnota je vyjadřována varnými typy. Dle hodnocení konzistence vařených hlíz, vlhkosti, struktury, moučnatosti, tmavnutí a chuti jsou odrůdy zařazeny do těchto varných typů (Vokál et al., 2000).

Varný typ A: Jedná se o pevné, lojovité brambory, nerozvářivé, jemné až středně jemné struktury, příjemně vlhké, vhodné zejména pro přípravu bramborového salátu a ke konzumu jako vařené.

Varný typ B: Brambory jsou polopevné, polomoučnaté s jemnou až hrubší strukturou, jsou příjemně vlhké až sušší, vhodné jako příloha.

Varný typ C: Měkké až moučnaté brambory s jemnou až středně hrubou strukturou, jsou středně vlhké až suché, vhodné k přípravě výrobků z brambor, těst a kaší.

Varný typ D: Jedná se o hrubé, silně moučnaté, silně rozvářivé brambory, nevhodné pro přímý konzum (Vokál et al., 2000).

Morfologie

Trs brambor se skládá ze dvou částí, a to nadzemní a podzemní. Nadzemní část je tvořena natí, která určuje charakter trsu. Typ a tvar natě je rozdílný dle konkrétní odrůdy. Mezi tři základní tvary patří kuželovitý, zarovnaný a deštníkový (Hruška et al., 1974).

Nadzemní stonek je většinou trojhranný a v místech, kde přisedá ke stonku list, je spíše čtyřhranný. Hrany přecházejí v křídlení, které rozšiřuje povrch stonku. Listy vyrůstají z uzliny (tzv. nodu). V úžlabí listů se nachází tři spící pupeny. Z prostředního pupenu se může vytvořit postranní stonek. Povrch nadzemního stonku je pokryt četnými chlupy (tzv. trichomy). U podzemního stonku jsou výše zmíněné útvary většinou redukovány nebo metamorfovány (Rybáček et al., 1988).

Listy bramboru jsou přetrhovaně lichožpeřené. Listy se skládají z řapíku a čepele, jejíž tvar, barva a velikost jsou rozdílné podle růstových fází, podmínek růstu a odrůd. Čepel lístku má tvar kulatý, okrouhlý, široce oválný, dlouze oválný, protáhlý nebo úzký. Důležitý je tvar špičky listu, charakter povrchu, žebernatost, charakter okraje lístku, postavení lístku k řapíku, barva řapíku a lesk lístku (Hruška et al., 1974).

Všechny nadzemní orgány obsahující chlorofyl jsou fotosynteticky činné. Hlavní podíl asimilátů produkují listy, ale ani podíl stonku není nijak zanedbatelný (Rybáček et al., 1988).

Květenství je uspořádáno ve dvojitě uspořádaném dvojvijanu umístěném na konci stonku na květní stopce, která vyrůstá z paždí posledního či bočního listu. Květ je tvořen pěti kališními lístky, pěti korunními lístky, pěti tyčinkami s krátkými nitkami, prašníky a pestíkem, který se skládá ze semeníku, čnělky a blizny. Brambory jsou samosprašné rostliny, ale mohou být opyleny i přenesením pylu hmyzem. Množství a fertilita pylu mohou sloužit jako rozeznávací znaky a mohou být ovlivněny počasím (Hruška et al., 1974).

Barva zůstává nejstálějším znakem, i když intenzitu barvy ovlivňuje prostředí. Květy mohou být tmavě modrofialové, modrofialové, světle modrofialové, blankytně modré, tmavě nebo světle červenofialové a bílé. (Hruška et al., 1974).

Plodem je dvojpouzdrá bobule, která je kulatá či oválná, zelené barvy či pigmentované, a to buď z části, nebo celá a na povrchu bývají často bílé tečky. V dužnaté části jsou uložena semena (50 – 100), která mají světle žlutou barvu, vejčitý tvar a jejich velikost je 1 – 2 mm (Hruška et al., 1974).

Podzemní část trsu je tvořena podzemní částí stonků, vyrůstající z matečné hlízy. Kořeny vyrůstají z jejich uzlů a stolony (oddenky) z axilárních pupenů. Stolony neobsahují chlorofyl a jejich průměr je podstatně užší než průměr stonku. Na povrchu je pokryt lenticelami a na řezu mají stejnou stavbu jako stonek. Délka stolonu má vliv na rozložení hlíz pod trsem a jejich základy se vytvářejí na klíčku (Hruška et al., 1974).

Bramborová hlíza je přirozeným vegetativním rozmnožovacím orgánem. Proto je osazena pupeny, obsahuje hodně zásobních látek a dalších nativních látek potřebných pro růst klíčků (Rybáček et al., 1988).

Hlízy se vytvoří ztloustnutím koncových stolonů. Tvorba hlízy je výsledkem uložení zásobních látek a je závislá jak na genetických faktorech tak i těch environmentálních mezi které patří např. délka dne či teplota (De Jong et al., 2011).

Nároky brambor na prostředí a výživu

Brambor je plodina, která má středně velké nároky na vodu, ale citlivě reaguje na rozdělení srážek. Nejmenší požadavky na vodu má při klíčení. Relativní nedostatek srážek v období od sázení do vzejití může působit poměrně příznivě, protože rostlina vytváří bohatší kořenový systém a díky tomu ve vegetaci lépe hospodář s vodou (Zrůst, 1996; Vokál et al., 2003).

Období od začátku tvorby pupat (nasazování hlíz) až po fyziologickou zralost (intenzivní růst hlíz), ve kterém reagují velice citlivě na nedostatek půdní vláhy. Optimem je v případě potřeby doplnit chybějící vláhu závlahou porostu (Vokál et al., 2003).

Pro výnos je velmi důležité rozdělení srážek. V první polovině vegetační doby ovlivňují srážky (závlaha) růst natě, později počet hlíz a ve druhé polovině vegetační doby růst a hmotnost hlíz. Na výnos hlíz působí srážky u velmi raných odrůd v dubnu a květnu, u raných v červnu a červenci, u poloraných od konce června, v červenci a v srpnu a u polopozdních (pozdních) v červenci a září (Zrůst, 1996; Vokál et al., 2003).

Nejvíce vody se spotřebuje k růstu hlíz a k potřebnému transportu látek. Uvádí se, že jedna rostlina brambor spotřebuje za vegetaci přibližně 110 – 139 l vody a na produkci 1 kg sušiny je třeba 185 – 238 l vody. Spotřeba vody souvisí nejspíše s anatomickou stavbou listů a s počtem průduchů. Množství vody potřebné pro brambory je 3 – 5 mm za den. K zabránění poruch růstu by mělo stačit dodání 20 – 30 mm srážek týdně a vodní deficit by neměl překročit jeden týden. U velmi raných a raných brambor se doporučuje zavlažovat třemi dávkami vody v celkovém množství 60 – 90 mm během růstu hlíz, a to vždy po 7 – 10 dnech s ukončením závlahy 4 až 6 dní před sklizní, aby půda stačila oschnout. Příznivější variantou jak zabránit vodnímu deficitu je kapková závlaha, kdy se dodává menší množství vody (Zrůst, 1996).

Brambory patří k plodinám s vysokou schopností tvorby biomasy, a proto kladou vyšší nároky na zabezpečení odpovídajícího množství živin pro rostliny. Hnojení u brambor obecně představuje celý komplex zásahů a opatření. První zásahy se obvykle provádějí již po sklizni předplodiny a pokračují až do poloviny vegetace brambor. Jedná se tedy o dlouhé časové období, ve kterém se uplatňuje organominerální hnojení (Čepl et Vokál, 1997).

Důležitým hlediskem je stav zásoby přijatelných živin fosforu, draslíku a hořčíku v půdě i její pH. Díky zelenému hnojení kombinovanému s některým statkovým hnojivem se pozitivní vliv organických hnojiv na půdu znásobuje (Čepl et Vokál, 1997).

Po celou dobu vegetace brambory spotřebovávají velké množství živin z půdy pro svůj optimální růst a vývoj. Na 10 t výnosu hlíz společně s nadzemní hmotou a kořeny brambory odčerpají z 1 ha kolem 40 – 50 kg N, 5 – 8 kg P, 50 – 70 kg K, 3 – 8 kg Mg a 12 – 22 kg Ca (Čepl et Vokál, 1997).

Pěstování

Brambory je možné pěstovat v širokém rozsahu podmínek prostředí. Brambory jsou považovány za krátkodenní rostliny a vyhovuje jim chladnější podnebí a postupně byly vyvinuty odrůdy, které jsou přizpůsobeny teplejším a dlouhodobějším podmínkám (De Jong et al., 2011).

V České republice jsou dvě základní oblasti intenzivního pěstování brambor. První z nich je teplejší a úrodnější oblast pěstování zejména raných konzumních brambor v Polabské nížině a na jižní Moravě a druhou chladnější oblastí, kde se pěstují všechny užitkové směry s centrem na Českomoravské vrchovině (Vokál et al., 2003).

Důležitý je výběr stanoviště. Brambory by se neměly pěstovat na příliš svažitéch pozemcích z důvodu vodní eroze, kdy maximální přípustná hodnota sklonu je 8 °. Dále by vybrané stanoviště nemělo být příliš zamořené nebo v trvalém stínu. Půda by měla být dostatečně provzdušněná a propustná. Nejlépe vyhovující půdy jsou středně těžké, tedy půdy hlinitopísčité, písčitohlinité až hlinité. Obsah humusu by měl tvořit minimálně 2 % a to souvisí i s požadavkem na přístupnost živin. Bramborám nejlépe vyhovuje kyselá půdní reakce s pH 5,5 – 6,5 a v zásaditých půdách vzrůstá nebezpečí výskytu strupovitosti. Obsah kamenů na stanovišti úzce souvisí s mechanickým poškozením hlíz při sklizni, transportu, naskladňování či posklizňové úpravě (Vokál et al., 2003).

Mechanické zpracování půdy má pro brambory velký význam, protože vyžadují půdu kyprou. Po sklizni předplodiny se provede podmítka do hloubky maximálně 100 mm. Posledním zásahem je orba do hloubky 200 mm. Na jaře poté následuje kypření, rýhování, separace kamenů a hrud a následuje sázení (Vokál et al., 2003).

3.2 Chemické složení hlíz

Brambory jsou pěstovány ve světovém měřítku a jsou čtvrtou nejvýznamnější plodinou ve světě a to hned po rýži, pšenici a kukuřici (Hawkes, 1990). Jedná se o velice přínosnou plodinu, která zajišťuje produkci sušiny, bílkovin a minerálních látek. Kromě toho, že jsou bohatým zdrojem škrobu, tak obsahují množství malých molekul a sekundárních metabolitů, které hrají důležitou roli v řadě procesů. Mnohé z těchto sloučenin jsou velice přínosné pro lidské zdraví, a proto jsou vysoce žádoucí v lidské stravě (Ezekiel et al., 2013).

Brambory jsou oblíbeným zdrojem sacharidů, které jsou konzumovány v celosvětovém měřítku. V současné době je největší spotřeba v západním světě, ale brambory se rychle stávají i základem stravy v rozvojových zemích (Ek et al., 2012). Čepl (2005) tvrdí, že z brambor čerpáme přibližně 14 % pokrmové energie a dále uvádí, že jsou bohaté na minerály, vitamíny, bílkoviny a jsou téměř bez tuku.

Jak již bylo uvedeno, tak bramborové hlízy jsou bohaté na vitaminy, především na vitamin C. Dále obsahují vysoký obsah minerálních látek v bramborových hlízách, zejména solí draslíku a hořčíku, z nich vytváří základní zásaditou antiskorbutickou potravinu, která příznivě působí na lidský organismus (Jůzl et Jůzl, 2006). Brambor je dobrým zdrojem železa a vysoký obsah vitaminu C podporuje jeho vstřebávání. Dále je to dobrý zdroj vitaminů B1, B3 a B6 a minerálů, jako je fosfor, draslík a hořčík, též obsahují folát, kyselinu pantotenovou, riboflavin a dietní antioxidanty, které mohou hrát roli při snižování rizika chronických onemocnění (Burlingame et al., 2009; Litaladio et Castaldi, 2009).

Je obtížné získat jasnou představu o složení brambor, liší se dle odrůdy, oblasti růstu, způsobem obdělávání, zralostí v období sklizně a dalších faktorech (Talbert et Smith, 1967).

Jediným využitelným orgánem bramborového trsu jsou hlízy. Vnitřní i vnější kvalita a hodnota jsou proto rozhodující pro všechny užitkové směry. Hodnota hlíz je dána především jejich chemickým složením, které z nich vytváří potravinu a surovinu (Vokál et al., 2003).

Dle dietologů jsou brambory ideální potravinou, kdy by měla být více než polovina energetického příjmu hrazena sacharidy, méně než jedna třetina tuky a kolem 15 % bílkoviny. Tomu brambory odpovídají, kdy při konzumaci 100 g brambor člověk přijme 300 kJ, z toho 275 kJ sacharidů, 5 kJ tuků a 20 kJ bílkovin (Čepl, 2005).

Tab. č. 1 Průměrné složení hlíz brambor (Jůzl et Jůzl, 2006)

Složka hlízy	Průměrný obsah
Voda	76,3 %
Sušina	23,7 %
Škrob	17,5 %
Cukry	0,5 %
Hrubá vláknina	2,0 %
Tuk	0,1 %
Popel	1,1 %
Vitamin C	15,000 mg %
Thiamin (B ₁)	0,110 mg %
Riboflavin (B ₂)	0,051 mg %

Vitaminy

Čepl (2005) uvádí, že brambory obsahují kyselinu askorbovou a to v množství kolem 20 – 30 mg/100 g. Burlingame et al. (2009) udává, že obsah kyseliny askorbové je až 42 mg/100 g. Dále se v bramborách vyskytuje thiamin, riboflavin, niacin, pyridoxin, listová a pantothenová kyselina (Čepl, 2005).

Tab. č. 2 Průměrný obsah vitaminů v hlíze brambor (Čepl, 2005)

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

Minerální látky

Minerální látky patří mezi látky senzorycky aktivní a z nutričního hlediska jsou velmi významné. Zahrnují jak prvky makrobiogenní (zejména hořčík a draslík), tak i mikrobiogenní. Z minerálních látek je draslík považován za jeden z nejvýznamnějších minerálních prvků v bramborách a jeho obsah se pohybuje okolo 2 %. Z nutričního hlediska působí pozitivně tím, že vyrovnává poměr sodíku ve stravě a má významnou roli při vytváření celkové chuti hlíz (Kourek, 1996). Čepl (2005) dodává, že obsah draslíku ve 100 g hlíze pokrývá 15 % denní potřeby.

Dále jsou brambory důležitým zdrojem hořčíku. Hořčík je nezbytný pro tvorbu kostí, svaloviny, šlach a též hraje roli enzymatickou. Významnou roli mají rovněž prvky mikrobiogenní, které jsou často kofaktory enzymů. V hlízách brambor je obsažen např. mangan, molybden, bór a zinek (Kourek, 1996).

Tab. č. 3 Průměrný obsah minerálních látek v hlíze brambor (Čepl, 2005)

Prvek	Obsah v hlíze v mg / 100 g	Podíl z denní potřeby v %
Vápník	10	1
Měď	0,1	7
Železo	0,5	4
Hořčík	22	5
Mangan	0,1	7
Fosfor	78	6
Draslík	450	15
Selen	0,5	1
Sodík	2	2
Zinek	0,5	2

Barviva

Brambory jsou dobrým zdrojem karotenoidů. Jedná se o lipofilní sloučeniny syntetizované z isoprenoidů v plastidech. Mezi hlavní karotenoidy přítomné v bramborách patří lutein, zeaxantin, violaxantin, neoxantin a ve stopovém množství i β -karoten. Oranžová

a žlutá barva hlíz je dána přítomností zeaxantinu a luteinu (Ezekiel et al., 2013). Burlingame et al. (2009) uvádí, že celkový obsah karotenoidů v bramborách je až 2700 µg/100 g.

Jednotlivé odrůdy se navzájem odlišují zejména barvou slupky a dužniny. Červené a modré zbarvení je způsobeno anthokyany. U červených hlíz převládá pelargonidin a u modrých petunidin. Tato barviva způsobují i barvu klíčků. Nejdůležitější rostlinné barvivo je chlorofyl, který se vyskytuje ve dvou formách a to chlorofyl a a chlorofyl b. Během vegetace se poměr barviv mění (Hruška et al., 1974).

Enzymy

Enzymy jsou bílkoviny s vysokou molekulovou hmotností a v mnoha případech jsou kombinovány s kovy nebo jinými skupinami a bývají klasifikovány na základě jejich funkce. Informace o enzymech bramborové hlízy jsou neúplné a odvozují se na základě jejich reakcí, které katalyzují. Např. polyfenoloxidas, enzym důležitý z hlediska zpracovatelského průmyslu. Tento enzym katalyzuje oxidaci tyrosinu a zapříčiňuje tmavě zbarvené produkty. Aktivita enzymů se mění během růstu i mezi odrůdami (Rybáček et al., 1988).

Antioxidační látky

Brambory obsahují několik látek s antioxidační aktivitou, které přispívají k fyziologické obraně proti oxidačnímu stresu a volným radikálům. Brambory obsahují ve vodě rozpustné antioxidanty, které působí jako akceptory volných radikálů, např. glutathion, askorbová kyselina, kvercetin a chlorogenová kyselina. Bylo prokázáno, že hlízy s bílou a žlutou dužninou mají větší antioxidační aktivitu, to pravděpodobně dokazuje, že obsah pigmentů nemá vliv na antioxidační aktivitu (Ezekiel et al., 2013).

Fenolové a příbuzné látky

Fenolové sloučeniny v bramborách jsou spojovány s barvou syrových brambor a jsou alespoň částečně odpovědné za některé barevné změny během zpracování. Chemicky můžeme rozlišovat následující typy fenolických sloučenin jako je lignin, kumarin, antokyany, flavony, třísloviny, jednosytné fenoly i vícesytné fenoly (Talbert et Smith, 1967). Burlingame et al. (2009) uvádí, že obsah antioxidačních fenolů je až 1570 µg/100 g.

Polyfenoly jsou řazeny mezi nejhojnější antioxidanty v naší stravě a brambory jsou výborným zdrojem těchto látek. Fenolické látky představují velkou skupinu minoritních

chemických látek, které hrají důležitou roli při určování organoleptických vlastností. Dále mají tyto látky zdraví prospěšné vlastnosti, a proto jsou považovány za funkční potraviny pro zlepšení zdraví lidí. Brambory jsou považovány za třetí nejdůležitější zdroj fenolů po jablkách a pomerančích (Ezekiel et al., 2013).

Surový lignin je hlavní necukerný podíl vlákniny. Lignin je nerozpustný fenylypropanový polymer, který je spojen s hemicelulózou, někdy až s celulózou, což způsobuje nedostupnost těchto sacharidů během fermentace (Hood et al., 1977).

Lignin je přítomen ve velmi malých množstvích v cévní tkáni hlíz. Taniny jsou stahující látky a jsou složeny z vysoce esterifikovaných polyfenolických kyselin. Kumariny jsou deriváty vznikající hydroxylací kyseliny skořicové v poloze ortho a jsou zodpovědné za zabarvení vařených brambor. V bramborách byla zjištěna přítomnost derivátů kumarinu a to skopoletinu a eskuletinu. Barva dužniny a slupky je způsobena přítomností antokyanů a flavonů. Hlavní jednosytný fenol je tyrosin a vyskytuje se ve vnitřní části hlízy a představuje 0,1 – 0,3 % suché hmotnosti brambor (Talbert et Smith, 1967).

Lipidy

Lipidy patří mezi látky chemicky heterogenní. Lipidy jsou rozpustné v organických rozpouštědlech, jako je aceton, ether, chloroform, butanol apod. I přes složitou chemickou strukturu jsou velmi důležité v energetickém metabolismu, tvoří součást buněčných membrán a při stavbě subcelulárních jednotek (Barker, 1971).

Průměrný obsah tuku v bramborách je v průměru 0,1 % čerstvé hmotě s rozsahem od 0,02 do 0,2 %. Některé studie potvrzují, že v bramborách, stejně jako v jiných rostlinných materiálech, je část lipidů vázána na jiné složky. Koncentrace lipidů je největší v peridermu a nejméně v úložném vaskulárním parenchymu a dřeni. Tuk z vnějších vrstev hlízy je údajně hnědý, zatímco z vnitřní části je světlý a konzistencí podobný máslu (Talbert et Smith, 1967).

Rybáček et al. (1988) dodává, že v důsledku složení jednotlivých frakcí hrubého tuku je obsah nenasycených mastných kyselin zhruba třikrát vyšší, než obsah nasycených a lze očekávat, že bramborový tuk je velmi nestabilní vůči působení kyselin. Stabilita odpovídá zhruba stabilitě ovlivového oleje. Během skladování se obsah jednotlivých frakcí mění. Proto je lepší zpracovávat na sušené výrobky čerstvě sklizené hlízy, než hlízy delší dobu skladované.

Bílkoviny

Dusíkaté látky neboli hrubé bílkoviny obsahují rovnocenný podíl bílkovin a nebílkovinných dusíkatých látek. Bílkoviny hlíz brambor řadíme mezi nutričně nejhodnotnější bílkoviny rostlinného původu (Bárta et Čurn, 2004; Čepl, 2005). Bárta et Čurn (2004) dodává, že limitující aminokyselinou je zejména methionin, popř. isoleucin.

Na bázi suché hmotnosti je obsah bílkovin v bramborách podobný tomu z obilovin a je velmi vysoký ve srovnání s ostatními hlízkami a kořeny (Lutaladio et Castaldi, 2009).

Význam dusíkatých látek včetně bílkovin je pro jejich nízký obsah v čerstvé hmotě často opomíjen. Střední hodnota obsahu dusíkatých bílkovin neboli hrubých bílkovin v čerstvé hmotě je cca 2 %, tzn. 10 % v sušině hlíz. Podíl bílkovin v obsahu dusíkatých látek může kolísat vlivem genotypu a podmínek prostředí v poměrně značném rozpětí od 34 do 70 %.

Při 50% zastoupení v obsahu celkových dusíkatých látek jsou nebílkovinné dusíkaté látky členěny na volné aminokyseliny, amidy asparagin a glutamin a ostatní dusíkaté látky (Bárta et Čurn, 2004).

Na konci 60. let začala být preferována klasifikace hlízových bílkovin dle molekulové hmotnosti. Na jejím základě lze bílkoviny brambor členit na tři hlavní skupiny. První skupinou je patatin neboli platinový komplex, do druhé skupiny jsou řazeny bramborové inhibitory proteas a poslední skupinu tvoří ostatní bílkoviny a hlavně bílkoviny s enzymovou účastí na syntéze škrobu. První dvě již výše zmíněné skupiny představují přes dvě třetiny obsahu bílkovin v bramborových hlízkách a jsou předmětem poměrně rozsáhlého výzkumu. Patatinový komplex je tvořen skupinou imunologicky identických glykoproteinů. Autor uvádí, že patatin se vyskytuje ve všech odrůdách brambor. Patatin tvoří 20 – 40 % rozpustných bílkovin bramborových hlíz, někdy se uvádí až 60 %. Je považován za hlavní zásobní bílkovinu a je uložen ve vakuolách parenchymu (Bárta et Čurn, 2004).

Přírodní toxiny

Glykoalkaloidy jsou přírodní toxiny syntetizované rostlinami čeledi *Solanaceae* a jsou často spojovány s určitou odolností vůči některým druhům hmyzu. U komerčního typu brambor jsou z 95 % přítomny glykoalkaloidy ve formě α -solaninu a α -chaconinu (Bejarano et al., 2000).

Jedná se o látky, které působí negativně na lidský organismus. U brambor je nejvýznamnější solanin a chaconin. Maximální obsah glykoalkaloidů je stanoven na 200 mg/kg (Čermák, 2015). Papathanasiou et al. (1999) dodává, že glykoalkaloidy brambor jsou jednou z nejvíce jedovatých složek lidské stravy a dokonce byla zaznamenána úmrtí v důsledku konzumace hlíz s abnormálně vysokou hladinou glykoalkaloidů.

Friedman (2004) uvádí, že glykoalkaloidy slouží jako přírodní ochrana proti hmyzu a jiným škůdcům. U některých odrůd a za určitých podmínek skladování může být koncentrace těchto steroidních glykosidů toxická jak pro člověka, tak pro hmyz.

Ačkoli se glykoalkaloidy zdají být do značné míry neovlivnitelné potravinářskými procesy jako je pečení, vaření a smažení, tak se obsah glykoalkaloidů může výrazně měnit v závislosti na odrůdě či posklizňových faktorech jako je např. světlo, ozařování, mechanické poškození a skladování (Friedman, 2004). Předpokládá se, že chladné a vlhké podmínky během vývoje a růstu hlíz, jsou příčinou vysokého obsahu glykoalkaloidů v hlízách a rovněž větší srážky během sklizně jsou spojeny s vysokými koncentracemi (Papathanasiou et al., 1999).

Obsah glykoalkaloidů je toxický v koncentracích nad 20 mg/100 g čerstvé hlízy. Klinické příznaky otravy solaninem zahrnují gastrointestinální a neurologické příznaky, zejména zvracení, bolesti hlavy a návaly. Obsah glykoalkaloidů v mladých listech je vyšší než v hlízách, proto požití nadzemních částí rostlin může způsobit zažívací potíže (Donald, 2009).

Kromě glykoalkaloidů brambory také obsahují dva ve vodě rozpustné, biologicky aktivní alkaloidy, tzv. kalysteginy A3 a B2, jejichž struktura se podobá struktuře atropinu (Friedman, 2004). Bramborové rostliny obsahují kalysteginy v listech, stoncích, květech plodech i kořenech. Nejvyšší koncentrace byly naměřeny v klíčcích (Keiner et Dräger, 2000).

Andersson (2002) dodává, že kalysteginy jsou syntetizovány z L-ornitinu nebo L-argininu. Není známo, kde v rostlinách se tvoří, ale lze je nalézt v nadzemních i podzemních orgánech.

Přítomnost kalysteginů v lidských potravinách, jako jsou rajčata, brambory, lilek a sladké brambory klade otázku ohledně vlivu této sloučeniny na lidské zdraví. To nelze jednoznačně určit, protože toxikologické studie v tomto směru chybí (Andersson, 2002).

Rizikové látky

• Těžké kovy

Nejstarší skupinou polutantů, které se sledují v různých složkách ekosystému, představují těžké kovy. Mezi těžké kovy patří Hg, Pb, Cu, Cd, Cr a např. i mnohé lehké kovy jako je Be, Al aj. V současné době je životní prostředí velmi ovlivňováno antropogenní činností. To zahrnuje především aplikaci minerálních hnojiv, těžbu a zpracování nerostných surovin, průmyslové odpady, ochranné prostředky a další faktory, kterými se kontaminuje zemědělská půda. Působení jednotlivých rizikových prvků na rostliny je velmi variabilní a proto je třeba vždy postupovat individuálně (Zrůst et al., 2003).

Všechny cizorodé prvky se akumulují v hlízách nejvíce ve slupce a dále se uvádí, že ve slupce je obsaženo až sedmkrát více Be, než v ostatním pletivu hlízy (Zrůst et al., 2003).

Oloupáním hlíz a kulinární přípravou se obsah většiny cizorodých prvků snižuje, jako např. u kadmia vařením nebo smažením o 30 – 40 %. Ruční či strojové oloupání snížilo obsah Zn o 10 – 20 % a Ni o 40 – 50 % (Zrůst et al., 2003).

• Dusičnany

Limit dusičnanů u pozdních konzumních brambor je stanoven na 300 mg/kg a raných konzumních brambor na 500 mg/kg v čerstvé hmotě hlíz (Zrůst et al., 2003).

Dusičnanový dusík v hlíze brambor je považován za jednoznačně škodlivý pro organismus konzumenta. Ale samotný dusičnanový iont příliš škodlivý není. V redukujícím prostředí, např. v zažívacím traktu, se stává substrátem pro tvorbu dusitanů (nitritů), které jsou pro zdraví konzumenta podstatně škodlivější. U brambor je v této souvislosti velmi významný obsah vitamínu C, který působí jako redoxní systém a brání tak redukci dusičnanů na dusitany (Bárta et Diviš, 2000).

• Rezidua pesticidů

Rezidua z chemikálií (např. pesticidů) kontaminují potraviny, zhoršují životní prostředí, a tím mohou způsobovat zdravotní potíže. Proto je velmi důležité sledovat rezidua pesticidů, neboť je nutné, aby se zajistily potraviny a krmiva, která nepředstavují riziko pro člověka. Mezi rezidua pesticidů vyskytujících se v bramborách patří např. chlorpropham, dithiokarbamáty, imazalil, hydrazin kyseliny maleinové, thiabendazol apod. (Mayer et al., 2012).

Pro snížení potřeby chemických pesticidů při pěstování brambor byl zaveden systém integrované ochrany před škůdci. Tento systém je šetrný k životnímu prostředí a zahrnuje hospodárný přístup k ochraně plodin. Jedná se o přístup, kdy se používá kombinace biologických, chemických, kulturních, fyzikálních a genetických nástrojů k minimalizaci rizik pro životní prostředí a veřejné zdraví. Jedná se také o ekonomicky efektivní prostředek, jak produkovat kvalitní úrodu (Lutaladio et Castaldi, 2009)

Tab. č. 4 Kontaminující látky v bramborách (Zrůst et al., 2003)

Ukazatel		NMP (mg.kg ⁻¹)*	PM (mg.kg ⁻¹)**
dusičnany	rané brambory (do 15.7.)		500
	pozdní brambory		300
glykoalkaloidy			200
těžké kovy	Arsen	0,3	
	Kadmium	0,05	
	Měď	3,0	
	Nikl	0,5	
	Olovo	0,1	
	Rtuť	0,02	
	Cín		100
	Chrom		0,2
	Zinek		10
Železo		50	

*NMP – nejvyšší přípustné množství

**PM – přípustné množství

3.3 Sacharidy, polyoly, organické kyseliny

3.3.1 Obecná charakteristika sacharidů

Sacharidy mají pro život zcela zásadní význam, protože slouží jako základní živina pro přímé využití i druhotně jako energetická zásoba uložená v těle (Ledvina et al., 2009). Obsah cukru v bramborách se může měnit od pouze stopového množství až do 10 % suché hmotnosti hlízy (Talbert et Smith, 1967).

Sacharidy jsou nejvíce se vyskytujícími sloučeninami v živých organismech. Nicméně jejich význam není pouze v množství, ale hrají důležitou roli i při funkčnosti buněk. V rostlinách jsou sacharidy využívány pro syntézu různých strukturních komponent a dále slouží k transportu uhlíku a energie mezi tkáněmi. Hlavní role sacharidů v energetickém metabolismu je při glykolýze a pentosovém cyklu, kde slouží jako zdroje pro vznik meziproduktů, které jsou důležité pro syntézu velkého množství buněčných složek. Dále jsou sacharidy základní složkou strukturních molekul, jako je např. celulóza. Kromě toho mohou cukry tvořit kombinaci s jinými sloučeninami, např. s lipidy nebo proteiny což vede ke vzniku glykolipidů či lipoproteinů. Sacharidy jsou hlavní rezervní a metabolickou složkou v rostlinách a to ve formě škrobu, sacharosy, fruktanů a polyolů (Pessarakli, 2011).

Mezi dva hlavní faktory ovlivňující obsah cukrů v hlízách během skladování patří odrůda a teplota. Odrůdy, které mají nízkou měrnou hmotnost, mají obecně tendenci hromadit více cukru v hlízách než odrůdy s vysokou specifickou hmotností (Talbert et Smith, 1967).

Čerstvě sklizené zralé hlízy mohou obsahovat pouze stopové množství cukru, zatímco hlízy sklizené před plnou zralostí mohou mít až 1,5 % cukru. Malé hlízy obsahují vyšší množství cukru než velké hlízy. Celkový obsah redukujících cukrů je vyšší, čím je teplota nižší, až k bodu mrazu (Talbert et Smith, 1967).

Tradiční stanovení sacharidů je problematické, protože obsahuje řadu nesacharidových složek, jako je např. lignin, organické kyseliny, třísloviny, vosky a některé produkty Maillardovy reakce (Nantel, 1999).

3.3.2 Význam ve výživě

Brambory obsahují vysoký obsah škrobu a jsou hlavním zdrojem sacharidů v lidské výživě. Sacharidy tvoří jednu ze čtyř hlavních zdrojů energie v lidské výživě (Ek et al., 2012). Waterschoot et al. (2015) uvádí, že užití škrobu má široké uplatnění v potravinářském, chemickém, farmaceutickém i papírenském průmyslu.

Sacharidy jsou nejvýznamnějším zdrojem energie a představují 40 – 80 % z celkového příjmu energie (Nantel, 1999) a jejich energetická hodnota je 17 kJ / g (Ek et al., 2012).

Sacharidy mají vliv na hladinu glukosy v krvi, též na inzulin, cholesterol či metabolismus triglyceridů. Taktéž ovlivňují pocit sytosti a mají prebiotické účinky. (Ek et al., 2012).

Obsah cukrů v hlízách je relativně nízký (0,5 % v původní hmotě), a i přesto má jejich obsah význam jak z hlediska zpracovatelského, tak i sensorického. Při teplotách mezi 10 – 20 °C je ve zralých hlízách nejvíce sacharidů ve formě škrobu. Cukry jsou zároveň prekurzory některých těkavých sloučenin, které vznikají tepelnou úpravou brambor a podílejí se na vůni brambor (Rybáček et al., 1988).

3.3.3 Metabolismus sacharidů u rostlin

Rostliny jsou otevřené systémy, kde dochází k trvalé výměně hmoty, tedy CO₂, O₂, H₂O, minerálních živin, energie a informací s okolím. Metabolické přeměny lze členit na anabolické, související s výstavbou struktur a katabolické, spojené s odbouráváním a rozkladem látek. Většina rostlin patří mezi organismy autotrofní, u nichž je zdrojem energie záření nebo některé organické látky (Procházka et al., 1998).

Mnohé z metabolických drah sacharidů probíhají v cytosolu, kde jsou propojeny s jinými metabolickými dráhami. Zde je přítomna fruktosa-6-P a glukosa-6-P. Přeměna fruktosy-6-P na glukosu-6-P je katalyzována hexosa-P isomerasou, zatímco reakce, kde dochází k přeměně glukosy-6-P na glukosu-1-P je katalyzována pomocí fosfoglukomutasy. Tyto centrální metabolické dráhy produkují meziprodukty nebo finální produkty, které hrají klíčovou roli v rostlinách jak za fyziologických, tak i stresových podmínek (Pessaraki, 2011).

Jako fotosyntéza se označuje velký soubor reakcí, které se často vyjadřují následující rovnicí $n \text{ CO}_2 + n \text{ H}_2\text{O} \rightarrow (\text{CH}_2\text{O})_n + n \text{ O}_2$, za účasti zářivé energie. Jedná se o názorné vyjádření souhrnu všech reakcí, kdy dochází ke vzniku organických látek a k uvolnění molekulárního kyslíku, a to z oxidu uhličitého a vody (Procházka et al., 1998).

Chloroplast je nemenší strukturní a funkční jednotkou, která je schopna i po izolaci absorbovat záření, fixovat CO₂ a zabudovávat uhlík do sacharidů. K fotosyntetickým pigmentům patří chlorofyly, fykobiliny a karotenoidy (Procházka et al., 1998).

Calvinův cyklus zahrnuje soubor reakcí fixujících CO₂ a zabezpečujících zároveň i regeneraci substrátu. Enzymem Rubisco (ribulosa-1,5-bisfosfátkarboxylasa) je CO₂ vázán na ribulosa-1,5-bisfosfát, vzniklý meziprodukt je štěpen na 3-fosfoglycerát a ten je fosforylován ATP na 1,3-bisfosfoglycerát. Ten se dále specifickou triosafosfátdehydrogenasou s NADPH + H⁺ redukuje na glyceraldehyd-3-fosfát. Pomocí isomerasy pak vzniká dihydroxyacetonfosfát. Tyto dvě sloučeniny jsou východiskem pro syntézu škrobu přímo v chloroplastech nebo je transportován do cytoplasmy a zde je využit na syntézu sacharosy, která je hlavní transportní sloučeninou u vyšších rostlin. Prvním stabilním produktem v Calvinově cyklu je 3-fosfoglycerát, a proto se rostliny s tímto typem fixace CO₂ označují jako rostliny C₃ (Procházka et al., 1998).

Fotorespirace neboli glykolátová cesta probíhá v chloroplastech, peroxizomech a mitochondriích. Enzym Rubisco katalyzuje nejen reakci CO₂ s ribulosa-1,5-bisfosfátem, ale i vazbu O₂ na tento substrát. Takto rostliny přijímají O₂ a dochází k rozkladu sacharidů na CO₂ (Procházka et al., 1998).

3.3.4 Regulace metabolismu u rostlin během stresu

Mnoho organismů akumuluje sloučeniny s nízkou molekulovou hmotností, jako jsou disacharidy (sacharosa a trehalosa), dále cukerné alkoholy, kvartérní aminy nebo aminokyseliny. Tyto sloučeniny umožňují organismům tolerovat určité druhy abiotických stresů jako je zasolenost, chlad nebo sucho. Je známo, že různé anorganické (K⁺, Na⁺, Cl⁻, SO₄²⁻) a organické (redukující hexosy) molekuly jsou důležité pro stanovení osmotické úpravy vodných systémů. Bylo zjištěno, že vysoké koncentrace rozpuštěných látek nezasahují do enzymatické aktivity a mohou chránit proteiny před škodlivými účinky solí a tepla (Pessaraki, 2011).

Další studie potvrzuje, že hromadění derivátů sacharidů by mohlo pomoci odolávat extrémním podmínkám nízkých teplot, vysokých koncentrací solí a vodnímu deficitu. Změny v rovnováze fotosyntézy mohou hrát důležitou roli pro produktivitu rostlin a přežití za fyziologických i stresových podmínek (Pessaraki, 2011).

Procházka et al. (1998) uvádí, že fytohormony jsou výrazně méně specifické než hormony živočišné, každý z fytohormonů ovlivňuje několik často odlišných procesů a naopak, kdy týž proces bývá ovlivněn větším počtem různých látek. Mezi hlavní fytohormony patří auxiny, cytokininy, gibereliny, abscisová kyselina a ethylen (Procházka et al., 1998).

Salicylová kyselina (SA) byla poprvé objevena pro svou roli v obraně rostlin a hraje klíčovou úlohu v systémově získané rezistenci (SAR) což usnadňuje dlouhodobou ochranu nebo imunitu proti širokému spektru patogenů či abiotickému stresu (Farrant et Ruelland, 2015).

Fosfatidová kyselina se podílí na transdukci kyseliny abscisové (ABA). Tento fytohormon se podílí na odpovědi rostlin na biotický a abiotický stres a je jedním z nejdůležitějších signálů při stresu (Farrant et Ruelland, 2015). ABA inhibuje prodlužovací růst, stimuluje opad, urychluje stárnutí, reguluje dormanci atd. Při nedostatku vody způsobuje uzavření průduchů a zvyšuje hydraulickou vodivost kořenů. ABA redukuje negativní vliv nedostatku vláhy, ale i dalších stresů, které vyvolávají nedostatek vody v buňce (Procházka et al., 1998).

Ethylen je plynný hormon a jeho koncentrace v buňce je velmi nízká, daná rozpustností v cytoplazmě. Etylen inhibuje prodlužovací růst a stimuluje růst radiální. Zvýšená tvorba ethylenu je jednou z prvních reakcí rostlin na působení stresorů. Zvýšenou tvorbu ethylenu vyvolává nedostatek i nadbytek vody, anaerobióza, teplotní výkyvy, zasolení, poranění, napadení patogeny i toxickými látkami. Dále stresory indukují *de novo* tvorbu ACC-syntasy, ale hromadí se ACC se mění na ethylen jen z části a rychlost této přeměny bývá zvýšena většinou až v pozdější fázi stresové reakce. Vlivem zvýšené tvorby ethylenu stoupá tvorba některých fytoalexinů, zvyšuje se aktivita některých enzymů účastnících se obranných reakcí rostlin a vzrůstá odolnost některých pletiv k působení rozkladných enzymů. Přesto nelze vyloučit možnost, že tvorba ethylenu je v některých případech průvodním jevem odezvy rostlin na působení stresových podmínek (Procházka et al., 1998).

Zvýšení odolnosti vůči stresovým faktorům dále zajišťuje tvorba stresových proteinů, např. proteiny indukované zvýšenou teplotou, dehydratací, chladem atd. Dále také tvorbou a odstraňováním aktivních forem kyslíku a tvorbou osmoregulačních sloučenin jako jsou např. cukry, polyalkoholy a jednoduché dusíkaté látky (Procházka et al., 1998).

3.3.5 Rozdělení sacharidů

- Monosacharidy

Monosacharidy jsou nejjednodušší formou sacharidů. Mnoho z těchto sloučenin je syntetizováno z jednodušších látek v procesu zvaném glukoneogeneze, jiné jsou produkty fotosyntézy. Rozklad monosacharidů poskytuje většinu energie potřebou pro průběh biologických pochodů a též jsou základní složkou nukleových kyselin a součástí složitých lipidů (Voet et Voet, 1995).

Monosacharidy se rozdělují dle chemické povahy karbonylových skupin a dle počtu atomů uhlíku. Dle karbonylové skupiny dělíme sacharidy na aldosity a ketosity. Sacharidy se třemi uhlíkovými atomy označujeme jako triosy, sacharidy se čtyřmi, pěti, šesti a sedmi atomy uhlíku se nazývají tetrosy, pentosy, hexosy resp. heptosy (Voet et Voet, 1995).

Sacharidy se šestičlenným kruhem se označují jako pyranosy podle pyranu a podobně sacharidy s pětičlenným kruhem jsou označovány jako furanosy podle furanu. Cyklické formy glukosy a fruktosy jsou známy jako glukopyranosa a fruktofuranosa (Voet et Voet, 1995).

Obsah cukrů výrazně ovlivňuje vnitřní a vnější znaky kvality smažených výrobků. Glukosa a fruktosa jsou hlavní redukující monosacharidy v bramborových hlízách s koncentrací 0,15 - 1,5 % (Rady et Guyer, 2015).

- Oligosacharidy

Oligosacharidy jsou složeny z několika kovalentně vázaných monosacharidových jednotek. Často bývají slučovány s proteiny (tzv. glykoproteiny) a lipidy (tzv. glykolipidy). Tyto sloučeniny mají jak funkci stavební, tak i regulační (Voet et Voet, 1995).

Obsah sacharosy v hlízách brambor je 0,4 – 6,6 % a jedná se o neredukující sacharid (Rady et Guyer, 2015). Vedle těchto výše uvedených cukrů se v bramborách vyskytuje např. i mannosy, xylosy, rafinosy apod., které jsou však z hlediska vlivu na kvalitu nevýznamné (Rybáček et al., 1988).

- Polysacharidy

Polysacharidy jsou tvořeny velkým počtem kovalentně vázaných monosacharidových jednotek a jejich molekulová hmotnost je až několik milionů daltonů. U rostlin mají

především význam jako stavební látky (celulóza) a zároveň slouží jako důležité zásobní látky, jako škrob u rostlin a glykogen u živočichů (Voet et Voet, 1995).

Škrob se skládá především ze dvou polymerů α -D-glukosových jednotek propojených α -1,4 a α -1,6 vazbami. Jedná se o téměř lineární amylosu a vysoce rozvětvený amylopektin. Navíc škrob obsahuje některé minoritní složky jako lipidy, proteiny a minerály, jejichž hladina se liší podle botanického původu (Waterschoot et al., 2015).

Škrob je tvořen směsí glukanů, syntetizovaných rostlinami jako jejich hlavní zásobní látky. V cytoplazmě rostlinných buněk je uložen ve formě nerozpustných granulí skládající se z α -amylosy a α -amylopektinu (Voet et Voet, 1995).

Velikost a tvar škrobových zrn jsou závislé na botanickém původu a značně se liší. Škrobová zrna brambor jsou velmi velká, kruhová nebo oválná a jejich velikost je 10 – 100 μ m (Waterschoot et al., 2015).

Struktura amylozy není dobře definována. Dlouhou dobu byla považována za lineární polymer glukosy, ve kterém byly jednotlivé monomery spojeny výhradně α -1,4 glykosidickými vazbami. Nyní je známo, že obsahuje i některé prvky nelinearity (Lineback et Inglett, 1982). Amylopektin je struktura obsahující 94 – 96 % α -1,4 a α -1,6 vazby. Průměrná délka řetězce je 20 až 26 glukosových jednotek (Lineback et Inglett, 1982).

Škrob obsahuje hlavní podíl sušiny a procento jiných škrobových pevných látek v čerstvé hlíze je relativně konstantní, přibližně 6 %. Většina faktorů, které mají tendenci zvyšovat obsah specifické hmotnosti a celkový počet pevných látek v hlízách, vede ke zvýšení obsahu škrobu a to jak na hmotnost čerstvé tkáně, tak i procenta sušiny. Ukázalo se, že rozdíly v měrné hmotnosti mezi jednotlivými odrůdami nezávisí na rozdílech v hustotě škrobu nebo velikostí zrn (Talbert et Smith, 1967).

Udává se, že obsah škrobu je charakteristický pro každou odrůdu. Ostatní faktory jsou regulovatelné. Byly zjištěny následující faktory, které jsou spojovány se zvýšenou měrnou hmotností či obsahem škrobu. Co se týče hnojení, jedná se o vysoký poměr draslíku k dusíku a síry k chlóru, mezi další faktory patří krátký den, stínování, časné datum výsadby, tvar hlízy apod. (Talbert et Smith, 1967).

Celkový obsah škrobu u různých odrůd se může značně lišit a to od 9 do 23 % čerstvé váhy (Burlingame et al., 2009). Tyto hodnoty představují 66 – 80 % škrobu z bramborové sušiny (Liu et al., 2007).

V souvislosti s kulturními podmínkami není zvýšený obsah škrobu vždy v souladu s vysokými výtěžky. Dlouhé dny a adekvátní dusík jsou příznivé pro vysoký výnos a vývoj natě, zatímco krátké dny a nízký obsah dusíku vedou ke zvýšenému obsahu škrobu (Talbert et Smith, 1967).

Obsah vlhkosti u nativních škrobů z kořenů a hlíz se pohybuje v rozmezí od 14 % až do 18 %, zatímco u obilných škrobů je rozsah od 10 % do 12 %. Obsah amylosy u škrobu brambor je mezi 25 % až 33 %. Dále autor uvádí, že bramborové škroby obsahují mnohem větší množství fosforu ve formě fosfátových monoesterů, ve srovnání s jinými škroby (Ek et al., 2012).

- neškrobové polysacharidy

Stejně jako všechny vyšší rostliny, tak i brambory obsahují neškrobové polysacharidy, které jsou součástí buněčné stěny a tvoří i mezibuněčné tmelící látky. Můžeme rozlišovat hrubou vlákninu, celulózu, pektinové látky a další polysacharidy (Talbert et Smith, 1967).

Vláknina je obecný termín, který představuje sušinu hlízy po odstranění všech rozpustných součástí, nejvíce škrobu a dusíkatých složek. Skládá se z velké části z komponentů buněčných stěn včetně ligninu a suberinu. Obsah hrubé vlákniny je přibližně jedno procento suché hmotnosti. Obsah hrubé vlákniny se zvyšuje jak během zrání, tak i během skladování (Talbert et Smith, 1967). Burlingame et al. (2009) uvádí, že mnoho druhů brambor obsahuje nutričně významné množství vlákniny a to až 3,3 %.

Celulóza je přítomná v nosné membráně buněčné stěny a tvoří asi 10 až 20 % celkového obsahu neškrobových polysacharidů brambor. Jedná se o směs polymerů s vysokou molekulovou hmotností složená z glukosových zbytků spojených β -1,4 vazbami. Celulóza je považována za metabolicky inertní (Talbert et Smith, 1967).

Pektinové látky neboli polymery kyseliny galakturonové, obsahující karboxylové skupiny, které jsou více, či méně methylované představují průměrně jedno procento suché hmotnosti. Obecně lze konstatovat, že čerstvě sklizené brambory obsahují relativně hodně protopektinu, ale při uchovávání se jeho obsah snižuje a roste obsah rozpustných částí pektinu (Talbert et Smith, 1967).

Hemicelulózy jsou součástí buněčné stěny a jsou tvořeny glykosidickými řetězci, které obsahují kombinaci kyseliny glukuronové s xylosou a kyseliny galakturonové s arabinózou. Hemicelulózy tvoří přibližně 1 % z celkového obsahu polysacharidů (Talbert et Smith, 1967).

- Polyoly

Polyoly, neboli polyhydroxyalkoholy se dělí na acyklické polyoly a alicyklické polyoly. Příkladem může být sorbitol, myoinositol, xylitol, maltitol apod. Jedná se o vícesytné alkoholy odvozené od cukrů, např. redukcí glukosy vzniká D-glucitol neboli sorbitol. Polyoly se vyskytují v mnoha rostlinách a rostlinných produktech (Lineback et Inglett, 1982).

Vzhledem k jejich žádoucím sensorickým a funkčním vlastnostem se často polyoly využívají jako náhrada za cukry ve speciálních dietních potravinách (Hood et al., 1977).

- Organické kyseliny

Acidita buněčné šťávy stejně jako její pufrovací účinek jsou dány kyselinou fosforečnou a jejími estery i různými organickými kyselinami. Hlavní význam mají především kyseliny, které vznikají při dýchání a ve větším množství se vyskytují jako meziproducty látkové výměny. Při odbourání cukrů vzniká pyrohroznová kyselina a z ní přímo vznikající octová kyselina jsou velmi důležité při látkové výměně mnoha dalších buněčných substancí, jako jsou aminokyseliny, mastné kyseliny a karotenoidy. Ze všech aminokyselin bylo stanoveno největší množství citrónové a jablečné kyseliny a to až do 1 % původní hmoty (Hruška et al., 1974).

3.4 Vybrané stresové faktory rostlin se zaměřením na brambory

U rostlin lze hovořit o stresu, pokud proměnlivost negativních faktorů vnějšího prostředí překročí určitou mez, tedy toleranci rostliny. To znamená, že se objevují poruchy struktur jednotlivých funkcí i orgánů rostliny. Stres tedy definuje stav, kdy se rostlina nachází pod vlivem stresorů. Stresor může působit na úrovni organely, buňky či pletiva, individuální rostliny, na úrovni celého rostlinného společenstva či ekosystému (Bláha et al., 2003).

Negativní vlivy životního prostředí jsou jedním z nejvíce limitujících faktorů v zemědělské produkci. Velká část ročního výnosu je ztracena z důvodu výskytu patogenů nebo kvůli škodlivým účinkům abiotického charakteru (Wittenmayer et Merbach, 2005).

Negativní vnější vlivy neboli stresory působí na celou rostlinu včetně kořene, nadzemních částí i semen. Rostliny jsou schopné vykonávat všechny důležité životní funkce za poměrně značného kolísání faktorů vnějšího prostředí. Ve stresu může rostlina dosáhnout nového rovnovážného stavu díky kompenzačním procesům. Při nezvládnutí vlivu stresorů může dojít až k uhynutí rostliny. Stresová reakce představuje skupinu reakcí, které se spustí pod vlivem stresorů. (Bláha et al., 2003).

Pro překonání určitého stresového faktoru musí rostlina mobilizovat své energetické zdroje a obranné, adaptivní či poplašné fyziologicko-biochemické reakce (Kůdela, 2013).

Stresová reakce zahrnuje fázi poplachovou, kdy bezprostředně po začátku působení stresového faktoru dochází k narušení buněčných struktur a funkcí. Následuje fáze restituční, kdy intenzita působení stresoru nepřekračuje letální úroveň a dochází k mobilizaci kompenzačních mechanismů. Další fází je rezistence, při které dochází ke zvyšování odolnosti rostliny vůči působení faktorů a poslední fáze vyčerpání, kdy po dlouhém a intenzivním působení stresového faktoru, může dojít k poklesu (Procházka et al., 1998).

Působením stresové reakce vznikne určitá úroveň adaptačních schopností. Přechodně může dojít k aklimatizaci, tedy zvýšení odolnosti vůči abiotickým stresorům. Některé rostlinné druhy se dokážou působení stresu dokonce vyhnout, ale většinou se rostlina pokouší o nastolení tolerance vůči stresu (Bláha et al., 2003).

Studium stresu u rostlin, které rostou v přírodních podmínkách, je komplikováno tím, že často působí více stresových faktorů současně (Procházka et al., 1998).

Stresory jsou abiotické, tedy faktory neživé přírody a biotické neboli faktory živé přírody, živých organismů (Kůdela, 2013).

3.4.1 Abiotické faktory chemické

3.4.1.1 Voda

Voda je nejdůležitější sloučeninou v rostlině a představuje více než 80 % rostlinných pletiv. Voda je nezbytná pro většinu rostlinných funkcí. Množství vody, doba a způsob aplikace, kvalita závlahové vody a převládající mikrometeorologické podmínky jsou důležité pro zdraví a výnos rostlin (Ati et al., 2012).

Vzhledem k účinnému využívání vody je brambor ideální plodinou v oblastech, kde je stále boj o vzácné vodní zdroje velmi intenzivní. Pěstitelé rozvíjí odrůdy brambor se suchu odolnými vlastnostmi a delším kořenovým systémem, který potřebuje méně vody a pomáhá zpevnit půdu (Lutaladio et Castaldi, 2009). Heuer et Nadler (1998) dodává, že v mnoha zemích jsou brambory pěstovány v suchých a polosuchých oblastech, kde nedostatek vody nebo její špatná kvalita představuje hlavní faktor omezující růst a výnos hlíz.

Zavlažování umožňuje zemědělcům aplikovat vodu v nejlépe prospěšné době a vyhnout se tak nepravidelnému přísunu vody v dobách srážek. Voda pro zavlažování se stává vzácným a drahým zdrojem a vyžaduje vědecký přístup. Kapková závlaha se jeví být prospěšnější vzhledem ke zvýšení výtěžku a úspoře vody (Ati et al., 2012).

- přesušení (sucho)

Nedostatek vody neboli vodní stres, představuje pro rostlinu nejvíce limitující faktor, snižuje aktivitu všech enzymů v rostlině a zpomaluje růst rostliny. Nejčastější příčinou nedostatku vody jsou klimatické poměry a průběh počasí. Příjem vody u rostlin dále závisí na obsahu živin a solí v půdě i na půdní reakci (Bláha et al., 2003).

Hale et al. (1987) dodává, že sucho je meteorologický termín, který znamená nedostatek srážek během delšího časového období. Někteří odborníci uvádějí, že výsledný efekt na rostliny je způsoben tzv. vodním stresem, ale k němu může dojít i relativně během krátké doby.

Na rozdíl od minerálních živin, má voda velmi rychlý koloběh v ekosystémech a její zásoba v rostlinách i v půdě stačí jen na poměrně krátkou dobu. Doplnění vody srážkami je poměrně nepravidelné a náhodné a nejsou tedy vyloučeny ani delší periody sucha (Procházka et al., 1998).

Hale et al. (1987) shrnuje vlivy vodního stresu do pěti kategorií. První z nich je snížení vodního potenciálu nebo aktivity buněčné vody, dále snížení turgoru, snížení koncentrace malých molekul i makromolekul na základě snížení turgoru, změny prostorových vztahů v plasmatické membráně, tonoplastu a membránách organel kvůli změně objemu a změny struktury nebo celkové uspořádání makromolekul.

Během působení vodního stresu u rostlin se snižuje především růst a fotosyntéza. Voda hraje důležitou roli při udržování turgidity. Turgor plní důležitou úlohu při růstu a prodlužování buněk, při otevírání průduchů, pohybu listů a květních obalů. Při snižování turgoru dojde nejdříve k redukci prodlužování listů a teprve k redukci fotosyntézy. Nejcitlivěji reaguje na nedostatek vody prodlužovací růst buněk. Růst začíná tím, že se buňky zvětšují absorpcí vody do vakuol a zvětšováním plochy povrchu buněčné stěny. K měřitelnému zpomalení růstu dojde již při malých ztrátách vody, kdy turgor klesne o 0,1 až 0,2 MPa. Úplné zastavení růstu nastává při poklesu turgoru na - 0,3 až - 0,4 MPa. Nejdříve dojde k zastavení růstu, tedy k vadnutí listů či ovlivnění metabolických procesů včetně fotosyntézy což vede ke hromadění nevyužitých asimilátů. U vyšších rostlin nedostatek vody ovlivňuje především průduchy, jejichž uzavíráním zpomaluje výměnu CO₂ (Hale et al., 1987; Bláha et al., 2003).

Rychlost fotosyntézy klesá na nulu a zpomalují se transportní procesy v buňkách a aktivita hydrolytických procesů se obvykle zvyšuje. Naopak málo citlivé k vodnímu stresu jsou dálkové transportní procesy. To umožní rostlinám i při velkém vodním deficitu mobilizovat rezervy organických látek ve starších orgánech a přesunout je do mladších, zejména generativních orgánů k dokončení reprodukčního procesu. Pokud v této fázi vodního stresu dojde k doplnění ztrát vody a všechny buněčné funkce se postupně vracejí do normálního stavu. Pokud však stav velkého vodního deficitu pokračuje, dojde k silné dehydrataci a závažným změnám především funkce membrán a organel, až k odumření orgánů či celé rostliny (Procházka et al., 1998).

Vedle ethylenu hraje důležitou roli v adaptaci rostliny na stres suchem abscisová kyselina neboli ABA. Jedná se o hormon způsobující morfologické a chemické změny v rostlinách a zajišťující přežití rostliny v suchých podmínkách (Wittenmayer et Merbach, 2005).

Při nedostatku vody rostlina reaguje tvorbou celé řady látek, které zvyšují osmotický tlak v buňkách a zejména se zvyšuje koncentrace abscisové kyseliny (ABA). Při vyšší koncentraci ABA v listech dochází k zavírání průduchů rostlin. Při nedostatku vody patří ABA

k významným mediátorům exprese genů pro stresové proteiny. Zavíráním průduchů se snižuje výměna plynů a tím i rychlost fotosyntézy a dýchání (Bláha et al., 2003). Wittenmayer et Merbach (2005) uvádí, že ABA je velmi citlivým indikátorem sucha u rostlin a vzniká následkem akumulace např. prolinu nebo cukrů. Procházka et al. (1998) uvádí, že koncentrace prolinu se zvýší často až stonásobně. Hlavní význam těchto syntéz je zvýšení osmotického tlaku v buňkách.

Dle Procházky et al (1998) je regulace vodního režimu rostlin nejdůležitější funkcí kyseliny abscisové. ABA redukuje nejen negativní dopad nedostatku vláhy, ale i dalších stresorů, které v buňce vyvolávají nedostatek vody, jako jsou nízké teploty, zasolení apod. Proto se ABA považuje za nejdůležitější faktor obrany rostlin vůči stresorům a případné adaptace k nim.

Při nedostatku vody se u rostlin začínají uzavírat průduchy, kterými vstupuje do listů rovněž oxid uhličitý, který je důležitý pro fotosyntézu. Při 20 – 24% ztrátě vody se průduchy zavřou úplně. Významnou roli při zásobování rostlin vodou hraje i intenzita světla, kdy v deštivých dnech se zpravidla při vyšších srážkách v důsledku úbytku světla snižuje obsah sušiny. Naopak ke zvyšování sušiny obvykle dochází, pokud je zásobení vodou natolik dostatečné, že průduchy během slunečního záření zůstávají otevřené. Většinou dochází ke zvyšování sušiny až do sklizně. V případě nových srážek na konci vegetace ve velkém suchu dojde k novému růstu, ale obsah sušiny je již zpravidla nižší (Zrůst, 1996).

Během postupného vysychání dochází ke snížení hydratace protoplazmy a tím i fotosyntetické kapacity. Příjem CO₂ dosahuje normálních rychlostí pouze v úzkém rozsahu dostatečného zásobování vodou. Mimo tento rozsah začíná příjem CO₂ klesat a nakonec se zcela zastaví. S fotosyntézou souvisí i transpirace. V případě, že v humidních oblastech není dostatek srážek, začínají rostliny omezovat otevírání průduchů a zkracují i dobu jejich otevření. Během vodního stresu dochází ke zvyšování degradace chlorofylu a klesá i jeho koncentrace. Je omezen transport látek, akumuluje se sušina, též i energeticky bohaté látky a dochází k hromadění toxických látek. Při silném stresu může dojít k porušení membrán až k úhynu rostliny. (Bláha et al., 2003).

Pro rostliny mírného pásma je rozhodující, zda sucho nastalo v průběhu vegetace či zda roste v relativním suchu od počátku vegetace. Pokud nastalo sucho v průběhu vegetace, je stres na metabolismus silnější, ale pokud rostlina roste od počátku v suchu, má hlubší kořenový systém, silnější kutikulu, méně průduchů a menší listovou plochu. V případě

dlouhodobého nedostatku vody od počátku vegetace dochází k inhibici kořenového systému. Nejdříve dochází k jeho prodlužování do větších hloubek, a pokud stres dále pokračuje, může dojít až k redukci kořenového systému nebo uhynutí (Bláha et al., 2003).

U nadzemních orgánů dochází při nedostatku vody od počátku vegetace k redukci listové plochy, což vede ke snížení hmotnosti a změny ve vodním a výživovém modelu. Pokud dojde ke snížení turgoru během vývoje květenství, redukuje se počet květů, a tím je ohrožena i celá reprodukce. Pokud dojde k nedostatku vody během dozrávání plodů, dosavadní vývoj nebude ovlivněn, ale pouze se sníží hmotnost semen a může se zvýšit opad plodů. Ke strukturním změnám během vysychání patří např. minimalizace vakuol a obsah škrobu, zvýšené množství mitochondrií a tvorba zvláštních pochev kolem organel (Bláha et al., 2003).

3.4.1.2 Nedostatek kyslíku

Koncentrace kyslíku v plynné fázi půdního systému je trvale snížena ve srovnání s volnou atmosférou. Kyslík je nepřetržitě odebírán respiračními procesy kořenů, ale i respirací půdní mikroflóry. U těžkých jílových půd nebo v důsledku zvýšeného obsahu vody v půdě může koncentrace kyslíku v rhizosféře klesnout až na hodnoty blízké nule. Pokud koncentrace kyslíku v intracelulárách klesne pod 2 – 4 %, dojde k inhibici aerobních respiračních procesů. Při náhlé změně koncentrace kyslíku dochází především ke změnám v obsahu fytohormonů a k syntéze stresových proteinů (Procházka et al., 1998).

3.4.1.3 Nedostatek živin v půdě

Schopnost rostlin získat živiny z půdy, do značné míry závisí na chemických, fyzikálních a biologických vlastnostech půdy. Půdy s vysokým obsahem organické hmoty a jílu mají větší výměnnou kapacitu iontů než půdy písčité. Koncentrace iontů v roztoku závisí do značné míry na struktuře, složení půdy, výměnné kapacitě, množství vody a pH půdy. Půdní pH ovlivňuje dostupnost rostlinných živin. Například zásadité pH omezuje dostupnost Fe, Mn a Zn (Orcutt et Nilsen, 1996).

Tolerance nedostatku živin může záviset na schopnosti kořenů vylučovat metabolity, které jim umožní získat více živin z půdy nebo využít substituci některých iontů, např. sodík za draslík (Hale et al., 1987).

3.4.1.4 Nadbytek iontů solí a vodíku v půdě

Zasolování půd a sodicita patří mezi hlavní zemědělské problémy, jež omezují růst a vývoj rostlin po celém světě. Slanost půdy a sodicita jsou běžné v pouštních a polopouštních oblastech, kde jsou nedostatečné srážky pro vyluhování solí a iontů z rhizosféry. Tyto oblasti mají často zvýšenou koncentraci odpařování, což může podpořit zvýšení koncentrace solí. Salinita půdy a sodicita jsou problémy vyskytující se v téměř každé zavlažované oblasti světa a mohou se objevit i na nezavlažovaných půdách či pastvinách (Pessarakli, 2011).

Při růstu na zasolených půdách musí rostlina čelit řadě problémů. Prvním z nich je vlastní toxický vliv vysokou koncentrací jednotlivých iontů (především Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} a Mg^{2+}). Zvýšený obsah těchto iontů má vliv na velmi nízký vodní potenciál a zhoršené fyzikální vlastnosti půdy. Neadaptované rostliny hromadí ve svých buňkách výše uvedené ionty, což ve větším množství omezuje funkce některých enzymů a velmi brzy dochází k zastavení růstu či odumírání rostliny. Přesto je známa řada druhů, které snášejí bez poškození i značné zasolení půdy a jedná se o tzv. halofytní rostliny (Procházka et al., 1998).

Nadměrná kyselost půdy může mít různé příčiny i důsledky pro růst rostlin. Na poklesu pH půdy se podílí vstup vodíkových iontů z kyselých srážek, ale i nevhodný způsob obhospodařování. Vzestup koncentrace H^+ je limitován na půdách s vyšším obsahem CaCO_3 , na většině ostatních půd má dominantní úlohu v řízení pH komplex s hydratovanými ionty hliníku, který umožňuje pokles pH až na hodnotu 3,5. Přímé poškození rostlin vysokou koncentrací H^+ je poměrně vzácné, neboť k poškození dochází obvykle až při hodnotách pH a nižší. Významnější je tedy nepřímé negativní působení zvýšenou rozpustností některých sloučenin v půdě s nízkým pH. Vysoká koncentrace H^+ iontů v půdě vytěsňuje ostatní kationty (zejména Ca^{2+} , Mg^{2+} a K^+) ze sorpčních vazeb na koloidech a snadno pak dojde k jejich vyplavení a rostliny pak trpí nedostatkem těchto iontů. Dále je snížena dostupnost fosforu a nitrátového dusíku (Procházka et al., 1998).

Rostliny rostoucí v půdě s vysokým obsahem soli, mají nízký osmotický potenciál v důsledku zvýšené koncentrace rozpuštěných látek a jsou tolerantní vůči solím. Některé rostliny jsou odolné, protože mají mechanismy, díky kterým se soli vylučují nebo se koncentrují ve vakuolách (Hale et al., 1987).

3.4.1.5 Toxické kovy a organické látky v půdě

Vysoká koncentrace esenciálních a neesenciálních kovů v půdním prostředí pochází z těžby, průmyslové činnosti, likvidace čistírenských kalů, okyselování půdy nebo používání pesticidů a hnojiv představuje vážné riziko pro zdraví rostlin. Kontaminace půdy celou řadou kovů se stala celosvětovým problémem a vede ke snižování zemědělských výnosů. Jeden z negativních dopadů toxických kovů v rostlinných tkáních je tvorba volných radikálů, které mohou vést k oxidativnímu poškození různých buněčných složek (Pessarakli, 2011).

3.4.1.6 Toxické plyny ve vzduchu

Jeden z nejvíce nebezpečných plynů v prostředí je oxid siřičitý (SO_2). Jeho koncentrace se mnohonásobně zvýšila v důsledku spalování uhlí s velkým obsahem síry. Oxid siřičitý proniká buněčnou stěnou a mění se na siřičitanové anionty, jejichž naprostá většina vstupuje do chloroplastů. Ve vyšších koncentracích siřičitanové ionty blokují činnost karboxylačního enzymu Rubisco, a tím je inhibován i sekundární proces fotosyntézy (Procházka et al., 1998).

Ozón vstupuje do listů převážně průduchy a již v mezibuněčných prostorech se rychle rozkládá. Během rozkladu vzniká kyslík, ale i vysoce reaktivní superoxid O_2^- a hydroxylový radikál. Superoxid a hydroxylový radikál jsou částečně přeměněny na peroxid vodíku a pak na vodu, ale některé pronikají i do buňky, kde jsou deaktivovány pomocí řady metabolických cest. Ozón indukuje tvorbu ethylénu, polyaminů a flavonoidů, které tvoří obranné mechanismy a rovněž probíhá tvorba stresových proteinů. V případě dlouhodobějšího působení nadměrných koncentrací začne docházet k poškozování buněčných cest (Bláha et al., 2003).

3.4.2 Abiotické faktory fyzikální

3.4.2.1 Extrémní teploty

Sluneční záření je pro rostliny zdrojem světelné energie, dále mění teplotu vzduchu obklopujícího rostliny a ohřívá i jejich povrch. K poškození rostlin může dojít působením jak vysokých teplot, tak i teplot blízkých $0\text{ }^\circ\text{C}$ či pod bodem mrazu, kdy hovoříme o chladu nebo mrazu (Bláha et al., 2003).

Rostlinné orgány jsou různě tolerantní vůči teplotním stresorům. Je obecně známo, že generativní orgány jsou více poškozovány extrémními teplotami než orgány vegetativní. Extrémní teploty působí na rostliny odlišně, protože jednotlivé rostlinné mechanismy se přizpůsobují výkyvům teplot různými mechanismy. (Bláha et al., 2003).

3.4.2.1.1 nízká teplota

Co se týče nízkých teplot, tak u rostlin rozlišujeme citlivost na chlad a citlivost na mráz.

a) citlivost na chlad

Chladem nazýváme teploty nad bodem mrazu. U rostlin citlivých na chlad dochází obvykle k poškození i teplotami nad bodem mrazu. Takto citlivěji reagují rostliny z tropických, subtropických či teplejších oblastí mírného pásma. U těchto rostlin jsou především poškozeny vazby lipidů na proteiny v buněčných stěnách a dochází k fyzikálním a chemickým změnám vlastností membrány (Bláha et al., 2003).

Během působení nízkých teplot rostlina zrychluje dýchání, čímž se snaží kompenzovat poškození a přizpůsobit se novým podmínkám, takto však dochází k porušení rovnováhy mezi jednotlivými metabolickými procesy a v důsledku toho k odumírání buněk. Nízké teploty dále způsobují snižování fotosyntézy a transpirace a průduchy se za chladu otevírají pomalu, nebo pouze částečně. Pokud teplota poklesne do rozmezí teplot 0 až - 5 °C, průduchy se uzavřou úplně u většiny druhů. Následné obnovení fotosyntézy a transpirace v plné výši je pomalé a postupné (Bláha et al., 2003; Hnilička et Hniličková, 2008).

Aklimatizační změny během nízkých teplot jsou spojeny s hromaděním osmoticky aktivních látek, s tvorbou stresových proteinů a se změnami chemického složení lipidové vrstvy membrány. Rovněž dojde ke zvýšení zastoupení nenasycených mastných kyselin, což vede ke snížení kritické teploty přechodu lipidů do gelu. Dále jsou změny řízeny fytohormony, především abscisovou kyselinou (Hnilička et Hniličková, 2008).

b) citlivost na mráz

Mráz nastává zejména při chladných a jasných nocích, kdy je teplo z povrchu rostlin vyzařováno zpět do atmosféry a tím dochází ke snížení povrchové teploty, než je teplota okolní atmosféry (Hnilička et Hniličková, 2008).

Citlivost na mráz se týká především užitkových rostlin. Většina druhů v naší přírodě je mrazům značně odolná. V případě vystavení buněk mrazem dochází k mechanickému poškození buněk a k dehydrataci díky růstu krystalů ledu v apoplastu a symplastu. Odolnost vůči mrazu je dána schopností rostlin zabránit vzniku ledu uvnitř buněk a tolerovat odvodnění buněk při zamrznutí vody v apoplastu a též souvisí se snížením většiny buněčných funkcí. Vzniklý led uvnitř buňky způsobuje téměř neobnovitelná poškození buněčných struktur, které vedou k odumírání poškození části rostliny (Bláha et al., 2003).

Schopnost rostlin k toleranci vůči nízkým teplotám či vyhnutí poškození závisí na mnoha dalších faktorech, např. rychlost zmrznutí a tání, rychlost a hloubka aklimace, rostlinný orgán, pletivo, půda, vodní provoz rostlin, sníh, výživa a morfologie rostlin (Hnilička et Hniličková, 2008).

V mezibuněčných prostorech a xylému začíná voda mrznout při teplotách - 5 až - 3 °C, přičemž teplota změny skupenství vody je dána obsahem osmoticky aktivních látek, např. cukrů (Bláha et al., 2003).

Pokud mráz trvá delší dobu, dochází k postupnému rozrůstání krystalků ledu. Tento růst je podporován transportem vody z cytosolu v důsledku nízkého vodního potenciálu na povrchu ledu. Při překročení určité hranice procesu mrznutí dochází k nevratnému poškození buněk. Příčinou odumírání může být silná dehydratace buněčného obsahu, mechanické poškození buněčné stěny a plazmalemy krystalky ledu z apoplastu. Ledové krystalky pronikají z apoplastu do okolních pletiv a zároveň indukují tuhnutí vody uvnitř buňky (Hnilička et Hniličková, 2008).

3.4.2.1.2 vysoká teplota

Při zvýšení teploty přibližně nad 40 °C dochází u většiny druhů rostlin k zásadním změnám ve fyzikálně-chemických vlastnostech buněčných membrán i proteinů. U některých citlivějších druhů lze tyto změny zaznamenat již v teplotním intervalu 35 – 40 °C. Lipidová vrstva membrán přechází do lamelárně kapalného stavu, kdy nemůže plnit svoje základní funkce. Membrána se stává propustnou pro ionty a přestává poskytovat dostatečně pevnou oporu pro membránové proteiny. U proteinů navíc dochází ke změně konformace, a tím i ke ztrátám funkce. Nejdříve dochází k poškození thylakoidní membrány v chloroplastech. Během zvyšujících se teplot dochází nejprve k rozpadu jednotlivých částí fotosystému a teprve až později k denaturaci proteinů. Celkové poškození buněk je dáno součinem

aktuální teploty a doby jejího působení. I krátkodobé působení teplot nad 50 – 55 °C může způsobit u většiny druhů nevratné poškození exponovaného orgánu a jeho odumření (Procházka et al., 1998).

Aklimační reakce jsou podobně jako u nízkých teplot doprovázeny rychlou tvorbou stresových proteinů. Tyto hormony jsou transportovány z cytosolu do chloroplastu i mitochondrií a mají zásadní význam pro zvýšení termolability. Ke změnám složení membrán dochází mnohem pomaleji. Během dormance mají rostliny vyšší odolnost než za aktivního růstu (Procházka et al., 1998).

3.4.2.2 Nadměrné záření

Rostliny, stejně jako živočichové, vnímají chemické složení ovzduší, intenzitu a kvalitu dopadajícího slunečního záření, ale také vlivy počasí. Rostliny si musely vytvořit vlastní adaptační mechanismy, aby byly schopné přežít v extrémních teplotách či intenzitách slunečního záření. Sluneční záření je pro rostliny zdrojem tepelné energie i energie nutné pro fotosyntézu, přesto se může stát v určitých situacích stresovým faktorem. Stres může být představován extrémními hodnotami intenzity slunečního záření či ultrafialovým zářením (Bláha et al., 2003).

Nadměrným zářením dochází nejprve k fotooxidaci chloroplastových pigmentů, a to zejména chlorofylů. Obranný mechanismus spočívá ve stáčení celých listů nebo jsou chloroplasty umísťovány v buňkách stranou k záření. Dále je rostlina schopna vytvářet povrchy s vysokou odrazivostí či povrchy, které propouštějí málo záření. Hlavním prostředkem je glykolátový metabolismus. Při vysoké intenzitě záření může ke snižování intenzity fotosyntézy (Bláha et al., 2003).

UV záření způsobuje nejen fotooxidaci, ale i fotodestrukci nukleových kyselin a bílkovin a akutní poškození protoplazmy. Při dlouhodobém působení dochází ke změnám aktivity enzymů, objevují se mutace a nastává až smrt buňky (Bláha et al., 2003).

3.4.3 Biotické faktory

Biotické stresory představují zejména působení patogenů (např. viry, mikroby, houby) a konkurenčních druhů rostlin (alelopatie, parazitizmus) a poškození rostliny, které je způsobené živočichy. Patogeny mohou být rozděleny do dvou kategorií. První z nich jsou tzv.

biotrofní patogeny, udržující rostlinou buňku naživu a vstřebávají živiny z živých tkání. Druhou skupinou jsou nekrofilní patogeny využívající mrtvé tkáně (Pareek et al., 2010).

Problematika biotických faktorů bude v této bakalářské práci zmíněna pouze okrajově a to se zaměřením na brambory. Hlavním tématem této práce jsou stresy abiotické, zejména vodní stres.

3.4.3.1 Virové choroby

- Svinutka bramboru

Jedná se o jeden z nejvýznamnějších virů bramboru a může snižovat výnosy až o 40 – 80 % v závislosti na ročníku, odrůdě a podmínkách pěstování (Vokál et al., 2000).

- Y virus bramboru

Tento virus snižuje výnosy o 30 – 70 %. Typickým příznakem je nekróza nervů a vzniká tzv. čárkovitost a kadeřavost a často dochází i k odumírání listů (Vokál et al., 2000).

3.4.3.2 Houbové a bakteriální choroby

- Plíseň bramboru (*Phytophthora infestans*)

Plíseň bramborová je považována za jednu z hospodářsky nejvýznamnějších chorob brambor, a to po celém světě. Výnos hlíz se snižuje až o 50 % a napadené hlízy jsou nevhodné pro dlouhodobé skladování. Příznaky se projevují především na okrajích a špičkách listů jako vodnaté a žlutozelené skvrny a pletiva hnědnou a odumírají. Výskyt a šíření choroby je podporováno především vlhkým a chladným počasím s teplotami vzduchu nad 10 °C (Rybáček et al., 1988).

- Rakovina bramboru (*Synchytrium endobioticum*)

Jedná se o závažné onemocnění po celém světě. Jednobičíkaté zoospory parazita napadají hlízu v místech oček nebo lenticel a napadené buňky hypertrofují a dochází k neorganizovanému dělení buněk a pletiv. Na hlízách i stolonech se vytvářejí velké bradavčité nádory. Tato houba napadá stonky, listy i květy (Rybáček et al., 1988).

Mezi další houbové a bakteriální choroby patří např. Kořenomorka bramborová, Fusariová a Fómová hniloba, Vločkovitost hlíz, Stříbřitost slupky, Aktinobakteriální obecná strupovitost bramboru a další (Vokál et al., 2003).

3.4.3.3 Škůdci bramboru

- Mandelinka bramborová

Samice kladou na jaře vajíčka na spodní stranu listu brambor, či jiných lilkovitých rostlin. Největší škody způsobují larvy 3. a 4. stádia. Výskyt tohoto škůdce je silně ovlivňován klimatickými podmínkami, možnostmi přezimování a dostatkem potravy. Ochrana proti mandelince spočívá v agrotechnických zásadách i chemickém ošetření (Rybáček et al., 1988).

- Hádátka bramborové (*Globodera rostochiensis* a *Globodera pallida*)

Hádátka bramborové je karanténní škůdce, který výrazně snižuje výnos. Dochází k napadení kořenů, které při silném poškození odumírají. Trsy mají vzhled, který připomíná rostliny podmáčené, nebo trpící nedostatkem živin. Napadené trsy mají málo většinou drobných hlíz (Vokál et al., 2003).

- Mšice

Přímo škodí pouze výjimečně, pouze při silném přemnožení, kdy sáním způsobují oslabení trsů brambor. Dochází k jejich deformacím a případně až k vytváření nekrot. Největší riziko představují jako přenašeči nejvýznamnějších virů chorob brambor (Vokál et al., 2000).

Mezi další škůdce patří např. křísi, brouci, motýli, hlemýždi a slimáci, hlodavci a mnoho dalších (Vokál et al., 2003).

3.4.4 **Vliv teplot při skladování a úpravě brambor**

3.4.4.1 tepelná úprava brambor

Přímý vliv abiotických a biotických faktorů během vegetace na obsah redukujících cukrů není v literatuře zcela objasněn, proto se v rámci této kapitoly dále věnuji vlivu teplot při skladování a úpravě brambor.

Tmavnutí hlíz je nežádoucí kvalitativní ukazatel, který se vyskytuje jak u syrových, tak u vařených brambor. Dle vzniku rozlišujeme tři typy zbarvení a to enzymatické zbarvení, černání po uvaření a neenzymatické zbarvení (Hruška et al., 1974).

3.4.4.1.1 enzymatické hnědnutí

Enzymatické zbarvení vzniká v syrové nevařené tkáni brambor, a to při krájení, strouhání a lisování hlíz a dále při všech operacích, kdy dochází k poškození a vystavení bramborových buněk působením vzdušného kyslíku. Nejdřív je barva červenohnědá, později temně hnědá až černohnědá. Jedná se o oxidaci tyrosinu na melanin způsobenou enzymem fenoloxidázou. Tento enzym může být inaktivován a oxidace zastavena při teplotě 80 °C. Na zbarvení se dále podílejí i fenolové látky, jako je chlorogenová kyselina apod. (Hruška et al., 1974).

3.4.4.1.2 tmavnutí po uvaření

Po uvaření dochází k černání dužiny, což je ovlivňováno obsahem železa, kávové a chlorogenové kyseliny, dále obsahem fenolů, citrónové a ortofosforečné kyseliny. Vznik černání je způsoben tvorbou chelátového komplexu železa a chlorogenové kyseliny (Hruška et al., 1974).

3.4.4.2 Uskladnění

Skladování brambor má uchovat jak hmotu, tak jakost sklizených hlíz až do doby jejich zužitkování. Skladovací ztráty vznikají životními pochody, jako je dýchání, transpirace, klíčení, dále patogeny a nízkými teplotami. Tyto ztráty je možné regulovat úpravou skladovacích podmínek. Ztráty jsou závislé na odrůdě, vyžrání, poranění hlíz, výskytu chorob a podmínkách skladování, např. teplota, vlhkost, světlo (Hruška et al., 1974).

Skladovat brambory je možné jak volně, tak v paletách či menších obalech. Pro skladování slouží bramborárny nebo další prostory, kde jsou vhodné teplotní, vlhkostní a světelné podmínky. Podmínkou je, aby bylo možné sklad větrat a regulovat v něm teplotu a vlhkost. Brambory nelze skladovat za přístupu světla, protože by došlo k zelenání hlíz, které omezuje jejich konzumní využití (Vokál et al., 2003).

Během skladování brambory procházejí několika fázemi. První fází je osušování. Probíhá ihned po naskladnění, kdy intenzivním větráním při 10 – 20 °C odstraňujeme povrchovou vlhkost hlíz. Toto období trvá 24 – 36 hodin (Vokál et al., 2003).

Dále fáze suberizace, neboli hojení hlíz, kdy dochází k zahojení poškozených míst na hlíze a ke vzniku ochranné povrchové vrstvy a probíhá při teplotě 12 – 18 °C a relativní vlhkosti 85 – 95 %. Délka tohoto období závisí na zdravotním stavu, způsobu mechanického

poškození, na teplotě a vlhkosti brambor (Vokál et al., 2003). Vacek et Bartáčková (2012) uvádějí, že po mechanickém poškození se ukládá asi do 2 – 3 dnů suberin a později do 1 – 2 týdnů se vytváří hojivý periderm.

Zchlazování následuje po vyhojení hlíz a je prováděno buď pomocí vnějšího vzduchu, nebo směsí vnějšího a vnitřního vzduchu. Teplota vhaněného vzduchu by měl být vždy o 2 – 5 °C nižší, než teplota brambor. Dochází k postupnému snižování teploty až na potřebné skladovací teploty, a to u sadby na 2 – 4 °C, u konzumních brambor na 4 – 7 °C a u brambor určených ke zpracování na výrobky na 8 – 10 °C (Vokál et al., 2003).

Poslední fází je období klidu hlíz, při kterém se udržuje vhodná teplota pro určité použití a využívá přirozené dormance. Brambory, které je nutné skladovat za vyšších teplot, tzn. ty, které jsou určeny pro výrobu výrobků, se ošetřují retardačními přípravky, které omezují klíčení (Vokál et al., 2003).

Před vyskladněním hlíz nastupuje poslední fáze, kdy se zvyšuje teplota asi na 12 °C, a tím dojde k omezení mechanického poškození při manipulaci, probuzení sadbových hlíz a případně rekondicionace neboli snižování nahromaděných cukrů u konzumních hlíz (Vacek et Bartáčková, 2012).

Velmi důležitá je i dezinfekce skladů, posklizňových linek a zařízení. Vlastní dezinfekci musí předcházet mechanická očista a likvidace nečistot a zbytků. Pro dezinfekci je povolen přípravek MENNO Florades, který je účinný proti houbám a bakteriím (Vokál et al., 2003).

skladovací ztráty

Ztráty ve skladech rozlišujeme na ztráty na hmotnosti nebo ztráty na hodnotě. Ztráty na hmotnosti vznikají výparem a dýcháním, klíčením či skládkovými chorobami. U ztrát na hodnotě nepozorujeme hmotnostní úbytek, ale projevují se zhoršením jakosti zboží, zpracovatelné, stolní a sadbové hodnoty hlíz (Vacek et Bartáčková, 2012).

3.4.4.2.1 neenzymatické hnědnutí (Maillardova reakce)

Cukernatost bramborových hlíz je rozdílná mezi jednotlivými odrůdami a během doby skladování. Proto monitorování hladiny cukru představuje významný krok pro hlízy určené ke zpracování. Nadměrné množství redukujících cukrů způsobuje nepříjemné neenzymové hnědnutí smažených produktů (Rady et Guyer, 2015).

Při zvýšené teplotě může dojít ke zničení aminokyselin a bílkovin. Pyrolýza proteinů způsobuje snížení nutriční dostupnosti a jeho zapojení do tvorby karcinogenů se věnuje stále

větší pozornost. Obecně uznávaným příkladem nutriční ztráty je Maillardova reakce (Lineback et Inglett, 1982).

Brambory s vysokým obsahem cukru chutnají sladce a mají špatnou texturu po uvaření. Jejich textura souvisí pravděpodobně s nízkým obsahem škrobu ve spojení s vysokým obsahem cukru. Při výrobě bramborových lupínků, hranolků a dehydratovaných brambor je obsah cukru úzce spjat s barvou vznikající při procesu zpracování. V případě sušených výrobků může dojít ke ztmavnutí hlíz v průběhu skladování (Talbert et Smith, 1967).

Maillardova reakce je hlavní příčinný faktor způsobující hnědnutí. Glukosa difunduje směrem k obvodu bramborových kostek v průběhu blanširování před dehydratací. Brambory, které obsahují více, než dvě procenta redukujících cukrů v suché hmotnosti se považují za nepříjemné pro zpracování. Další faktory podílející se na hnědnutí jsou organické kyseliny, pH, stopové prvky, např. železo, mangan či anorganický fosfát. Cílem je zajistit vhodnou surovinu s nízkým sklonem k hnědnutí. V běžné praxi se ve výrobním procesu využívají brambory s nízkým obsahem cukru (Talbert et Smith, 1967).

Jedná se o reakci mezi cukry a aminokyselinami za vzniku hnědých produktů, tzv. melanoidů. Při této reakci vznikají meziprodukty, např. α , β -nenasycené karbonylové sloučeniny. Tyto meziprodukty reagují znovu se sloučeninami, které obsahují α -amino - skupinu za tvorby hnědých produktů, které polymerizují mezi sebou a vytvářejí intenzivně zbarvené látky (Hruška et al., 1974).

Lineback et Inglett (1982) dodávají, že potraviny, které byly doplněny o volné aminokyseliny a cukry, jsou zvláště citlivé na tento typ nutriční ztráty.

3.4.4.3 Sládnutí hlíz a obsah redukujících cukrů

Sládnutí hlíz je dalším nežádoucím kvalitativním ukazatelem jak u brambor k přímé spotřebě, tak i u brambor určených ke zpracování na výrobky. Obsah cukrů se při skladování brambor za relativně nízkých teplot zvyšuje (Hruška et al., 1974).

Po sklizni nezralých hlíz obsah sacharózy klesá, zatímco obsah glukosy a fruktosy se zvyšuje. Teplota skladování ovlivňuje obsah cukrů vyzrálých hlíz. Při teplotách pod 10 °C se obsah cukrů zvyšuje, a to čím více se teplota skladování blíží k 0 °C. Se zvyšujícím se obsahem cukrů stoupá nasládllost brambor a dosahuje často i takového stupně, že brambory nejsou vhodné ke konzumu (Rybáček et al., 1988).

Vyšší hladina sacharosy způsobuje sladkou chuť smažených výrobků i vařených hlíz. Nepřijatelný obsah sacharosy je spojován s nízkými skladovacími teplotami a dlouhé doby skladování. Maximální přijatelný obsah pro zpracování je 0,15 % pro lupínky a hranolky (Rady et Guyer, 2015).

Při skladování brambor probíhají tři pochody. Prvním z nich je dýchání, při kterém se cukry využívají ke konverzi na CO_2 a vodu. Druhým procesem je konverze škrobu na cukr pomocí amylolytických enzymů a posledním je konverze cukrů na škrob pomocí syntetizujících enzymů (Hruška et al., 1974).

Nízká teplota brání klíčení hlíz, ale dochází ke sládnutí chladem, kdy se hromadí redukující cukry glukosa, fruktosa a také neredukující sacharosa. Obecně zvýšený obsah redukujících cukrů je způsoben již uvedeným chladem, odrůdou, klíčením a vyzrálostí hlíz, stárnutím a složením skladovací atmosféry, kdy je $\text{CO}_2 < 0,5 \%$ (Vacek et Bartáčková, 2012).

Nasládlé brambory nejsou brambory namrzlé. Došlo pouze k blokování vydýchání cukrů, popřípadě jejich resyntézy na škrob vlivem teploty blížíící se k $0 \text{ }^\circ\text{C}$. K odstranění nasládlosti stačí brambory přenést na 2 – 3 týdny do teplejšího prostředí $15 - 20 \text{ }^\circ\text{C}$ (Rybáček et al., 1988).

Teplota ovlivňuje, která reakce bude probíhat a zda bude mít možnost proběhnout do konce. Snížením teploty dojde k zbrzdění dýchání a začíná se rozpadat škrob na cukr, který se dále neprodýchává, ale hromadí se. Stejně tak je omezena i resyntéza cukru na škrob. Pokud se teplota zvýší, začne znovu převládat prodýchávání cukru. Zvýšením teploty u nasládlých brambor dochází k přeměně čtyř pětina cukru resyntézou na škrob a jedna pětina se spotřebuje na dýchání (Hruška et al., 1974).

Vysoký obsah redukujících cukrů je nežádoucí při zpracování brambor na bramborové výrobky. Vlivem vysokého obsahu redukujících cukrů, které reagují s aminokyselinami, dochází při výrobě lupínků a hranolků k hnědnutí produktů. Zhoršuje se kvalita výrobků včetně barvy i chuti (Rybáček et al., 1988).

Maximální obsah redukujících cukrů u brambor určených pro zpracování je 0,2 – 0,3 % na lupínky a 0,3 – 0,5 % u hranolků (Rady et Guyer, 2015).

Rekondicionace slouží k odstranění nadbytečných redukujících cukrů glukosy a fruktosy po sklizni. Během poslední fáze ohřívání se doporučuje během rekondicionace naakumulovaných redukujících cukrů šokové zvýšení teploty v prvním týdnu na $24 \text{ }^\circ\text{C}$ a výsledkem je větší pokles jejich konečného obsahu (Vacek et Bartáčková, 2012).

3.5 Vybrané metody stanovení sacharidů

Obecně se jedná o metody založené na redukcijních vlastnostech, na barevných kondenzačních reakcích, měření optické aktivity, měření indexu lomu látek, separačních metodách a dalších (Hálková et al., 2000; Kubáň et Kubáň, 2007).

3.5.1 Chemické

3.5.1.1 titrační

Jednou z nejpoužívanějších chemických metod ke stanovení sacharidů patří titrační stanovení založené na redukcijních vlastnostech sacharidů. Redukující sacharidy vyredukují stříbrné ionty v amoniakálním prostředí na kovové stříbro nebo v alkalickém prostředí měďnaté ionty na oxid měďnatý. Další možnost představují metody na základě Cu_2O nebo přebytku Cu^{2+} . Mezi hlavní metody používané v potravinářství patří metoda Bertrandova či Schoorlova. Před stanovením je třeba převést neredukující sacharidy na redukcijní nebo je stanovit fyzikálně-chemickými metodami (Kubáň et Kubáň, 2007).

1) metody založené na redukčních vlastnostech sacharidů

a) Bertrandova metoda

Oxid měďnatý (Cu_2O) vyloučený redukcí se rozpustí v roztoku síranu železitého ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) pomocí kyseliny sírové, přičemž dochází k redukcí trojmocného železa na dvojmocné. Po přidání kyseliny trihydrogenfosforečné se roztok železnaté soli titruje odměrným roztokem manganistanu draselného. Ze spotřeby manganistanu draselného se vypočítá ekvivalentní množství mědi a v tabulkách se vyhledá příslušné množství cukru (Hálková et al., 2000).

b) Schoorleho metoda

Jedná se o metodu založenou na redukcijních schopnostech sacharidů. Redukujícími sacharidy se redukuje dvojmocná měď Fehlingova činidla na oxid měďný (Cu_2O). Pomocí kyseliny sírové se z komplexu uvolní nadbytečné měďnaté ionty, které se dále redukují jodidovými ionty na měďné za vzniku elementárního jódu. Během reakce měďnatých iontů s nadbytečným jodidem draselným vzniká těžce rozpustný jodid měďný. Elementární jód se titruje roztokem thiosíranu sodného (Kubáň et Kubáň, 2007).

2) metody stanovené na barevných kondenzačních reakcích degradačních produktů cukrů

a) stanovení neutrálních cukrů podle Duboise

Jedná se o metodu založenou na dehydrataci cukrů pomocí koncentrované kyseliny sírové a následné kondenzace vzniklého furfuralu či 5-hydroxymethylfurfuralu s fenolem za vzniku barevných kondenzačních produktů, které lze spektrofotometricky stanovit. Touto metodou se stanovují tzv. „pravé“ cukry, nejedná se tedy o jejich aminoderiváty (Káš et al., 2005).

3.5.1.2 Spektrofotometrické metody

1) kolorimetrická metoda stanovení škrobu

Kolorimetrické metody stanovení amylosy a amylopektinu jsou založeny na tvorbě komplexu s jódem, přičemž amylosa vytváří modré zbarvení s maximem kolem 620 nm a amylopektin se projevuje červeným zbarvením. Měřením při třech vlnových délkách při kolorimetrickém stanovení amylosy a amylopektinu na principu jódové vazby se dosáhne dostatečné přesnosti a reprodukovatelnosti analýzy (Suková, 2011).

3.5.2 Fyzikální

3.5.2.1 Gravimetrie

Jde se o metodu ke stanovení škrobu, ve které se škrob převádí do roztoku pomocí kyseliny chlorovodíkové a následně se vysráží ethanolem. Dále je možné gravimetricky určit celulosu či vlákninu. Obecně je analyt kvantitativně převeden na málo rozpustnou látku a obsah analytu se stanoví ze zvážené hmotnosti dané látky a z předem známého stechiometrického složení (Kubáň et Kubáň, 2007).

3.5.2.2 Optické metody

a) Polarimetrie

Jedná se o optickou metodu, která je založena na měření optické aktivity, tj. na schopnosti některých látek stáčet rovinu polarizovaného světla procházejícího roztokem. Tato schopnost je dána přítomností asymetrického uhlíku v molekule látky. Díky optické otáčivosti lze stanovit cukry ve směsi s látkami opticky inaktivními. Měrná otáčivost neboli

úhel stáčení roviny polarizovaného světla závisí na charakteru látky, na tloušťce vrstvy, na konci roztoku, na teplotě a na vlnové délce použitého světla (Hálková et al., 2000; Klouda, 2003).

b) Refraktometrie

Refraktometrické metody se využívají zejména při detekci cukrů v čistých cukerných roztocích. Tato metoda je založena na měření indexu lomu látek. Dopadá-li paprsek na fázové rozhraní, může docházet k odrazu paprsku nebo k jeho lomu, tzv. refrakci. Lom je způsoben různými rychlostmi šíření mezi dvěma fázemi, kterými paprsek prochází (Klouda, 2003).

3.5.2.3 Chromatografické metody

Chromatografie je fyzikální separační metoda, ve které dochází k separaci jednotlivých složek analytu mezi stacionární a mobilní fází na základě rozdílné distribuce. Chromatografie zkoumá tvorbu, změnu a pohyb koncentrační zóny analytu chemické sloučeniny v proudu mobilní fáze s ohledem na stacionární fází nebo částice (Wixom et Gehrke, 2010).

Metody pro stanovení sacharidů využívají různé chromatografické techniky, nicméně plynová chromatografie (CG) a vysokoúčinná kapalinová chromatografie (HPLC) z velké části nahradily dřívější metodu chromatografie na tenké vrstvě pro stanovení monosacharidů a disacharidů vzhledem k vyšší separační účinnosti, kvantifikaci a rychlosti analýzy (Eliasson, 2006).

a) chromatografie sloupcová

Adsorpční chromatografie se používá k izolaci sacharidů z různých směsí i k odstranění nečistot při přípravě čistých látek. Jako nejvhodnější absorbent se ukázalo aktivní uhlí, neboť na něm lze dělit sacharidy na monosacharidy, disacharidy a trisacharidy. K dělení cukrů se používá tzv. rozdělovací chromatografie (Hálková et al., 2000).

b) chromatografie na tenké vrstvě (TLC)

Chromatografie na tenké vrstvě je nejjednodušší ze všech běžně používaných chromatografických metod. Jedná se o rychlou analytickou metodu a jde o rozdělování jednotlivých látek mezi mobilní a stacionární fází na tenké vrstvě (Sherma et Fried, 2003).

V případě více vzorků, které musí být analyzovány a vyžadují pouze kvalitativní nebo částečně kvalitativní údaje, může být TLC nejúčinnější postup (Eliasson, 2006).

c) chromatografie plynová (CG)

V plynové chromatografii je mobilní fází plyn. Dle stavu stacionární fáze se dále dělí na fázi (plyn – pevná látka) GSC a fázi (plyn – kapalina) GLC chromatografii. Vzorek se odpařuje a je nesen pomocí plynové fáze kolonou. Vzorky jsou rozděleny do stacionární kapalně fáze na základě jejich rozpustnosti při dané teplotě (McNair et Miller, 2009).

d) kapalinová chromatografie (LC)

Kapalinová chromatografie, je další z možných chromatografických metod. Jedná se o analytickou techniku, která se používá k separaci směsi v roztoku na její jednotlivé složky. Kapalinová chromatografie je obecný název používaný pro popis jakéhokoli chromatografického postupu, při němž je mobilní fáze kapalina (Weston et Brown, 1997).

e) vysokoúčinná kapalinová chromatografie (HPLC)

HPLC je termín používaný k popisu kapalinové chromatografie, při nichž je kapalina mobilní fáze mechanicky přečerpána kolonou, která obsahuje stacionární fázi. HPLC přístroj sestává z dávkovacího zařízení, čerpadla, kolony a detektoru (Weston et Brown, 1997).

Příklady detektorů

- refraktometrický

Refraktometrický detektor pro HPLC analýzu pracuje na principu diferenciálního refraktometru a na základě výchylek indexu lomu, čímž se zjišťuje koncentrace rozpuštěných látek v eluátu. Je založen na měření změn indexu lomu eluátu, který prochází měřicí celou (Eliasson, 2006).

Analýza běžných cukrů v potravinách za normálních okolností nevyžaduje vysokou citlivost. V analýze potravin může být koncentrace cukru měřena až do 0,05 %.

Tento typ detektoru je velmi univerzální a při jeho použití je nutné přísně udržovat konstantní teplotu (Eliasson, 2006).

- spektrofotometrický

Cukry mohou být detekovány UV spektrofotometrií a to buď přímo, nebo jako UV absorbující deriváty. Přímá detekce je možná pomocí sledování při vlnové délce nižší než 200 nm, avšak v této vlnové délce mohou nastat problémy s čistotou rozpouštědla a interferencí (Eliasson, 2006).

- hmotnostní spektrometr (MS)

Hmotnostní spektrometrie je analytická technika s vysokou schopností identifikace. Kombinace této metody a plynové chromatografie (GC-MS) vytváří ideální analytické jednotky, kde MS působí jako chromatografický detektor. Další možností je kombinace hmotnostní spektrometrie a kapalinové chromatografie (LC-MS) (Dressler, 1986).

4 Metodika

Použité odrůdy

Laura

Jedná se o poloranou odrůdu určenou pro přímý konzum, varného typu B. Hlízy jsou dlouze oválné, slupka je červená a dužnina tmavě žlutá. Jedná se o vzhledné hlízy. Výnos tržních hlíz je nižší a jsou méně odolné proti napadení plísní bramborovou (Čermák, 2015).

Milva

Je to taktéž poloraná odrůda určená pro přímý konzum, varného typu AB, vhodná pro úpravu loupáním. Dužnina je žlutá a hlízy krátce oválné. Výnos tržních hlíz je velmi vysoký a hlízy netmavnou po uvaření. Pěstitelské riziko zde představuje náchylnost k napadení virovými chorobami (Čermák, 2015).

Marabel

Jedná se o konzumní odrůdu dosahující vyššího výnosu hlíz. Hlízy jsou středně velké a oválné s tmavě žlutou dužinou a žlutou slupkou. Vařené hlízy jsou jemné a netmavou a mají varný typ BA – B. Počáteční růst natě je středně rychlý a růst hlíz je velmi rychlý. Počet hlíz je střední. Tato odrůda je odolná vůči háďátku bramborovému, virovým chorobám a silně náchylná rakovině brambor. Marabel je registrována od roku 1995 (Vokál et al., 2000).

Valfi

Jedná se o odrůdu s delší vegetační dobou (poloranou až polopozdní) s modrofialově zbarvenou slupkou a modrofialově mramorovanou dužninou s nižším výnosem středně velkých hlíz. Zabarvení hlíz pozitivně ovlivňuje teplota v průběhu pěstování. Proto lze předpokládat intenzivnější zbarvení při pěstování v přirozeně teplejších oblastech a na lehčích půdách (Domkářová et al., 2006).

Jedná se o speciální odrůdu, která je velmi cenná obsahem prospěšných látek. Jedná se především o obsah antokyanů, které mají v lidské výživě velký zdravotní význam. Působí především antioxidačně, což má vliv na snížení nebezpečí výskytu aterosklerózy a určitého

typu rakoviny. Antioxidační aktivita modrofialově zbarvených brambor je dvakrát až třikrát vyšší než u brambor se žlutou dužninou (Domkářová et al., 2006).

Stanoviště

Jedná se o výrobní oblast řepařskou s půdním druhem hlinitým, půdním typem černozem a nadmořskou výškou demonstračního pole přibližně 290 m n. m. Hloubka ornice byla 30 cm, pH půdy 7,5, obsah humusu 2,75 % a roční úhrn srážek přibližně 590 mm.

Sadba

Sadba pro odrůdu Valfi byla získána od dodavatele Havlíčkův Brod a ostatní odrůdy Marabel, Laura a Milva pochází od Europlant šlechtitelská spol. s. r. o.

Výsadba

Brambory byly vysázeny na demonstračním a pokusném pozemku ČZU (Suchdol) 16. 4. 2015 a sklizeň proběhla 26. 8. 2015. Brambory byly vysázeny podle latinského čtverce a to ve třech variantách (závlaha, kontrola, kapénka), dále byly vytvořeny dvě možnosti umístění (střed, kraj) a kolem vždy izolace. Vzdálenost řádků byla 75 cm.

Ošetření

Z hlediska hnojení bylo aplikováno 500 kg NPK/ha před vlastní výsadbou. V červnu byl aplikován postřik Ridomil proti plísni a Spintor proti mandelince. Mulčování natě ani chemické ošetření nebylo u těchto brambor provedeno.

Tab. č. 5 Počasí

Měsíc	Duben	květen	Červen	červenec	srpen
Průměrná teplota [°C]	10,79	13,65	16,77	21,55	22,61
Suma srážek [mm/měsíc]	22,2	31,9	38,6	31,6	59,7

Příprava materiálu

Z každé odrůdy se odebralo 8 brambor (4 hlízy z okrajních parcel a 4 ze středových). Hlízy byly omyty, osušeny a nakrájeny na čtvrtky. Čtvrtky z každé hlízy se nakombinovaly do sáčků a označné byly vloženy do mrazáku. Poté proběhla lyofilizace.

Zlyofilizovaný materiál byl rozmixován a do 100 ml baněk bylo naváženo 5 g vzorku lyofilizovaných brambor. Pokus byl proveden vždy ve třech opakováních, tedy celkem 36 vzorků (4 odrůdy, ve třech variantách, celkem ve třech opakováních). Do baněk byla přidána část redestilované vody a vše lehce promícháno. Vzorky byly vloženy do třepačky na 150 otáček a 30 minut. Po třepání se do baněk přidalo 300 µl isopropyl alkoholu. Redestilovanou vodou byly baňky se vzorky doplněny po rysku. Uzavřeny pomocí laboratorní fólie a následně byly vloženy do mrazáku.

Po rozmražení byly vzorky promíchány a byla provedena mikrofiltrace. Mikrofiltrace proběhla pomocí injekční stříkačky s mikrofiltry (0,45 µm) a přefiltrované vzorky byly převedeny do vialek.

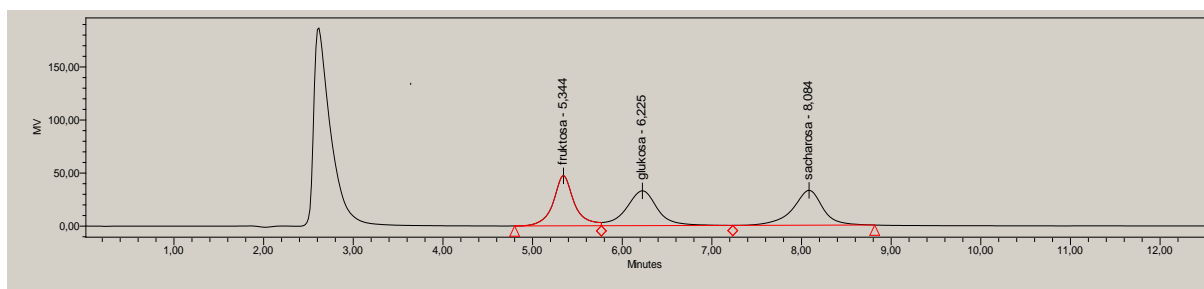
Příprava standardních vzorků

Kalibrační roztoky jednotlivých sacharidů (glukosa, fruktosa a sacharosa) byly připraveny v rozsahu 2 mg/ml, 5 mg/ml, 10 mg/ml a 15 mg/ml (přesné hodnoty viz tab. č. 6.) Standardní vzorky byly připraveny z D – glukosy, D - fruktosy a D – sacharosy.

Tab. č. 6 Hmotnost navážky jednotlivých standardních vzorků

č.	množství	D-glukosa	D-fruktosa	D-sacharosa
1.	2 mg/ml	1,992 mg/ml	2,016 mg/ml	2,032 mg/ml
2.	5 mg/ml	5,008 mg/ml	5,032 mg/ml	4,996 mg/ml
3.	10 mg/ml	9,983 mg/ml	10,028 mg/ml	10,02 mg/ml
4.	15 mg/ml	14,97 mg/ml	15,024 mg/ml	15,004 mg/ml

Chromatogram standardů fruktosy, glukosy a sacharosy



Technické údaje

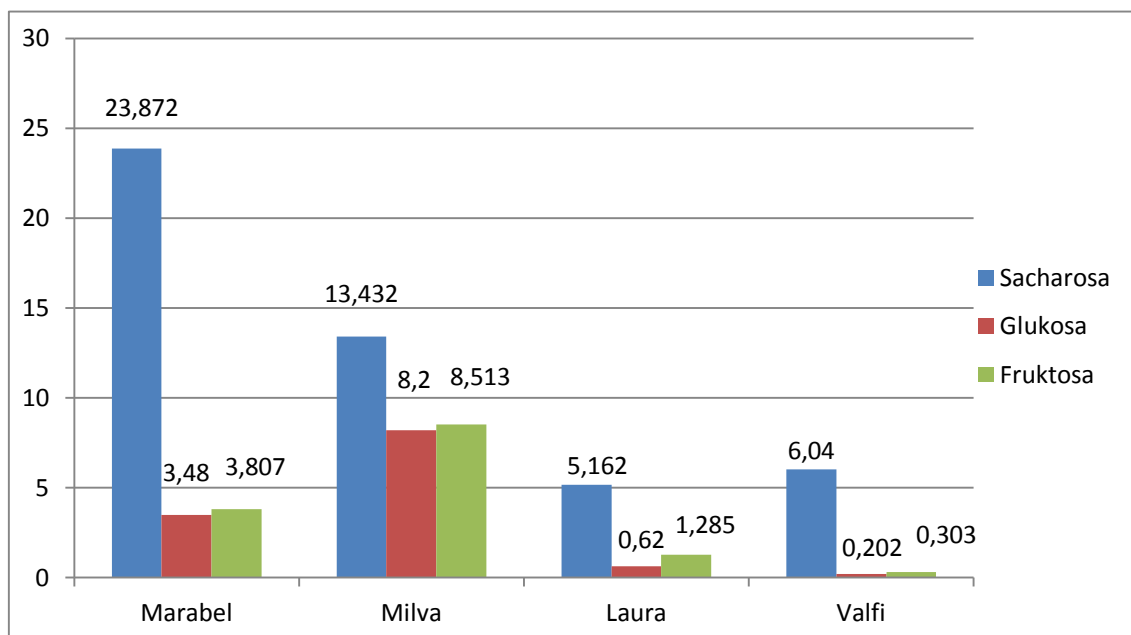
Při stanovení sacharidů v bramborách byl použit vysokotlaký kapalinový chromatograf Waters 2695 s refraktometrickým detektorem 2414, součástí je pumpa a automatický dávkovač (autosampler). Jako pracovní způsob byla použita isokratická eluce, kdy mobilní fáze je po celou dobu konstantní. Složení mobilní fáze byla tvořena ze 75 % acetonitrilu a z 25 % deionizované vody. Rychlost průtoku mobilní fáze byla 1,25 ml/min. Teplota chromatografické kolony byla 35 °C a teplota detektoru 40 °C.

Při stanovení byla použita chromatografická kolona značky Phenomex Luna $\mu\text{m NH}_2$ 100 A (Anxtrem). Délka kolony byla 250 mm a vnitřní průměr kolony 4,6 mm. Nástřík byl 10 μm a délka analýzy 12,5 min. Výsledkem je chromatogram a kalibrační křivka.

5 Výsledky

Výsledky této metodiky práce jsou pouze dílčí vzhledem k zatím pouze jednoletému pokusu. Podrobnější zhodnocení celkových výsledků obsahu redukujících monosacharidů (glukosy, fruktosy) a disacharidů (sacharosy) a porovnání těchto dat za více let bude provedeno v navazující diplomové práci.

Graf č. 1 Průměrný obsah sacharosy, glukosy a fruktosy ve všech sledovaných odrůdách v g/kg

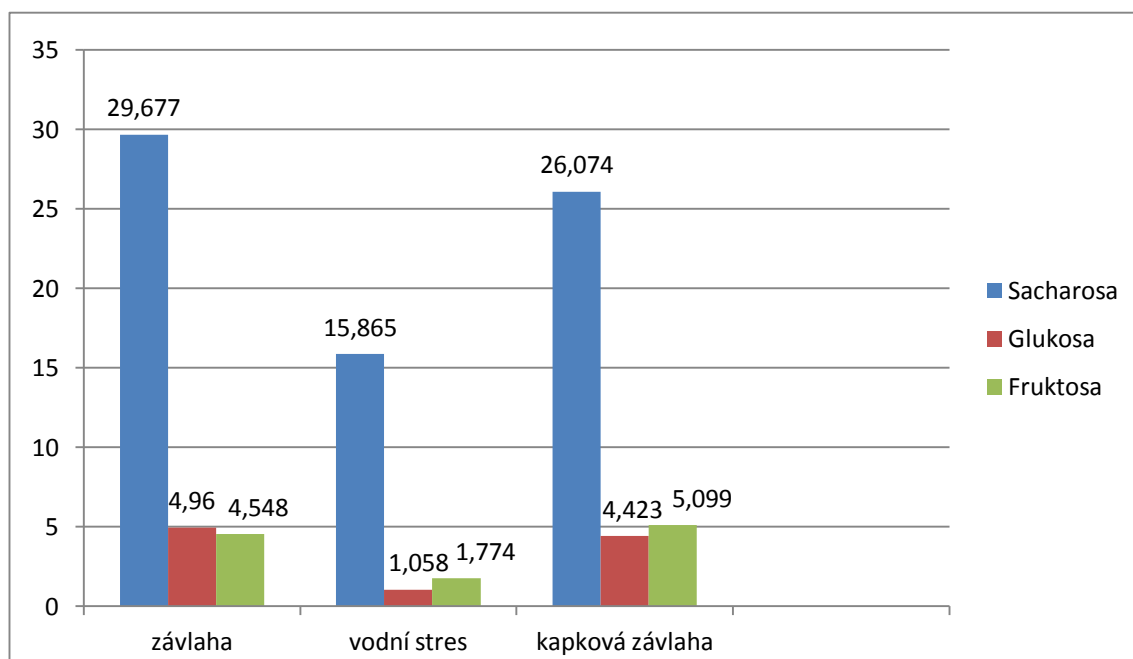


Nejvíce zastoupeným sacharidem v analyzovaných vzorcích byla sacharosa s rozsahem od 4,544 g/kg do 29,677 g/kg. Průměrný obsah sacharosy ve všech odrůdách byl stanoven na 12,126 g/kg s výběrovou směrodatnou odchylkou 8,881 g/kg.

Obsah glukosy se ve vzorcích zkoumaných odrůd pohyboval v rozmezí od 0,2 do 12,562 g/kg a obsah fruktosy od 0,2 do 11,488 g/kg. Průměrný obsah glukosy ve všech stanovených vzorcích byl stanoven na 3,126 g/kg s odchylkou 3,821 g/kg a průměrný obsah fruktosy je 3,477 g/kg s odchylkou 3,611 g/kg.

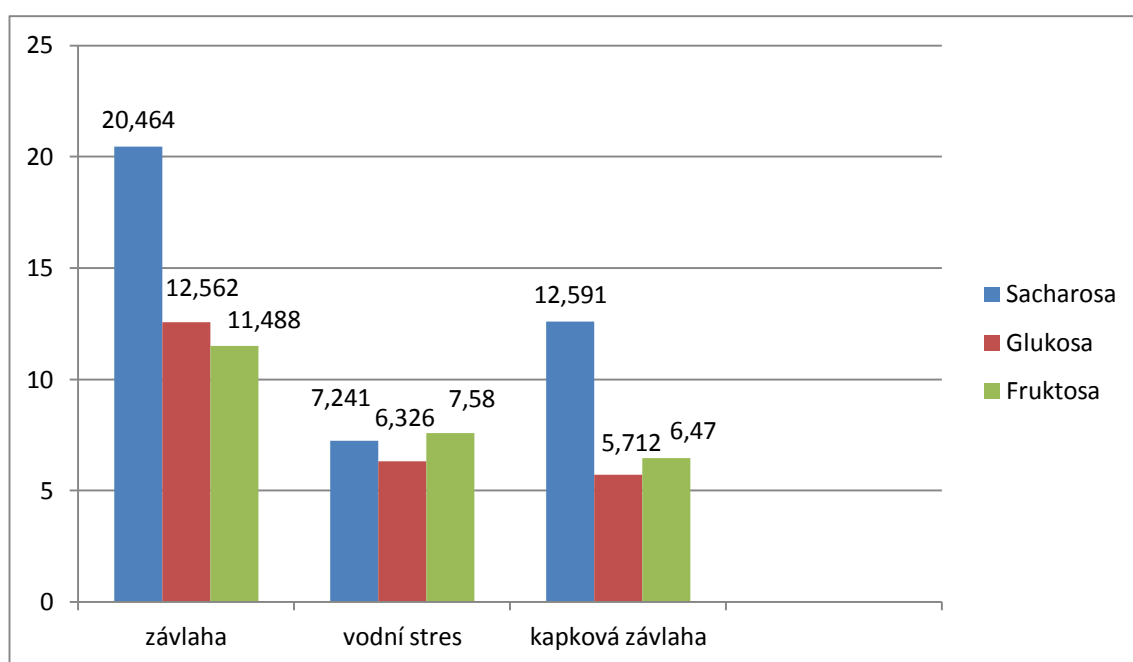
Nejvyšší obsah sacharosy byl stanoven u odrůdy Marabel v průměru 23,871 g/kg a u odrůdy Milva s průměrným obsahem 13,432 g/kg. Odrůda Milva obsahovala nadprůměrný obsah glukosy (8,2 g/kg) a fruktosy (8,513 g/kg).

Graf č. 2 Odrůda Marabel (výsledky v g/kg)



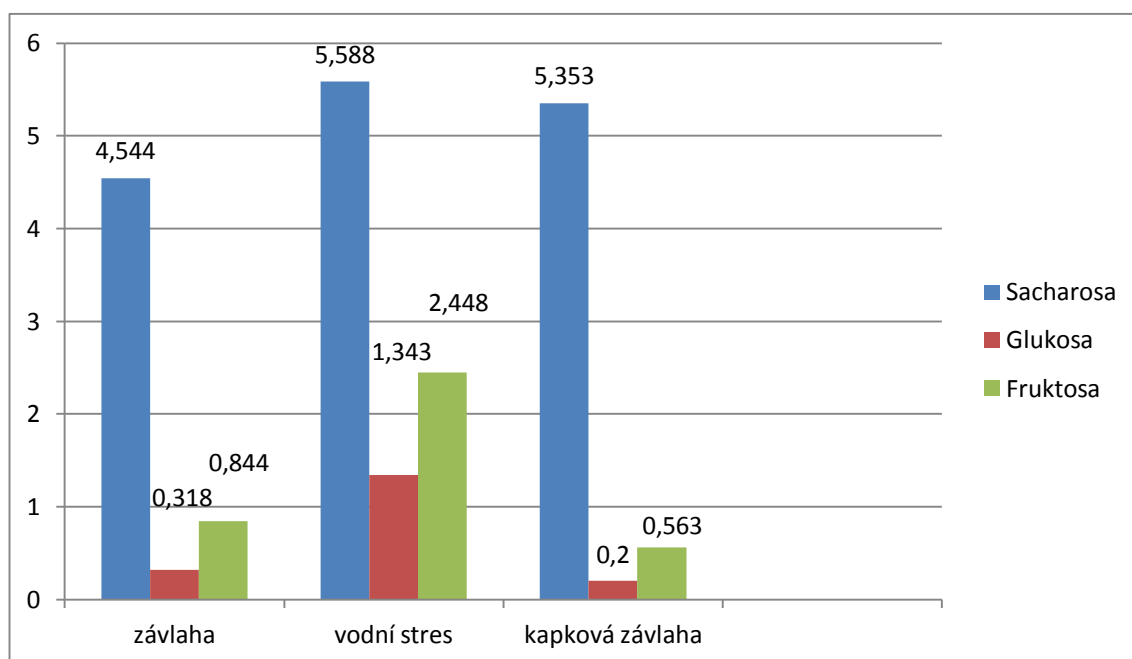
Marabel byla vyhodnocena jako odrůda s obecně nejvyšším obsahem sacharosy (23,872 g/kg) a relativně vysokými obsahy monosacharidů glukosy (3,48 g/kg) a fruktosy (3,807 g/kg). Nejvyšších hodnot bylo dosaženo u brambor zavlažovaných (sacharosa 29,677 g/kg) a relativně vysoké obsahy monosacharidů (glukosa 4,96 g/kg a fruktosa 4,548 g/kg).

Graf č. 3 Odrůda Milva (výsledky v g/kg)

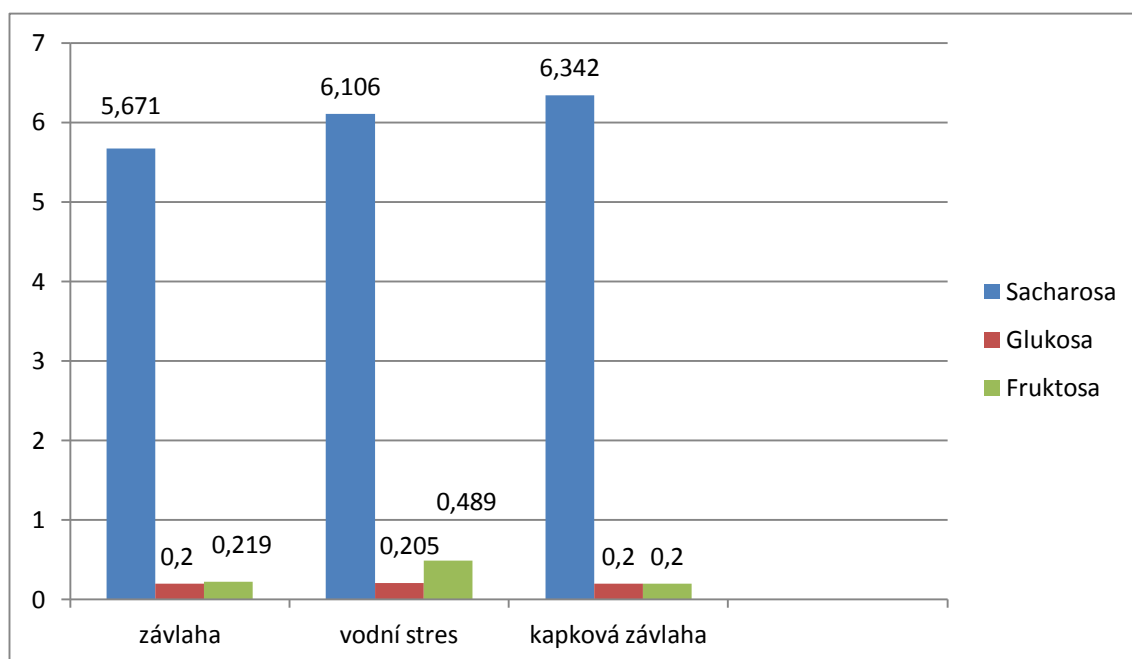


Nejvyšší obsah glukosy byl zjištěn u odrůdy Milva a to 12,562 g/kg a nejvyšší obsah fruktosy byl 11,488 g/kg. V obou případech se jednalo o brambory pěstované s pravidelnou závlahou než u brambor stresovaných suchem. Odrůda Milva měla relativně vysoký obsah i sacharosy a to 20,464 g/kg u zavlažovaných a 7,241 g/kg u stresovaných brambor.

Graf č. 4 Odrůda Laura (výsledky v g/kg)



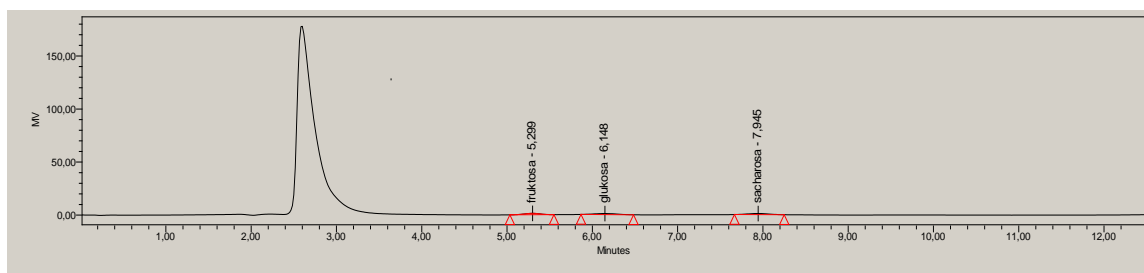
Graf č. 5 Odrůda Valfi (výsledky v g/kg)



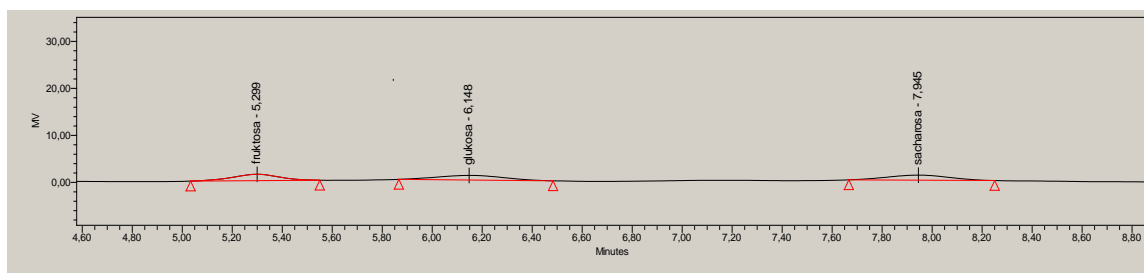
Odrůdy Laura a Valfi měly jak nižší obsahy sacharosy, tak i znatelně nižší obsahy glukosy a fruktosy. Vodní stres je však v tomto případě částečně potvrzen a jsou vykazovány vyšší hodnoty redukujících cukrů u brambor stresovaných než u zavlažovaných. Průměrný obsah sacharosy u odrůdy Laura byl 5,162 g/kg, průměrný obsah glukosy 0,62 g/kg a fruktosy byl 1,285 g/kg. Odrůda Valfi obsahovala 6,04 /kg sacharosy, 0,202 g/kg glukosy a 0,303 g/kg fruktosy.

Celkové obsahy sledovaných sacharidů u odrůdy Laura a Valfi jsou obecně relativně nízké ve srovnání s odrůdami Marabel a Milva. Vzhledem k pouze jednoletému pokusu nelze jednoznačně zhodnotit přímý vliv vodního stresu na brambory.

Chromatogram vzorku č. 18 (odrůda Milva, vodní stres)



Výřez chromatogramu vzorku č. 18 (odrůda Milva, vodní stres)



6 Diskuze

Cílem této práce bylo kromě literárního přehledu stanovit obsahy vybraných monosacharidů a disacharidů v hlízách brambor ze sklizně roku 2015, které byly stresovány suchem, nebo pravidelně zavlažovány.

Bylo prokázáno, že brambory reagují citlivě na nedostatek vody a chybějící vláhu je třeba doplňovat pomocí závlahy což je potvrzeno shodným tvrzením Vokála et al. (2003). Zrůst (1996) dodává, že relativní nedostatek srážek od sázení do vzejití působí poměrně příznivě a vytváří bohatší kořenový systém a tak lepší hospodaření s vodou. Ati et al. (2012) rovněž potvrzují, že kapková závlaha se zdá být prospěšnější vzhledem k vyšším výnosům a úspoře vody. V mnou analyzovaných hlízách byly obdobně stanovené obsahy sacharosy, glukosy a fruktosy nižší u kapkové závlahy než u závlahy klasické u většiny analyzovaných vzorků.

Stanovené výsledky vedou k závěru, že obsah sacharidů je ovlivněn jak odrůdou, tak i způsobem pěstování a dalšími faktory. Z nichž odrůdy Marabel a Milva měly relativně vysoké obsahy redukcujících monosacharidů, ale i přesto byly vyšší hodnoty stanoveny u brambor pěstovaných s pravidelnou zálvkou. Zatímco u odrůd Laura a Valfi byly prokázány vyšší obsahy glukosy a fruktosy v podmínkách sucha než s pravidelnou zálvkou. Talburt et Smith (1967) uvádějí, že je obtížné získat jasnou představu o složení brambor, liší se dle odrůdy, oblasti růstu, způsobem obdělávání, zralostí v oblasti sklizně a dalších faktorech a dodává, že obsah cukrů se může měnit od stopového množství až do 10 % suché hmotnosti. Pessarakli (2011) potvrzuje, že hromaděním určitých sloučenin jako jsou disacharidy (sacharosy a trehalosa), cukerné alkoholy, aminy či aminokyseliny umožňuje tolerovat určité druhy abiotických stresorů jako je zasolenost půdy, chlad nebo sucho. Rady et Guyer (2015) dodávají, že obsah cukrů výrazně ovlivňuje vnitřní a vnější znaky kvality smažených výrobků. Hale et al. (1987) potvrzují myšlenku, že během vodního stresu dochází ke snižování růstu a poté i fotosyntézy což vede k hromaděni nevyužitých asimilátů. Stejně tak i Bláha et al. (2003) dodávají, že během vodního stresu je omezen transport látek, dochází k akumulaci sušiny i energeticky bohatých látek.

Studium pouze jednoho stresového faktoru je relativně komplikované, protože jak potvrzuje i Procházka et al. (1998), tak často působí více stresových faktorů současně.

7 Závěr

Negativní vlivy životního prostředí jsou jedním z nejvíce limitujících faktorů v zemědělské produkci. Stres rostliny definuje stav, kdy se rostlina nachází pod vlivem stresorů, které překročí určitou mez tolerance rostliny. Během vegetace působí na rostliny celá řada stresových faktorů.

Z literárního přehledu vyplývá, že nejvíce limitujícím faktorem je nedostatek vody neboli vodní stres. Brambor je plodina se středně velkými nároky na vodu a citlivě reaguje především na rozdělení srážek, proto se v nepříznivých podmínkách množství vody doplňuje pomocí závlahy. Působení vodního stresu způsobuje především snižování růstu, turgidity a fotosyntézy. Pomocí studia odborné literatury byly zjištěny obecné změny v reakci na stres zahrnující tvorbu stresových proteinů, fytohormonů, tvorbu a odstraňování aktivních forem kyslíku a osmoregulačních sloučenin kam patří cukry, polyalkoholy a jednoduché dusíkaté látky. Dále bylo prokázáno, že hromadění redukcujících hexos a i různých anorganických látek zvyšuje odolnost rostliny vůči extrémním podmínkám nízkých teplot, zasolení i vodnímu stresu.

Cílem praktické části práce bylo stanovit obsahy vybraných monosacharidů (glukosy a fruktosy) a disacharidů (sacharosy) v hlízách brambor ze sklizně roku 2015 stresovaných suchem či zavlažovaných viz kapitola výsledky.

Hypotéza: Stres suchem bude zvyšovat obsah monosacharidů a příp. disacharidů.

Trend vlivu stresu byl vypořádan u odrůd Laura a Valfi, kdy vyšší hodnoty obsahu sacharosy, glukosy a fruktosy byly prokázány v podmínkách sucha, než u brambor zavlažovaných. Tyto dvě odrůdy byly zároveň vyhodnoceny jako odrůdy s nejnižšími obsahy sledovaných sacharidů a vliv vodního stresu nelze jednoznačně považovat za prokazatelný.

Naopak odrůdy Marabel a Milva měly znatelně vyšší obsahy glukosy, fruktosy a sacharosy. Nejvyšší obsah sacharosy byl stanoven u odrůdy Marabel (23,871 g/kg) a u odrůdy Milva s průměrným obsahem 13,432 g/kg. Milva zároveň vykazovala celkově nejvyšší obsahy glukosy (12,562 g/kg) a fruktosy (11,488 g/kg). V tomto případě byly vyšší hodnoty těchto monosacharidů stanoveny u brambor zavlažovaných než stresovaných suchem. Odrůdy Milva a Marabel pravděpodobně snášejí vodní stres lépe než ostatní a zároveň ani vlivy ostatních faktorů vnějšího prostředí nelze opomíjet.

8 Seznam použité literatury

Andersson, H. CH. 2002. Calystegine alkaloids in Solanceous food plants. Nordic Council of Ministers. København. p. 513. ISBN: 978-928-9307-482.

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

Barra, M., Correa, J., Salazar, E., Sagredo, B. 2013. Response of Potato (*Solanum tuberosum* L.) Germplasm to Water Stress Under In Vitro Conditions. American Journal of Potato Research. 90 (6). 591-606.

Barker, R. 1971. Organic chemistry of biological compounds. Prentice-Hall. Englewood Cliffs. New Jersey. p. 374. ISBN: 01-364-0631-9.

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

Bárta, J., Diviš, J. 2000. Obsah dusičnanů v bramborách a hnojení dusíkem. Úroda: Příl. Brambory. 48 (11). 10-11.

Bejarano L., Mignolet, E., Devaux A., Espinola, N., Carrasco, E, Larondelle, Y. 2000. Glycoalkaloids in potato tubers: the effect of variety and drought stress on the α -solanine and α -chaconine contents of potatoes. Journal of the Science of Food and Agriculture. 80 (14). 2096-2100.

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. 156 s. ISBN: 80-865-5532-1.

Burlingame, B., Mouillé, B., Charrondière, R. 2009. Nutrients, bioactive non-nutrients and anti-nutrients in potatoes. *Journal of Food Composition and Analysis*. 22 (6). 494-502.

Čepl, J. 2005. Brambory - zdravá potravina. *Bramborářství*. 13 (6). 20 - 21.

Čepl, J., Vokál, B. 1997. Hnojení a výživa brambor. *Agro: Ochrana a výživa rostlin*. 4. 36-38.

Čermák, V. 2015. Seznam doporučených odrůd bramboru 2015. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. Brno. ISBN: 978-80-7401-072-9.

De Jong, H., Sieczka, J. B., De Jong, W. 2011. The complete book of potatoes: what every grower and gardener needs to know [online]. Timber Press. Portland, Or. p. 258. [cit. 2016-03-21]. ISBN: 978-088-1929-997. Dostupné z <<https://books.google.cz>>.

Domkářová, J., Teplíková, J., Vokál, B. 2006. Modrofialové brambory zpestří jídelníček. *Zahrádkář*. 38 (2). 19.

Donald, G. 2009. Potatoes, Tomatoes, and Solanine Toxicity (*Solanum tuberosum* L., *Solanum lycopersicum* L.). *Medical Toxicology of Natural Substances*. Barcelaux DG. 77-83.

Dressler, M. 1986. Selective gas chromatographic detectors [online]. Elsevier. Amsterdam. p. 319. [cit. 2016-03-28]. *Journal of chromatography library*. ISBN: 04-444-2488-1. Dostupné z <<https://books.google.cz>>.

Ek, K., Brand-Miller, J., Copelend, L. 2012. Glycemic effect of potato. *Food Chemistry*. 4 (133). 1230 - 1240.

Eliasson, A. C. (ed.) 2006. Carbohydrates in food [online]. 2nd ed. CRC/Taylor. Boca Raton, FL. 560 s. [cit. 2016-03-18]. ISBN: 978-142-0015-058. Dostupné z <<https://books.google.cz>>.

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

Farrant, J., Ruelland, E. 2015. Plant signalling mechanisms in response to the environment. *Environmental and Experimental Botany*. 114. 1-3.

Friedman, M. 2004. Analysis of biologically active compounds in potatoes (*Solanum tuberosum*), tomatoes (*Lycopersicon esculentum*), and jimson weed (*Datura stramonium*) seeds. *Journal of Chromatography A*. 1054 (1-2). 143-155.

Hale, M. G., Orcutt, D. M., Thompson, L. K. 1987. *The physiology of plants under stress*. Wiley. New York. p. 206. ISBN: 04-716-3247-3.

Hálková, J., Rumíšková, M., Rieglová, J. 2000. *Analýza potravin*. Ivan Straka. Újezd u Brna. 93 s. ISBN: 80-902-7753-5.

Hawkes, J. 1990. *The potato: evolution, biodiversity and genetic resources*. Smithsonian Institution Press. Washington, D.C. p. 259. ISBN: 08-747-4465-2.

Heuer, B., Nadler, A. 1998. Physiological response of potato plants to soil and water deficit. *Plant Science*. (137). 43-51.

Hnilička, F., Hniličková, H. 2008. Fyziologická reakce rostlin na působení nízkých teplot. *Agromanuál*. 3 (2). 64-66.

Hood, L. F., Wardrip, E. K., Bollenback, G. 1977. *Carbohydrates and health*. AVI Pub. Co. Westport, Connecticut. p. 147. ISBN: 08-705-5223-6.

Hruška, L. 1974. *Brambory*. Státní zemědělské nakladatelství. Praha. 416 s.

Jůzl, M., Jůzl, M. 2006. Brambory náš druhý chléb. *Výživa a potraviny*. 61 (6). 142 - 145.

Káš, J., Kodíček, M., Valentová, O. 2005. *Laboratorní techniky biochemie*. Vysoká škola chemicko-technologická. Praha. 258 s. ISBN: 80-7080-586-2.

- Keiner, R., Dräger, B. 2000. Calystegine distribution in potato (*Solanum tuberosum*) tubers and plants. *Plant Science*. 150 (2). 171-179.
- Klouda, P. 2003. *Moderní analytické metody*. 2. vyd. Pavel Klouda. Ostrava. 132 s. ISBN: 80-863-6907-2.
- Kourek, R. 1996. Nejenom zdroj polysacharidů: *Úroda*. 44 (3). 29.
- Kubáň, V., Kubáň, P. 2007. *Analýza potravin*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita. Brno. 202 s. ISBN: 978-80-7375-036-7.
- Kůdela, V. 2013. *Abiotikózy rostlin: poruchy, poškození a poranění*. Academia. Praha. 566 s. ISBN: 978-80-200-2262-2.
- Kutnar, F. 1963. *Malé dějiny brambor*. Východočeské nakladatelství. Havlíčkův Brod. 153 s.
- Ledvina, M., Stoklasová, A., Cerman, J. 2009. *Biochemie pro studující medicíny*. 2. vydání. Karolinum. Praha. 546 s. ISBN: 978-80-246-1414-4.
- Lineback, D.R., Inglett, G. 1982. *Food carbohydrates*. AVI Pub. Co. Westport, Conn. p. 494. ISBN: 08-705-5400-X.
- Liu, Q., Tarn, R., Lynch, D., Skjodt, N. M. 2007. Physicochemical properties of dry matter and starch from potatoes grown in Canada. *Food Chemistry*. 105 (3). 897-907.
- Lutaladio, N. B., Castaldi, L. 2009. Potato: The hidden treasure. *Journal of Food Composition and Analysis*. 22 (6). 491-493.
- Mayer, V., Vejchar, D., Pastorková, E. 2012. Měření a kvantifikace škodlivých činitelů při výrobě brambor. *Agritech science*. 12. 1-8.

McNair, H. M., Miller, J. M. 2009. Basic gas chromatography [online]. 2nd ed. John Wiley. Hoboken, N.J. p. 239. [cit. 2016-03-20]. ISBN: 978-0-470-43954-8. Dostupné z <<https://books.google.cz>>.

Nantel, G. 1999. Carbohydrates in human nutrition [online]. In: FAO. 6 - 10. [cit. 2016-03-01].

Orcutt, D. M., Nilsen, E. T. 1996. The physiology of plants under stress: abiotic factors [online]. John Wiley. New York. p. 689. [cit. 2016-03-19]. ISBN: 04-710-3152-6. Dostupné z <<https://books.google.cz>>.

Papathanasiou, F., Mitchell, S. H, Watson, S., Harvey, B. 1999. Effect of environmental stress during tuber development on accumulation of glycoalkaloids in potato (*Solanum tuberosum* L). Journal of the Science of Food and Agriculture. 79. 1183-1189.

Pareek, A. (ed.), Sopory, S. (ed.), Bohnert, H. (ed.). 2010. Abiotic stress adaptation in plants: physiological, molecular, and genomic foundation [online]. Springer. Dordrecht, Netherlands. p. 526. [cit. 2016-03-28]. ISBN: 978-904-8131-129. Dostupné z <<https://books.google.cz>>.

Pessarakli, M. 2011. Handbook of plant and crop stress. 3rd ed. CRC Press. Boca Raton. p. 1215 . ISBN: 978-143-9813-966.

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

Rady, A. M., Guyer, D. E. 2015. Evaluation of sugar content in potatoes using NIR reflectance and wavelength selection techniques. Postharvest Biology and Technology. 103. 17-26.

Rybáček V., Čača, Z., Fric, V., Fricová, E., Šroller, J, Votoupal, B, Daniel, J., Findejs, R., Míča, B., Radil, B., Rasochová, M, Rasoča, V, Tuček, V., Vokál, B., Zrůst, J. 1988. Brambory. Státní zemědělské nakladatelství. Praha. 360 s.

Sherma, J., Fried, B. (eds.). 2003. Handbook of thin-layer chromatography [online]. 3. ed. Marcel Dekker. New York. [cit. 2016-03-21]. p. 1295. ISBN: 0-203-91243-8. Dostupné z <<https://books.google.cz>>.

Smith, D. B., Roddinck, J. R., Jones, J. L. 1996. Potato glycoalkaloids: Some unanswered questions. Trends in Food Science and Technology. 7 (4). 126-131.

Suková, I. 2011. Kolorimetrická metoda stanovení amylozy a amylopektinu. Agronavigátor. 62 (10). 508-516.

Talburt, W. F., Smith, O. 1967. Potato processing. Avi Pub. Co. Westport, Conn. p. 588.

Vacek, J., Bartáčková, V. 2012. Skladování brambor: Skladování konzumních hlíz pro zpracování na smažené výrobky z brambor. Výzkumný ústav bramborářský. Havlíčkův Brod. 9 s. ISBN: 978-80-86940-39-7.

Voet, D., Voet, J. G. 1995. Biochemie. Victoria Publishing. Praha. 1325 s. ISBN: 80-856-0544-9.

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. 245 s.

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

Waterschoot, J., Gomand, S. V., Fierens, E., Delcour, J. A. 2015. Production, structure, physicochemical and functional properties of maize, cassava, wheat, potato and rice starches. Starch - Stärke. 67. 14-29.

Weston, A., Brown, P. R. 1997. HPLC and CE: principles and practice [online]. Academic Press. San Diego. p. 280. [cit. 2016-03-20]. ISBN: 01-213-6640-5. Dostupné z <<https://books.google.cz>>.

Wittenmayer, L., Merbach, W. 2005. Plant responses to drought and phosphorus deficiency: contribution of phytohormones in root-related processes. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 168 (4). 531-540.

Wixom, R., Gehrke, C. 2010. *Chromatography: a science of discovery* [online]. Wiley. Hoboken, N.J. p. 410. [cit. 2016-03-20]. ISBN: 978-0-470-28345-5. Dostupné z <<https://books.google.cz>>.

Zrůst, J. 1996. Brambory a voda. *Úroda*. 44 (6). 26 - 27.

Zrůst, J., Hlušek, J., Jůzl, M. 2003. Problematika pěstování plodin v půdách kontaminovaných rizikovými chemickými látkami se zaměřením na brambor. *Bramborářství*. 11 (4). 11 - 13.

9 Seznam použitých symbolů a zkratek

ABA	abscisová kyselina
ACC	kyselina aminocyklopropan-1-karboxylová
aj.	a jiné
apod.	a podobně
atd.	a tak dále
ATP	adenosintrifosfát
CG	gas chromatography, plynová chromatografie
GC-MS	plynová chromatografie s hmotnostní spektrometrií
GLC	gass-liquid chromatography, plynová rozdělovací chromatografie
GSC	gass-solid chromatography, plynová adsorpční chromatografie
HPLC	high performance liquid chromatography, vysokoúčinná kapalinová chromatografie
LC-MS	Kapalinová chromatografie s hmotnostní spektrometrií
m n. m.	metrů nad mořem
NADPH H ⁺	nikotinamidadenindinukleotidfosfát
např.	například
resp.	respektive
SA	salicylová kyselina
SAR	systemic acquired resistance, systémově získaná rezistence
tj.	to je
TLC	thin layer chromatography, chromatografie na tenké vrstvě
tzn.	to znamená
tzv.	tak zvaný