

Univerzita Pardubice
Fakulta chemicko-technologická
Katedra anorganické technologie

Hydrogely na bázi kaštanového škrobu
Bakalářská práce

Univerzita Pardubice
Fakulta chemicko-technologická
Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Vít Pulec**
Osobní číslo: **C18042**
Studijní program: **B2802 Chemie a technická chemie**
Studijní obor: **Chemie a technická chemie**
Téma práce: **Hydrogely na bázi kaštanového škrobu**
Zadávající katedra: **Katedra anorganické technologie**

Zásady pro vypracování

1. Provedte literární rešerši v souvislosti se zadaným tématem. Zaměřte se na popis škrobu a technik izolace škrobu z plodin, převážně však z kaštanů a rovněž popište principy charakterizace hydrogelů na bázi škrobů.
2. Izolujte škrob z kaštanů, syntetizujte hydrogel na bázi kaštanového škrobu a stanovte jeho bobtnací vlastnosti.
3. Získané výsledky zpracujte a předložte formou bakalářské práce.

Rozsah pracovní zprávy:
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petra Kalendová, Ph.D.**
Katedra anorganické technologie

Datum zadání bakalářské práce: **26. února 2021**
Termín odevzdání bakalářské práce: **2. července 2021**

L.S.

prof. Ing. Petr Kalenda, CSc.
děkan

prof. Ing. Petra Šulcová, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení

Prohlašuji, že práci s názvem Hydrogely na bázi kaštanového škrobu, jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

Poděkování

V první řadě bych rád poděkoval své vedoucí práce paní Ing. Petře Kalendové Ph. D., za pochopení, pomoc a velmi příjemné chování při zpracování této práce. Dále bych poděkoval ostatním zaměstnancům Katedry anorganické technologie. Následně bych poděkoval panu Ing. Stanislavu Šlangovi, za vytvoření snímků na elektronovém mikroskopu. Dále děkuji své rodině a přítelkyni, za podporu, pochopení a pomoc při studiu na Vysoké škole.

Bakalářská práce vznikla za podpory projektu Modernizace praktické výuky a zkvalitnění praktických dovedností v technicky zaměřených studijních programech, reg. číslo CZ.02.2.67/0.0/0.0/16_016/0002458 operačního programu Výzkum, vývoj a vzdělání. Tento projekt je spolufinancován Evropskou unií. Dále za podpory Centra materiálů a nanotechnologií, jmenovitě grantu LM2018103 od MŠMT.



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Anotace

Byl optimalizován postup izolace škrobu z kaštanu koňského (*Aesculus hippocastanum*) a z mouky kaštanu setého (*Castanea sativa*). Izolované škroby byly charakterizovány pomocí skenovacího elektronového mikroskopu a termogravimetrické analýzy. Z těchto dvou škrobů byly připraveny hydrogely na bázi kopolymeru škrobu, kyseliny akrylové a akrylamidu pro potenciální využití v zemědělství. U hydrogelů byl stanoven bobtnací poměr ve vodě a jejich rozpustnost.

Klíčová slova

škrub, kyselina akrylová, akrylamid, kaštan koňský, kaštan jedlý, skenovací elektronový mikroskop, termogravimetrická analýza, hydrogely

Annotation

The isolation of starch from horse chestnut (*Aesculus hippocastanum*) and from edible chestnut flour (*Castanea sativa*) was optimized. The isolated starches were characterized using scanning electron microscopy and thermogravimetric analysis. The hydrogels based on starch, acrylic acid and acrylamide copolymer were prepared from the isolated chestnut starches for potential use in agriculture. The swelling ratio and solubility of the hydrogels were determined in water.

Keyword

starch, acrylic acid, acrylamide, horse chestnut, edible chestnut, scanning electron microscopy, thermogravimetric analysis, hydrogels

Obsah

| | |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| Seznam zkratk | 8 |
| Úvod | 9 |
| 1 Teoretická část | 10 |
| 1.1 Škrob | 10 |
| 1.1.1 Škrob v semenech | 10 |
| 1.1.2 Chemický popis škrobu | 10 |
| 1.1.3 Průmyslové získání škrobu | 14 |
| 1.1.4 Fyzikální vlastnosti škrobu | 17 |
| 1.1.5 Zdroje škrobu | 18 |
| 1.1.6 Modifikované škroby | 23 |
| 1.2 Hydrogely | 25 |
| 1.2.1 Rozdělení hydrogelů | 25 |
| 1.2.2 Využití hydrogelů | 26 |
| 2 Experimentální část | 28 |
| 2.1 Chemikálie | 28 |
| 2.2 Použité přístroje | 28 |
| 2.3 Pracovní postupy | 28 |
| 2.3.1 Izolace škrobu z Koňského kaštanu | 28 |
| 2.3.2 Izolace škrobu z mouky kaštanu jedlého | 29 |
| 2.3.3 Termogravimetrická analýza škrobů | 29 |
| 2.3.4 Příprava hydrogelů | 29 |
| 2.3.5 Stanovení bobtnacího poměru hydrogelu v destilované vodě | 30 |
| 3 Výsledky a diskuze | 31 |
| 3.1 Izolace škrobu z kaštanu a kaštanové mouky | 31 |
| 3.1.1 Kaštan koňský | 31 |
| 3.1.2 Mouka jedlého kaštanu | 34 |
| 3.2 Charakterizace izolovaného škrobu | 36 |
| 3.2.1 TGA analýza | 36 |
| 3.2.2 Skenovací elektronová mikroskopie | 37 |
| 3.3 Syntéza hydrogelů | 39 |
| 3.4 Stanovení bobtnacího poměru a rozpustnosti hydrogelů | 39 |
| 4 Závěr | 41 |
| 5 Seznam použité literatury | 43 |

Seznam zkratek

| | |
|------|---------------------------------------------------------|
| SP | – stupeň polymerizace |
| TMA | – termomechanická analýza |
| DSC | – diferenční skenovací kalorimetrie |
| NMR | – nukleární magnetická rezonance |
| FTIR | – infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací |
| SEM | – skenovací elektronová mikroskopie |
| TGA | – termogravimetrická analýza |
| MBA | – N,N'-metylen-bis-akrylamid |
| IPN | – integrovaná polymerní síť |
| AAM | – akrylamid |
| AA | – kyselina akrylová |
| PSA | – peroxodisíran amonný |

Úvod

Škrob je jeden z nejdůležitějších polysacharidů vyskytujících se v rostlinách. Slouží jako zásobní látka rostlin a nejčastěji se ukládá procesem asimilace do zásobních orgánů rostlin jako je např. žalud, kaštan, kukuřice, rýže, pšenice anebo hlíza brambor v podobě škrobových zrn. Škrob se skládá ze dvou základních polysacharidů, a to amylozy a amylopektinu, což jsou polysacharidy tvořeny z molekul glukózy. Škrob je za laboratorních teplot ve vodě nerozpustný. Toho se dá využít při izolaci škrobu, kdy se například namele pšenice a následně je škrob pomocí prosté filtrace oddělen od hlušiny. Při vyšších teplotách dochází ke vzniku škrobové disperze, následně k uvolnění amylozy do roztoku a nevratnému mazovatění škrobu. Škrob se mimo jiné vyskytuje také v plodu kaštanu jedlého a kaštanu koňského a lze jej z těchto plodů izolovat. Při zpracování kaštanu jedlého v potravinářství dochází k vyřazování plodů a vzniku odpadu jen kvůli špatnému tvaru nebo vizuálnímu defektu. Tyto defekty nemají vliv na množství škrobu, a tudíž by se plody daly využít pro účely v zemědělství na syntézu hydrogelů.

Hydrogely na bázi škrobu jsou schopné absorbovat obrovské množství vody. Těchto vlastností se nejčastěji využívá ve farmacii, potravinářství nebo v agrochemii. Ve farmacii se hydrogely hlavně začaly používat pro výrobu kontaktních čoček, nyní jsou používány jako nosič účinných látek pomáhající dopravit látku na dané místo v těle nebo také při hojení popálenin a jiných zranění. Hydrogely se v agrochemii rozdělují do dvou hlavních skupin, a to na hydrogely, které slouží k zadržování vody v půdě a hydrogely s postupným uvolňováním hnojiv.

Cílem mé práce bylo izolovat škrob z kaštanu koňského a z mouky kaštanu jedlého. Charakterizovat tento škrob a syntetizovat hydrogel na bázi roubovaného kopolymeru, kyseliny akrylové a akrylamidu. Následně stanovit bobtnavost syntetizovaných hydrogelů a jejich rozpustnost ve vodě.

1 Teoretická část

1.1 Škrob

Škrob je polysacharid, který se skládá ze dvou základních polysacharidů tvořených z molekul glukózy. Sacharidy pro syntézu škrobu vznikají uvnitř rostlin při fotosyntéze [1; 2]. Škrob je zdrojem energie, nevykazuje žádnou toxicitu a vzhledem k jeho přírodnímu charakteru je dobře odbouratelný pomocí půdních mikroorganismů. Nejvíce škrobu obsahují semena, nebo také hlízy a kořeny rostlin, proto při získávání škrobu je využíváno právě těchto částí rostlin [2].

V České republice se škrob získává nejčastěji ze semen obilovin anebo z brambor. Další zdroje škrobu mohou být například semena luštěnin nebo stromů. Tvar, složení a vzhled škrobových zrn se podle druhu rostlin liší a obsah škrobu se určuje v sušině. [2; 1; 3]. Kukuřice, pšenice, žito a ječmen obsahují 70–80 % škrobu, rýže zhruba 90 %, brambory přibližně 85 % a luštěniny mají do 50 % škrobu v sušině [4]. U kaštanů se obsah škrobu liší, v odborných publikacích se nejčastěji uvádí obsah škrobu v rozmezí od 80 do 90 %. Obsah škrobu u kaštanu také závisí na místě pěstování [5; 6].

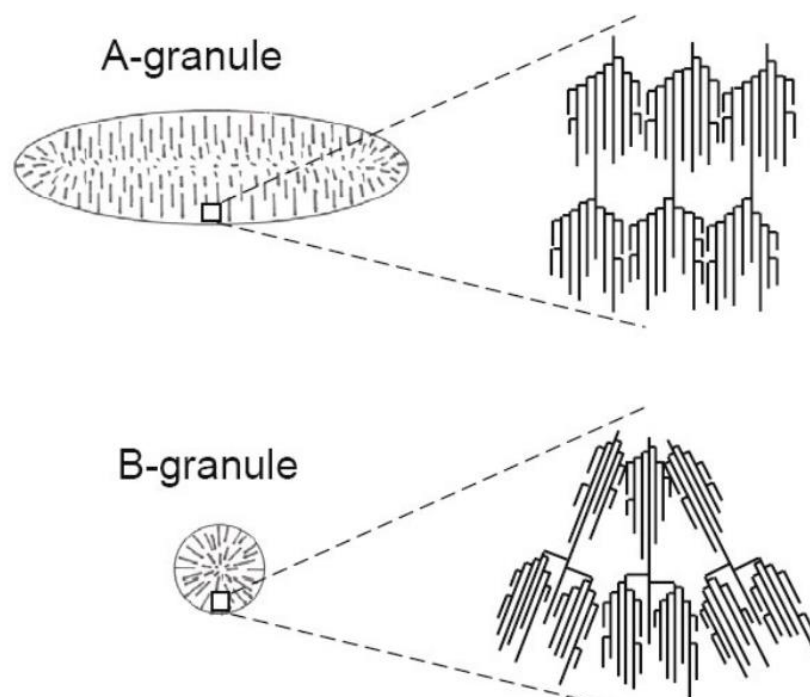
1.1.1 Škrob v semenech

Syntéza škrobu probíhá hlavně během vývoje a dozrávání zásobních orgánů, jako jsou hlízy, semena a plody rostlin. Tento syntetizovaný škrob je poté během klíčení degradován na metabolity, které jsou následně zdrojem uhlíku a energie. V endospermu obilných zrn dochází k syntéze a ukládání škrobu, vzniklé škrobové granule jsou umístěny do amyloplastů. U hlízových rostlin například brambor, se škrob ukládá právě do hlíz. Jinak se škrob také vyskytuje v celé rostlině, ale jeho obsah v ostatních částech je velmi malý pro jeho využití [7].

1.1.2 Chemický popis škrobu

Škrob je polysacharid, který má obecný vzorec $(C_6H_{12}O_5)_n$ a jednotlivé jednotky glukózy, jsou spojeny glykosidickými vazbami. Škrob je tvořen dvěma homopolysacharidy, a to amyložou a amylopektinem. Množství těchto dvou homopolysacharidů ve škrobu je závislé na druhu plodiny, klimatických podmínkách, místu pěstování atd. V tabulce 1 je uvedeno množství amyložy a škrobu u vybraných plodin. Mimo to škrob obsahuje malé množství organických sloučenin, jako jsou lipidy a proteiny [8; 9]. Škrob lze dělit na druh A a druh B. Druh A má větší podíl amyložy a delší řetězce, zatímco druh B má řetězce kratší a také menší obsah amyložy. Vlivem délky a rozvětvení se následně liší i tvar škrobové granule. U škrobu typu A jsou řetězce orientovány kolmo

na osovou rovinu a jsou uspořádány rovnoběžně, tím pádem je škrobová granule ve tvaru čočky. Naopak u škrobu typu B, který má více malých řetězců, má amylopektin kónický tvar a utváří granule kulovitěho tvaru. Tento popis lze vidět na obrázku 1 [10].



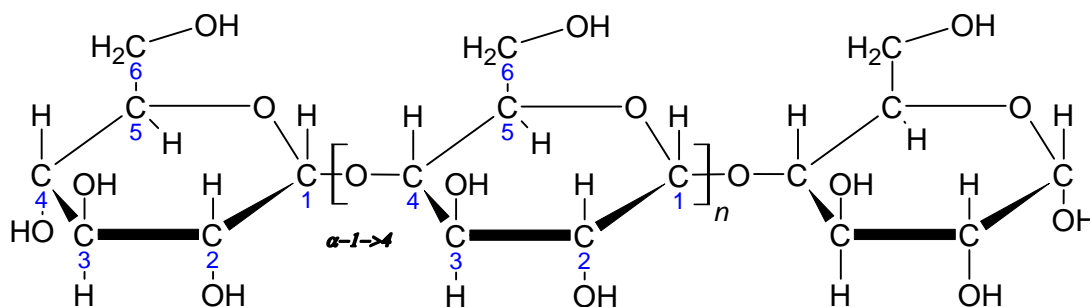
Obrázek 1 – Nákres tvaru granule pro škrob typu A a B [10]

Tabulka 1 – Obsah amyulózy a škrobu ve vybraných plodinách [8].

| Plodina | Obsah amyulózy [%] | Obsah škrobu [%] |
|------------------|--------------------|------------------|
| Brambora | 20-23 | 17-24 |
| Kukuřice | 24-26 | 65-75 |
| Kukuřice vosková | 0-1 | 65-75 |
| Pšenice | 24-29 | 59-72 |
| Rýže | 8-37 | 70-80 |

Amylóza

Amylóza je téměř dokonale lineární řetězec s přibližně 840-22000 α -D-glukopyranózovými jednotkami s vazbou α -(1 \rightarrow 4), jak lze vidět na obrázku 2 [7]. Její stupeň polymerace (SP) může nabýt hodnoty až 600. Počet glukosylových jednotek se různě liší podle stádia vývoje rostliny a jejího druhu [11].



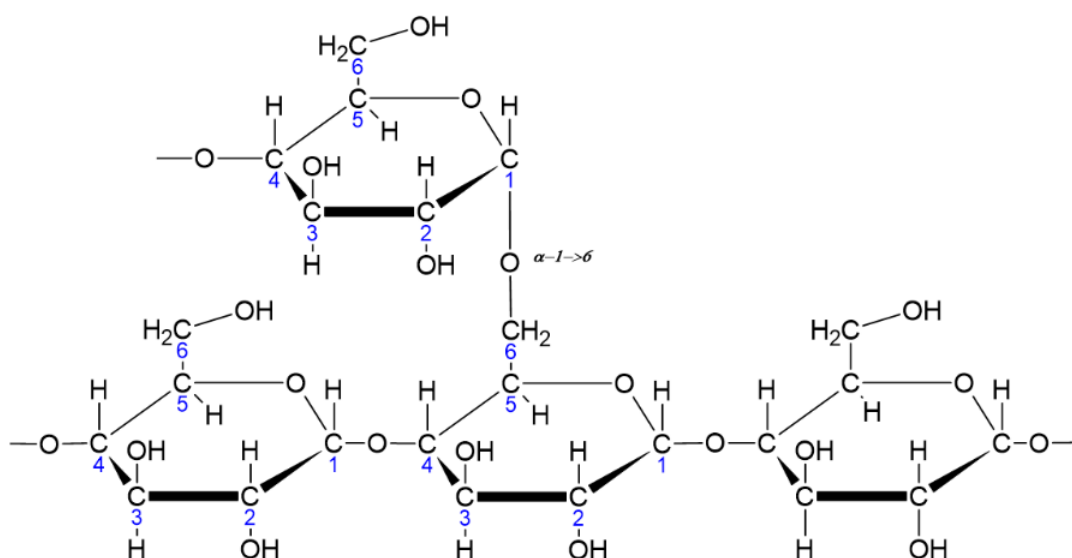
Obrázek 2 – Nákres vzorce amyulózy [12].

Starší studie tvrdí, že amyulóza má lineární řetězec. Ale v nových studiích vědci tvrdí, že amyulóza není pouze lineární [11]. Důkazem, že řetězec není zcela lineární, je to, že vzorek nelze zcela hydrolyzovat β -amylázou, ale lze ho dobře hydrolyzovat pullulanázou, která nejdříve linearizuje řetězec pomocí odštěpení vedlejších navázaných řetězců a následně pomocí β -amylázy dochází ke kompletnímu rozkladu všech polysacharidů na maltózu. Tento výsledek vylučuje teorii, že neúplná hydrolyza pomocí β -amylázy je zaviněna retrogradací škrobu (tvorbou spojovací zóny). Například Hizukuri a kol. (1981) zkoumali rozvětvení amyulózy u bramborového škrobu a uvádějí, že molekuly bramborové amyulózy s SP 4850 a 6340 mají 9 a 12 větvení. Amyulóza z tapioky (škrob získaný z manioku) se SP 2660–3390 má 7,8 až 20 větvení v závislosti na odrůdě a rýže má v průměru také 3,4 až 7,6 větvení v závislosti na odrůdě. Dále bylo zmíněno, že bramborovou amyulózu je možno z 30 % zbavit vedlejších řetězců pomocí izo-amylázy a až 43 % vedlejších řetězců pomocí pullulanázy [11].

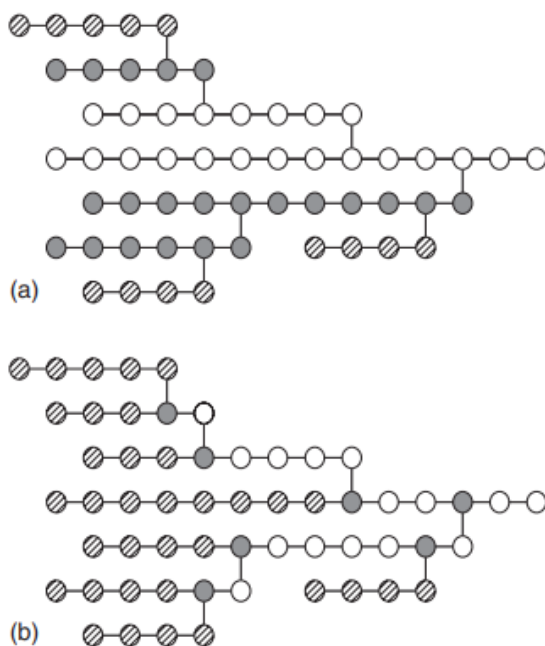
Amylopektin

Amylopektin je jeden z největších známých polymerů s molekulovou hmotností až $500 \cdot 10^6$ mol/g tvořící obvykle 70–99 % škrobové granule a na rozdíl od amyulózy je více rozvětvený. Jak lze vidět na obrázku 3, u amylopektinu dochází ještě k větvení v místě α -D-1 \rightarrow 6 [11].

Při enzymatické analýze délky řetězců amylopektinu ve škrobu lze zjistit, že škrob obsahuje krátké řetězce o SP 12 až 20, dále středně dlouhé o SP 30 až 45, ale také velmi dlouhé řetězce o SP okolo 60. Na obrázku 4 jsou zobrazeny různé typy řetězců v molekule škrobu. Na obrázku 4(a) lze vidět řetězec typu A, který je znázorněn šedými tečkami, nenesou žádné boční řetězce, a tudíž je lineární. Řetězec typu B, který je znázorněn pruhovanými tečkami, je rozvětvený o jeden nebo více dalších řetězců. Řetězec typu C je znázorněn bílými tečkami, který má původní řetězec s jediným redukčním koncem. Na obrázku 4(b) jsou znázorněny vedlejší řetězce pruhovanými tečkami, černé tečky znázorňují body větvení řetězců a bílé tečky označují vnitřní řetězec [11].



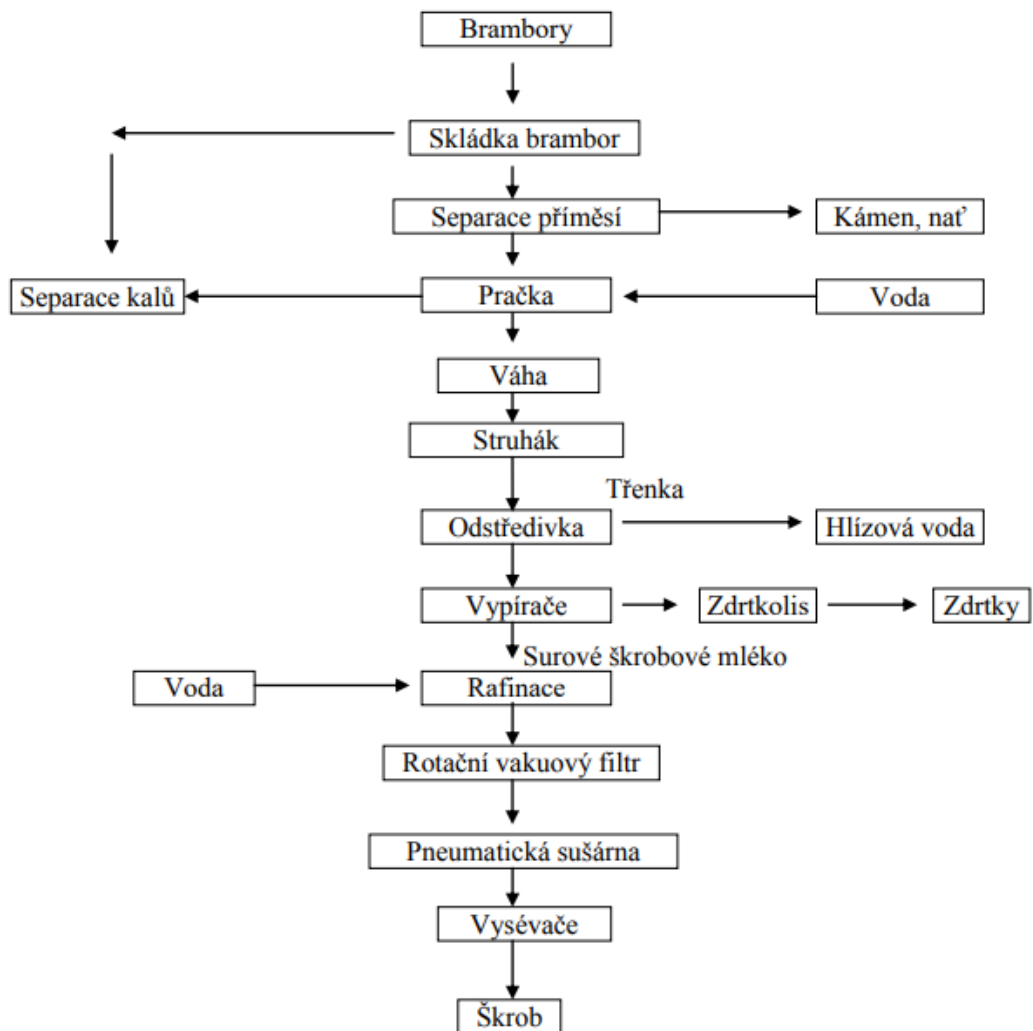
Obrázek 3 – Nákres větvení amylopektinu s α -D-1 \rightarrow 6 glykosidickou vazbou [12].



Obrázek 4 – Popis rozvětvení amylopektinu (a) znázornění řetězců A, B, C. (b) znázornění vedlejších řetězců, bodů větvení a vnitřních řetězců. [11]

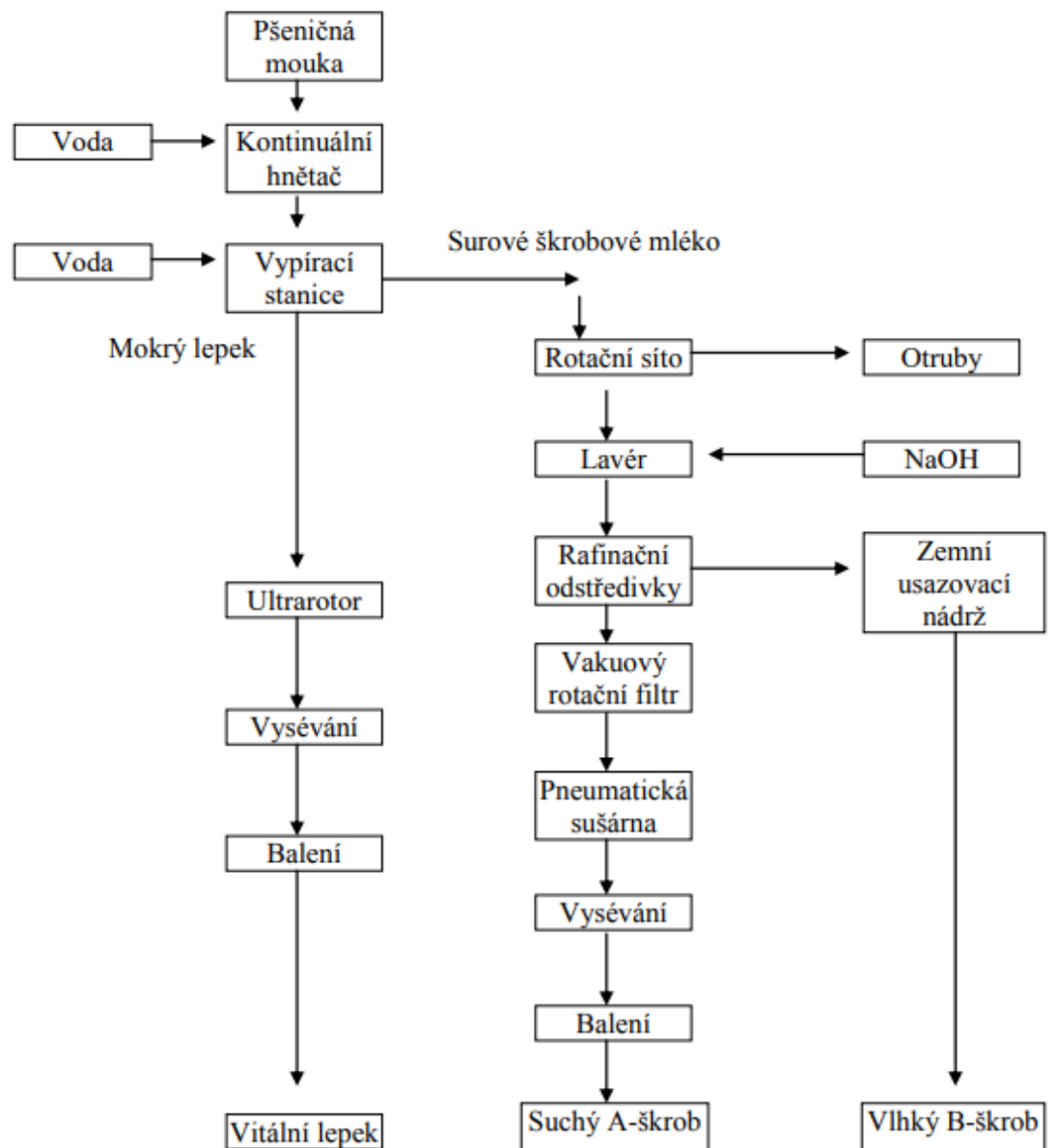
1.1.3 Průmyslové získání škrobu

Škrob z brambor je získáván ze zdravých brambor, které nejsou mechanicky ani mikrobiálně poškozené nebo naklíčené. Nejdříve jsou brambory důkladně očištěny a následně pomocí struhadel nastrouhány ve dvou stupních na hrubou frakci a následně na jemnou frakci. Takto nastrouhané brambory jsou smíchány s vodou a probublávány SO₂ kvůli zabránění tmavnutí. Takto získaná směs je pak odstředěna a hrubé nečistoty jsou odděleny od škrobu. Oddělené hrubé nečistoty jsou dále využívány jako krmivo pro hospodářská zvířata. Škrob je následně promýván a zbavován jemných nečistot na odstředivkách. Čistý škrob je sušen v pneumatických sušárnách při teplotě 140–160 °C. Podrobnější blokové schéma izolace škrobu je uvedeno na obrázku 5 [13].



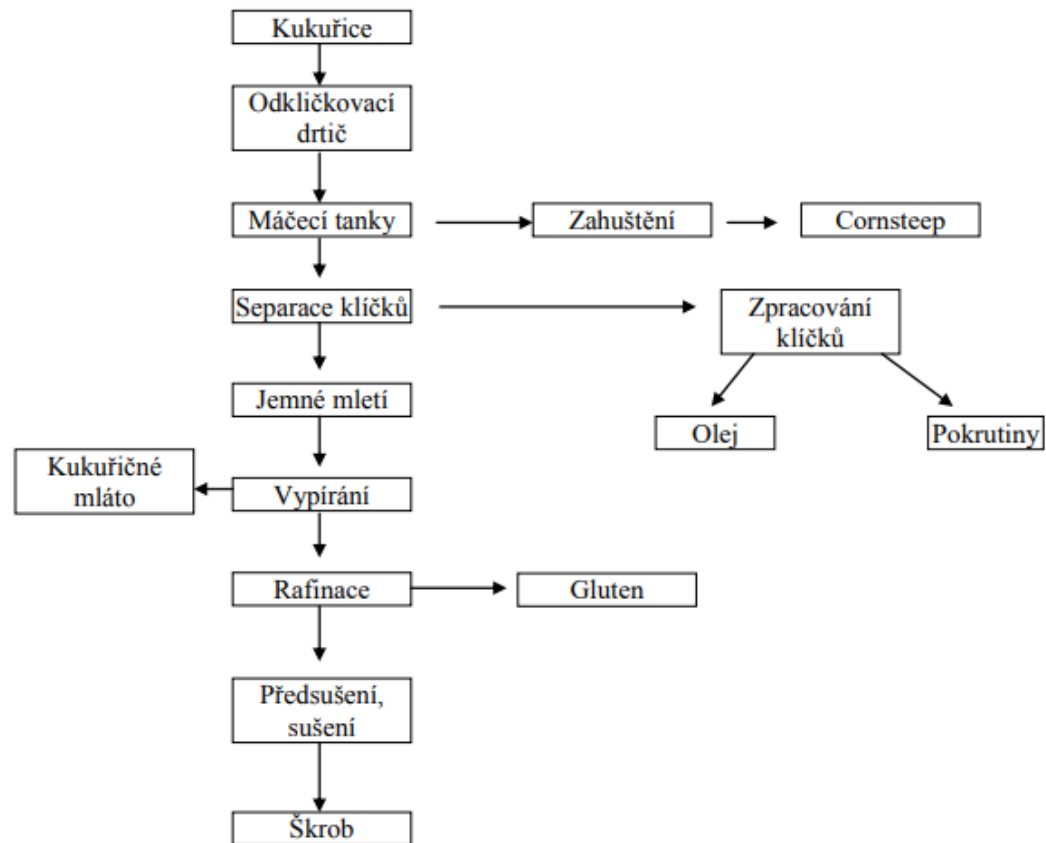
Obrázek 5 – Podrobné schéma výroby bramborového škrobu z brambor [13].

Škrob z pšenice je v ČR vyráběn hlavně tzv. Martinovým způsobem [13]. Pšeničná mouka je přiváděna do kontinuálních hnětačů, kde je smíchána s vodou zhruba v poměru 1:1. Po uhnětení je těsto ponecháno ležet asi 10 minut, aby došlo k nabobtnání lepku a následně propíráno vodou, aby došlo k odstranění právě nabobtnaného lepku. Vypraný lepek se dále zpracovává a používá v potravinářství. Škrobové mléko s vlákninou je přivedeno na odstředivku, kde je oddělen škrob a vláknina. Vlákna se dále zpracovává na krmivo a škrob se buď rafinuje, nebo rovnou suší. Podrobné schéma izolace škrobu z pšeničné mouky je znázorněno na obrázku 6 [13].



Obrázek 6 – Podrobné schéma výroby škrobu z pšenice [14].

Škrob z kukuřice, je vyráběn takzvaným kyselým, teplým a uzavřeným technologickým způsobem [15]. Vyčištěné zrno se nejprve máčí v roztoku kyseliny siričité po dobu dvou dnů a teplotě 50 °C. Výluh se zahušťuje metodou Cornsteep, a následně se nabobtnalé zrno vede na drtič. Z drti jsou odseparovány klíčky a je z ní postupně vymýván škrob. Z klíčků je dále získáván olej a ze zbytků krmivo. Škrob je z důvodu vysokého obsahu bílkovin nutné rafinovat, kde jako vedlejší produkt vzniká cenný gluten. Čisté škrobové mléko je následně odpařováno a vysušeno až na konečný produkt. Podrobné schéma získávání škrobu je na obrázku 7 [15].



Obrázek 7 – Podrobné schéma výroby škrobu z kukuřice [14].

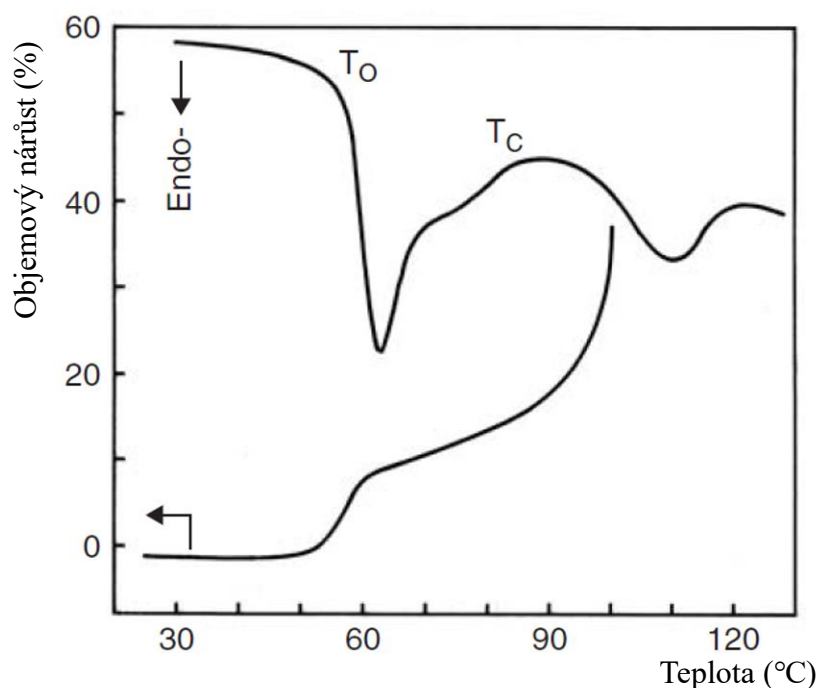
Škrob z rýže je vzhledem k pevné struktuře bílkovin v rýži získáván pomocí máčení v alkalickém prostředí. Rýže je zbavena nečistot a máčena v roztoku NaOH v nádržích po dobu 10 hodin a teplotě mezi 40 °C a 50 °C. Máčení je opakováno, dokud zrno nezměkne a následně je odváděno na mletí. Suspenze je přivedena do nádrže s míchadlem, kde je pH upraveno na hodnotu 10. Následně je suspenze vedena na síta a další cyklus drcení. Po druhém drcení je vzniklá suspenze znovu převedena na síta, kde je odděleno škrobové mléko, nečistoty a zbytky, které se dále využívají jako krmiva. Škrobové mléko je přiváděno na odstředivky, kde je promýváno vodou a výsledný produkt je vysušen v pneumatické sušárně [13].

1.1.4 Fyzikální vlastnosti škrobu

Škrob je bílý až nažloutlý hyroskopický prášek s bobtnacími vlastnostmi. U škrobu lze dále stanovit jeho mazovatění, či retrogradaci. [9; 16; 17].

Mazovatění

Při zahřívání škrobu ve vodě, dochází při určité teplotě k nevratnému bobtnání škrobových granulí. Tento jev narušení škrobových zrn se nazývá mazovatění. Vysušený bramborový škrob má schopnost při teplotě 20 °C a relativní vlhkosti vzduchu 75 % pohltit až 10 % vody ku své hmotnosti a tím i snadno nabobtnat [9; 16; 17]. Ze záznamu termomechanické analýzy (TMA) a diferenciální skenovací kalorimetrie (DSC) lze pozorovat tepelné přechody korespondující teplotám bobtnání škrobu (obrázek 8). Bobtnání obvykle začíná při teplotě T_0 a zvyšuje se až do konečné teploty T_c . Při teplotách nad bodem mazovatění dochází ke značnému zvýšení bobtnavosti škrobových granulí. Různé druhy škrobu vykazují jiné teplotní odezvy a jiné konečné objemy nabobtnalých škrobových gelů po zmazovatění. V tabulce 2 jsou uvedeny teploty mazovatění různých druhů škrobu stanovené metodou DSC. Nejlepších bobtnacích vlastností bylo dosaženo u voskových škrobů, u kterých převládá amylopektin, protože bobtnání také závisí na vlastnostech neporušených molekul amylopektinu [17].



Obrázek 8 – Typický bobtnací graf z TMA s korespondující DSC křivkou [17].

Tabulka 2 – Teploty mazovatění pro různé druhy škrobů stanovené metodou DSC [18].

| Plodina | Poměr škrob:voda | Interval teplot T_0 a T_c [°C] | ΔH mazovatění [J/g] |
|------------------|------------------|------------------------------------|-----------------------------|
| Brambora | 1:1,5 | 57,2–80,3 | 17,4 |
| Kukuřice | 1:1,5 | 62,3–84,3 | 14,0 |
| | 1:3 | 64,1–74,9 | 12,3 |
| Kukuřice vosková | 1:3 | 64,2–74,6 | 15,4 |
| Pšenice | 1:1,5 | 51,2–76,0 | 9,0 |
| | 1:3 | 57,1–66,2 | 10,7 |
| Rýže | 1:1,5 | 62,0–97,5 | 11,0 |
| | 1:3 | 70,3–80,2 | 13,2 |

Po ochlazení škrobu opět vznikají vodíkové vazby a následně pevné 3D sítě s vysokým obsahem vody, tzv. škrobový gel [8]. Další způsob vzniku vodíkových vazeb a pevných 3D sítí je při stárnutí gelů [17].

Retrogradace

Jde o obnovení molekulárních řádů po mazovatění škrobu [17]. Při retrogradaci dochází k formování agregátů s dvoušroubovicí amylozy, tuhnutí a zgumovatění produktu [19]. Tento proces je ovlivněn několika faktory, jako je např. zdroj škrobu, koncentrace škrobu, způsob tepelného ohřevu a následné chlazení, pH a přítomnost ostatních rozpuštěných látek, jako jsou lipidy, cukry a elektrolyty. I proces zmrazení a opětovné rozmrazení mohou výrazně ovlivnit retrogradaci škrobu. Vzhledem ke vzniku řetězových spleťů se k popisu retrogradace používají hlavně metody diferenční skenovací kalorimetrie, rentgenová difrakce, malé a velké deformační zkoušky a ze spektroskopických metod nukleární magnetická rezonance (NMR), infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací (FTIR), případně Ramanova spektroskopie [17].

1.1.5 Zdroje škrobu

Škrob je všeobecně dostupná surovina, lze ho získat většinou z plodů rostlin, kde slouží jako zásobní látka energie v podobě glukózy pro pozdější vývoj nových rostlin. Jako příklad lze uvést hlízy brambor, semeno pšenice, kukuřice, rýže nebo plod kaštanů, žaludů [20].

Škrob z jedlého kaštanu

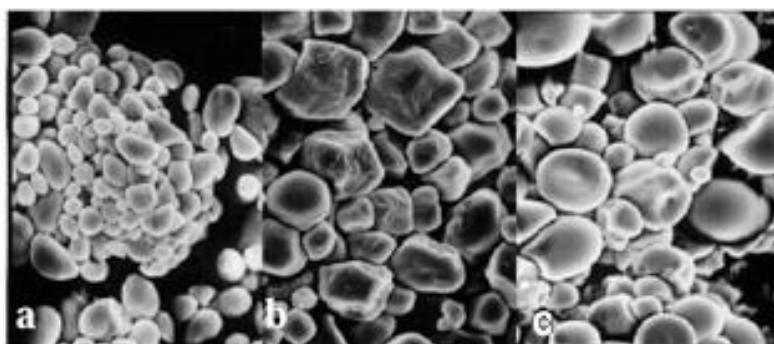
Jedlé kaštany jsou velice známé sezónní potraviny hlavně ve středomořských zemích. Jsou konzumovány po vaření či upečení. Bohužel jde o rychle kazící se produkt a je nutné ho skladovat za nízkých teplot. Dalším významným produktem je kaštanová mouka, která se dá používat k výrobě potravin stejně jako mouka pšeničná [21]. Odpad při oloupaní kaštanu tvoří asi 15 % hmotnosti a tvoří jej hlavně slupky. Obsah vody v oloupaném kaštanu je asi 52 g/100 g a ve slupce 34 g/100 g [22]. Porovnání chemického složení kaštanové mouky, kukuřičné mouky a mouky z manioku je uvedeno v tabulce 3 [23].

Tabulka 3 – Obsah látek v mouce z vybraných plodin [22].

| Plodina | g/100 g | | | | |
|----------|------------|--------|----------|-----------|-------|
| | Popelovina | Lipidy | Vláknina | Bílkoviny | Škrob |
| Kaštan | 2,14 | 5,39 | 2,34 | 5,58 | 78,75 |
| Kukuřice | 1,73 | 5,20 | 2,89 | 10,40 | 79,78 |
| Maniok | 3,17 | 0,53 | 3,29 | 2,80 | 90,21 |

Obsah amyλόzy v jedlém kaštanu byl zjištěn spektrofotometricky pomocí reakce amyλόzy s jodem za vzniku modrého zbarvení s použitím kalibrační řady. Hmotnost amylopektinu byla zjištěna následným odečtením hmotnosti amyλόzy od hmotnosti sušiny škrobu. Obsah amyλόzy byl stanoven na 21,5 % a amylopektinu na 78,8 % [22].

Morfologii škrobových zrn lze pozorovat pomocí skenovacího elektronového mikroskopu (SEM). Na SEM snímcích (obrázek 9) lze vidět, že škrobové granule kaštanu jsou menší než škrobové granule kukuřice či manioku [22].

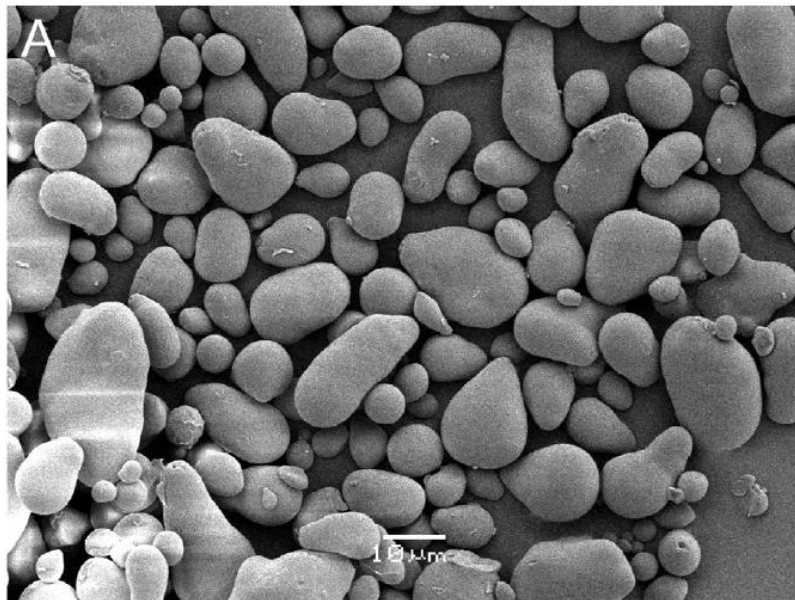


Obrázek 9 – Snímek SEM granulí škrobu a) kaštanu b) kukuřice c) manioku [22].

Z rentgenové difrakce škrobu kaštanu, bylo zjištěno, že největší zastoupení škrobu je typu B [22], jako to je u škrobu izolovaného z hlíz [23]. Jak už bylo uvedeno výš, tak při zvýšené teplotě dochází k většímu nabobtnání škrobu ve vodě. Maximálního nabobtnání kaštanového škrobu bylo dosaženo při teplotě 90 °C a to 19,24 g/g původní navážky škrobu [22], což je podobné jako u škrobu z kukuřice (21 g/g) [24], anebo také u škrobu z pšenice (18–27 g/g) [25].

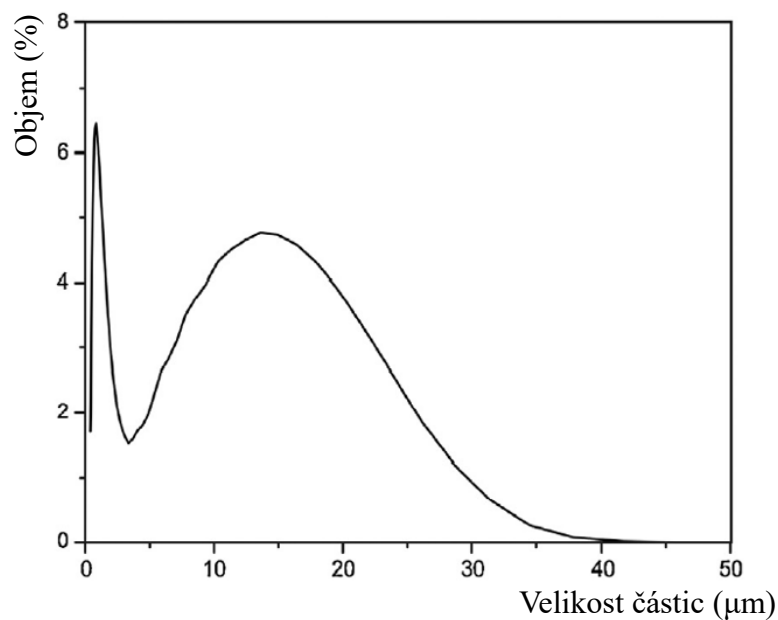
Škrob z koňského kaštanu

Velikost granule škrobu se pohybuje od 0,7 do 35 μm s různými tvary, od nejmenších, které jsou sférické, přes granule o velikosti 10–17 μm , které jsou oválné, až po největší granule nepravidelného tvaru. Povrch těchto granulí je hladký bez pórů a eroze, což lze vidět na obrázku 10 [26].



Obrázek 10 – SEM snímek škrobových zrn koňského kaštanu [26].

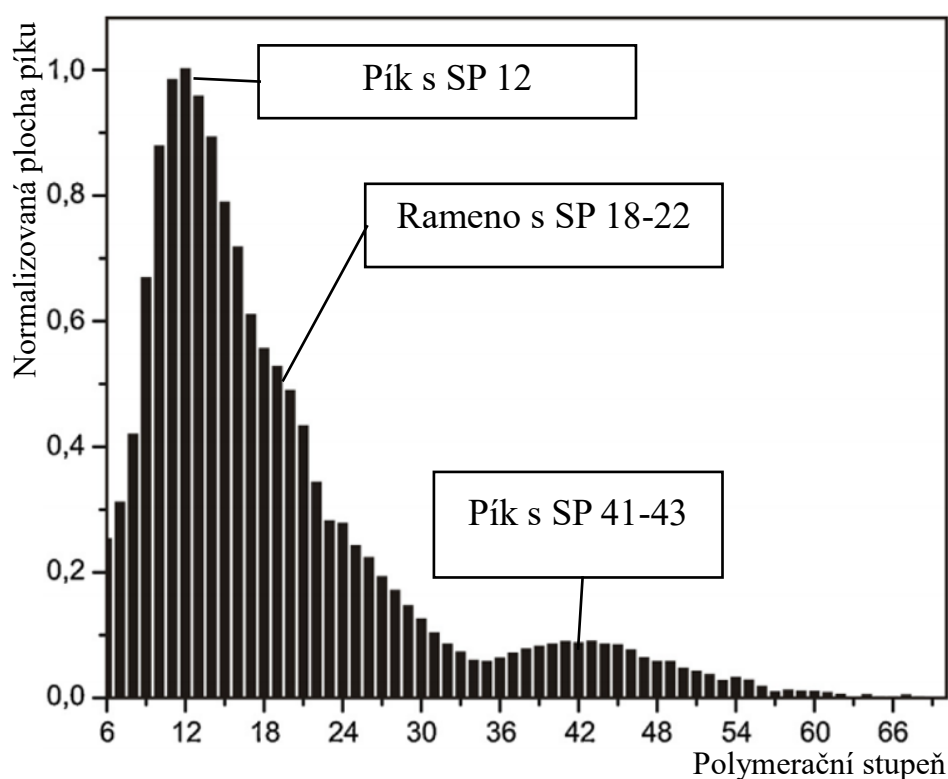
Distribuce velikosti částic je zobrazená v grafu na obrázku 11. Částice jsou nejčastěji o velikosti v rozmezí 1–2 μm , pak je velké zastoupení částic od 5 do 30 μm [26].



Obrázek 11 – Distribuční křivka velikosti částic ve škrobu z koňského kaštanu [26].

Obsah amylozy v kaštanovém škrobu se liší v závislosti na technice izolace škrobu, místě růstu stromů či podmínkách pěstování v dané oblasti. Například studie Castaño a kol. (2014) uvádí, že obsah amylozy v kaštanovém škrobu činí 33,1 %, zatímco studie Hricovíniová a Babor (1992) uvádí obsah amylozy v rozmezí 14,2–13,8 % [26].

Amylopektin v kaštanovém škrobu má rozvětvený řetězec a jeho stupeň polymerizace je uveden na obrázku 12, kde lze vidět rozdělení na 2 hlavní píky. Pík s SP 12, malý pík s SP 41–43 a následně jedno rameno s SP 18–22, což znamená, že největší zastoupení mají molekuly amylopektinu o velikosti s SP 12. Tyto hodnoty ovlivňují krystalickou strukturu, velikost granulí, bobtnavost nebo teplotu želatinizace [26].

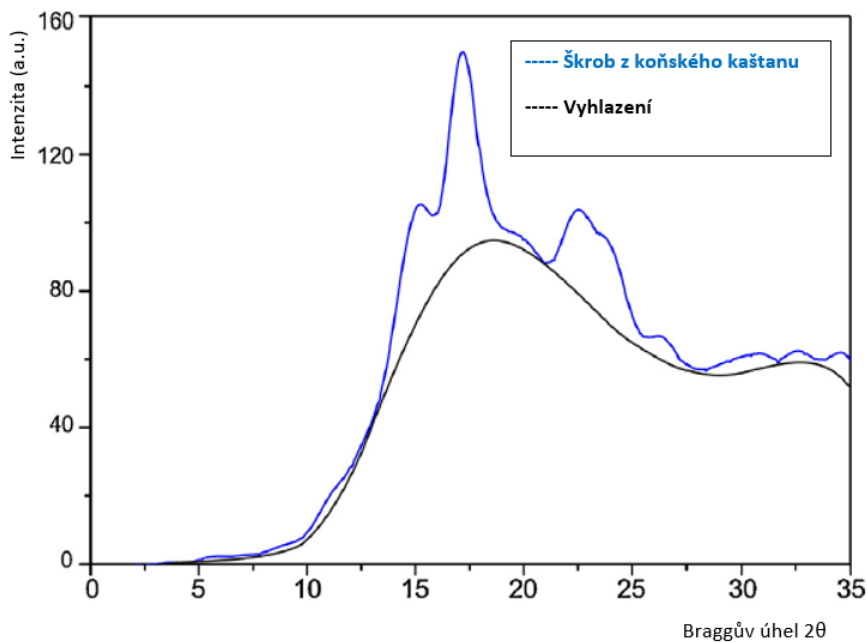


Obrázek 12 – Profil zastoupení stupňů polymerizace amylopektinu ve škrobu z koňského kaštanu pomocí vysokoúčinné aniontově výměnné chromatografie [26].

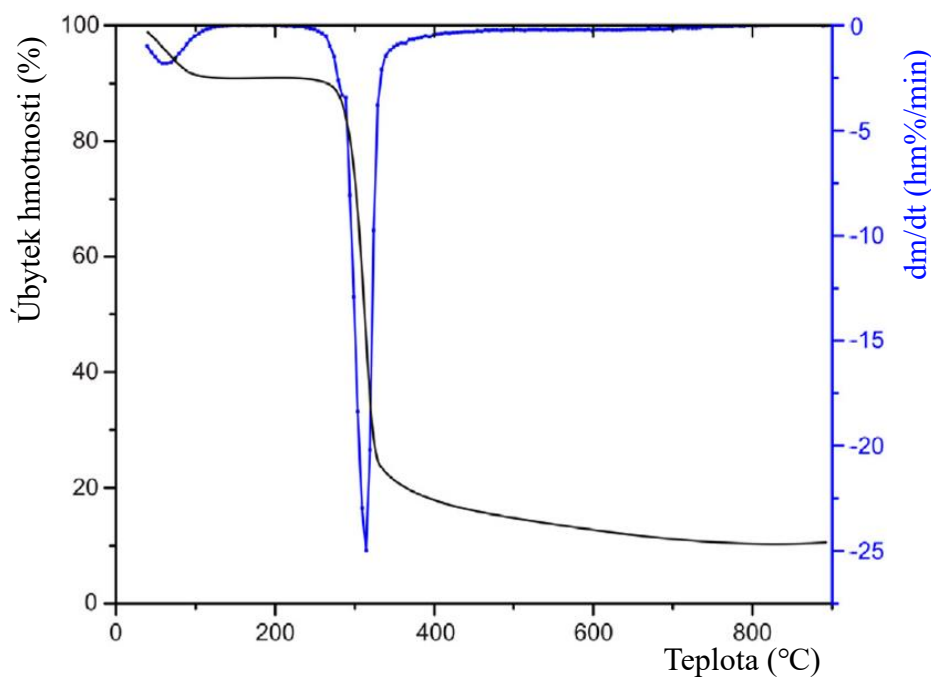
Pro zjištění typu škrobu v kaštanu se využívá rentgenové difrakce. Její graf lze vidět na obrázku 13, kde vykazuje difrakční vrcholy 2θ u stupňů 5,7; 15,4; 17,2; 22,0 a 22,7, což odpovídá škrobu typu C (kombinace škrobů A a B) [26].

Tepelná stabilita škrobu byla analyzována pomocí termogravimetrické analýzy (TGA). Na obrázku 14 lze vidět tři tepelné přechody. První hmotnostní úbytek (7%) nastává mezi 30–140 °C, který odpovídá úbytku vody. Druhý hmotnostní skok závisí na použitém

plastifikátoru, a to, zda byl použit pouze glycerol anebo kombinace glycerolu a kyseliny jablečné. Pro samotný glycerol lze pozorovat teplotní skok při teplotě 277–282 °C a pro kombinaci glycerolu a kyseliny jablečné lze pozorovat teplotní skok při teplotě od 257 do 262 °C, což způsobuje odpaření právě glycerolu. Poslední degradační krok nastává nad 300 °C, který odpovídá intramolekulární dehydrataci, rozpadu škrobu a odstranění některých těkavých produktů jako je oxid uhličitý, nižší aldehydy, methylfurany a ketony [26].



Obrázek 13 – Graf laserové difrakce škrobu z koňského kaštanu [26].



Obrázek 14 – Graf TGA škrobu z koňského kaštanu [26].

1.1.6 Modifikované škroby

U některých využití nejsou nativní škroby dostačující, a proto se různými způsoby upravují. Modifikace se dělí na chemické (např. oxidace), enzymatické (např. výroba glukózy) a fyzikální (např. termická úprava) [27].

Chemicky degradované škroby

Chemická modifikace škrobu je ve většině případů prováděna přidavkem kyseliny sírové, chlorovodíkové nebo chlornanu sodného do 40% škrobové suspenze při teplotě 35–52 °C po dobu 2–10 h. Po reakci je směs zneutralizována pomocí sody nebo hydroxidu a promyta vodou. Škrob je následně oddělen filtrací a usušen [28; 29].

Při této reakci dochází ke snížení polymerizačního stupně z důvodu štěpení amylozy a amylopektinu. Při degradaci se vytváří různorodá směs, která obsahuje jak neporušený, tak škrob rozštěpený až na glukózu [30].

Takto modifikované škroby mají využití v textilním průmyslu při úpravě textilních vláken, ve stavebnictví při výrobě sádrokartonu [31] anebo také v potravinářství jako želírovací přísady [32].

Oxidované škroby

Při oxidaci škrobu dochází k oxidacím alkoholových skupin na různých uhlících. Nejdříve je oxidována alkoholová skupina na 6. uhlíku na karboxylovou skupinu, následně dochází k oxidaci alkoholové skupiny na uhlíku číslo 2 a 3 na ketonové a současně aldehydové skupiny [27]. Oxidace lze rozdělit na selektivní a neselektivní. Častěji se používá neselektivní, která je prováděná v kyselém prostředí pomocí KMnO_4 nebo NaClO [32].

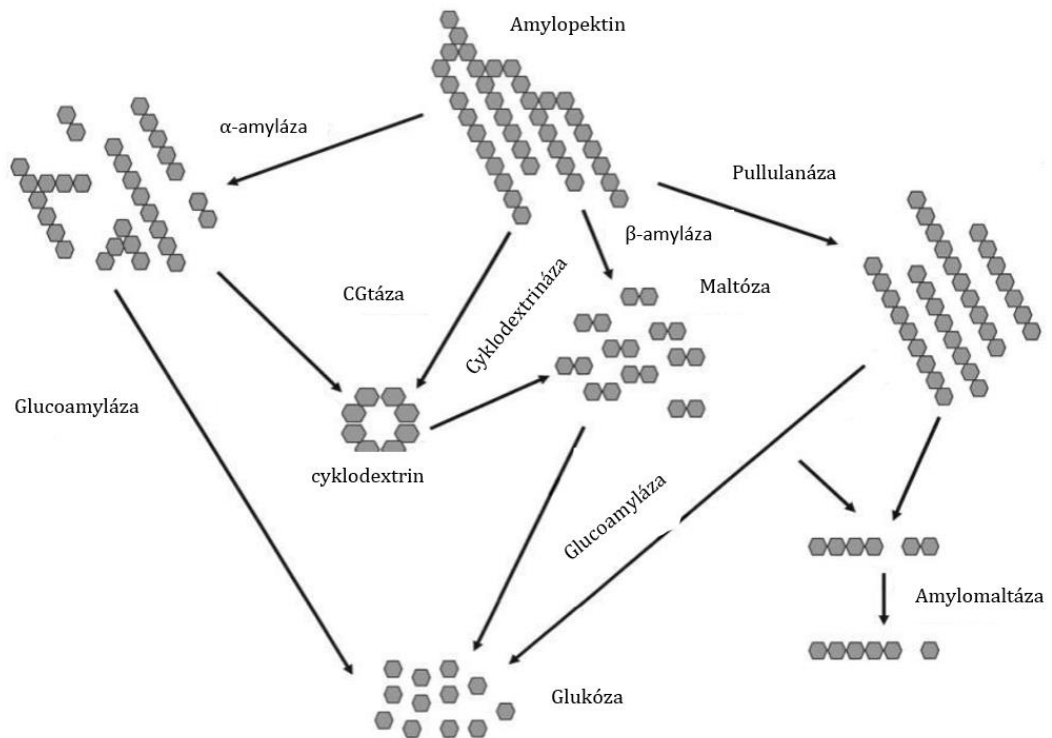
Takto oxidované škroby se nejčastěji využívají v papírenství nebo v potravinářství jako zahušřovadla, stabilizátory a želatiny [29].

Enzymově degradované škroby

Během enzymatické degradace škrobů dochází ke vzniku nižších sacharidů, jako jsou dextriny, maltooligosacharidy až nakonec základní monosacharidy jako maltóza a glukóza. Enzymy, které jsou schopny štěpit škrob, se nazývají amylázy. Přehled enzymatických reakcí je uveden na obrázku 15. Tyto enzymy způsobují hydrolýzu a dělí se na:

- α -amylázy: štěpí pouze α vazbu – (1→4). Výsledný produkt štěpení je maltóza, glukóza a isomaltóza. Vzhledem k tomu, že vznikají základní monosacharidy, dochází k poklesu viskozity roztoku. Tyto enzymy jsou nejčastěji využívány při výrobě piva.
- β -amylázy: stejně jako α -amylázy štěpí vazbu α – (1→4), ale u amylopektinu už neštěpí vazbu α – (1→6), čímž vznikají dextriny.
- Glukoamyláza – štěpí jak vazbu α – (1→4), tak i vazbu α – (1→6).

- Pullulanáza a izomaltóza – tyto enzymy štěpí pouze vazbu $\alpha - (1 \rightarrow 6)$ a tudíž jako výsledný produkt zůstává pouze amyulóza [30]. Tohoto bylo využito při důkazu, že amyulóza není jen lineární, ale obsahuje některé větve, viz 1.1.2 – Amyulóza.



Obrázek 15 – Přehled možných enzymatických reakcí škrobu [33].

Termicky modifikované a extrudované škroby

Při termické modifikaci dochází k zamezení tvorby vodíkových můstků mezi hydroxylovými skupinami pomocí odstranění hydratační vody. Tímto dojde k zvýšení obsahu hydroxylových skupin a zároveň zvýšení rozpustnosti škrobu ve vodě při nižších teplotách [30; 3]. Extrudovaný škrob vzniká kombinací zvýšené teploty a mechanického namáhání. Škrob je nasypan do extrudéru, kde dochází k tření a zahřívání na teplotu 125–180 °C [29]. Tyto škroby jsou uplatňovány hlavně v potravinářství například v termixu, studených pudincích apod. [27; 29].

Substituované škroby

Vzhledem k přítomnosti alkoholových skupin v molekule glukózy, a tudíž i škrobu, je škrob schopen podléhat esterifikaci [29].

Estery škrobu vznikají reakcí hydroxylových skupin škrobu s anorganickými či organickými kyselinami. V průmyslovém měřítku se vyrábí hlavně acetáty (ester kyseliny octové) a fosfáty (ester kyseliny fosforečné) nebo sukcináty škrobu (ester kyseliny jantarové) [32]. Acetáty škrobu se využívají hlavně v potravinářství pro zahuštění jídla. Mimo to lze acetáty škrobu využít pro výrobu biodegradabilních polymerů. Fosfáty škrobu se používají také v potravinářském průmyslu, a to hlavně na vyvázání vody při výrobě zmrzlin a pomazánek anebo jako zahušťovadla [29]. Sukcináty škrobu jsou taktéž využívány jako zahušťovadla a stabilizátory [34].

Jeden z nejznámějších etherů škrobu je hydroxypropylether, který je využíván v potravinářství anebo také pro úpravu bavlněných nití či výrobu lepidel na tiskařský potisk [29].

1.2 Hydrogely

Superabsorpční hydrogely jsou tvořeny trojrozměrnou sítí fyzikálně či chemicky zesíťovaných hydrofilních polymerů se schopností absorbovat velké množství vody. Syntéza hydrogelů může být určitým způsobem přizpůsobena tak, aby vzniklý hydrogel měl specifické vlastnosti, například rychlé nabobtnání, minimální rozpustnost, pórovitost apod. Samozřejmě lze dosáhnout i jiných velmi specifických parametrů, například zvýšení hydrofilnosti matrice a přispět tak k její biodegradabilitě. Už dlouhá léta jsou používány hydrogely na bázi polyakrylamidu, polykyseliny akrylové a dalších polyakrylátů vzhledem k jejich dobrým vlastnostem a velké bobtnací schopnosti. V současné době s ohledem na životní prostředí je mnohem větší snaha využívat přírodní polysacharidy při syntéze hydrogelů, protože takové hydrogely jsou mnohem lépe biologicky rozložitelné. Jedná se například o hydrogely syntetizované ze škrobu, arabská gumy, chitosanu nebo chitinu, které nachází uplatnění v zemědělství, ve zdravotnictví a biotechnologických oborech [35].

1.2.1 Rozdělení hydrogelů

Hydrogely lze dělit podle množství přijaté vody na superabsorbenty a absorbenty. Superabsorpční hydrogel dokáže díky absorpci vody zvýšit svoji hmotnost o více než 95 %. U absorpčního hydrogelu je to minimálně o 20 % [35].

Dále lze hydrogely rozdělit na syntetické a přírodní. Syntetické hydrogely jsou vyrobeny na bázi syntetických chemikálií např. hydrogely na bázi akrylamidu, polyvinyl alkoholu, polyethylen glykolu atd. [35]. V zemědělství se používají syntetické hydrogely na bázi

polyakrylátů a polyakrylamidu. Jejich největší nevýhodou je, že v půdě dochází k jejich velmi pomalé až vůbec žádné biodegradaci a jejich monomerní zbytky jsou řazeny do skupiny potenciálních karcinogenů. Další skupinou jsou hydrogely přírodní, které jsou založené na přírodních materiálech nejčastěji polysacharidech. Nevýhodou těchto hydrogelů je naopak rychlejší biodegradace a tím pádem výrazně nižší setrvání v půdě. Tuto vlastnost lze částečně eliminovat vytvořením hustější polymerní sítě za pomoci síťovacích činidel např. N,N'-metylen-bis-akrylamid (MBA) [36; 37].

Podle způsobu přípravy lze hydrogely rozdělit na homopolymerní, kopolymerní, multipolymerní a hydrogely interpenetrované (IPN). Homopolymery jsou sítě tvořeny z jednoho typu monomeru. Kopolymery jsou tvořeny dvěma typy monomerů, kde alespoň jeden monomer musí mít hydrofilní skupiny, aby došlo k nabobtnání hydrogelu. Multipolymery jsou tvořeny více monomery. IPN hydrogely jsou vytvářeny buď polymerací monomerů v předem vytvořené síti anebo polymerací jednoho monomeru v jiné hydrogelové síti. Monomer pak reaguje buď za vzniku vlastního polymeru nebo za vzniku druhé polymerní sítě, která je propojena se sítí první [35].

Hydrogely mimo jiné mohou nést náboj na páteřních řetězcích. Dají se tedy dělit na neutrální hydrogely, které bobtnají pouze ve vodném prostředí. Hydrogely kationtové, které bobtnají lépe v roztocích s nižším pH, aniontové hydrogely, které bobtnají lépe při vyšším pH a hydrogely amfoterní, které bobtnají nejlépe v oblasti svého izoelektrického bodu [38].

Dále lze hydrogely rozdělit podle strukturních vlastností na amorfní hydrogely s náhodným uspořádáním a hydrogely semikrystalické se samostatně sestaveným uspořádáním makromolekulárních řetězců [39].

1.2.2 Využití hydrogelů

Biomedicína

Jedno z prvních využití hydrogelů v biomedicíně bylo na výrobu kontaktních čoček. Tomuto využití se věnoval český vědec a vynálezce Otto Wichterle. V dnešní době se používají hydrogely typu IPN složených z řetězců poly(N-vinyl-2-pyrrolidynu) zachycených v síti silikonového hydrogelu [35].

Hydrogely je možné využít i jako pomocné látky pro přenos léčiv v těle. Dochází k nabobtnání hydrogelu v roztoku léčiva, tím pádem k roztažení vnitřní polymerní sítě a následně zachycení léčiva v síti postupným vysušením hydrogelu. Poté je hydrogel v těle opět nabobtnán pro uvolnění léčiva. Toho se využívá při cíleném podávání léků, kde se hlavně využívají kopolymery cukrů [35].

Svoje využití hydrogely našli také v tkáňovém inženýrství. Tento obor se v posledních letech velmi vyvíjí, a to hlavně z důvodu schopnosti hydrogelů propojovat buňky pomocí ligandů k sítím polymerních řetězců [35].

Další potenciální aplikace hydrogelů jsou materiály pro výrobu umělých šlach, hojení ran pomocí bioadhesiv, umělé ledvinové membrány, kloubní chrupavky nebo umělá kůže [35].

Potravinářství

V potravinářství se využívají hydrogely na přírodní bázi kvůli své zdravotní nezávadnosti. Pro výrobu se nejčastěji používají modifikované škroby, gummy nebo třeba deriváty celulózy. Tyto látky se označují jako zahušťovadla a gelotvorné látky [30]. Dále bylo zjištěno, že hydrogely jako obalový materiál, mohou zabraňovat vysychání uskladněných sklizených plodů a tím prodlužovat jejich trvanlivost díky kontrolovanému přístupu kyslíku a oxidu uhličitého [39].

Zemědělství

V zemědělství můžeme rozdělit hydrogely do dvou hlavních skupin. První skupina, kde je kladen důraz na absorpci vody a její zadržení v půdě a tím pádem zamezení vysychání. Druhá skupina je zaměřena na zadržení a postupném uvolňování agrochemikálií v půdě, tím pádem zamezení znečištění spodních a povrchových vod či zvýšení efektivity hnojení. Tato skupina byla vytvořena z důvodu neefektivnosti hnojení rostlin, protože až 90 % hnojiv je spláchnuto do povrchových nebo spodních vod [40; 41]. Kvůli tomu dochází k ekonomickým ztrátám, ale také k znečištění životního prostředí. A proto by tento problém mohl být vyřešen používáním hydrogelů s postupným uvolňováním hnojiv, které eliminují znečištění životního prostředí a navíc jsou rostliny schopny uvolněná hnojiva efektivněji využívat [42; 43; 40].

Pro zakomponování hnojiva do hydrogelu bývají využívány tyto dvě metody. První metoda je absorpce vodného roztoku hnojiva suchým hydrogelem do jeho rovnovážného nabobtnání a následné vysušení hydrogelu. A druhá metoda spočívá v tom, že je hydrogel syntetizován rovnou za přítomnosti hnojiva a následně vysušen [42; 43]. První technika má výhodu, že hydrogel je už zesíťovaný a hnojivo nemůže ovlivnit jeho strukturu. Naopak nevýhoda je, že při velkovýrobě, musí dojít ke dvěma procesům sušení, což je velmi nákladná operace. Druhá metoda není tak nákladná při velkovýrobě, ale na druhou stranu při této metodě může dojít k ovlivnění vnitřní sítě hydrogelu a tím pádem k nežádoucím změnám jeho vlastností [43].

2 Experimentální část

2.1 Chemikálie

Akrylamid
Dusík 99,99%
Hydroxid draselný p.a
Hydroxid sodný p.a
Kyselina akrylová 99 %
Kyselina chlorovodíková
Kaštan koňský, Pardubice
Peroxodisíran amonný p.a (PSA)

2.2 Použité přístroje

Skenovací elektronový mikroskop JSM 7500F, JEOL Ltd.
Sušárna UNB 400, Memmert, Německo
Odstředivka, Ohaus
Předvážky Scaltec SPO 51, Scaltec Instruments GmbH, Německo
Magnetická míchačka s ohřevem Heidolph Mr Hei - Standard, Německo
Filtrační aparatura – odsávací baňka a Büchnerova nálevka
Trojhrdlá baňka o objemu 100 ml s kulatým dnem a aparatura pro inertní dusíkovou atmosféru
Laboratorní teploměr
Běžné laboratorní nádoby

2.3 Pracovní postupy

2.3.1 Izolace škrobu z Koňského kaštanu

Postup pro izolaci škrobu z kaštanů a byl inspirován dostupnou odbornou literaturou [44]. Kaštany byly nejdříve zbaveny slupky a následně rozdrceny. Takto vzniklá drť byla namočena v čisté destilované vodě při laboratorní teplotě po dobu 4 h. Poté byl do suspenze přidán led z demineralizované vody a kádinka se suspenzí byla přemístěna na magnetickou míchačku, zakryta hodinovým sklíčkem a míchána při vysokých otáčkách po dobu 1 h. Následně byla suspenze přefiltrována přes síto s velikostí ok 40 μm a promyta destilovanou vodou a přefiltrována přes papírové plátno na Büchnerově nálevce, aby došlo k odstranění hrubých částí. Kaštanový škrob se nacházel ve filtrátu, který byl odstředěn na odstředivce s rychlostí

2000 ot/min po dobu 3 minut. Škrob se nacházel v sedimentu a v roztoku nad ním byly rozpuštěné nečistoty, které byly odstraněny dekantací. Takto získaný škrob byl čištěn destilovanou vodou do té doby, dokud nebyl roztok nad sedimentem škrobu čirý po opakovaném odstředování. Čistý škrob byl převeden na hodinové sklíčko a vysušen při laboratorní teplotě.

2.3.2 Izolace škrobu z mouky kaštanu jedlého

Postup pro izolaci škrobu z mouky byl převzat a modifikován z literatury [44]. Navážka 100 g mouky byla smíchána s 500 ml 0,1M NaOH v kádince, následně byla překryta hodinovým sklíčkem a obsah kádinky byl intenzivně míchán na míchačce po dobu 60 minut při laboratorní teplotě. Suspenze byla po míchání přefiltrována za sníženého tlaku pomocí papírového plátna. Poté byl obsah v kádince zneutralizován pomocí kyseliny chlorovodíkové a ponechán sedimentovat do druhého dne (cca 20 h). Rozpuštěné nečistoty nad sedimentem škrobu byly odstraněny dekantací. Škrob byl propláchnut vodou, převeden do centrifugační zkumavky a odstředěn na odstředivce s rychlostí 2000 ot/min po dobu 3 minut. Takto získaný škrob byl čištěn destilovanou vodou do té doby, dokud nebyl roztok nad sedimentem škrobu čirý po opakovaném odstředování. Vzniklý škrob byl převeden na hodinové sklíčko a vysušen při laboratorní teplotě.

2.3.3 Termogravimetrická analýza

Teplná stabilita škrobů z kaštanu koňského byla zjišťována pomocí simultánní termogravimetrie (TGA) s diferenciálním skenovacím kalorimetrem (TG-DSC, Labsys, Setaram). Suchý vzorek o hmotnosti přibližně 5 mg byl měřen v teplotním rozmezí od 25 °C do 650 °C v korundovém kelímku s rychlostí ohřevu 10 °C/min na vzduchu s průtokem 50 ml/min. Hmotnostní ztráty vzorku byly zaznamenány jako funkce teploty.

2.3.4 Příprava hydrogelů

Postup přípravy hydrogelů byl převzat a modifikován z diplomové práce Jana Hrocha [45]. Do 100ml odměrné baňky bylo odměřeno 10 ml destilované vody a navážen 1,0 g akrylamidu (AAM). Po jeho rozpuštění AAM bylo přidáno 1,9 ml kyseliny akrylové (AA) a poté byla směs zneutralizována pomocí 40% roztoku KOH na hodnotu pH 7, což bylo ověřeno pomocí pH papírků. Zneutralizovaná směs byla přesunuta do vodní lázně, kde byla ohřívána na teplotu 40 °C při současném probublávání dusíkem po dobu 15 minut. Poté do směsi byly přidány 2 g škrobu a přívod dusíku byl povytažen nad hladinu reakční směsi. Po 10 minutách byla teplota zvýšena na 50 °C a za stálého míchání bylo do směsi přidáno 0,5 ml 1% roztoku PSA, který fungoval jako iniciátor polymerace. Reakční směs byla míchána dalších 30–45 minut, dokud nevznikla viskózní hmota a míchadlo se přestalo točit. Baňka s produktem

byla zazátkována a přemístěna do sušárny vyhřáté na 75 °C po dobu 2 hodin. Poté byl produkt dán na okno a nechán volně vyschnout při laboratorní teplotě po dobu 2 dnů. Vzniklý hydrogel byl rozstříhán na malé kousky o velikosti přibližně 2 mm, promyt acetonem a úplně vysušen při laboratorní teplotě přibližně 1 týden.

2.3.5 Stanovení bobtnacího poměru a rozpustnosti hydrogelu v destilované vodě

Stanovení bobtnacího poměru bylo zjištěno pomocí upravené T-bag metody. Nejprve bylo 0,1000 g hydrogelu ponořeno do acetonu po dobu cca 1 hodinu, aby byly odstraněny zbytky reaktantů. Na analytických vahách bylo naváženo 0,0300 g promytého hydrogelu, dále pak byla zaznamenána hmotnost suchého (m_4) a mokrého sáčku (m_2). Navážený hydrogel byl v sáčku ponořen do 100 ml destilované vody v 250ml kádince. Každých 30 minut byla zaznamenávána hmotnost nabobtnalého hydrogelu (m_1) a po 3 hodinách byl sáček s hydrogelem vyndán na zvážené hodinové sklíčko, kde volně vyschnul při laboratorní teplotě po dobu 14 dní (m_3). Pomocí těchto hmotností byl vypočítán bobtnací poměr (BP) dle vztahu:

$$BP = \frac{(m_{vody})}{(m_{sušiny})} = \frac{(m_1 - m_2) - (m_3 - m_4)}{m_3 - m_4}$$

m_1 – hmotnost mokrého sáčku s nabobtnalým hydrogelem

m_2 – hmotnost mokrého sáčku

m_3 – hmotnost suchého sáčku s vysušeným hydrogelem

m_4 – hmotnost suchého sáčku

Rozpustnost, byla měřena z původní navážky a sušiny hydrogelu po bobtnání. Dle vztahu:

$$R = m_1 - (m_2 - m_3)$$

m_1 – hmotnost naváženého hydrogelu

m_2 – hmotnost suchého sáčku s vysušeným hydrogelem

m_3 – hmotnost suchého sáčku

3 Výsledky a diskuze

3.1 Izolace škrobu z kaštanu a kaštanové mouky

3.1.1 Kaštan koňský

Nejprve bylo potřeba optimalizovat formu drcení a loupání kaštanů. Prvně byl kaštan rozdrčen včetně slupky pomocí kladívka. Bohužel z takto nadrceného kaštanu vznikal těsně nad usazeným škrobem šedý zákal (obrázek 16), který musel být odstraněn, protože při oddělování zákalu od sedimentu škrobu byla odstraněna i část izolovaného škrobu, což vedlo ke ztrátám.



Obrázek 16 – Směs škrobu a nečistot v centrifugační nálevce.

Šedá část nad sedimentem škrobu nejspíše pocházela ze slupek kaštanu, proto v dalším postupu byl kaštan nejdříve oloupan. Při loupání bylo zjištěno, že nejlepší je kaštan naříznout a nechat cca 20 minut ve vodě (obrázku 17), protože poté byla slupka měkká a šla velmi dobře odstranit. Následně byl kaštan nařezán pomocí nože na řízky nebo nadrcen pomocí kladívka (obrázek 18). Z takto připravených kaštanů byl izolován škrob dle postupu v podkapitole 2.3.1 (obrázek 19).



Obrázek 18 – Oloupaná část namočeného kaštanu.



Obrázek 17 – A – kaštan nadrcený pomocí kladívka, B – kaštan nakrájen na řízky pomocí nože.

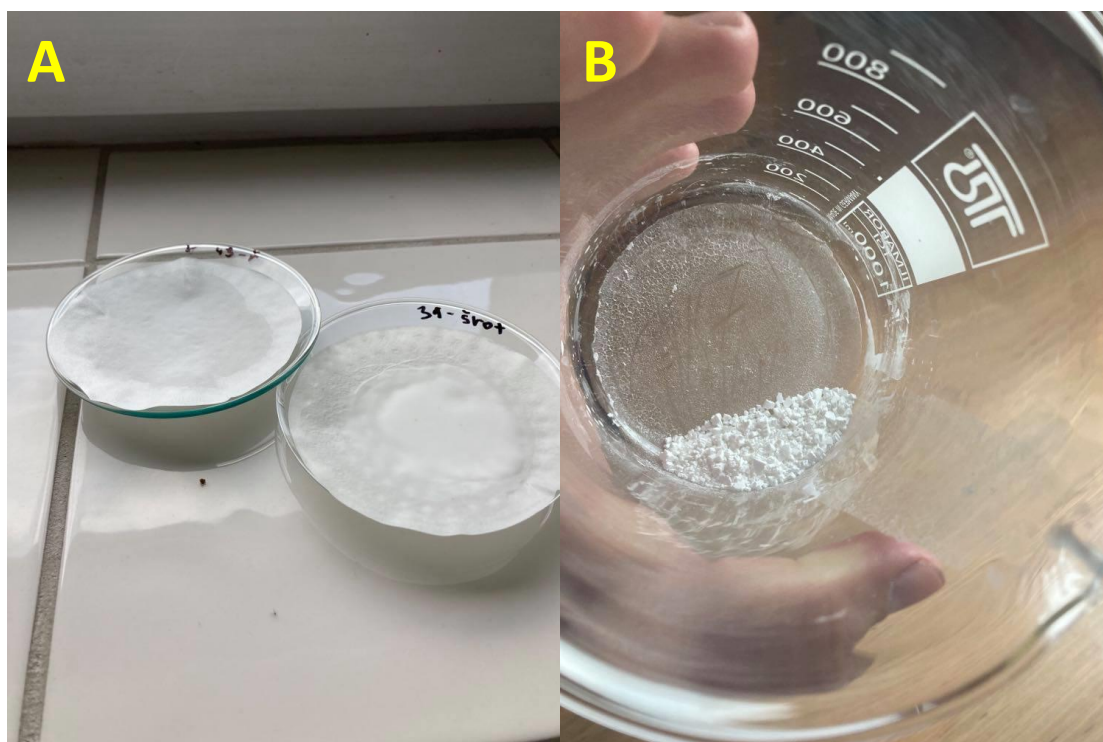


Obrázek 19 – Rozdrcený kaštan ve vodě umístěný na magnetické míchačce.

Dále bylo potřeba oddělit zbytky kaštanů od suspenze škrobu. V dostupné literatuře bylo použito síto s velikostí ok 53 μm [44]. Bohužel takový rozměr síta nebyl k dispozici, tak místo toho bylo použito síto s velikostí ok 40 μm . Nicméně filtrát byl stále znečištěn a síto se ucpávalo, proto bylo použito papírové plátno, které bylo umístěno na Büchnerovu nálevku a filtrováno za sníženého tlaku. Po filtraci bylo vidět, že na dně nádoby dochází k sedimentaci škrobu, viz obrázek 20. Poté bylo potřeba vyčistit škrob od zbývajících nečistot promýváním destilovanou vodou, až do té doby, dokud nebyl roztok nad sedimentem škrobu čirý po opakované centrifugaci. Získaný škrob byl odfiltrován (obrázek 21A) a nechán volně vyschnout za laboratorní teploty (obrázek 21B).



Obrázek 20 – Škrob po filtraci usazený na dně kádinky.



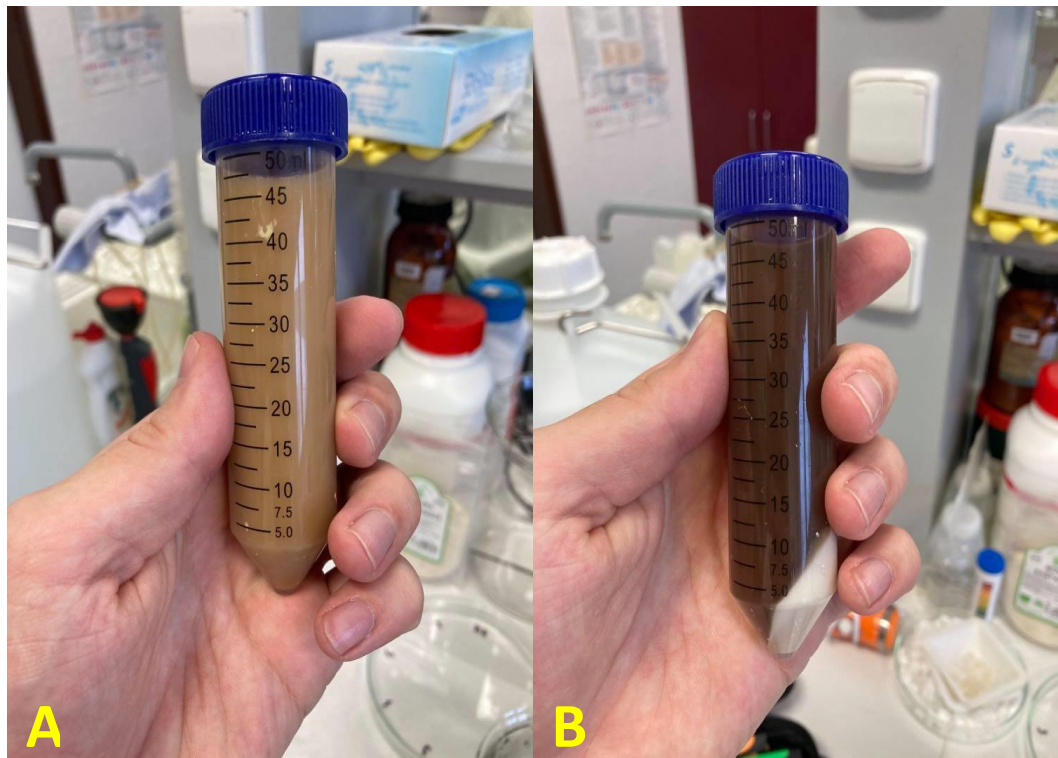
Obrázek 21 – Vysušený izolovaný škrob A – na filtračním papíře a B – v kádince

3.1.2 Mouka jedlého kaštanu

Nejprve byl aplikován stejný postup jako u koňského kaštanu, ale při této metodě nebylo dosaženo uspokojivých výsledků, protože jednotlivé fáze nebylo snadné oddělit a škrob byl silně znečištěn. Proto bylo nutné zvolit jinou metodu, uvedenou v kapitole 2.3.2, kde byl použit hydroxid draselný. Po rozmíchání mouky v roztoku hydroxidu draselného se směs v kádince zbarvila do tmavě hnědé barvy, která byla přefiltrována přes papírové plátno za sníženého tlaku. Po neutralizaci směsi došlo k zakalení, jak lze vidět na obrázku 22. Na obrázku 23 je vidět sedimentovaný škrob po první centrifugaci, který byl několikrát přečištěn destilovanou vodou do té doby, až byl roztok nad sedimentem škrobu čirý. Po vyčištění byl izolovaný škrob převeden na hodinové sklíčko a vysušen při laboratorní teplotě (obrázek 24).



Obrázek 22 – Zneutralizovaná směs izolovaného škrobu a nečistot.



Obrázek 23 – A – směs škrobu a nečistot před odstřed'ováním, B – sedimentovaný škrob s roztokem rozpuštěných nečistot.

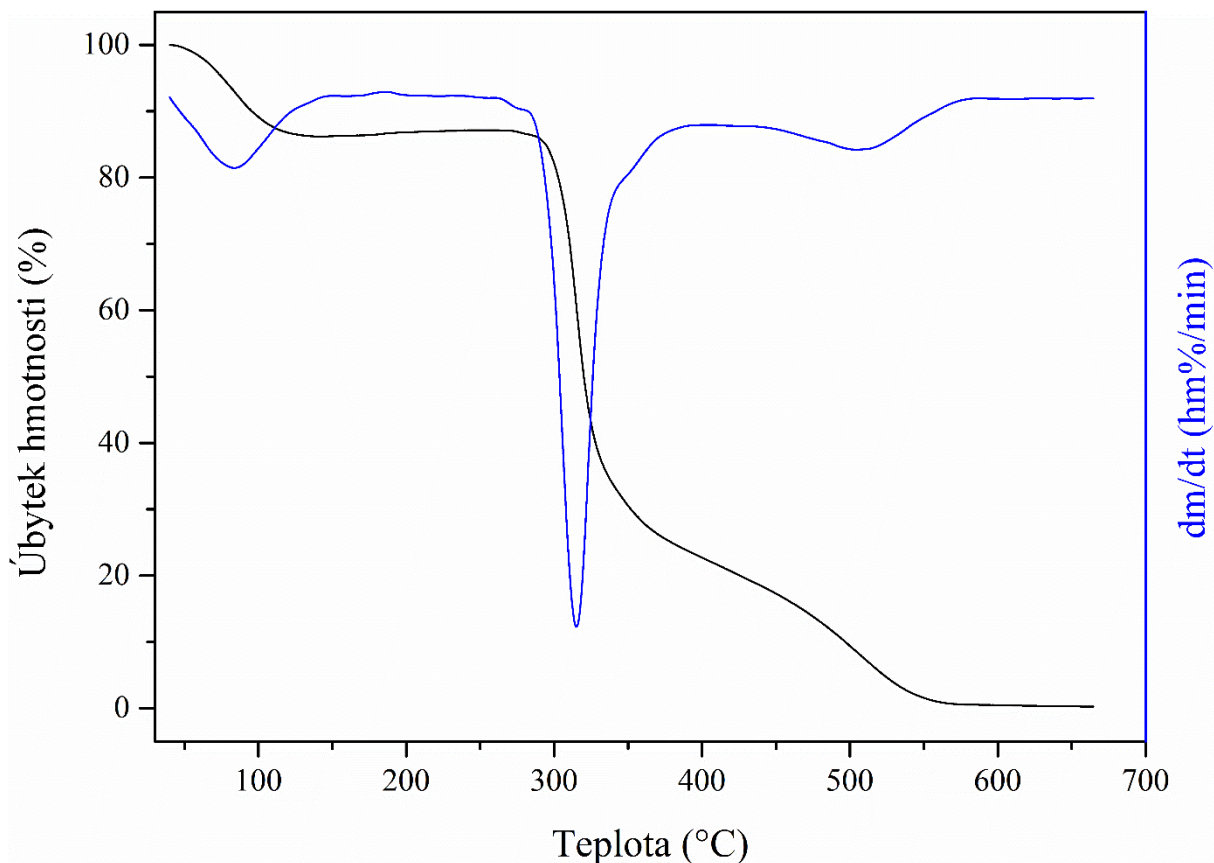


Obrázek 24 – Izolovaný škrob na hodinovém sklíčku.

3.2 Charakterizace izolovaného škrobu

3.2.1 TGA analýza

Na obrázku 25 lze vidět křivky TGA a DTG koňského kaštanu. Na grafu se vyskytují 3 poklesy hmotnosti, první pokles v rozmezí od 41 °C do 116 °C s minimem v 84,3 °C je spojen s odpařením vody a odpovídá úbytku hmotnosti okolo 14 %. Druhý velmi výrazný pokles je v intervalu teplot od 250 °C do 400 °C s minimem při teplotě 314,7 °C a celkovým úbytkem hmotnosti okolo 60 %, který je spojen s rozložením škrobu. Poslední hmotnostní pokles nastává při teplotách od 430 °C do 580 °C končící úplnou ztrátou hmotnosti, a protože tento třetí pokles hmotnosti neprobíhá v inertní atmosféře, tak se pravděpodobně jedná o oxidaci částečně rozloženého škrobu [46; 47].

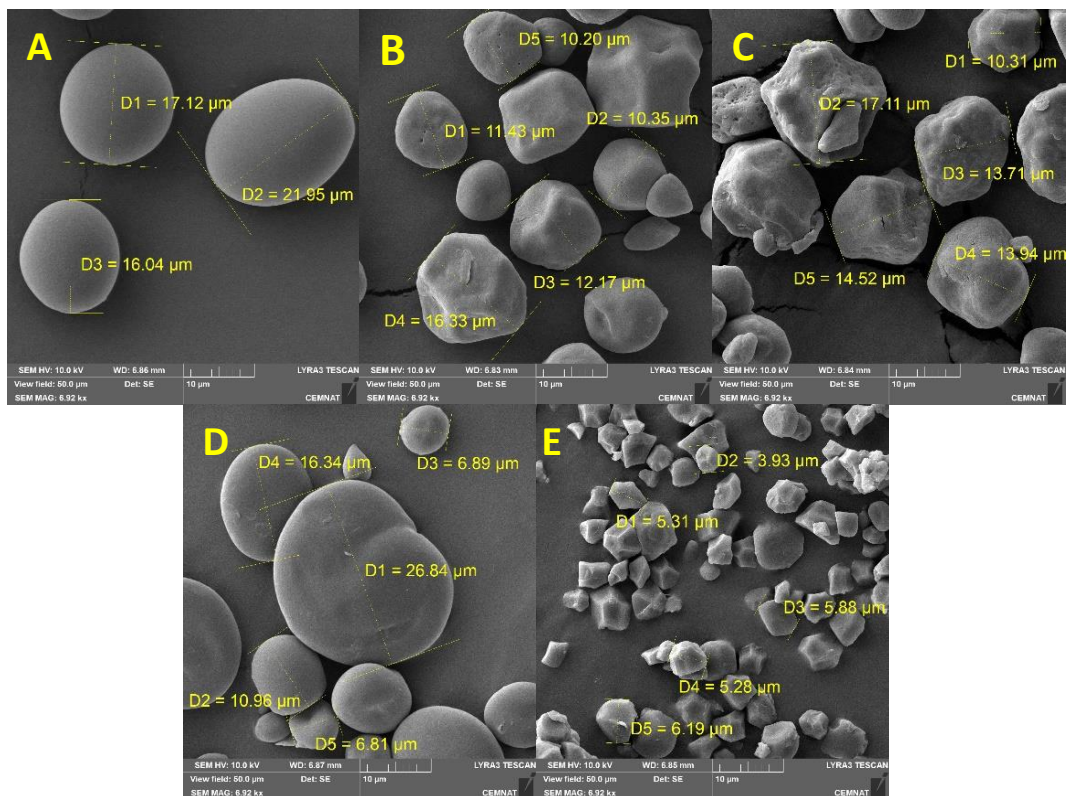


Obrázek 25 – Graf TGA s DTG škrobu kaštanu koňského.

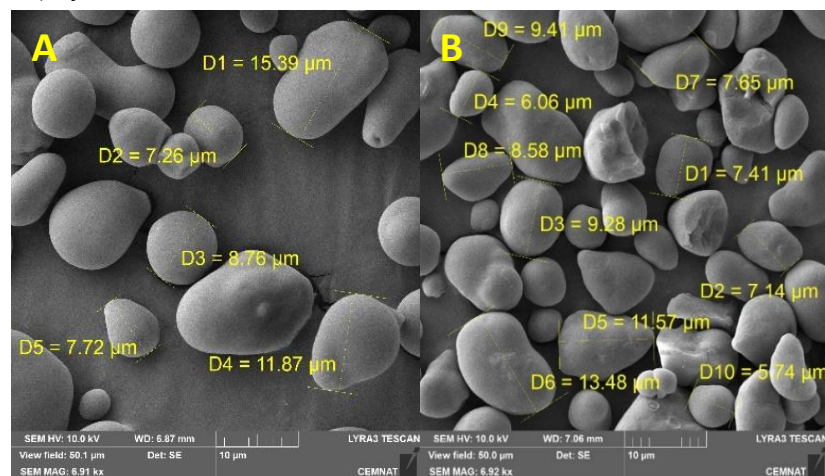
3.2.2 Skenovací elektronová mikroskopie

Na obrázku 26 a 27 je možné porovnat morfolologii škrobových zrn z brambory, kukuřice, voskové kukuřice, rýže a pšenice s kaštanovými škroby. Bramborový škrob má pravidelný oválný až kruhový tvar (obrázek 26A). Velikost zrn se pohybuje nejčastěji od 15 do 30 μm , ale i větší až 60 μm . Povrch zrn je hladký bez eroze. Kukuřičný škrob má nepravidelný tvar s viditelnými hranami s občasnou erozí na povrchu (obrázek 26B). Velikost těchto zrn se pohybuje nejčastěji v rozmezí 9 až 15 μm , ale i větší až 30 μm . Zrna kukuřice voskové mají nepravidelný tvar, jejich povrch je velmi hrubý a na některých zrnech i velmi erodovaný (obrázek 26C). Velikost těchto zrn se nejčastěji pohybuje mezi 10 a 20 μm , ale i větší až 30 μm podobně jako u klasické kukuřice. Zrna z pšenice mají oválný tvar s velmi hladkým povrchem bez eroze (obrázek 26D). Na rozdíl od bramborových zrn, jsou u pšeničných zrn přítomna zrna se záhyby a deformacemi. Velikost zrn se pohybuje od 6 do 10 μm , ale i větší 19–35 μm . Zrna z rýže mají velmi ostré tvary připomínající spíš mnohoúhelníky (Obrázek 26E). Pšeničná zrna jsou velmi malá s velikostí od 3 do 6 μm a největší až 10 μm .

Škrobová zrna z kaštanu koňského a z kaštanové mouky jsou si velmi podobná jak velikostí, tak tvarem, až na deformace, které jsou nejspíše způsobeny mletím kaštanů na jemnou mouku a tím pádem mechanickým poškozením. Tvarem i velikostí je lze přirovnat ke škrobovým zrnům z pšenice (obrázek 26D) s tím rozdílem, že jejich povrch se zdá být hladší a u větších zrn nedochází k deformaci tvaru. Velikost škrobových zrn z koňského kaštanu a kaštanové mouky se pohybuje v rozmezí od 8 do 15 μm ale i největší až 40 μm . Na základě studie Šárky a Bubeníka (2010) lze usoudit, podle tvaru a povrchu škrobu z kaštanu, že se tahle škrobová zrna skládají hlavně ze škrobu typu B2, což odpovídá dlouhým rozvětveným řetězcům řazeným kolmo k ose granule [10].



Obrázek 26 – SEM snímky škrobů, A) brambora, B) kukuřice, C) kukuřice vosková, D) pšenice, E) rýže.



Obrázek 27 – SEM snímek škrobu, A) kaštan koňský, B) kaštan jedlý.

3.3 Syntéza hydrogelů

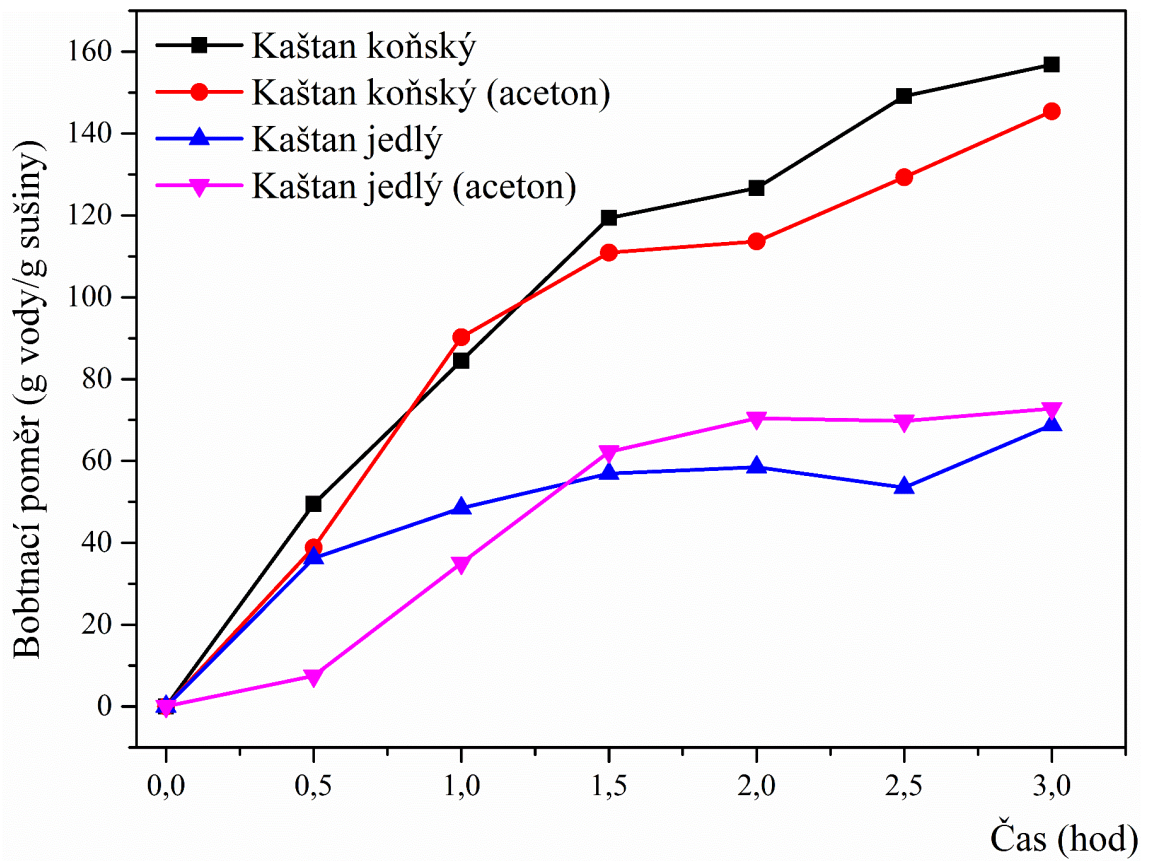
Hydrogely byly vyrobeny podle postupu uvedeném v kapitole 2.3.4. Syntéza hydrogelu za použití škrobu z kaštanu koňského probíhala dle očekávání a viskózní vznikla do 40 minut. Po 2 hodinách v sušárně byl hydrogel tuhý, průhledný s gelovitým charakterem.

3.4 Stanovení bobtnacího poměru a rozpustnosti hydrogelů

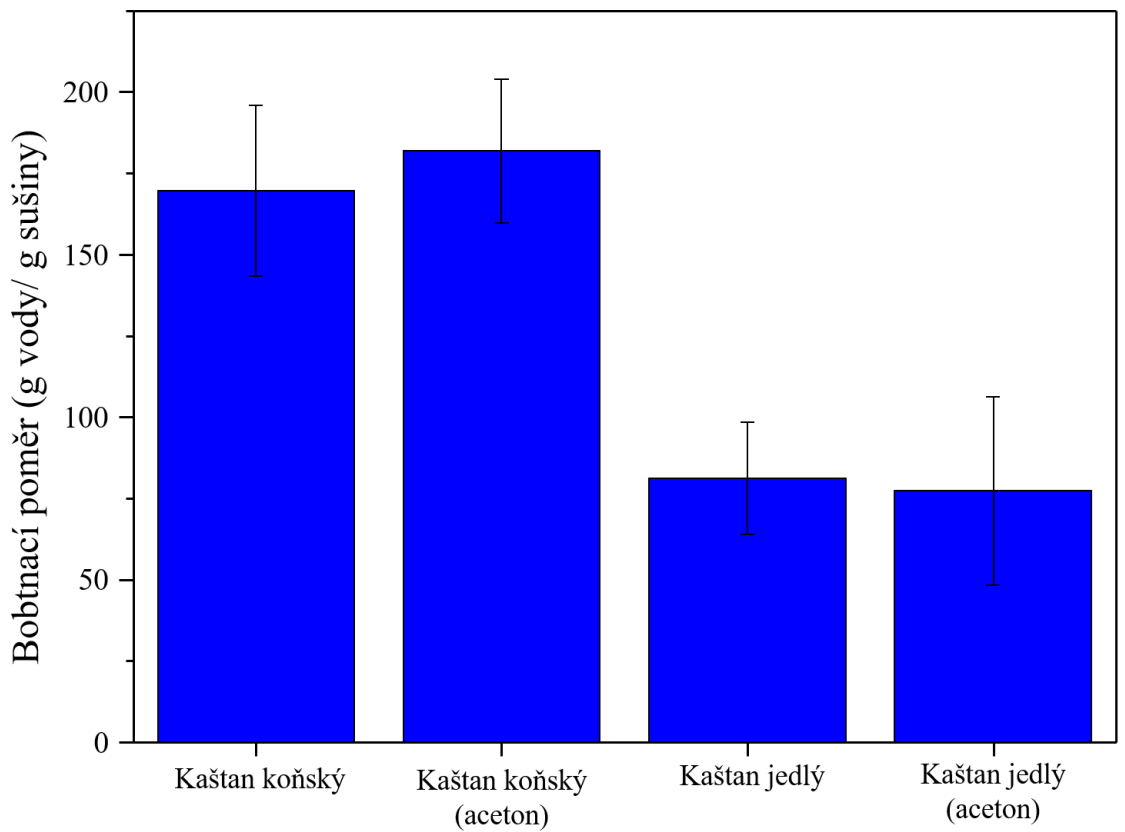
Bobtnavost byla měřena pomocí metody T-bag popsané v kapitole 2.3.5. Na obrázku 27 je uvedena časová závislost BP hydrogelů ve vodě. Hydrogel z kaštanu koňského dokázal pojmout po 3 hodinách bobtnání v průměru 156,88 g vody na gram sušiny. Rychlé nabobtnání probíhalo v první hodině a půl, následně se hodnota další hodinu a půl ustavovala. Nicméně, jak je vidět z grafu (obrázek 28), tak k úplnému nabobtnání nedošlo, a proto byl hydrogel ponechán ve vodě do druhého dne a poté byl stanoven konečný BP. Dále pak byl hydrogel před nabobtnáním ve vodě promyt acetonem, aby došlo k úplnému odstranění reaktantů. Po promytí došlo k mírnému poklesu BP na průměrnou hodnotu 145,41 g vody na g sušiny, což mohla zapříčinit přítomnost rozpuštěných reakčních zbytků v hydrogelu, které měli také schopnost vázat vodu. Po 24 hodinách bobtnání došlo u hydrogelu bez promytí acetonem ke zvýšení BP, na hodnotu 169,62 g vody na gram sušiny a u hydrogelu promytého acetonem na 181,84 g vody na gram sušiny. Toto nabobtnání bylo způsobeno proniknutím vody až do vnitřních struktur hydrogelu.

U hydrogelu z kaštanu jedlého došlo k nabobtnání minimálnímu. Vizuálně skoro žádnému, a to z toho důvodu, že nedošlo k iniciaci polymerizace, a tudíž nedošlo ke vzniku polymerní sítě. Tento hydrogel se ve vodě spíše rozpouštěl a po 3 hodinách dosahoval bobtnavosti pouze 68,80 g vody na gram sušiny a po promytí acetonem 72,28 g vody na gram sušiny. Po 24 hodinách byla jeho bobtnavost 81,20 g vody na g sušiny a po promytí acetonem 77,26 g vody na gram sušiny. Po vysušení bylo zjištěno, že více jak 70 % původní navážky bylo rozpuštěno. Bohužel vlivem pandemie COVID-19 již nebyl čas na syntézu dalšího hydrogelu, a tudíž ani na ověření, zda hydrogel s dobrými vlastnostmi, lze vyrobit i z kaštanu jedlého.

Rozpustnost hydrogelů je uvedena v tabulce 4. Hmotnost hydrogelu syntetizovaného se škrobem z kaštanu koňského byla snížena o 28 % a po promytí hydrogelu acetonem až o 40 %. Hmotnost u hydrogelu syntetizovaného se škrobem z kaštanu jedlého byla vlivem nedokonalé polymerizace snížena až o 56 % a po promytí acetonem o 62 %. Z výsledků vyplývá, že promytí acetonem ovlivňuje následnou rozpustnost hydrogelu ve vodě.



Obrázek 28 – Graf bobtnavosti hydrogelů po 3 hodinách.



Obrázek 29 – Graf bobtnavosti hydrogelů po 24 hodinách.

Tabulka 4 – Rozpustnost hydrogelů ve vodě.

| Hydrogel ze škrobu: | Kaštan koňský | Kaštan koňský (aceton) | Kaštan jedlý | Kaštan jedlý (aceton) |
|-----------------------------------------|----------------------|-------------------------------|---------------------|------------------------------|
| Rozpustnost (mg hydrogelu/ 100 ml vody) | 8,67 | 14,13 | 16,93 | 21,03 |
| Úbytek hmotnosti (%) | 28 | 40 | 56 | 62 |

4 Závěr

Cílem této práce bylo optimalizovat izolaci škrobu z kaštanu koňského a mouky kaštanu jedlého. Charakterizovat izolovaný škrob pomocí skenovacího elektronového mikroskopu či termogravimetrické analýzy a porovnat s jinými škroby. Dále pak využít tento izolovaný škrob pro syntézu hydrogelu na bázi roubovaného kopolymeru kyseliny akrylové a akrylamidu, stanovit jeho bobtnací vlastnosti a rozpustnost ve vodě.

Teoretická část je zaměřena na popis fyzikálních a chemických vlastností škrobu a metod izolace z různých přírodních zdrojů. Dále jsou uvedeny rozdíly morfologie škrobu kaštanu jedlého a koňského, který se dá využít pro syntézu hydrogelu s agrochemickým potenciálem. Experimentální část se zabývá optimalizací izolace škrobu přímo z plodů kaštanu koňského nebo alkalické extrakce škrobu z mouky kaštanu jedlého pomocí hydroxidu sodného. Izolovaný škrob byl charakterizován pomocí termogravimetrické analýzy a skenovacího elektronového mikroskopu. SEM snímky izolovaných kaštanových škrobů byly porovnány se SEM snímky škrobů z kukuřice, voskové kukuřice, brambory, pšenice a rýže. Z kaštanových škrobů byly syntetizovány hydrogely, u kterých byl stanoven bobtnací poměr a rozpustnost ve vodě.

Izolace škrobu z kaštanové mouky byla náročnější vzhledem k přípravě roztoku hydroxidu sodného a oddělování menších částí od samotného škrobu pomocí filtrace.

Termogravimetrická analýza vykazovala první pokles hmotnosti v intervalu od 41 °C do 117 °C s minimem v 84,3 °C, což odpovídá odpaření vody. Druhý velmi výrazný pokles byl zaznamenán při teplotách od 250 °C do 400 °C s minimem při teplotě 314,7 °C odpovídající rozložení škrobu. A poslední třetí pokles proběhl v rozmezí od 430 °C do 580 °C, který byl způsoben oxidací částečně rozloženého škrobu.

Na SEM obrázcích je vidět, že škrob z koňského i jedlého kaštanu je velmi podobný škrobu z pšenice. Jeho povrch je hladký s nízkým počtem erodovaných míst. U škrobu z kaštanu jedlého se vyskytovalo pár porušených zrn, což bylo pravděpodobně způsobeno mechanickým poškozením během mletí kaštanů na mouku. Velikost zrn kaštanového škrobu se pohybovala od 8 do 15 μm.

Hydrogel syntetizovaný se škrobem z kaštanu koňského byl průhledný, gumovitý s lehce lepivými okraji a bylo snadné ho dále zpracovat. Hydrogel z kaštanu jedlého byl také průhledný, ale bohužel po dvou dnech zbělal, což bylo pravděpodobně způsobeno iniciátorem PSA, který byl již moc starý, a tím pádem neproběhla správná iniciace a výsledný polymer neměl dobré vlastnosti. Bohužel vlivem pandemie COVID-19, nebyla možnost tento hydrogel vyrobit znovu.

Hydrogel připravený ze škrobu z koňského kaštanu byl schopen po třech hodinách v průměru zadržet 156,88 g vody na 1 g sušiny a po 24 hodinách až 169,62 g vody na 1 g sušiny. U škrobu z kaštanu jedlého byla bobtnavost pouze 68,80 g vody na 1 g sušiny a po 24 hodinách jen 81,20 g vody na 1 g sušiny. Během bobtnání hydrogelu se škrobem z kaštanu koňského ve vodě se rozpustilo až 28 % původní navážky a při promytí acetonem až 40 % původní navážky. U hydrogelu se škrobem z kaštanu jedlého byla vlivem nedokonalé polymerizace rozpustnost větší, kdy bylo rozpuštěno až 56 % původní navážky a 62 % po promytí acetonem. Dle výsledků má promytí acetonem vliv na následnou rozpustnost ve vodě. U škrobu z kaštanu koňského se tedy dá uvažovat o jeho možném využití v budoucnu v oblasti výroby hydrogelů například pro agrochemické využití.

5 Seznam použité literatury

- [1] KORECKÁ, Lucie, Šárka ŠTĚPÁNKOVÁ a Alexander ČEGAN. *Obecná biochemie: pro speciální chemicko-biologické obory*. Vyd. 1. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2012. ISBN 978-80-7395-470-3.
- [2] HOZA, Ignác. *Potravinářská biochemie I*. Vyd. 2. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2011. ISBN 978-80-7318-936-5.
- [3] ČEPIČKA, Jaroslav. *Obecná potravinářská technologie*. Vyd. 1. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 1995. ISBN 80-708-0239-1.
- [4] ZOEBELEIN, Hans. *Dictionary of Renewable Resources*. 2. Wiley-VCH, 2001. ISBN 9783527301140.
- [5] LIU, Chang, Shujun WANG, Xuedong CHANG a Shuo WANG. Structural and functional properties of starches from Chinese chestnuts. *Food Hydrocolloids*. 43. 2015, s. 568-576. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.07.014>
- [6] MOREIRA, R., F. CHENLO, M. TORRES a J. GLAZER. Rheological properties of gelatinized chestnut starch dispersions: Effect of concentration and temperature. *Journal of Food Engineering*. 112. 2012, s. 94-99. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.03.021>
- [7] PREISS, Jack. Biochemistry and Molecular Biology of Starch Biosynthesis. *Starch: Chemistry and Technology*. 3. 2009, s. 83-148. ISBN 978-0-12-746275-2. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-746275-2.00004-5>
- [8] VELÍŠEK, Jan a Jana HAJŠLOVÁ. *Chemie potravin*. Rozš. a přeprac. 3. vyd. Tábor: OSSIS, 2009. ISBN 978-80-86659-17-6.
- [9] TREGUBOV, Nikolaj. *Technológia škrobu a výrobkov zo škrobu*. 1. Bratislava / Praha: Alfa / SNTL, 1986.
- [10] ŠÁRKA, Evžen a Zdeněk BUBNÍK. MORFOLOGIE, CHEMICKÁ STRUKTURA, VLASTNOSTI A MOŽNOST VYUŽITÍ PŠENIČNÉHO B-ŠKROBU. *Chemické Listy*. 2010, **104**, 318-325.

- [11] PERÉZ, Serge, Paul BALDWIN a Daniel GALLANT. Structural Features of Starch Granules I. *Starch: Chemistry and Technology*. 3. 2009, s. 149-192. ISBN 978-0-12-746275-2.
- [12] ŠŇUPÁREK, Jaromír. *Makromolekulární chemie. Úvod do chemie a technologie polymerů*. 3. Univerzita Pardubice, 2014. ISBN 978-80-7395-761-2.
- [13] KADLEC, Pavel. *Technologie sacharidů*. 1. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2000. ISBN 80-708-0400-9.
- [14] KALIČIAKOVÁ, Lucie. *Možnosti získávání škrobu a jeho využití*. Ostrava, 2009. Bakalářská práce. VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA.
- [15] INGR, Ivo. *Zpracování zemědělských produktů*. 2. nezměn. vyd. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2001. ISBN 80-715-7520-8.
- [16] DUDÁŠ, František. *Skladování a zpracování rostlinných výrobků*. Praha: SZN, 1981. Rostlinná výroba (Státní zemědělské nakladatelství). <http://www.digitalniknihovna.cz/mzk/uuid/uuid:444b2d50-42a6-11e5-a525-5ef3fc9ae867>.
- [17] BILIADERIS, Costas G. Structural Transitions and Related Physical Properties of Starch. *Starch: Chemistry and Technology*. 3. 2009, s. 293-372. ISBN 978-0-12-746275-2.
- [18] NARPINDER, Singh. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. SINGH, Narpinder. *Food Chemistry*. 81. Indie: Guru Nanak Dev University, 2003, s. 219-231. Dostupné z: doi:[https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00416-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00416-8)
- [19] COPELAND, Les. Form and functionality of starch. *Food Hydrocolloids*. 6. 2009, s. 1527-1534. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.09.016>
- [20] SCHWARTZ, Deborah a Roy WHISTLER. History and Future of Starch. *Starch: Chemistry and Technology*. 3. 2009, s. 1-10. ISBN 978-0-12-746275-2.
- [21] SACCHETTI, G., G. PINNAVAIA, E. GUIDOLIN a M. ROSA. Effects of extrusion temperature and feed composition on the functional, physical and sensory properties of chestnut and rice flour-based snack-like products. *Food Research International*. 5. 2004, s. 527-534. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2003.11.009>

- [22] DEMIATE, Ivo, Marília OETTERER a Gilvan WOSIACKI. Characterization of Chestnut (*Castanea sativa*, Mill) Starch for Industrial Utilization. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 44. 2001, s. 69-78. Dostupné z: doi:<http://dx.doi.org/10.1590/S1516-89132001000100010>
- [23] BULEÓN, Alain, Hervé BIZOT, Marie DELANGE a Bruno PONTOIRE. Comparison of X-ray diffraction patterns and sorption properties of the hydrolyzed starches of potato, wrinkled and smooth pea, broad bean and wheat. *Carbohydrate Polymers*. 6. 1987, s. 461-482. Dostupné z: doi:[https://doi.org/10.1016/0144-8617\(87\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0144-8617(87)90013-0)
- [24] LAN, Wang, Zhihua YIN, Zhang YUN, Xie BIJUN a Sun ZHIDA. Morphological, Physicochemical and Textural Properties of Starch Separated from Chinese Water Chestnut. *Starch – Stärke*. 60. 2008, s. 181-191. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1002/star.200700645>
- [25] SASAKI, Tomoko a Junko MATSUKI. Effect of Wheat Starch Structure on Swelling Power. *Cereal Chemistry*. 75. 1998, s. 525-529. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1094/CCHEM.1998.75.4.525>
- [26] CASTAÑO, Johanna. Horse chestnut (*Aesculus hippocastanum* L.) starch: Basic physico-chemical characteristics and use as thermoplastic material. *Carbohydrate Polymers*. 112. 2014, s. 677-685. Dostupné z: doi:[10.1016/j.carbpol.2014.06.046](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.06.046)
- [27] KADLEC, Pavel, Karel MELZOCH a Michal VOLDŘICH. *Přehled tradičních potravinářských výrob: technologie potravin*. Ostrava: Key Publishing, 2012. Monografie (Key Publishing). ISBN 978-80-7418-145-0.
- [28] HOLLINGSWORTH, Rawle I. The Chemical Degradation of Starch: Old Reactions and New Frontiers. *Biotechnology Annual Review*. 2. 1996, s. 281-291. Dostupné z: doi:[https://sci-hub.st/https://doi.org/10.1016/S1387-2656\(08\)70014-0](https://sci-hub.st/https://doi.org/10.1016/S1387-2656(08)70014-0)
- [29] KADLEC, Pavel, Karel MELZOCH a Michal VOLDŘICH. *Co byste měli vědět o výrobě potravin?: technologie potravin*. Ostrava: Key Publishing, 2009. Monografie (Key Publishing). ISBN 978-80-7418-051-4.
- [30] KODET, Josef. *Plnicí, zahušťovací, gelotvorné a stabilizační látky pro potraviny: (Potravinářské hydrokoloidy)*. Praha: Středisko potravinářských informací, 1993. ISBN 80-851-2032-1.

- [31] NĚMEČEK, Lukáš. *Modifikované škroby jako perspektivní hydrogely pro agrochemické využití*. Pardubice, 2012. Diplomová práce. Univerzita Pardubice.
- [32] DRDÁK, M. *Základy potravinářských technologií: spracovanie rastlinných a živočišných surovín cereálne a fermentačné technológie uchovávanie, hygiena a ekológia potravín*. Bratislava: Malé centrum, 1996. ISBN 80-967-0641-1.
- [33] ELIASSON, Charlotte-Ann. *Starch in Food: Structure, Function and Applications*. 1. Elsevier, 2004. ISBN 1-85573-909-7.
- [34] AČKAR, Durdica. Starch Modification by Organic Acids and Their Derivatives. *Molecules*. 20. 2015, s. 19554-19570. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.3390/molecules201019554>
- [35] PEPPAS, Nicholas a Allan HOFFMAN. 1.3.2E – Hydrogels. *Biomaterials Science*. 4. 2020, s. 153-166. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816137-1.00014-3>
- [36] CAI, Wensheng a B. GUPTA. Hydrogels. *Kirk -Othmer Encyclopedia of chemical technology*. 2012. Dostupné z: doi:[doi:10.1002/0471238961.0825041807211620.a01.pub2](https://doi.org/10.1002/0471238961.0825041807211620.a01.pub2)
- [37] AHMED, Enas M. Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review. *Journal of Advanced Research*. 6. 2015, s. 105-121. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.jare.2013.07.006>
- [38] OTTENBRITE, Raphael M. *Biomedical Applications of Hydrogels Handbook*. 1. New York, NY: Springer New York, 2010. ISBN 978-1-4419-5919-.
- [39] ISMAIL, Hanafi, Maryam IRANI a Zulkifli AHMAD. Starch-Based Hydrogels: Present Status and Applications. *International Journal of Polymeric Materials*. 62. 2013, s. 411-420. Dostupné z: doi:[doi:10.1080/00914037.2012.719141](https://doi.org/10.1080/00914037.2012.719141)
- [40] BAJPAI, A. a Anjali GIRI. . Swelling dynamics of a macromolecular hydrophilic network and evaluation of its potential for controlled release of agrochemicals. *Reactive and Functional Polymers*. 53. 2002, s. 125-141. Dostupné z: doi:[https://doi.org/10.1016/S1381-5148\(02\)00168-2](https://doi.org/10.1016/S1381-5148(02)00168-2)
- [41] GUO, Mingyu, Mingzhu LIU, Zheng HU, Falu ZHAN a Lan WU. Preparation and properties of a slow release NP compound fertilizer with superabsorbent and

- moisture preservation. *Journal of Applied Polymer Science*. 96. 2005, s. 2132-2138.
Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1002/app.21140>
- [42] LIU, Mingzhu, Rui LIANG a Zhen LIU. Synthesis of a slow-release and superabsorbent nitrogen fertilizer and its properties. *Polymers for Advanced Technologies*. 17. 2006, s. 430-438. Dostupné z: doi:10.1002/pat.720
- [43] SARAYDIN, Dursun, Erdener KARADAĞ a Olgun GÜVEN. Relationship between the swelling process and the releases of water soluble agrochemicals from radiation crosslinked acrylamide/itaconic acid polymers. *Polymer Bulletin*. 45. 2000, s. 287-294. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1007/s002890070033>
- [44] CORREIA, Paula a Maria BEIRÃO-DA-COSTA. Chestnut and acorn starch properties affected by isolation methods. *Starch/Stärke*. 62. 2010, s. 421-428. Dostupné z: doi:10.1002/star.201000003
- [45] HROCH, Jan. *Syntéza a charakterizace hydrogelu na bázi roubovaného kopolymeru škrobu, kyseliny akrylové a akrylamidu*. Pardubice, 2018. Diplomová práce. Univerzita Pardubice.
- [46] AGGARWAL, P., D. DOLLIMORE a K. HEON. Comparative thermal analysis study of two biopolymers, starch and cellulose. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 50. 1997, s. 7-17.
- [47] ALMEIDA, F. A., E. C. BOTELHO, F. C. L. MELO, T. M. B. CAMPOS a G. P. THIM. Influence of cassava starch content and sintering temperature on the alumina consolidation technique. *Journal of the European Ceramic Society*. 29. 2009, s. 1587-1594.
- [48] ODSTRČIL, Jaroslav. *Biochemie*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 1995. Učební text (Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví). ISBN 80-701-3190-X.

Seznam obrázků

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Obrázek 1 – Nákres tvaru granule pro škrob typu A a B [10]. | 11 |
| Obrázek 2 – Nákres vzorce amylyózy [12]. | 12 |
| Obrázek 3 – Nákres větvení amylopektinu s α -D-1 \rightarrow 6 glykosidickou vazbou [12]. | 13 |
| Obrázek 4 – Popis rozvětvení amylopektinu (a) Znázornění řetězců A, B, C. (b) Znázornění vedlejších řetězců, bodů větvení a vnitřních řetězců. [11] | 13 |
| Obrázek 5 – Podrobné schéma výroby bramborového škrobu z brambory [13]. | 14 |
| Obrázek 6 – Podrobné schéma výroby škrobu z pšenice. [14] | 15 |
| Obrázek 7 – Podrobné schéma výroby škrobu z kukuřice [14]. | 16 |
| Obrázek 8 – Typický bobtnací graf z TMA s korespondující křivkou z DSC [17]. | 17 |
| Obrázek 9 – Snímek SEM granulí škrobu a) kaštanu b) kukuřice c) manioku [22]. | 19 |
| Obrázek 10 – SEM snímek škrobových zrn koňského kaštanu [26]. | 20 |
| Obrázek 11 – Distribuce velikosti částic ve škrobu koňského kaštanu [26]. | 20 |
| Obrázek 12 – Profil zastoupení stupňů polymerizace amylopektinu ve škrobu z koňského kaštanu pomocí analýzy HPAEC-PAD [26]. | 21 |
| Obrázek 13 – Graf laserové difrakce škrobu z koňského kaštanu [26]. | 22 |
| Obrázek 14 – Graf TGA s DTG u škrobu z koňského kaštanu [26]. | 22 |
| Obrázek 15 – Přehled možných enzymatických reakcí škrobu [33]. | 24 |
| Obrázek 16 – Směs škrobu a nečistot v centrifugační nálevce. | 31 |
| Obrázek 17 – Oloupaná část namočeného kaštanu. | 32 |
| Obrázek 18 – A – kaštan nadrcený pomocí kladívka. B – kaštan nakrájen na řízky pomocí nože. | 32 |
| Obrázek 19 – Rozdrcený kaštan ve vodě umístěný na magnetické míchačce. | 33 |
| Obrázek 20 – Škrob po filtraci usazený na dně kádinky. | 33 |
| Obrázek 21 – Vysušený izolovaný škrob A – na filtračním papíře a B – v kádince. | 34 |
| Obrázek 22 – Zneutralizovaná směs izolovaného škrobu a nečistot. | 35 |
| Obrázek 23 – A – směs škrobu a nečistot před odstředováním, B – sedimentovaný škrob s roztokem rozpuštěných nečistot. | 35 |
| Obrázek 24 – Izolovaný škrob na hodinovém sklíčku. | 36 |
| Obrázek 25 – Graf TGA s DTG škrobu kaštanu koňského. | 37 |
| Obrázek 26 – SEM snímky škrobů, A) brambora, B) kukuřice, C) kukuřice vosková, D) pšenice, E) rýže. | 38 |
| Obrázek 27 – SEM snímek škrobu, A) kaštan koňský, B) kaštan jedlý. | 38 |
| Obrázek 28 – Graf bobtnavosti hydrogelů po 3 hodinách. | 40 |
| Obrázek 29 – Graf bobtnavosti hydrogelů po 24 hodinách. | 40 |

Seznam tabulek

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabulka 1 – Obsah amylozy a škrobu ve vybraných plodinách [8]. | 11 |
| Tabulka 2 – Teploty mazování pro různé druhy škrobů stanovené metodou DSC [18]. | 18 |
| Tabulka 3 – Obsah látek v mouce z vybraných plodin [22]. | 19 |
| Tabulka 4 – Rozpustnost hydrogelu ve vodě. | 41 |