



Tärkliste füüsikalised-keemilised omadused

Magistritöö

Üliõpilane: Elena Shestakova, 204300
Juhendaja: Katrin Laos, kaasprofessor
Õppekava: Toidutehnoloogia ja –arendus

Tallinn 2024

Autorideklaratsioon

Kinnitan, et olen koostanud antud lõputöö iseseisvalt ning seda ei ole kellegi teise poolt varem kaitsmisele esitatud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on töös viidatud.

Autor: Elena Shestakova
allkiri ja kuupäev:

Töö vastab magistritööle esitatavatele nõuetele.
Juhendaja: Katrin Laos
allkiri ja kuupäev:

Töö on lubatud kaitsmisele.
Kaitsmiskomisjoni esimees: emeriitprofessor Toomas Paalme
allkiri ja kuupäev:

Lühendite loetelu

BK – biolagunevad kiled

RS – resistant starch – resistentne tärklis

SNP – starch nano particles – tärklise nanoosakesed

SPNKT – suhkrupalmi nanokristalliline tselluloos

WAI – water absorption index – veeimavuse indeks

WSI – water solubility index – vees lahustuvuse index

Sisukord

Autorideklaratsioon	2
Lühendite loetelu	3
Sissejuhatus.....	6
1 KIRJANDUSE ÜLEVAADE	7
1.1 Tähtsuse ja selle allikad	7
1.2 Tähtsuse tootmine kaunviljadest	9
1.2.1 Märghafratsioneerimise meetodid	9
1.2.2 Kuivhafratsioneerimise meetodid	10
1.2.3 hübriidmeetodid	11
1.3. Mittetraditsiooniliste tähtsuste kasutusvõimalused.....	13
1.3.1 Alternatiivtähtsuste kasutus.....	13
1.4. Tähtsuse omadused	15
1.4.1 Veeimavus	15
1.4.2 Geelistumine	16
1.4.3 Paisumisjõud ja lahustuvus	17
1.4.4 Kleepuvus ja reoloogiline käitumine	19
2. Eksperimentaalne osa	21
2.1. Materjalid ja meetodid.....	21
2.1.1 Materjalid	21
2.1.2. Meetodid.....	21
2.2. Tulemused ja arutelu.....	23
2.2.1. Tähtsuste kuivaine sisaldused	23
2.2.2. Tähtsuste vee lahustuvuse indeks (WSI) ja vee absorptsiooni indeks (WAI)	24
2.2.3. Mikroskoopia.....	25
2.2.4. Geeli värvus	31
2.2.5. Geelitugevus.....	33
6. Sünerees	34
2.2.7. Reoloogia.....	35
Kokkuvõte.....	39
Tänuavaldused	40
Kasutatud kirjandus.....	41
Annotatsioon.....	44

Abstract	45
Lihtlitsents	46

Sissejuhatus

Kaunviljad, nagu herned ja oad, on paljulubavad tärgliseallikad, mida saab kasutada toiduainetööstuses ja mittetoidutööstuses. Kaunviljade tärglise omaduste uurimine võimaldab mitmekesistada tooraineallikaid ja vähendada sõltuvust traditsioonilistest allikatest nagu kartul ja mais.

Kaunviljadest pärit tärglisel võivad olla ainulaadsed füüsikalise-keemilised omadused ning nende omaduste uurimine aitab mõista, kuidas täpselt saab kaunviljadest tärglist kasutada eriomadustega toodete loomiseks.

Kohaliku tooraine kasutamine lihtsustab kvaliteedikontrolli ja toodete jälgitavust, mis on oluline ohutus- ja kvaliteedistandardite säilitamiseks. Kohalikud toorained vähendavad vajadust pika transpordi järele, mis vähendab süsinikdioksiidi heitkoguseid ja muid negatiivseid keskkonnamõjusid. Kohalikud taimed ja muud tooraineallikad on kohandatud piirkonna spetsiifilistele kliima- ja mullatingimustele, mis võivad tagada stabiilse ja prognoositava tooraine tootmise.

Seetõttu on kaunviljade tärglise uurimine oluline teaduslike teadmiste edendamiseks, uute toodete ja tehnoloogiate arendamiseks ning valmistatud toodete keskkonnasäästlikkuse ja funktsionaalsuse parandamiseks.

Töö eesmärgiks on uurida kohalikust toorainest, põldoast ja kollasest hernest, kuivfraksioneerimise teel toodetud tärglise füüsikalise-keemilise omadusi ning võrrelda saadud tulemusi maisi- ja kartulitärglistega.

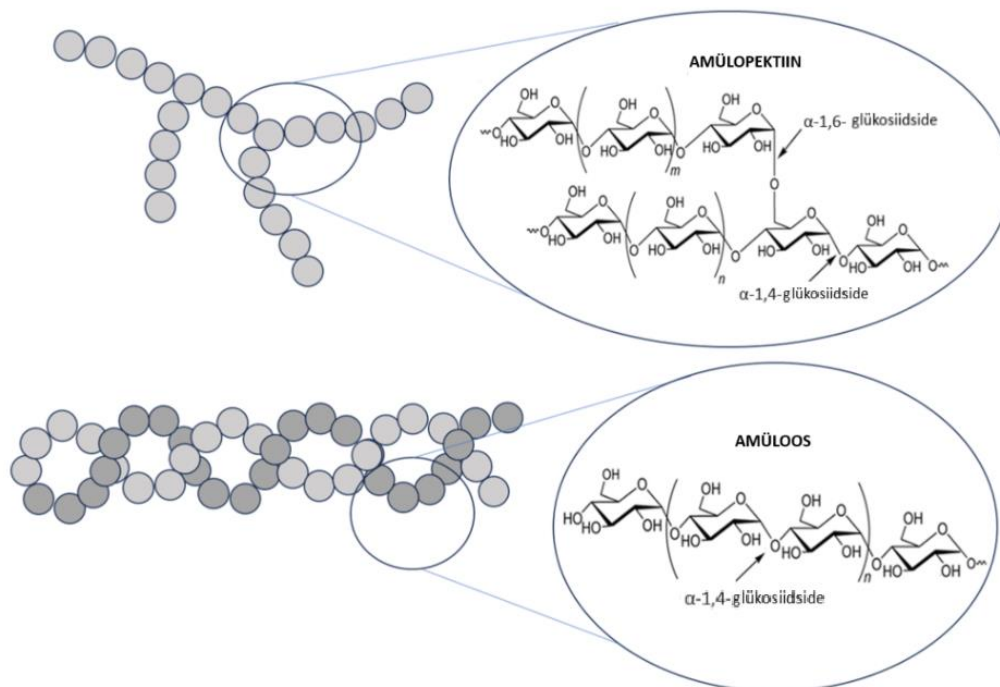
1 KIRJANDUSE ÜLEVAADE

1.1 Tärklis ja selle allikad

Tärklis on kõrge puhtusastmega polüsahhariid, mis koosneb hargnemata ahelaga glükoosipolümeerist amüloosist ja hargneva ahelaga glükoosijääkidest koosnevast amülopektiinist (joonis 1). Lineaarses ahelas on glükoosijäägid omavahel seotud α -1,4-glükosiidsidemega. Amülopektiini hargnemine toimub ~30 glükoosijäägi tagant α -1,6-glükosiidsideme abil [1].

Tärklis tekib taimedes fotosünteesi (glükoos – tärklis) tulemusena, moodustades tärkliseterasid. Tärklist leidub suurtes kogustes teravilja seemnetes, viljades, juurviljade mugulates, taimede vartes jne. See on inimese jaoks üks peamisi energiaallikaid (umbes 300 kcal/100 g) ja satub inimtoitu toidutoodete osana (leib, sai, teraviljad, kondiitritooted) koos bioloogiliselt aktiivsete ainetega. [1]

Taimede rakustruktuurides asuv ja varuainena ladestuv tärklis näeb välja nagu väikesed kerakesed – terad. Need tekivad osades taimedes süsivesikute järkjärgulise ladestumise tulemusena reservainena edasiseks arenguks ja antud taime uue põlvkonna tekkeks – energiaallikas idanemiseks [2].



Joonis 1. Amüloosi ja amülopektiini struktuur tärklises [2]

Tärklis on pikka aega kasutatud toiduvalmistamisel, kondiitritööstuses ja muudel eesmärkidel. Praegu toodetakse tärklisest erinevate omadustega tärklisetooteid. Neid kasutatakse toiduainetööstuses suhkruasendajate, emulgaatorite, paksendajate, struktuuri stabilisaatorite ja toodete kalorisisaldust vähendavate täiteainetena. Maiustuste tootmisel on vajalik tooraine tärklisesiirup, millel on kristalliseerumisevastane toime [3].

Tärklis saadakse taimede säilitusorganitest, kuhu see ladestub varusüsivesikuna. Välimuselt on see valge või kergelt kollaka värvusega vabalt voolav pulber. Kui vaadata kõige levinuma tärklise

energiaväärtust, siis 100 g kohta energeetiline väärtus (kJ) kartulil – 1251 kJ, maisil – 1376 kJ. Tärklis on hästi seeditav ja organismis kergesti omastatav aine. Olles taimede peamine varusüsivesik, leidub tärklis suurtes kogustes peaaegu kõigis seemnetes, aga ka mugulates, risoomides ja muudes taimeosades. Inimkond on aga kohanenud tärklise tööstuslikuks tootmiseks kasutama peamiselt kartulimugulaid, maisiterasid, nisu, riisi ja rukist [3].

Kõrge energeetilise väärtusega tärklis ja mõned selle töötlemisel saadavad süsivesikud on energiakontsentratsioonid, mille tõttu kasutavad inimesed neid aktiivselt toiduks (pärast kulinaarset töötlemist), aga ka erinevate toiduainete tootmiseks [4].

Tärklis toodetakse Euroopas peamiselt kartulist. Mõnedes peamiselt lõuna- ja idamaades saadakse seda ka maniokki mugulatest (tapiokitärklis), sorgo teradest jne. USA-s toodetakse tärklis peamiselt maisist. Tööstusrevolutsiooni ajal Euroopas kasutati tärklis tehnilistel eesmärkidel, eelkõige puuvillase kanga valmistamisel (kanga viimistlus). Hiljem kasutati kartulit ka tärklise tootmise toorainena [4].

Maisil kui toorainel on kartuli ees suured eelised. See on hästi transporditav ja selle säilivusaeg on oluliselt pikem kui kartulil kuna maisi teradel on väiksem veesisaldus. Tänu sellele töötavad maisitöötlemistehased aastaringselt, kartulitöötlemistehased aga suhteliselt lühikest hooaega. Töötlemisel kasutatakse maisi rohkem ära ja kuivainekadu on oluliselt väiksem (umbes 1%) kui kartulil (17-22% vees lahustuvatest kuivainetest). Kuiva kartulitärklise tarbimisväärtus on aga paljudel juhtudel suurem kui maisitärklisel [3].

Tärklisesisaldust mõjutavad lisaks sordile mugulate suurus, küpsus ja muud tegurid. Keskmise suurusega mugulad (50 - 100 g) on tärkliserikkamad kui suured ja väikesed. Valmimata mugulad sisaldavad vähem tärklis. Tärklisesisalduse kõikumine sortide lõikes on vahemikus 8–30%. Lisaks sordile mõjutavad tärklisesisaldust ka kasvatus- ja korjamistehnoloogiad [4].

Peaaegu igas põllukultuuris, mida inimesed põllumajanduses kasutavad, võib leida tärklis:

- Teravili: teraviljad nagu nisu, riis, kaer ja mais sisaldavad märkimisväärses koguses tärklis. Nisus leidub tärklis endospermis, mida kasutatakse jahu valmistamiseks
- Kartul: kartul on üks tuntumaid tärkliseallikaid. Kartulis leidub tärklis mugulates
- Juurviljad: Paljud juurviljad, nagu porgand ja bataat
- Kaunviljad: Mõned kaunviljad, sealhulgas herned ja oad
- Banaanid: Küpsed banaanid sisaldavad tärklis, mis küpsedes muutub suhkruks
- Tapiokk: Tapiokk on tärklis, mida saadakse maniokki juurtest [3]

Praegu on tärkliseturg pigem tööstusele kui tarbijale orienteeritud. Tärklis ja kõiki selle modifikatsioone kasutatakse peamiselt toorainena suure hulga lõpptoodete tootmiseks, tagades nende kõrge kvaliteedi [3].

Tärklise peamised tarbijad on: liha-piimatööstus (keeduvorstide, vorstitoodete, jäätise, majoneesi jne tootmine), konservitööstus (tarretis jm), kondiitritööstus (kommimassid, toidulisand), paberitööstus (teatud liiki paber, papp jne), meditsiinitööstus, samuti tärklis jaekaubandusest ostvad elanikud [3].

Tärklis on hinnaelastse nõudlusega toode, st selle müügi maht peaaegu ei sõltu hinnatasemest. Paljudes tööstusharudes on tärklis raske asendada ja kui on olemas asendajaid, on need palju kallimad (agar, agaroid, kemikaalid), mistõttu enamik tarbijaid ostavad tärklis ka siis, kui hinnad tõusevad [3].

1.2 Tärklise tootmine kaunviljadest

Kaunviljatärklis on saadaval hernevalgu- või oavalgutööstuse kõrvalsaadusena ja vastupidi. Herne eraldamine kõrge puhtusastmega tärkliseks ja valguks on keeruline. See on põhjustatud valgumaatriksist, mis on tihedalt kinnitunud tärklisega ja on omakorda veel ümbritsetud rakuseina komponentidega. Kaks tööstuses levinud fraktsioneerimismeetodit on märgfraktsioneerimine ja kuivfraktsioneerimise meetod. Hübridimeetodit kasutatakse harvadel juhtudel [5].

1.2.1 Märgfraktsioneerimise meetodid

Märgmeetodil leotatakse kooritud seemneid deioniseeritud vees või mõnes muus ekstraheerivas aines ja märgjahvatatakse (joonis 2). Saadud suspensioonis olev valk ekstraheeritakse ja kontsentreeritakse erinevate meetoditega, nagu happega ekstraheerimine, aluseline ekstraheerimine, isoelektriline sadestamine, soola ekstraheerimine, veega ekstraheerimine või ultrafiltreerimine. Järelejäänud tärklis puhastatakse täiendava pesemise teel, et eemaldada lahustuv valk, ja filtreeritakse läbi sõela (75–100 µm), et eraldada kõik kiujäägid [6].

Järgmisena mass tsentrifuugitakse tärklise eraldamiseks ja tärklis kuivatatakse. Märgmeetodil eraldatud tärklis on kõrge puhtusastmega ja sisaldab 0,04–0,3% valku ja 0,01–0,20% tuhka. Märgjahvatamise meetodid on kulukad, töö- ja ajamahukad ning põhjustavad suures koguses reovett ja kemikaale, mis mõjutavad keskkonda negatiivselt [6].



Joonis 2. Märgfraktsioneerimine [6]

On uuritud mitmeid ekstraheerivaid aineid, mis hõlbustavad tärklisegraanulite vabanemist valgumaatriksist ja parandavad seeläbi eraldatud tärklise puhtust ja saagist. NaOH (0,2–0,5%) on üks kõige sagedamini kasutatavaid ekstraheerimisaineid, mis annab isoleeritud madala valgusisaldusega tärklise. Siiski andis see madalama saagise ja madala kleepumisstabiilsusega tärklise kui tärklisel, mis eraldati muude vahenditega, nagu piimhape (0,5–0,7 massiprotsenti), metabisulfit (0,2 massiprotsenti)

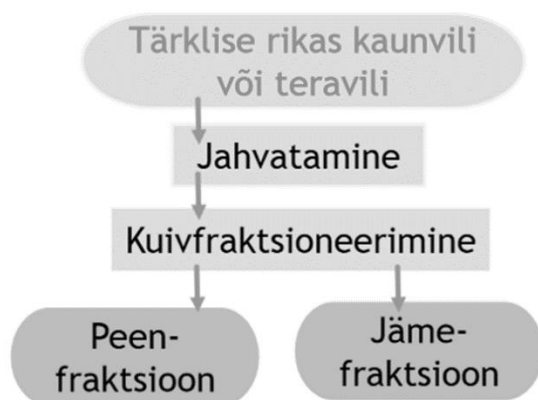
ning piimhappe ja metabisulfiti segu. Piimhappe kasutamine suurendas isoleeritud tärklise puhtust kuni 4 massiprotsendini ja vähendas jääkvalgu protsenti 6 massiprotsendi võrra. Naatriummetabisulfiti kasutamine aitab vältida pruunistumist ja valguvõrgustiku nõrgenemist [6].

Hernejahu komponentide fraktsioneerimiseks on kasutatud biolahusteid nagu etüüllaktaat ja d-limoneen. Nende biolahustite eelised hõlmavad seda, et pärast fraktsioneerimist ainet ei ole vaja neutraliseerida ega liigselt pesta, on olemas GRAS (üldtunnustatud kui ohutu) olek ja taaskasutatavus [8].

Ühes uuringus kasutati hernejahu tärklise fraktsioneerimiseks ja ekstraheerimiseks kahte orgaanilist hapet (5% piimhapet ja 5% äädikhapet, w/v) ja kahte biolahustit (5% etüüllaktaati ja 10% d-limoneeni, w/v) ja hinnati ekstraheerivate ainete mõju isoleeritud tärklise füüsikalise-keemilistele ja toiteomadustele. Täheldati olulisi erinevusi valgu jääksisalduses, tärklise kahjustuses ja kliisterdumise viskoossuses, mis oli põhjustatud kasutatud ekstraheerimisaine erinevusest. 5% etüüllaktaati kasutades oli isoleeritud tärklise kõrgeim valgujääk 1,1%. 5% äädikhappega ekstraheeritud tärklis andis madalaima kliisterdumise viskoossuse. Uuringus leiti, et hernetärklise ekstraheerimiseks on kõige sobivam lahusti d-limoneen (5%). Selle tulemuseks oli isoleeritud tärklise madalaim valgujääk, lahustijääk ja kõrgeim kliisterdumisviskoossus [9].

1.2.2 Kuivfraktsioneerimise meetodid

Kuivfraktsioneerimine hõlmab kooritud kaunvilja jahvatamist kaunviljajahu saamiseks (joonis 3). Seda saab saavutada tihvtveski, haamerveski, kiviveski, ketasveski, rullveski või reaktiivveski abil. Tihvtide freesimist kasutatakse kõige sagedamini, kuna see tagab optimaalseima osakeste suuruse. Jahvatamise tulemusena vabanevad tärklisegraanulid osaliselt idulehtedes valgu/kiudaine maatriksist. Õhuklassifikatsioonisüsteem fraktsioneerib jahvatamisel saadud jahu tärklise- ja valgurikasteks fraktsioonideks, lähtudes jahuosakeste tiheduse, osakeste suuruse ja geomeetria erinevustest. Tärkliserikka fraktsiooni osakesed on tihedamad ja jämedamad, samas kui valgurikka fraktsiooni osakesed on kergemad ja peenemad [10].



Joonis 3. Kuivfraktsioneerimine veski- ja õhkseparaatoriga [6]

Võrreldes märgfraktsioneerimise meetoditega saadakse õhuklassifikatsiooniga madalama puhtusastmega tärklise- ja valgufraktsioone. Valgurikka fraktsioonis on 49,3–75,1% valku ja 0,4–4,6%

tärklist ning tärkliserikkas fraktsioonis on tärklist 71–85,9% ja valku 4–10,4%. Lisaks on teatatud, et kuivmeetodi tulemuseks on suurem tärklisekahjustus. Erinevad kuivjahvatamise meetodid põhjustasid tärklisekahjustusi hernejahus 1,0–12,4%, märgmeetodil aga alla 0,1%. Kuna aga kuivmeetod nõuab väiksemaid töökulusid ja vähem vett, kasutatakse seda laiemalt sellistes riikides nagu Kanada [10].

Õhuklassifitseerimise teel saadud tärklise ja valgufraktsioonide eraldamise tõhususe ja puhtuse parandamiseks on tehtud ka uuringuid. Tärklise- ja valgurikastel fraktsioonidel, mis saadi jahvatamise ja täisseemnete õhuga klassifitseerimise teel, oli vastuvõetav funktsionaalsus võrreldes kroovitud seemnetest saadud analoogidega. Selle uuringu eesmärk oli kõrvaldada kroovimise täiendav etapp. Separeerimise efektiivsuse ja tärklise puhtuse parandamiseks on uuritud korduvat jahvatamist ja õhuga klassifitseerimist. Saadud tärklise puhtus ei vastanud aga märgfraktsioneerimisel saadud omaga [10].

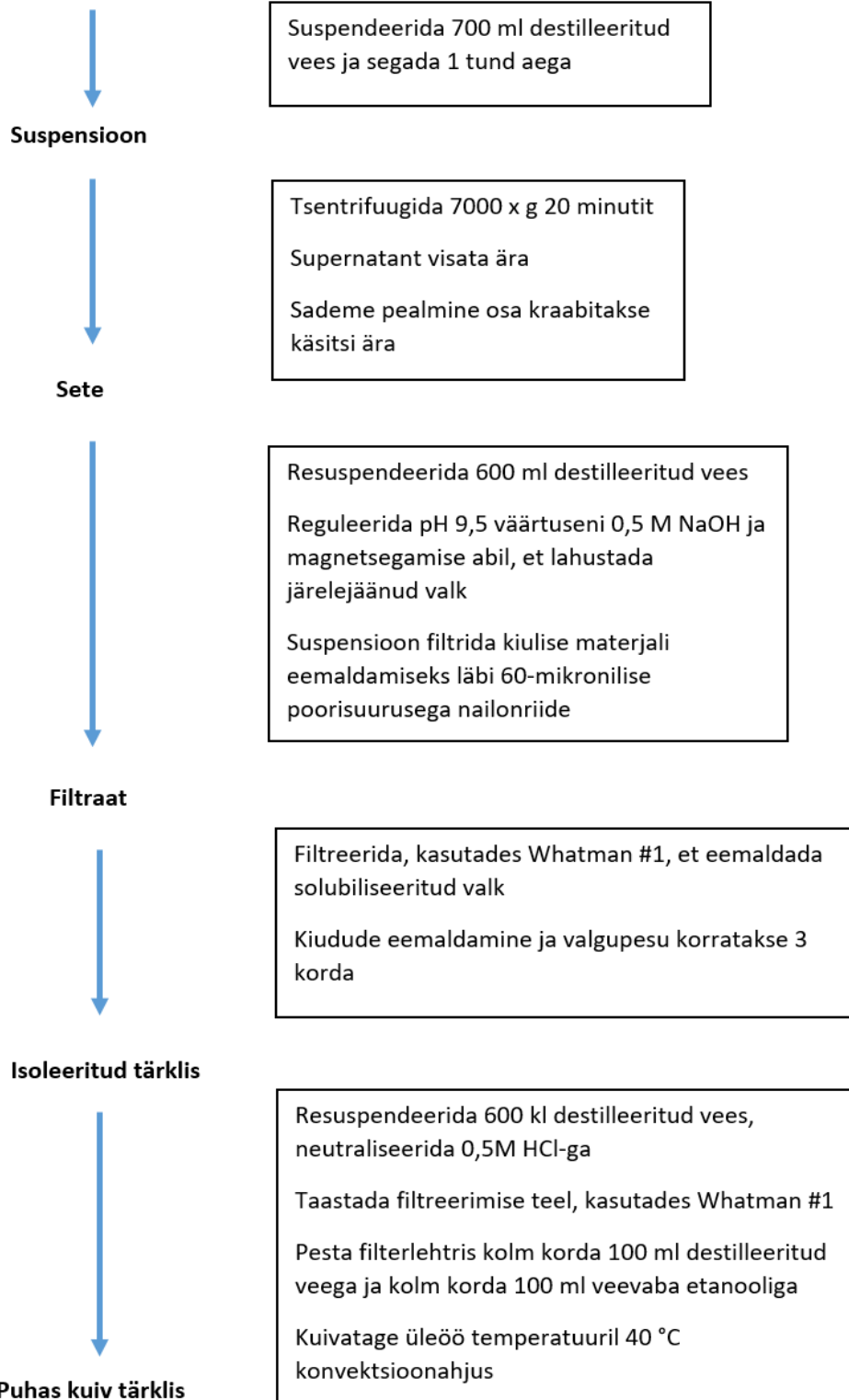
Tärklise kuivfraktsioneerimine on täpsem ja minimaalselt invasiivne protsess tärklise eraldamiseks erinevate omadustega fraktsioonideks ilma vedeliku kasutamisetä. Hernetärklise kuivfraktsioneerimise üldine protsess:

1. Jahvatamine: Esiteks purustatakse hernerad peente osakeste saamiseks.
2. Eraldamine: Pärast jahvatamist eraldatakse hernetärklise osakesed. Seda on võimalik saavutada erineva suuruse ja omadustega osakeste eraldamiseks sõelte ja separaatorite abil.
3. Sorteerimine omaduste järgi: Lisaks suuruse järgi eraldamisele saab hernetärklise fraktsioone sorteerida ka keemiliste omaduste järgi. Seda on võimalik saavutada kasutades selliseid meetodeid nagu kromatograafia või spektroskoopia.
4. Kuivatamine: Pärast eraldamist tärklis kuivatatakse niiskuse eemaldamiseks ja kuivfraktsioonide saamiseks.
5. Analüüs: Saadud fraktsioone saab analüüsida, et hinnata nende keemilist koostist ja funktsionaalseid omadusi [10].

1.2.3 Hübriidmeetodid

Hübriidmeetodites on etapid nii kuivfraktsioneerimisest kui ka märgfraktsioneerimisest. Kuivjahvatamisel saadud kaunviljajahu või õhuga klassifitseerimisel saadud tärkliserikkast fraktsiooni saab täiendavalt puhastada, kasutades vett või muid märgfraktsioneerimisel kasutatavaid ekstraheerimisvahendeid. Viidi läbi uuringud hernetärklise eraldamiseks õhus klassifitseeritud hernejahust, kasutades märgfraktsioneerimist (joonis 4). Eraldatud tärklis sisaldas 94,8% tärklist, 0,2% jääkvalku ja 1,1% kahjustatud tärklist. Eraldatud tärklise amüloosisisaldus ja amülopektiini haruahela pikkuse jaotus olid sarnased kaubanduslike hernetärklise omadega [9].

300g Tärkliserikkas jahu



Joonis 4. Tärklise eraldamine tärkliserikkast hernejahust, mis on saadud õhu klassifitseerimise teel [9]

1.3. Mittetraditsiooniliste tärkliste kasutusvõimalused

Üldiselt võib tärklis kasutada lisandina, tarretusainena, paksendajana, rasvaasendajana ja emulgaatorina toitudes, imikutoitudes ja kontrollitud vabanemisega süsteemides ning maitsetugevdajana ja katteainena paljudes tööstuslikes toiduainetes, söötades ja ravimites, et parandada nende funktsionaalseid ja sensoorseid omadusi. Toiduainetööstuses kasutatakse tärklis peamiselt küpsetusjahu ja pagaritoodete (nt koogid, leib, nuudlid) omaduste parandamiseks nende suure tarbimise tõttu. Nende koostiste mõttes on tärklis üks komponentidest, mis vastutab laia tehnoloogilise funktsionaalsuse eest. Eeldatavasti kasvab nõudlus taimse toidu järele uutes kategooriates, nt suupisted [11].

Uute tärklisetoorainete väljatöötamist saab kasutada tarbijate jaoks vajalike tervislike toitude väljatöötamiseks, suurendades seeläbi lisandväärtuse kasutamist. Nad valivad üha enam mägiseid, mis aitavad teha valikuid keskkonna ja inimeste tervise kohta. Niinimetatud puhta mägistusega tärklised on suhteliselt uus rühm, mida toidus ei ole E-indeksiga tähistatud (neid ei ole keemiliselt modifitseeritud). Nende eeliseks on see, et nad on keskkonnasõbralikud, kuna ei tooda keemilisi kõrvalsaadusi. Uutest allikatest pärit tärklised võivad asendada keemiliselt modifitseeritud tärklisi, kuna nende omadused on sarnased kaubanduslikult modifitseeritud tärklisega [11].

1.3.1 Alternatiivtärklise kasutus

Resistentne tärklis (RS) (ei ole inimese seedeensüümidele juurdepääsetav) avaldab kasulikku mõju tervisele; see mõjutab positiivselt seedetrakti ja selle käärimine käärsooles põhjustab lühikese ahelaga rasvhapete moodustumist ja pH alandamist. See suurendab veelgi väljaheite kogust, kaitseb käärsoolevähi eest, parandab vere kolesteroolitaset, aitab diabeedi korral kontrollida glükoositaluvust ja vähendab vere lipiidide taset. Eurooplaste praegune RS/kiudainete tarbimine on aga ebapiisav. Seetõttu sobib seda toidule lisada. Hersed, oad, suvikõrvits ja kõrvitsatärklis on RS-i allikad preparaatides, millel on soovitud kiudainelaadsed eelised, nagu madalam seeduvus [12].

Mõned uuringud otsivad lahendusi tärklise kasutamiseks jäätmetest, nt annatto, avokaado, hanemaltsa ja jaka seemnetest. Lisaks juurtest, mugulatest, seemnetest ja jäätmetest pärineva tärklise kasutamisele võib mittekonventsionaalse tärklise muutmine pakkuda võimalusi nõutavate tehniliste omaduste laiendamiseks. Erinevatest allikatest pärit oktenüül-suktsiiniga modifitseeritud tärklisi on laialdaselt kasutatud toidu koostisosade kapseldamiseks emulsioonide moodustamise teel. Lisaks saab emulsioonide valmistamiseks kasutada nonenüül-suktsiinkinoaga modifitseeritud tärklis [11].

Viimastel aastatel on kõrge amüloosisisaldusega tärklise tähtsus kasvanud tänu selle funktsionaalsuste laienemisele võrreldes loodusliku tärklisega. Need funktsioonid hõlmavad toitumist, toiduainete töötlemist, meditsiini ja tööstuslikku kasutamist [11].

Silmapaistev tärkliste rühm hõlmab väikeste graanulitega tärklisi. Külmutatud magustoidus ja majoneesis sobivad rasvaasendajaks lehmaliile (*Saponaria vaccaria*) tärklis (0,3–1,5 µm), riisitärklis (2–8 µm) ja amaranditärklis. Samamoodi on vanillikastme puhul kasutatud tammetõrutärklis, kuna väikeste osakeste tärklised võivad moodustada ühtlase kreemja rasvajäljendava tekstuuri [11].

Nisu B-tärklis, mille osakeste fraktsioon on alla 8–10 μm , on kasutatud alkoholi, dekstriini ja sööda tootmisel, segus bentoniidiga valukodades, hüdrolüsaatides ja energiakasutuses biogaasiseadmetes. Seda on testitud ka biolagunevates plastides kasutamiseks. Väikeste graanulitega tärklise eeliseks on nende kõrge eripind [12].

Nanomaterjalidel on omadused, mis eristuvad suurtest osakekestest ja kvalitatiivselt. Mangotärklisest, mungoa- ja vesikastanitärklisest välja töötatud tärklise nanoosakesed (SNP-d) on võrreldavad nisu või kartuli nanoosakestega [11].

SNP-del on naftapõhiste liimide asemel ka suur potentsiaal paberi valmistamisel, pinna liimimisel, katmisel ja kartongis biolaguneva liimina. Kõik testitud SNP-d on mittetsütotoksilised ja neid saab biomeditsiinilistes rakendustes ohutult kasutada. Mungotärklisega toodetud nanokomposiidid näitasid parimaid omadusi nende hulgas, mille maatriksitena kasutati erinevaid tärklisi. Kõrgemad amülopektiini suhted tärklises annavad tänu amülopektiini hargnenud molekulaarstruktuurile tärklisepõhistes nanokomposiitides nanotäiteainete parema interaktsiooni, dispersiooni ja jaotumise. Tsinkoksiidi novarrastega toodetud saagotärklise nanokomposiidid suurendasid elektrijuhtivust [11].

Kaasaegsetes toidupakendites laialdaselt kasutatavad plastipõhised sünteetilised polümeerid aitavad kaasa plastijäätmete lõpptoodete tekkele, mis kogunevad maismaa- ja veekeskkonda ning saastavad seda. Seega on võimalusi nende kasutamise ja sõltuvuse vähendamiseks [12].

Madalad kulud, madal tihedus, tööriistade vähenenud kulumine, taastuvus ja lagunevus on kõik tärkliseressursside tunnustatud eelised biolagunevaid plastmassi tootvas tööstuses. Tärklise kaasamine bioplasti annab kahel viisil, st täiteaine kujul koos tervete tärklisegraanulitega või lisamise otse komposiitmaatriksisse, milleks on nn termoplastne tärklis. Suhkrupalmide, manioki või maisi jäätmed või kõrvalsaadused sobivad polümeerkomposiitmuundamiseks [11].

Teisest küljest on tärklisest valmistatud materjalide puhul piiravad tegurid kehv veekindlus ja madal tugevus. Tärklise segamine teiste polümeeridega, näiteks PVA-ga, on tõhus ja mugav viis tärklisematerjalide puuduste ületamiseks. Nanotitaandioksiidi nanoosakeste ja eeterliku kaneeliõli kasutamine saagotärklisepõhistes bio-nanokomposiitkilledes näitab suurepäraselt antimikroobset toimet *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium* ja *Staphylococcus aureus* vastu, mille tulemuseks on suur potentsiaal kasutada toiduainetööstuses aktiivsetes pakendites [11].

Sarnase toimega on suhkrupalmi tärklise, suhkrupalmi nanokristallilise tselluloosi (SPNKT) ja kaneeli eeterliku õliga töödeldud nanokomposiitkilled [11].

Toidu esmaseks pakendamiseks mõeldud söödavad biolagunevad kiled (BK) on valmistatud toiduks kasutatavatest ja biolagunevatest polümeeridest. Seetõttu kasutatakse toiduainete pakkimiseks söödavaid kilesid, mis takistavad niiskuse omastamist, pikendavad säilivusaega ja tarbitakse koos toiduga. Järelikult võib BK pärast kõrvaldamist tekitada peaaegu null jäätmeid. Tärklise polüsahhariididest valmistatud BK-id on tugevuse, töötlemise, toote kohanemisvõime, reoloogiliste omaduste ja jõudluse tõttu üks peamisi ehtsaid biopolümeermaterjalide vorme toiduainete pakendamiseks [13].

Lisaks on need tooted keskkonnasõbralikud ja kulutõhusad. BK arengut seesamiseemnekummist, mungoa, maniokki- ja avokaadoseemnetärklisest on laialdaselt uuritud. Samuti on looduslik kinoa, amarant ja ulluco tärklis ideaalsed materjalid BK valmistamiseks, millel on hea mehaaniline tugevus, termiline stabiilsus ja antimikroobne toime, võrreldes maisitärklisest ja jamsitärklisest valmistatud kiledega. Madala läbipaistmatusega materjale, nagu BK, saab kasutada toidupakendites, et parandada toodete visualiseerimist ja tarbijate aktsepteerimist [13].

Mitmel mittekonventsionaalsel tärklisel on kosmeetika- ja paberitööstuses spetsiifiliste rakenduste jaoks tehnoloogilised eelised tavaliste tärkliste ees. Lisaks saab tärklis kasutada adsorptsioonimaterjalina paljudes harudes [13].

1.4. Tärklise omadused

Tärklis on polüsahhariid ja koosneb amüloosist ja amülopektiinist. Amüloos on glükoosimolekulide lineaarsed ahelad ja amülopektiin on hargnenud ahelad [1].

Tärklise füüsikaliste omaduste hulka kuuluvad:

- Vorm: tärklis võib esineda mitmesugustes vormides, sealhulgas kristalne ja amorfne. Kristalliline vorm on vastupidavam kõrgetele temperatuuridele, samas kui amorfne vorm on altim tarretumisele ja annab tärklisele tarretusomadused.
- Tarretumine: tärklisel on võime moodustada geeli vee juuresolekul ja kuumutamisel. See omadus muudab selle kasulikuks toiduainetööstuses toodete paksendamiseks ja struktureerimiseks.
- Graanulite struktuur: tärklisel on iseloomulik struktuur graanulite (terade) kujul, mis võivad sõltuvalt selle allikast erineda suuruse ja kuju poolest. See struktuur mõjutab tärklise omadusi, kui seda kasutatakse toiduainetes.
- Reoloogilised omadused: tärklis võib muuta vedelike voolavust ja viskoossust, milles see on lahustunud. Seda omadust kasutatakse toodete tekstuuri ja konsistentsi reguleerimiseks.
- Tarretuvus jahutamisel: mõned tärklised võivad jahutamisel moodustada pöörduvaid geele, mis on kasulik želeede ja muude toodete valmistamiseks.
- Retrogradatsioonivõime: Kui geel on jahtunud, on tärklisel võime retrogradeeruda, mis tähendab, et tärklise molekulid võivad moodustada tugevamaid sidemeid, mis mõjutab geeli tekstuuri ja struktuuri.
- Termilised omadused: Tärklisel on sõltuvalt selle allikast erinev kuumusstabiilsus. Mõned tärklised säilitavad oma omadused paremini kõrgel temperatuuril, mistõttu sobivad need kuumtöödeldud toitade valmistamiseks [1].

Iga toidutoote esimene reegel on, et kui toode on ohtlik, siis see ei ole toiduaine, mistõttu tärklise üks peamisi omadusi on selle ohutu tarbitavus [1].

1.4.1 Veeimavus

Veeimavuse indeks (WAI) ja vees lahustuvuse indeks (WSI) on kaks olulist parameetrit, mida kasutatakse tärklise füüsikaliste omaduste iseloomustamiseks. WAI ja WSI indeksid on väljendatud protsentides ja näitavad kui suur on tärklise võime lahustada vees ning siduda veega [14].

WAI ja WSI abil saab hinnata toiduainete funktsionaalseid omadusi ja ennustada, kuidas materjalid võivad edasise töötlemise korral käituda. Veelgi enam, need indeksid annavad teavet biopolümeeride füüsikalise-keemiliste muutuste kohta ekstrusioonitöötlemise tulemusena [14].

Veeimavus näitab ekstrudaadi poolt immobiliseeritud vee kogust, samas kui vees lahustuvus näitab väikeste molekulide kogust, mis on vees lahustatud, et töödelda molekulaarseid kahjustusi. Oikonomou N.A. (2011) meetod hõlmab ekstrudeeritud toote jahvatamist ja seejärel teadaoleva massi pulbri lisamist destilleeritud veele. Seejärel proove segatakse ja suspensioon pestakse taaratsentrifuugi katsutisse. Pärast tsentrifugimist supernatant kuivatatakse ja supernatandis olevate tahkete ainete massi abil arvutati WSI protsendina ekstrudaadi kuivmassist [14].

Lahustuvad toorained hõlmavad modifitseerimata või töötlemata segusid, želatiniseeritud tärklis, looduslikud globulaarsed valgud, anorgaanilised ioonid ja väikesed suhkrud. Ekstrusiooni käigus määravad ülaltoodud materjalide morfoloogilised muutused lõpptoote funktsionaalsed omadused [15].

Kui lähtematerjalid sisaldavad peamiselt tärklis, mõõdab WAI tärklise polümeeri poolt hõivatud mahtu pärast paisumist liigeses vees või tärklise dispersiooni liigeses vees. Tärklise dispersiooni suurendab geelistumisest tingitud tärklisekahjustuse määr. Kõrged WAI väärtused näitavad suurte tärklisefragmentide olemasolu lõpptootes [15].

WSI määrab vaba polüsahhariidi või polüsahhariidi koguse, mis vabaneb graanulitest liigse vee lisamisel. Veelgi enam, WSI peegeldab tärklise makromolekulaarset lagunemist. Kõrged WSI väärtused näitavad dekstriniseeritud tärklise molekulide olemasolu. WSI väärtus on valguliste segude puhul oluline näitaja, kuna see näitab valkude seisundit [15].

1.4.2 Geelistumine

Geelistumine algab tärklise amorfsest osast, kuna selles osas on vesiniksidemed nõrgemad. Geelimisprotsessi iseloomustavad alg-, tipp- ja lõpptemperatuurid. Kui saavutatakse lõplik geelistumistemperatuur, lagunevad kõik amülopektiini molekuli topeltheeliksid, kuigi paisunud graanulite struktuur säilib kuni nihkejõudude ja ulatuslikumate temperatuuride rakendamiseni. Kõrge kristallilisus tagab struktuurse stabiilsuse ja suurendab tärklisegraanulite vastupidavust geelistumisele, mis viib lõpuks kõrgemate faasisiirde temperatuurideni, mille määrab tärklise keemiline koostis [16].

Geelistumise entalpia on omavahel seotud kristallilisuse ja molekulaarse kadumisega, s.t. topeltheeliks, tärklisegraanulite olek, mis sõltuvad peamiselt tärklise amülopektiini sisaldusest. Kõrge amülopektiinisisaldusega tärklisel on tavalise kartulitärklisega võrreldes kõrged endotermilised temperatuurid ja entalpiad [16].

Amüloos suurendab tärklisegraanulite amorfisust ja vähendab nende kristallilisust, alandades seeläbi geelistumisparameetrite väärtusi. Geelistumistemperatuur on pöördvõrdeline amüloosisisaldusega ega sõltu amülopektiini struktuurist. Siiski tuleb märkida, et kõrge amüloosisisaldusega pikaahelaliste tärklisete faasitemperatuurid on kõrged [16].

Graanulite kuju, väikeste ja suurte graanulite osakaal ning fosfaatestrite olemasolu mõjutavad ka erinevate tärklisete geelistumise entalpiat. Maisi- ja riisitärklise kõrged geelistumistemperatuurid on

seletatavad graanulite jäiga struktuuri ja lipiidide olemasoluga. Molekulidevahelised interaktsioonid pärast geelistatud tärklisepasta jahutamist põhjustavad tärklise retrogradatsiooni [18].

Retrogradatsiooni käigus moodustab amüloos 48 tunni jooksul 40–70 glükoosiühikust koosnevad topeltheeliksid, samas kui amülopektiin rekristalliseerub äärmistes lühikestes harudes enam kui 30–40 päevaga. Need kaks protsessi toimuvad osaliselt samaaegselt. Tärklise retrogradatsiooni esimese 10 tunni jooksul domineerib amüloosi kristalliseerumine, hoolimata amülopektiini olemasolust tingitud pikast perioodist [17].

Nii amüloos kui ka amülopektiin moodustavad retrogradatsiooni ajal B-polümorfsed struktuuri. Retrogradatsiooniprotsess toimub klaasistumistemperatuuri (T_g) ja retrogradeerunud polümeeri sulamistemperatuuri (T_m) vahel ning toimub kolmes etapis: kristallisatsioonitsentrite moodustumine, nende tsentrite taastootmine ja kristallitide kasvamine. Madalad temperatuurid soodustavad kristallisatsioonitsentrite teket, kõrged aga nende taastootmist, s.t. kristallide moodustumine ja kasvamine - kristallide aeglane kasv ja täiustumine. Amülopektiini retrogradatsiooni täheldatakse geelide kontsentratsioonidel, mis sisaldavad 50–60% tärklisest, mille maksimaalne kristallilisus on 10–80% [17].

Kartuli geelistatud tärklisepasta faasisiirdetemperatuuride ja entalpia vähenemise määr pärast säilitamist on teraviljakultuuridega võrreldes suurem, mis näitab kartulitärklise retrogradeerumistendentsi [17].

Tärklise erinevad termilised omadused pärast geelistumist ja külmoiustamise ajal (4–6 °C) on seotud amüloosi ja amülopektiini erineva vahekorraga tärklises ning kõrgemate lipiidide olemasolu või puudumisega. Amüloosisisaldus mängib tärklise retrogradatsioonis võtmerolli [18].

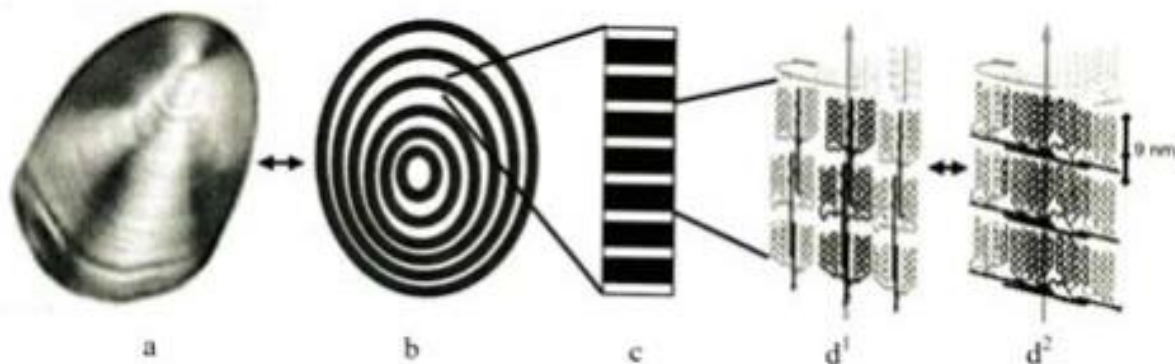
Kõrge amüloosisisaldus põhjustab tavaliselt tärklise suuremat retrograadset võimet, kuid amülopektiin ja vaheained omavad omakorda väga olulist rolli tärklise retrogradatsioonis külmsäilitamisel. Võrreldes amülopektiiniga pikkade ahelatega vaheühendid võivad madalatel temperatuuridel taasassotsiatsiooni käigus moodustada topeltheeliksid. Tärklise retrogradatsiooni protsess kiireneb, kui amülopektiinil on arvukalt hargnenud polüsahhariidahelaid [18].

Hernetärklise geelistumise parandamiseks võib kasutada erinevaid lähenemisviise. Näiteks võib hernetärklise happeline hüdrolüüs tekitada amülopektiinist ja amüloosist madala molekulmassiga hargnenud ja lineaarseid ahelaid. Seejärel võis hüdrolüüsitud fraktsioonid kogu retrogradatsiooni jooksul paigutada topeltspiraalsesse struktuuri. Näidati, et 2,2 M HCl võib sileda herne- ja kortshernetärklisest hüdrolüüsida vastavalt 37–44% ja 30% ulatuses. Täheldatud hüdrolüüsi lahkevused viitavad sellele, et tärkliseahelad kortsushernetärklise amorfsetes ja kristalsetes domeenides on tihedamalt ühendatud kui siledal hernetärklisel [18].

1.4.3 Paisumisjõud ja lahustuvus

Paljud autorid on märkinud, et tärklise reoloogiliste, termodünaamiliste ja funktsionaalsete omaduste peamised näitajad sõltuvad graanulite kristallilisuse astmest ja nende kristallstruktuuri tüübist. Vaatamata erinevat päritolu tärklisegraanulite suuruse ja kuju mitmekesisusele, on nende graanulite sisemine struktuur tärklises peaaegu identne. Tärklise makromolekulid on järjestatud amorfsetes ja

poolkristallilistes kestades või graanulite ringides, mida nimetatakse "kasvurõngasteks" (joonis 5). Kasvurõngad on vahelduvad kihid, millel on erinev tihedus, kristallilisus ja vastupidavus keemilisele ja ensümaatilisele rünnakule, rõnga paksusega 100–400 nm [16].



Joonis 5. Tärglisegraanulite struktuur erinevatel moodustumise tasemetel: tärglisegraanuli **a**-mikrograaf, millel on näha kaksikmurdumine ja kasvurõngad; **b**- amorfsete (valgete) ja poolkristalliliste (tumedate) kasvurõngastega tärglisegraanuli skemaatiline joonis; **c**- poolkristallilise kasvurõnga kristalsed (tumedad) ja amorfset (valged) piirkonnad; **d** - amülopektiini superhelikaalne struktuur, mis põhineb klastril - d_1 ja kahepoolisel vardamudelil - d_2 [16]

Laiad kihid moodustuvad plastiidide amüloosi ja amülopektiini molekulide alternatiivsel täitmisel ja eemaldamisel suurte lahustumatute ja väikeste lahustuvate molekulide järjestikuse ladestumisega; samal ajal domineerivad tihedates kihtides amülopektiini kõrgmolekulaarsed kihid. Tärglisegraanulite kristallilisuse aste on vahemikus 14–45% ja sõltub amüloosi ja amülopektiini vahekorra tärglises [16].

Lühikesed ahelad amülopektiini molekulis moodustavad topeltheeliks, millest moodustuvad kristalsed lamellid (kristalliidid). Lahtised topeltheeliks ja kristalliitid loovad poolkristalle. Ülejäänud amüloosi molekulid ja amülopektiini ahelad moodustavad tärglisegraanulite amorfse osa [1].

Polümeeride keemiline ristsidumine on tõestanud, et amüloos on "ristseotud" amülopektiiniga, mistõttu need kaks komponenti asuvad graanuli sees kõrvuti. Amüloosi täpne korraldus (voltimine) võib eri taimede graanulites erineda ja sõltuda graanulite amüloosisisaldusest [19].

Topeltheeliks asetsevad kasvurõngastega risti ja tärglisegraanulite pinnale lähemal kui keskele. Ringikujuline orientatsioon on tingitud kaksikmurduvast struktuurist, mida saab tuvastada ristpolarisaatorite, mida nimetatakse Malta ristiks („*Maltese cross*“), ja mikrofookuse röntgendifraktsiooni abil. Röntgendifraktsiooni kasutatakse topeltheeliksi virnastamise tüüpide eristamiseks. Üldiselt on enamik teraviljatärglised tihedalt pakitud A-tüüpi struktuuriga, kartulitärglised ja mõned mugultärglised on lahtiselt pakitud B-tüüpi struktuuriga, kaunviljatärglised aga segatud kristalne C-tüüpi struktuur (A+B) [19].

Mitte ainult polümeerahelad paiknevad spiraalides, vaid ka kristalsed amülopektiini klastrid paiknevad spiraalseks struktuuriks, nagu on näidatud joonisel 5. Kuigi amüloosi leidub peamiselt tärglisegraanulite

amorfses osas, arvatakse, et see on osaliselt põimunud amülopektiiniga topeltheeliksiks. Amüloos võib moodustada ka eraldi spiraale ja kui nende heeliksise hüdrofoobsetes poorides sisalduvad sellised ained nagu rasvhapped või jood, on võimalik komplekside moodustumine [16].

Tärglise paisumine tekib siis, kui tärglise kristalne struktuur on häiritud, tavaliselt liiges vees keetmise ajal. See häire viib vesiniksidemete lagunemiseni, võimaldades veemolekulidel moodustada uusi vesiniksidemeid nii amüloosi kui ka amülopektiini avatud hüdroksüülrühmadega. Järelikult põhjustab see protsess graanulite paisumist ja lahustuvuse suurenemist. Tärglise ahelate vahelise interaktsiooni suurust amorfsetes ja kristalsetes domeenides demonstreeriti pundumisvõime ja lahustuvusega. Selle interaktsiooni astet reguleeris amüloosi/amülopektiini suhe, samuti molekulmassi jaotus, hargnemisaste, haru pikkus ning amüloosi ja amülopektiini molekulide konformatsioon [17].

Hernetärglises on teadaolevalt kõrge amüloosi sisaldus (35–65%), mis vastutab selle heade kilet moodustavate omaduste eest, ja on osutunud sobivaks kasutamiseks, näiteks praetud toitade taigna katmiseks. Näidati, et hernetärglise pundumis- ja lahustuvusomadused olid sarnased teiste kaunviljade tärgliste omadega. Temperatuurivahemikus 50–95 °C oli silehernetärgliste pundumistegur vahemikus 4–27. Kortsus hernetärglise pundumisvõime oli vähenenud tihedalt pakitud amüloosiahelate ja/või suurema koguse amüloosi-lipiidi komplekside vahelise olulise interaktsiooni tõttu. Seitsme tärglise sordi veeimavuse ja retentsiooni mõõtmiseks mitmel temperatuuril (50–92,5 °C) kasutati pundumiskõõm testi. Paisumiskõõm suurenes temperatuuri tõustes, kuid kasvukiirus oli iga sordi puhul erinev [17].

1.4.4 Kleepuvus ja reoloogiline käitumine

Tärgliste liimimisomaduste määramine annab teavet nihkekindluse, geeli viskoossuse ja retrogradatsiooni käitumise kohta. Kleepimisomaduste analüüsimiseks on erinevaid meetodeid, mida saab läbi viia diferentsiaalse skaneeriva kalorimeetria, kiirviskoanalüsaatori, amülograafi ja reomeetriga. Nende etappide käigus mõõdetakse viskoossust aja suhtes ja saadakse kliisterdumisparameetrid (minimaalne viskoossus, tippviskoossus, lagunemisviskoossus, langusviskoossus, lõplik viskoossus ning kliisterdumistemperatuur). Geneetilised tegurid ja kultivar (olenevalt tüübist või kultivarist) avaldasid olulist mõju hernetärglise kliisterdumisomadustele. Näidati, et ristsidumine (fosforüülimine) suurendab põldhernetärgliste kliisterdumistemperatuuri, vähendab viskoossust ja suurendab erineval määral termilist stabiilsust. Ristsidumine mõjutab kliisterdumisomadusi, vähendades tärglise tippviskoossust, milles domineerivad graanulite paisumine ja amüloosi leostumine. Lisaks on teatatud, et tärgliste kliisterdumisomadusi mõjutavad paljud muud tegurid, nagu jäikus, amüloosi ja amülopektiini suhe, graanulite suurus ja kliisterdumisparameetrid (nagu tärglise kontsentratsioon ja kuumutamise-/jahutuskiirus) [19].

Kui tärglis kliisterdub, muutub amüloos pastaks, moodustades kolmemõõtmelisi võrgustikke, soodustades või pärssides tärglise paisumist. Tärglise pundumis- ja kliisterdumisprotsessidega kaasneb suspensiooni viskoossuse muutus ja need kulgevad erinevat tüüpi tärglise puhul erinevalt. Seega igat tüüpi tärgliste kõrge amüloosisisaldusega ja suuremad graanulid paisuvad ja kliisterduvad kiiremini kui väikesed. [19]

Tärgliseliimi viskoossus sõltub temperatuurist, kontsentratsioonist ja nihkekiirusest. Teadaolevalt on kartulitärglise paisumiskõõm võrreldes teraviljätärglisega suurem ja kartulitärglis on keetmisel vähem

stabiilne. Tärkliseliimi viskoossuse suurenemine jahtumisel on tingitud tärkliseliimi erinevate komponentide (paisunud graanulid, paisunud graanulite fragmendid, kolloidselt ja molekulaarselt disperseeritud tärklisegraanulid) kalduvusest assotsieeruda või taanduda kliisterdumistemperatuuri langemisega. Amüloosisisaldus on veel üks tärklise reoloogilisi omadusi mõjutav tegur. Märgitakse madala amüloosisisaldusega kartuli genotüüpide tärkliseliimi madalat viskoossust [20].

Tärklise graanulite kristalne järjestus on sageli peamine tärklise funktsionaalseid omadusi mõjutav tegur. Tärklisegraanulite kristallstruktuuri hävimine on vältimatu protsess tärklisegraanulite paisumise, geelistumise ja liimi lahustumise ajal [20].

2. Eksperimentaalne osa

Eksperimentaalse töö eesmärgiks oli uurida ja võrrelda nelja erineva tärglise füüsikalise-keemilise omadusi. Uuring viidi läbi alates novembrist 2023 kuni veebruarini 2024.

2.1. Materjalid ja meetodid

2.1.1 Materjalid

Uuringusse valiti 4 toodet: kartulitärklis (Makro Trade Baltic OÜ, Läti) ja maisitärklis (RUF Lebensmittelwerk KG, Saksamaa), mis osteti kaubandusest ning põldotärklis ja kollase hernetärklis, mis saadi ettevõttelt bVegy OÜ, Eesti.

Tabel 1 on toodud tärgliste toitaineline koostis vastavalt pakendi infole ja bVegy toodete spetsifikatsioonidele.

Tabel 1. Uuritud tärgliste toitaineline koostis 100 g kohta

Tärklis	Mais	Kartul	Põlduba	Kollane hernes
Süsivesikud, g	87	80	52,8	66
millest suhkrud, g	0	<0,5	2,55	2,13
Valgud, g	<0,5	<0,5	31,9	18,2
Rasvad, g	<0,5	<0,5	1,58	1,86
Sool, g	0,09	0,1	0,05	0,01

2.1.2. Meetodid

Kuivaine sisaldus

Tärgliste kuivaine sisaldused määrati halogeenniiskusanalüsaatoriga HR83 (Mettler Toledo, USA) 105°C juures.

Tärgliste vee absorptsiooni indeks (WAI) ja vees lahustuvusindeksi (WSI) määramine

Vee absorptsiooni indeks ja vees lahustuvusindeks määrati vastavalt Castanha (2018) meetodile [21].

Kaalutakse 0,5 g tärglist (kuivaine kohta) (MS) eelkaalutud 50 ml tsentrifuugitopsi. Lisatakse 6 ml dH₂O ja segatakse Vortexil 2 minutit. Jäetakse ühed proovid toatemperatuurile, teised pannakse termovanni 30, 40, 50, 55 ja 60 °C juurde 30 minutiks, neid aeg-ajalt segades. Seejärel tsentrifuugitakse proove 3000 pööret 10 minutit. Vesifaasis määratakse ära selle kuivaine sisaldus (DS) kasutades halogeenniiskusanalüsaatorit. Topsi jäänud sade (PT) kaalutakse [21].

$$\text{Arvutakse välja WAI (g vett/g tärglise kohta)} \quad WAI = \frac{PT - (MS - DS)}{(MS - DS)} \quad (1)$$

$$\text{ja WSI (\%)} = \frac{DS}{MS} * 100 \quad (2)$$

Mikroskoopia

Tärgliseterade suuruse muutust sõltuvalt temperatuurist mõõdeti kasutades Deslandes (2019) meetodit [20].

Valmistatakse väike kogus 1% (w/w) tärglise lahust. Lisatakse mikroskoobi klaasile tilk 1% tärglise lahust ja lisatakse juurde 1 tilk Lugoli lahust. Kaetakse klaas katteklaasiga. Asetatakse mikroskoobiklaas mikroskoobi (Nikon Eclipse E200, Jaapan) kuumlauale (Linkam PE 120) ja tõstetakse temperatuur toatemperatuurilt 90 °C-ni kiirusega 5 °C minutis. Vaadeldakse tärglise terasid 400 x suurendusega ja tehakse iga minuti tagant pilt (automaatprogrammiga Motic Images 3.0) [20].

Igal pildil mõõdatakse tärgliseterade Feret diameeter ja arvutatakse välja keskmine graanuli suurus (D):

$$D \text{ (mikrom)} = \sqrt{Mm}, \quad (3)$$

kus M- maksimaalne Feret diameeter, m- minimaalne Feret diameeter.

Geelide valmistamine

Valmistatakse 5, 7, 9, 11, 13 ja 15% tärglisegeelid (kuivainele). Selleks kaalutakse vajaminev kogus tärglist keeduklaasi, lisatakse vajaminev kogus dest.H₂O ja kuumutatakse lahus keemiseni. Seejärel valatakse lahus vormidesse (20x20x20 mm) ja pannakse külmkappi üleöö jahtuma. Järgmisel päeval peale geelide valmistamist tõstetakse geelid külmkapist toatemperatuurile ja mõõdetakse geelide värvus ja tekstuur.

Geelide värvus

Geelide värvus mõõdetakse spektrofotomeetriga CM-700d (Konica Minolta). Lab-süsteem (Lab color space) on üks enim kasutatavaid ja mitmekülgsemaid värvimääratlussüsteeme. Selle töötas välja 1976. aastal Rahvusvaheline valgustuskomisjon (CIE) ja see on kolmemõõtmeline värviruum, mis sisaldab kolme parameetrit: L*, a* ja b*.

Need parameetrid tähendavad järgmist.

- L (heledus): määrab värvi heleduse või tumeduse. L väärtus on vahemikus 0 kuni 100, kusjuures 0 on absoluutne must ja 100 absoluutselt valge.
- a (roheline-punane): määrab värvitooni rohelisest (-) kuni punaseni (+). Positiivsed a väärtused vastavad punastele toonidele ja negatiivsed a väärtused vastavad rohelistele toonidele.
- b (sini-kollane): määrab värvitooni sinisest (-) kollaseni (+). Positiivsed b väärtused vastavad kollastele toonidele ja negatiivsed b väärtused sinistele toonidele.

See süsteem võimaldab kirjeldada mis tahes värvi kolmemõõtmelises ruumis, mis muudab selle väga mugavaks värvide võrdlemiseks ja värvierinevuste analüüsimiseks.

Proovide L, a ja b tulemuste saamiseks arvutati tulemustest maha vee L, a ja b väärtused, mis olid vastavalt 37, -2 ja 4.

Saadud väärtuste põhjal saadi värvid, kasutades CIELAB värvikonvertorit [22].

Geelide tekstuurprofiilanalüüs

Geelide tekstuuri profiil määratakse tekstuuri analüsaatoriga TA-XT2i (Stable Micro Systems, UK), kasutades TalTech Keemia ja biotehnoloogia instituudi poolt väljatöötatud meetodit. Geelide tekstuuri

määramiseks kasutati 5 mm läbimõõduga silindrilist mõõtesüsteemi, testi kiirust 1 mm/s, testi järgset kiirust 10 mm/s, deformatsiooni 10% ja kahe deformatsiooni vahelist aega 5 sekundit.

Geelide reoloogia

Reoloogilised analüüsid põhinesid Onwulata (2014) [23] ning Suni ja Arntfieldi (2010) [24] meetoditel mõningate modifikatsioonidega.

Reoloogilised uuringud viidi läbi TFTAkis, kasutades Physica MCR301 reomeetrit (Anton Paar, Austria). Proovideks olid 9% (w/w) tärglise ja destilleeritud vee lahused, mis viidi 50 ml tsentrifuugitopsi ning segati üks minut Vortexil. Peale segamist valati 18 ml proovi reomeetri proovianumasse. Proovid jäeti 2 minutiks 22°C juurde tasakaalustuma. Seejärel kuumutati proove 85°C-ni kiirusega 12,6°C min 5 minuti jooksul, samal ajal võngutades proove sagedusega 1 Hz. Proov jäeti 85°C juurde 5 minuks ja alates 12 analüüsi minutist proove jahtuti 22°C-ni 7 minuti jooksul. Kogu testi pikkuseks on 19,1 minutit.

Geelide süneresis

Süneresis määramiseks kasutati modifitseeritud Denchai (2019) meetodit [25].

Valmistati 9% (w/w) tärglise geelid. Selleks valati 20 ml kuuma tärgliselahust 50 ml tsentrifuugitopsi ja kaaluti proovi kogus. Proovid pandi külmkappi üleöö seisma. Järgmine päev tsentrifuugiti proove 4000 pöörde juures 15 minutit. Proovi pinnale tekkinud vaba vesi valati ära ja proov kaaluti uuesti [25].

Süneresis arvutatakse:

$$\text{Süneresis} = \left(\frac{\text{Eraldatud vee mass, g}}{\text{Kogu proovi mass, g}} \right) \times 100 \quad (4)$$

Statistiline analüüs

Iga meetodi puhul viidi läbi vähemalt 3 paralleeli, arvutati välja ka proovide keskmised ja standardhälbed, kasutades Exceli programmi.

2.2. Tulemused ja arutelu

2.2.1. Tärgliste kuivaine sisaldused

Tabelis 2 on toodud tärgliste kuivaine sisaldused.

Tabel 2. Tärgliste kuivaine sisaldus

MAIS	KARTUL	UBA	HERNES
89,99 ± 0,08	81,93 ± 0,14	92,81 ± 0,20	93,64 ± 0,24

Suurim niiskussisaldus esineb kartulitärglisel, kuna pärast vee aurustamist on jäänud 81,93 ± 0,14% algmassist. Selle järgneb maisitärglis 89,99 ± 0,08%. Oatärglise algmassist jäi 92,81 ± 0,20% ja hernetärglist 93,64 ± 0,24%. Seega saab öelda, et hernetärglis on madalama niiskussisaldusega, kui oatärglis ning maisi- ja kartulitärglis. Kuivaine sisaldus kattub maisi- ja kartulitärglise puhul pakendil toodud infoga. Oa- ja hernetärglise puhul oli kuivaine sisaldus spetsifikatsioonil toodust suurem, mis tähendab, et tooted on säilimisel kuivanud.

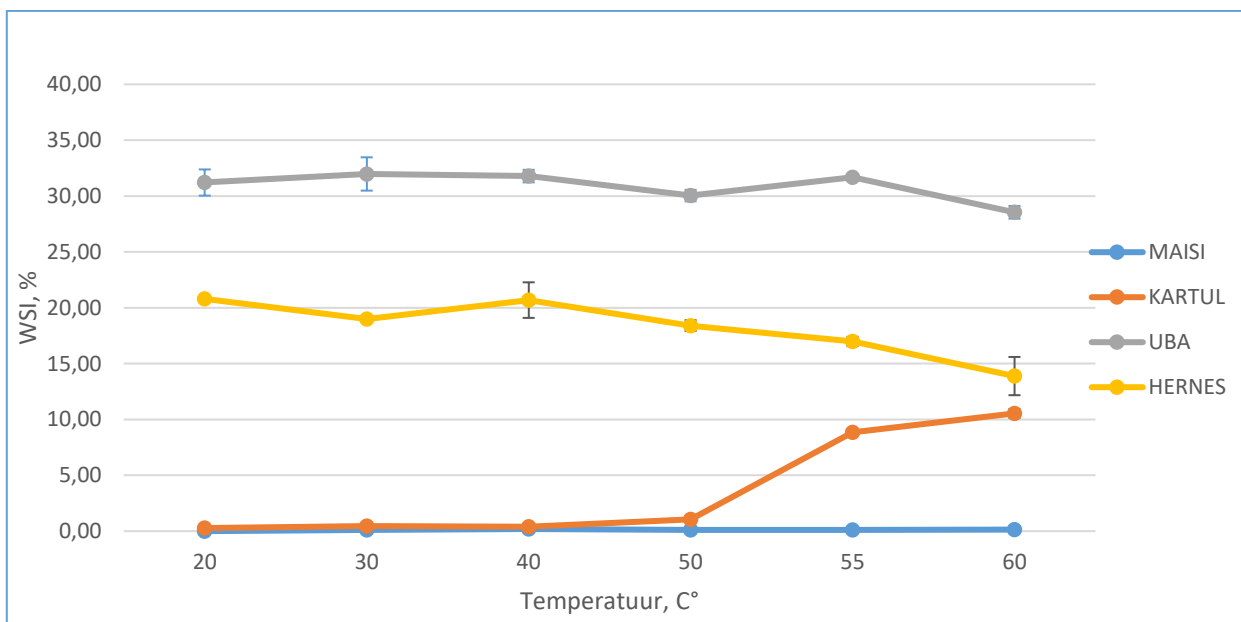
2.2.2. Tärkliste vees lahustuvuse indeks (WSI) ja vee absorptsiooni indeks (WAI)

Vees lahustuvuse indeks (WSI - Water Soluble Index) näitab tärklise vees lahustumise võimet. Seda indeksit kasutatakse tärklise kvaliteedi hindamiseks, eriti toiduainetööstuses. Seda määratletakse kui vees lahustunud tärklise massi ja proovis sisalduva tärklise kogumassi suhet. [14]

Joonisel 6 on näidatud erinevate tärkliste WSI sõltuvust temperatuurist. Kõige parema lahustuvusvõimega uuritud tärklitest on oatärklis, millele järgnevad hernetärklis ja kartulitärklis ning peaaegu lahustumatu on maisitärklis. Maisitärklise WSI on nii madal, et ei ületa isegi 1%. Andmed näitavad, et madalatel temperatuuridel (20°C) on maisitärklise WSI madal (0,00%) ja tõuseb temperatuuri tõustes, saavutades maksimumi (0,20 ± 0,01%) 40°C juures.

Nagu maisitärklise puhul, suureneb ka kartulitärklise WSI temperatuuri tõustes. Kartulitärklise WSI tõuseb järsult 50 °C juures ning saavutab maksimaalse väärtuse (10,54 ± 0,27%) 60°C juures. Teiste tärkliste puhul sellist lahustuvuse suurenemist näha ei olnud.

Oatärklise WSI on üsna stabiilne temperatuuri tõusule, väikest langust maksimaalsest väärtusest (31,98 ± 1,49%, 30 °C) on näha 60 °C juures. Ka hernetärklise WSI temperatuuri tõustes langeb.

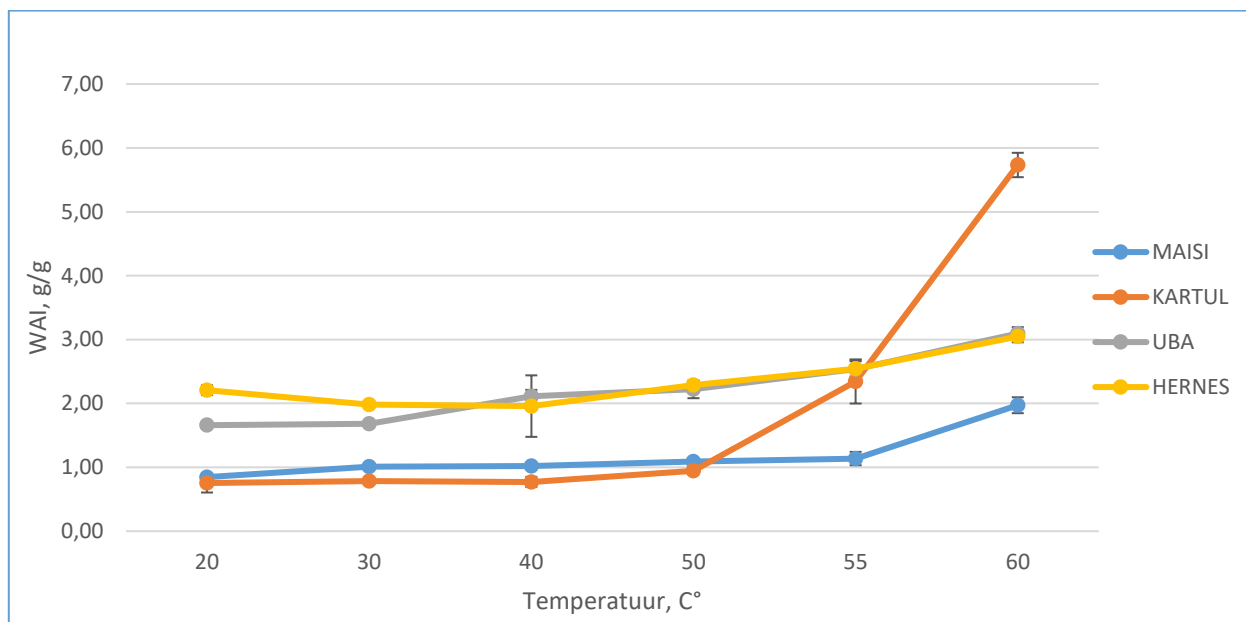


Joonis 6. Tärkliste vees lahustuvuse indeksi sõltuvus temperatuurist

Tärklise lahustuvuse erinevust võib seletada sellega, et selle molekulaarstruktuur võib olenevalt taimest erineda. Näiteks mõned tärklised sisaldavad rohkem amüloosi, teised aga rohkem amülopektiini. See mõjutab nende omadusi, näiteks geelistumisvõimet või kuumtöötlemiskindluse astet. Maisitärklis sisaldab tavaliselt rohkem amülopektiini (70%), kuid sisaldab vähem amüloosi (30%), mis on tavaliselt vees paremini lahustuv [26]. Oa- ja hernetärklised seevastu võivad sisaldada rohkem amüloosi, mis aitab kaasa nende paremale lahustuvusele. Lisaks tärkliste amüloosisisaldusele võib lahustuvust mõjutada ka tärklisepulbrite valgusisaldus. Tabelist 1 on näha, et oa- ja hernetärklised ei ole puhtad, vaid sisaldavad suures koguses valku. Oatärklise valgusisaldus on kõige suurem ning ka selle lahustuvus on kõige kõrgem, mis viitab lahustuva valgu olemasolule. Oa- ja hernetärkliste WSI indeksi langust sõltuvalt temperatuurist, erinevalt maisi- ja kartulitärklise WSI väärtuse tõusule, võib samuti

selgitada valkudega – temperatuuri tõustes toimub ilmselt valkude denaturatsioon ning nende lahustuvus väheneb.

Tärkliste vee absorptsiooniindeksiga (WAI) mõõdetakse tärklise graanulite mahtu peale vees paisumist [14]. Joonisel 7 on toodud uuritud tärkliste WAI-d sõltuvalt temperatuurist. Kõige vähem absorbeeris vett 20 °C juures kartulitärklis ($0,75 \pm 0,15$ g/g), millele järgnesid maisitärklis ($0,85 \pm 0,04$ g/g), oatärklis ($1,66 \pm 0,03$ g/g) ja kõige enam absorbeeris vett kollase hernetärklis ($2,21 \pm 0,08$ g/g).



Joonis 7. Tärkliste vee absorptsiooniindeksi sõltuvus temperatuurist

Kõikide tärkliste WAI indeks suureneb temperatuuriga, saavutades maksimaalsed väärtused 60 °C juures (vastavalt, $1,97 \pm 0,12$ g/g maisitärklisel; $3,09 \pm 0,10$ g/g oatärklisel ja $3,05 \pm 0,09$ g/g hernetärklisel). Kõige enam suurenes see aga kartulitärklisel, millel on näha 50 °C juures järsku WAI väärtuse kasvu väärtuseni $5,73 \pm 0,19$ g/g 60 °C juures. Kartulitärklise suurt WAI indeksit võib seletada tärklisegraanuli suure suurusega ning amüloosi sisaldusega. Lisaks mõjutab tärkliste vee absorptsiooni võimet tärklise päritolu, selle isoleerimine ja kontsentratsioon [27].

2.2.3. Mikroskoopia

Tärklisegraanulite morfoloogiat ja paisumist sõltuvalt temperatuurist vaadeldi mikroskoobiga. Antud töö on esitatud andmed alates temperatuurist, mille juures algab graanulite kasv – iga tärklise liigi graanulid hakkavad kasvama 60°C juures.

Kartulitärklis

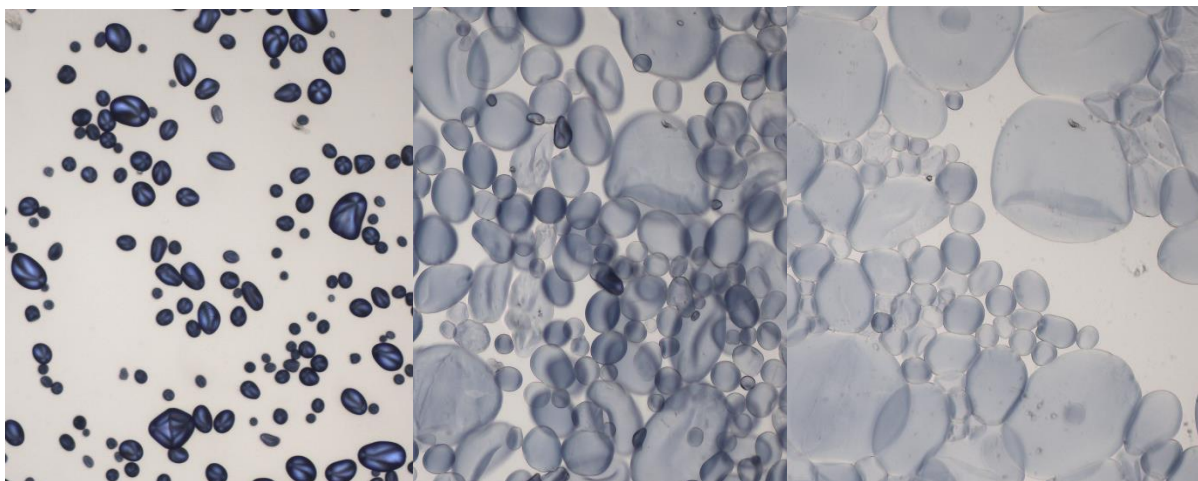
Tabelis 3 on toodud näited kartulitärklise graanulite muutustest temperatuuri tõustes. See uurimuslik analüüs näitab, kuidas kuumus mõjutab tärklisegraanulite struktuuri ja kuju.

Kartulitärklis reageerib joodiga, moodustades iseloomuliku sinise kompleksi. Seda nähtust nimetatakse jodomeetriaks ja seda kasutatakse laialdaselt analüütilises keemias tärklise amüloosisisalduse määramiseks.

Joonisel 9 on nähtav, kuidas kartulitärklise graanulite värvimine joodiga aitab paremini jälgida paisumist ning pildilt on näha graanulite „Malta risti“ enne paisumist. „Malta risti“ moodustumine toimub amüloosi ja amülopektiini erineva sünteesi kiiruse tõttu tärklisegraanuli erinevates osades. Graanuli keskele moodustub pikem amüloosi ahel, perifeeriasse aga kontsentreerub amülopektiin. Graanulite valmimisel, kui nad on juba saavutanud lõpliku struktuuri, toimub amüloosi keskosa osaline depolümeerisatsioon. Selle tulemusena moodustub suurema tihedusega ristikujuuline ala, mida nimetatakse „Malta ristiks“. [28]

Tabel 3. Kartulitärklise graanulite suurus sõltuvalt temperatuurist

Kartuli tärklis	Keskmine (μm)		
	Min	Max	D
Temperatuur, C°			
60	12,91	60,63	27,89 \pm 1,54
65	15,12	97,66	38,09 \pm 9,19
70	26,31	147,06	62,07 \pm 9,68
75	46,90	163,94	87,08 \pm 26,51
80	60,75	176,36	102,85 \pm 38,17
85	66,68	183,86	110,2 \pm 34,01



Joonis 8. Kartulitärklise graanulite paisumine temperatuuril (vasakult paremale) 50, 75 ja 90°C

Nii joonis 8 kui ka tabel 3 näitavad, et kartuli tärklisegraanulite keskmine läbimõõt (D) suureneb temperatuuri tõustes. Näiteks: 60 °C juures on keskmine läbimõõt 27,89 \pm 1,54 μm . Temperatuuril 85 °C suureneb keskmine läbimõõt 110,20 \pm 34,01 μm -ni. Graanuli keskmise läbimõõdu suurenemine 60 °C-lt 70 °C-le: umbes 34,18 μm . Graanuli keskmise läbimõõdu suurenemine 70 °C-lt 85 °C-le: umbes 48,13 μm . Graanulite keskmise läbimõõdu maksimaalne suurenemine toimub siis, kui temperatuur tõuseb 75 °C-lt 80 °C-le: graanulite keskmise läbimõõdu suurenemine on umbes 15,77 μm .

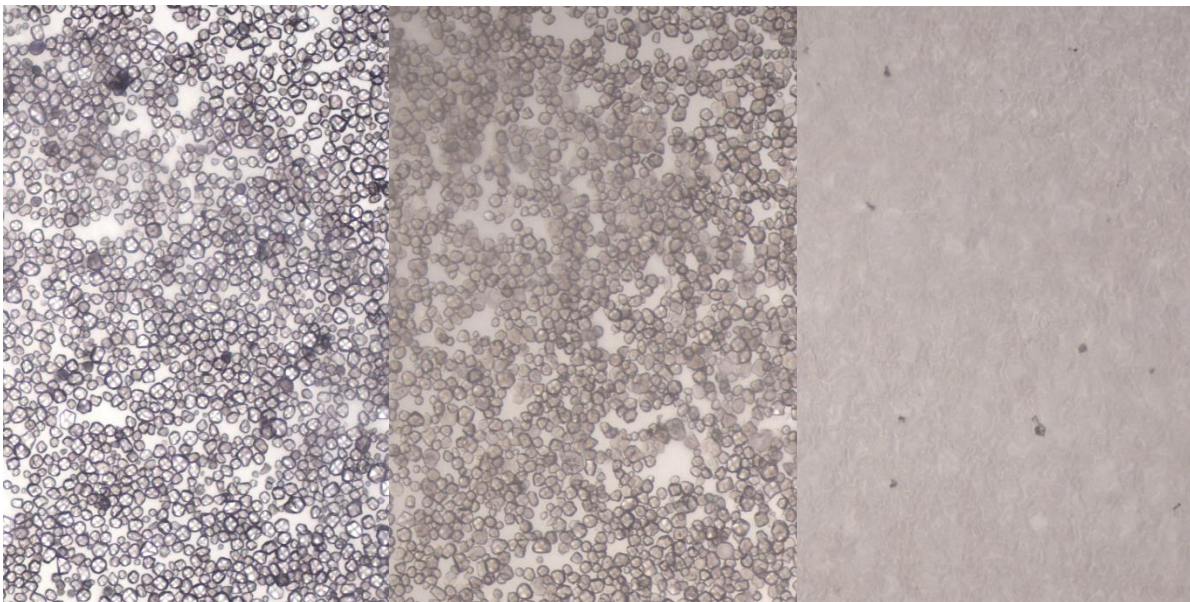
Seega näitavad andmed tärklisegraanulite keskmise läbimõõdu olulist suurenemist temperatuuri tõustes, kusjuures see tõus on kõrgematel temperatuuridel rohkem väljendunud.

Maisitärklis

Tabelis 4 on toodud tulemused, mis näitavad maisitärklise graanulite muutust temperatuuri kasvamisel. Kartuli- ja maisitärklise graanulite suurus on erinev, mis mõjutab nende füüsikalisi ja funktsionaalseid omadusi. Kartulitärklise graanulite läbimõõt on 12,91–60,63 µm algtemperatuuril. Maisitärklise graanulite läbimõõt on 8,54 kuni 18,99 µm algtemperatuuril. Kartulitärklise graanulid on sageli ovaalsed või sfäärilised. Maisitärklise graanulid on erineva kujuga, sealhulgas ümmargused ja hulknurksed.

Tabel 4. Maisitärklise graanulite suurus sõltuvalt temperatuurist

Maisiitärklis	Keskmine, µm		
	Min	Max	D
Temperatuur, °C			
60	8,54	18,99	12,69 ± 1,71
65	10,62	23,45	15,7 ± 0,97
70	15,02	32,97	21,97 ± 3,78
75	22,39	40,87	30,11 ± 6,29
80	27,69	54,99	38,98 ± 8,76



Joonis 9. Maisiitärklise graanulite paisumine temperatuuril (vasakult paremale) 50, 75 ja 90°C

Kui temperatuur tõuseb 60 °C-lt 80 °C-le, täheldatakse maisitärklise graanulite (D) keskmise läbimõõdu olulist suurenemist. Näiteks on 60 °C juures keskmine läbimõõt 12,69 µm ± 1,71, mis suureneb 80 °C juures 38,98 ± 8,76 µm-ni.

Keskmise läbimõõduga maisitärklise graanulite kasv toimub ka järk-järgult: keskmine läbimõõdu kasv 60 °C kuni 70 °C on ligikaudu 9,29 µm. Keskmine läbimõõdu kasv 70 °C kuni 80 °C: ligikaudu 17,01 µm.

Keskmise läbimõõdu märkimisväärne suurenemine toimub siis, kui temperatuur tõuseb 70 °C-lt 75 °C-
ni: graanulite läbimõõdu suurenemine on umbes $8,14 \pm 3,15 \mu\text{m}$.

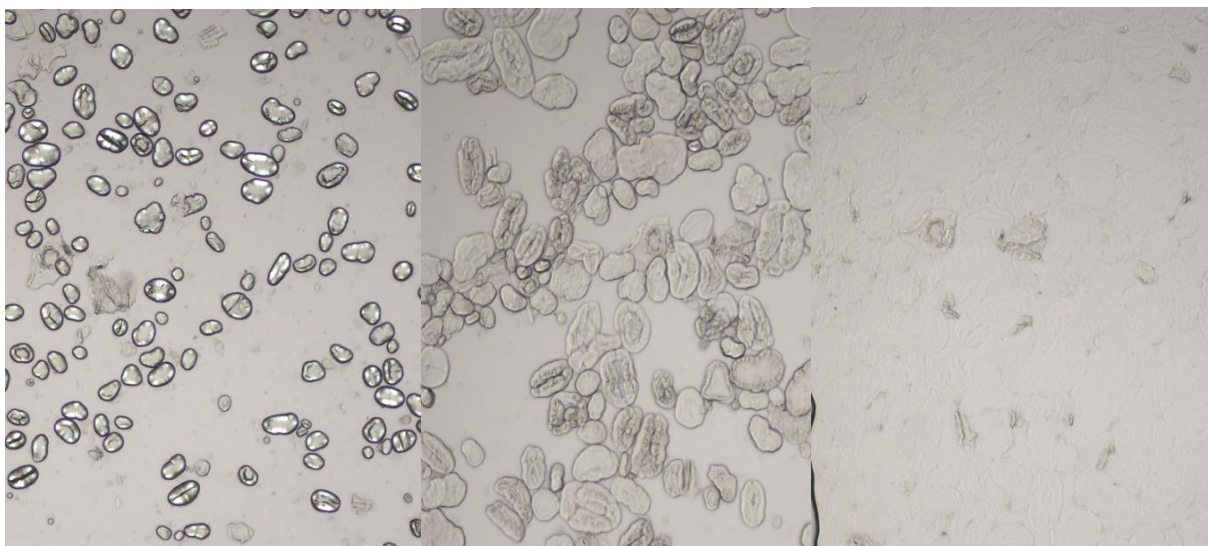
Vaadates joonis 9 saab oletada, et temperatuuril 90°C on graanulid paisunud nii oluliselt, et on
toimunud graanulite kleepumine ja purunemine ning vee ja tärklise lahus on muutunud geeliks.

Oatärklis

Tabelis 5 on toodud näited oatärklise graanulite muutustest temperatuuri tõustes. Võrreldes maisi- ja
kartulitärklisega, on oatärklise graanulid algtemperatuuril suuremad kui maisitärklise graanulid, kuid
väiksemad kui kartulitärklise graanulid. Kõrgemal temperatuuril jäävad maisi- ja oatärklise graanulid
sarnasesse diapasooni, kus maisitärklise keskmine D temperatuuril 80°C on $38,98 \pm 8,76 \mu\text{m}$ ja
oatärklise graanulite keskmine D on $39,23 \pm 1,87 \mu\text{m}$, kartulitärklise graanulid temperatuuril 80°C on aga
keskmiselt 3 korda suuremad - $110,2 \pm 34,01 \mu\text{m}$.

Tabel 5. Oatärklise graanulite suurus sõltuvalt temperatuurist

Oa tärklis	Keskmine, μm		
	Temperatuur, C°	Min	Max
			D
60	15,18	29,16	$20,65 \pm 3,30$
65	19,30	33,23	$24,86 \pm 3,82$
70	21,46	40,45	$28,59 \pm 3,59$
75	29,47	45,97	$36,34 \pm 2,39$
80	31,35	50,30	$39,23 \pm 1,87$



Joonis 10. Oa tärklise graanulite paisumine temperatuuril (vasakult paremale) 50, 75 ja 90°C

Oatärklise graanulite keskmine läbimõõt (D) suureneb ka temperatuuri tõustes 60°C-lt 80°C-le. 60 °C
juures on keskmine läbimõõt $20,65 \pm 3,30 \mu\text{m}$. 80 °C juures suureneb keskmine läbimõõt $39,23 \pm 1,87$
 μm -ni.

Temperatuuri tõustes täheldatakse graanulite keskmise läbimõõdu järkjärgulist suurenemist: keskmine läbimõõdu kasv 60°C kuni 70°C on 7,94 µm. Keskmine läbimõõdu kasv 70°C kuni 80°C on 10,64 µm.

Oatärklise graanulite keskmise läbimõõdu suurenemine suureneb temperatuuri tõusuga: graanuli keskmise läbimõõdu suurenemine 65 °C-lt 70 °C-le: ligikaudu 3,73 µm. Graanuli keskmise läbimõõdu suurenemine 75 °C-lt 80 °C-le: ligikaudu 2,89 µm.

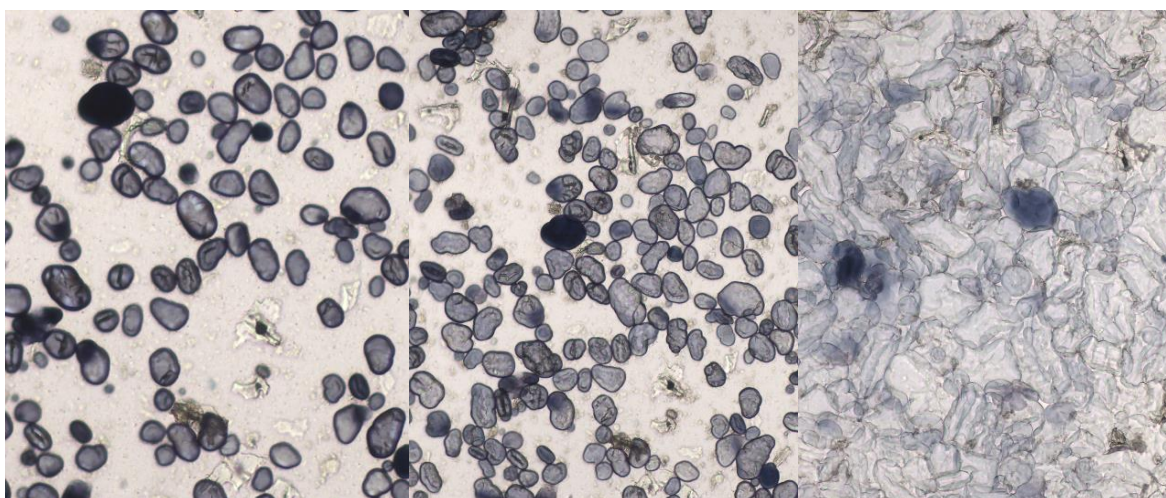
Oa- ja maisitärklis on sarnased selle poolest, et paisumise lõpul nende graanulid kleepuvad üksteisega, ilmselt purunevad ja toimub mikrokoobi abil nähtav geelistumine. Mõlemal juhul graanulite piirid kaovad ja pildile ilmub ainult geel.

Hernetärklis

Tabelis 6 on toodud näited hernetärklise graanulite muutustest temperatuuri tõustes. Võrreldes maisi, kartuli- ja oatärklise graanulitega algtemperatuuril, on hernetärklise graanulid sarnaseimad oatärklise graanulitega, nii kuju kui ka läbimõõdu poolest. Kõrgeimal temperatuuril jäävad maisi- ja oatärklise graanulid sarnasesse diapasooni, hernetärklis paisub aga rohkem ja temperatuuril 80 °C on graanulite keskmine suurus 56,76 ± 0,60 µm. See on kaks korda väiksem kui kartulitärklise graanulite puhul, aga suurem kui maisi- ja oatärklise puhul.

Tabel 6. Hernetärklise graanulite kasv

H. tärklis	Keskmine		
	Temperatuur, °C	Min	Max
			D
60	17,44	25,70	21,16 ± 0,80
65	22,59	53,71	34,83 ± 1,18
70	32,33	80,36	50,94 ± 1,4
75	34,26	85,04	53,95 ± 0,24
80	36,38	88,58	56,76 ± 0,60



Joonis 11. Hernetärklise graanulite paisumine temperatuuril (vasakult paremale) 50, 75 ja 90°C

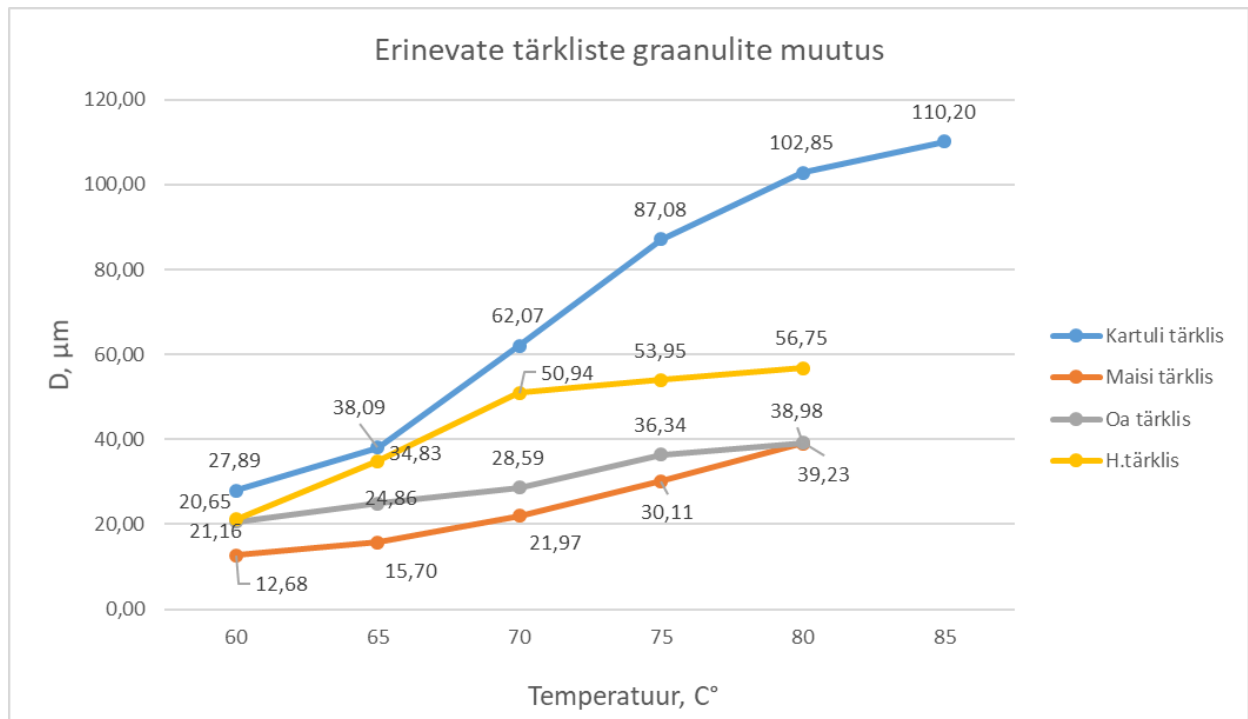
Hernetärklise graanulite (D) keskmine läbimõõt suureneb ka temperatuuri tõustes 60 °C-lt 80 °C-le. Näiteks: 60 °C juures on keskmine läbimõõt 21,16 ± 0,8 µm. 80 °C juures suureneb keskmine läbimõõt 56,75 ± 0,60 µm-ni. Temperatuuri tõustes täheldatakse graanulite keskmise läbimõõdu järkjärgulist suurenemist: keskmine läbimõõdu kasv 60°C kuni 70°C: ligikaudu 29,78 µm. Keskmine läbimõõdu kasv 70 °C kuni 80 °C: ligikaudu 5,81 µm.

Hernetärklise graanulite keskmise läbimõõdu suurenemine suureneb ka temperatuuri tõustes, kuid selle suurenemise suurus ei ole konstantne: graanuli keskmise läbimõõdu suurenemine 65 °C-lt 70 °C-le: ligikaudu 16,11 µm. Graanuli keskmise läbimõõdu suurenemine 75 °C-lt 80 °C-le: ligikaudu 2,8 µm.

Seega näitab andmete analüüs graanulite keskmise läbimõõdu suurenemist temperatuuri tõusuga sarnaselt eelmiste näidetega. Kuid sel juhul on keskmise läbimõõdu suurenemine madalamatel temperatuuridel suurem kui maisi- ja oatärklise puhul.

Tärkliste graanulite suuruste ja paisumise võrdlemine

Joonisel 12 on toodud graafik, mille järgi saab näha kuidas erinevate tärkliste graanulite läbimõõt suureneb temperatuuri tõusuga.



Joonis 12. Erinevate tärkliste graanulite suurus sõltuvalt temperatuurist

Temperatuuri mõju: Kõigi nelja tärklise graanulite keskmine läbimõõt suureneb temperatuuri tõustes. Keskmise läbimõõdu kasvukiirus ja juurdekasvu suurus erinevad aga olenevalt tärklise tüübist ja temperatuurist.

Keskmise läbimõõdu maksimaalne kasv: Kartulitärklise puhul suureneb keskmine diameeter maksimaalselt 80°C juures. Maisi- ja oatärklise puhul täheldati ka keskmise läbimõõdu maksimaalset suurenemist 80°C juures. Hernetärklise puhul suureneb keskmine diameeter maksimaalselt 75 °C juures.

Maksimaalse läbimõõdu võrdlus: Graanulite keskmise läbimõõdu maksimaalne suurenemine temperatuuril 80 °C on suurim kartulitärklise (102,85 µm), seejärel hernetärklise (56,75 µm), maisi (38,98 µm) ja lõpuks oatärklise (39,23 µm) puhul.

Kasv madalamatel temperatuuridel: Kõige vähem kasvab kartulitärklis madalamatel temperatuuridel. Seevastu hernetärklis kasvab kõige rohkem madalamatel temperatuuridel kui teised tärklised.

Seega näitavad andmed, et erinevat tüüpi tärklis reageerib temperatuurimuutustele erinevalt ja igaühel neist on oma graanulite keskmise läbimõõdu sõltuvus temperatuurist.

Graanulite suurus: Erinevad taimed sünteesivad erinevate omadustega tärklisi. Näiteks kartulitärklise graanulid on tavaliselt suuremad (20-100 µm), maisitärklisel aga väiksemad (5-25 µm). Amüloos, peamiselt lineaarne ja kergelt hargnenud glükoosipolümeer, moodustab 5–35% enamikust looduslikest tärklisest ja sellel on suur mõju tärklise omadustele toiduainetes. Amüloosi ja amülopektiini suhe tärklises mõjutab samuti graanulite suurust ja struktuuri. Kõrge amülopektiinisaldusega tärklistel võib graanulite suurus olla erinev võrreldes tärklisega, mis sisaldab rohkem amüloosi. [29]

Kartulitärklis on suurima graanulitega – algselt on see 27,89 µm ja kasvab 110,20 µm-ks. Teine on hernetärklis – algselt 21,16 µm ja kasvab 56,75 µm-ks. Oatärklis alustab sarnaselt hernetärklisega 20,65 µm aga kasvab ainult 39,23 µm-ks. Maisitärklise graanulid on kõige väiksemad, alustades 12,68 µm ning kasvavad 39,98 µm-ks.

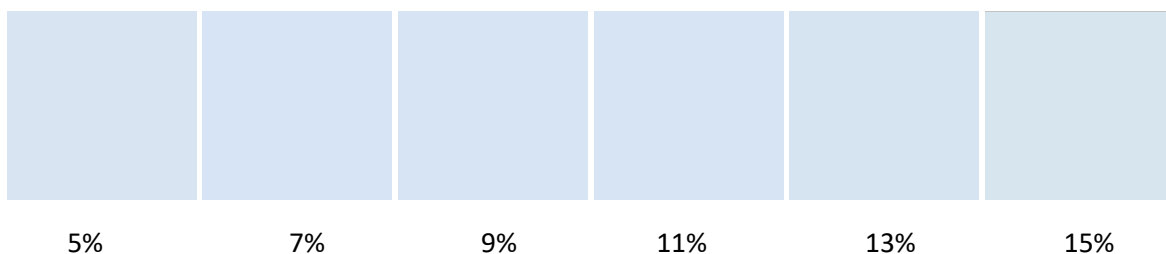
2.2.4. Geeli värvus

Kahjuks ei olnud võimalik värvi mõõta oatärklise geelidel kontsentratsiooniga 5, 7 ja 9%, kuna need ei tardunud ja ei hoidnud vormi, et neid kolorimeetriga uurida. Teiste geelide värvuse L, a ja b väärtused on toodud tabelis 7. Antud numbreid kasutati selleks, et leida värvide koodid mis on nende numbritega seotud. Värvid, mille koodid olid leitud kolorimeetriga on toodud joonisel 13.

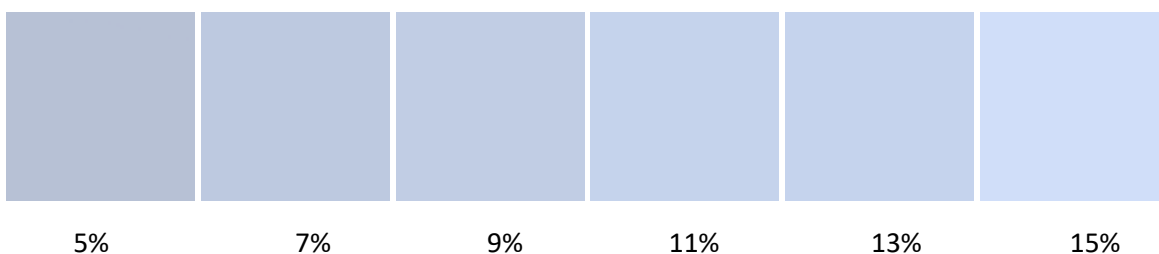
Tabel 7. Kolorimeetriga mõõdetud geelide värvide koodid

tärklise sisaldus	MAIS			HERNES			KARTUL		
	värv			värv			värv		
%	L	a	b	L	a	b	L	a	b
5	96,20	-1,72	-8,13	95,09	-5,20	0,92	77,88	-0,57	-10,87
7	94,37	-2,28	-10,20	99,00	-5,67	6,42	80,63	-0,64	-12,20
9	94,05	-2,49	-8,91	99,00	-5,12	9,68	82,01	-0,71	-13,04
11	94,25	-2,67	-8,88	99,00	-4,26	13,97	84,84	-0,74	-14,70
13	94,43	-2,87	-8,48	99,00	-3,79	18,82	84,70	-0,78	-14,29
15	97,03	-3,10	-6,56	99,00	-3,66	19,04	85,19	-0,83	-14,33
tärklise sisaldus	UBA								
	värv								
%	L	a	b						
11	99,00	-4,38	15,11						
13	99,00	-4,63	12,78						
15	99,00	-4,80	11,55						

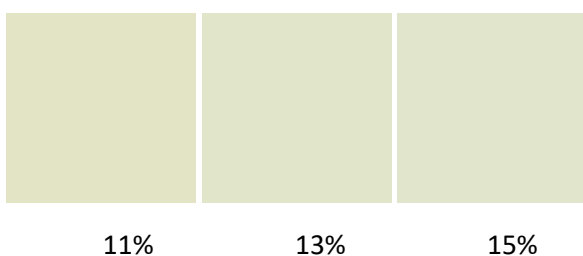
Maisitärklis:



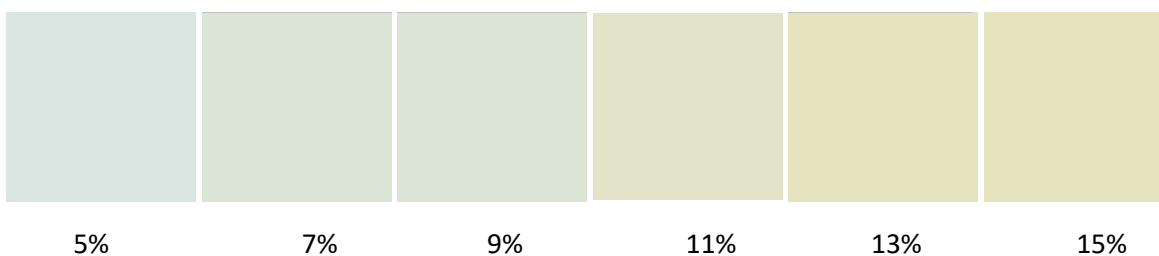
Kartulitärklis:



Oatärklis:



Hernetärklis:



Joonis 13. Erineva kontsentratsiooniga tärkli-segeelide värvused

Näha on, et tekkinud on kaks inimsilma jaoks erineva värviga paari: “sinise tooniga” paar – maisi- ja kartulitärklis, “kollase tooniga” paar – oa- ja hernetärklis.

Maisi- ja kartulitärklise geelid kontsentratsiooniga 5 ja 7% on inimsilma jaoks praktiliselt võrdsed, aga alates 9% maisitärklise geelide värv hakkab muutma rohelise poole ning iga kontsentratsiooni tõusuga kasvab ka b väärtus ning sinine toon hakkab kaduma. Kartulitärklise geelide värv aga alates 9% kontsentratsioonist muutub rohkem siniseks – b väärtus langeb -13,04 kuni -14,33.

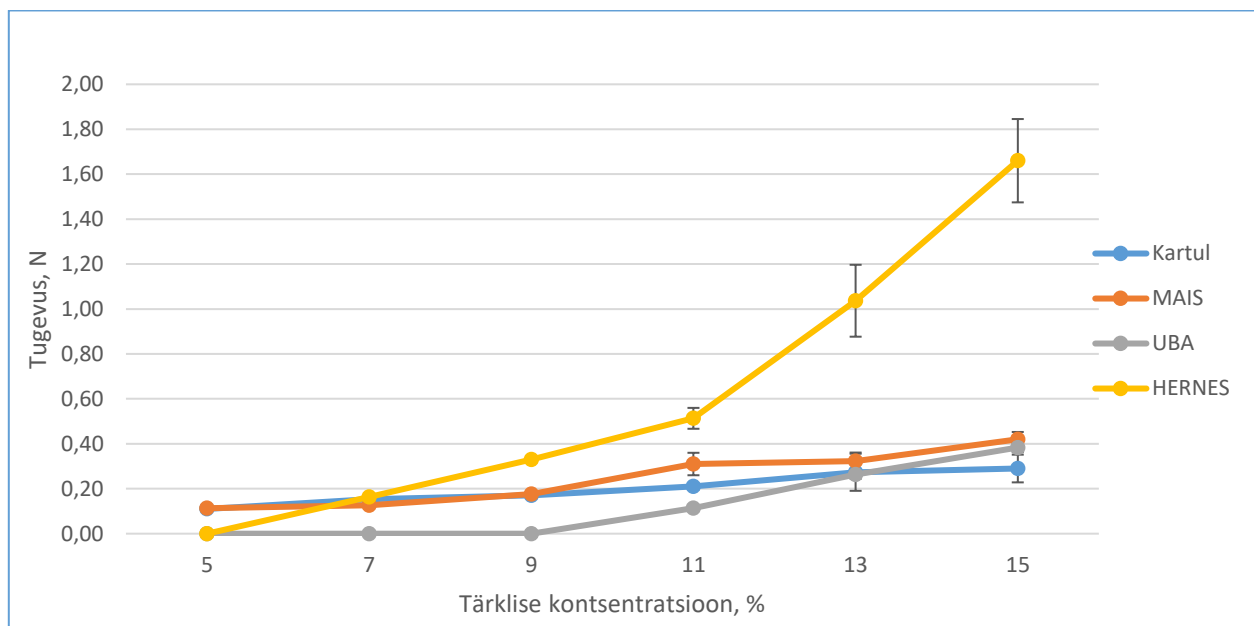
Kui võrrelda herne- ja oatärklist, siis on näha kuidas hernetärklise geelide värv muutub rohelisest kollaseni ning selle a ja b väärtused kasvavad oluliselt: 5% geeli b väärtus oli 0,92 ja 15% geeli b väärtus on juba 19,04. Oatärklis aga muutub vastupidi – b väärtus langeb iga kontsentratsiooni suurenemisega: alustades 11% geeli b väärtusega 15,11 ja lõppes 15% geeli b väärtusega 11,55.

Seega on näha, et kartuli- ja maisitärklised on puhtamate toonidega, kuna need on rafineeritud. Oa- ja hernetärklise pulbrid sisaldavad lisaks tärklisele aga ka valke ning rasvu, mis mõjutavad geelide värvust.

2.2.5. Geelitugevus

Kahjuks ei suutnud osad oa- ja hernetärklise geelid tekstuuri testimiseks vajalikul määral tarduda, selle pärast puudub info oatärklise geelide kohta, kontsentratsiooniga 5, 7 ja 9% ning puudub info ka hernetärklise 5% geeli kohta.

Joonisel 14 on toodud uuritud tärklise geelide tugevust sõltuvalt tärklise kontsentratsioonist.



Joonis 14. Tärklisegeelide tugevus sõltuvalt kontsentratsioonist

Kartulitärklis (Kartul): tärklise kontsentratsiooni suurenedes suureneb järk-järgult geeli tugevus. Geeli tugevus suureneb alustades 0,11 N 5% juures ning peatades 0,29 N 15% juures.

Maisitärklis (MAIS): Sarnaselt kartulitärklisele suureneb geeli tugevus koos keskendumisega. Geeli tugevus suureneb alustades 0,11 N 5% juures ning peatades 0,42 N 15% juures.

Oatärklis (UBA): Geeli tugevuse tase algab 11% tärklise kontsentratsioonist. Geeli tugevus suureneb alustades 0,11 N 11% juures peatades 0,38 N 15% juures.

Hernetärklis (HERNES): Geeli tugevuse väärtused ei olnud mõõdetud 5% ja 9% kontsentratsioonidel. Geeli mõõtmine algab 11% kontsentratsioonist, suurenedes 0,11 N-lt 1,66 N-ni 15% kontsentratsioonil.

Suurimat geelitugevust täheldati hernetärklise (HERNES) puhul kõrgete kontsentratsioonide korral (13% ja 15%), saavutades maksimaalse väärtuse 1,66 N. Väiksemat geelitugevust täheldatakse kartuli- ja maisitärklise puhul madalatel kontsentratsioonidel (5%). Hernetärklis näitab suurimat efektiivsust

tugevate geelide moodustamisel kõrgete kontsentratsioonide korral, samas kui oatärklis on madalate kontsentratsioonide korral kõige madalam, kuid suurendab ka selle tugevust oluliselt kõrgete kontsentratsioonide korral.

Hernetärklise keemiline koostis, sealhulgas lipiidide, fosfaatide ja muude komponentide olemasolu, võib mõjutada selle tarretusomadusi. Tärglise puhtus ja töötlemisviis võivad samuti mängida rolli. Hernetärklis võib sisaldada valgulisi lisandeid, mis võivad samuti mõjutada geelistumist. Need valgud võivad interakteeruda polüsahhariididega, tugevdades geeli struktuuri. [3]

6. Sünerees

Geelitugevuse uurimisel selgus, et osadel geelidel esineb tugev sünerees. Sünerees on nähtus, mille korral geel kahaneb või tõmbub kokku pärast moodustumist või jahtumist. See on tingitud vee vabanemisest geelist, mis viib selle mahu vähenemiseni ja vedela faasi moodustumiseni. Sünereesi tulemusena võib geel kaotada oma struktuuri ja tekstuuri, muutudes kokkusurutumaks ja vähem elastseks. [30]

Tabelis 8 on toodud erinevate uuritud tärgliste sünereesi väärtused.

Tabel 8. Erinevate tärgliste sünerees

Tärklis	Sünerees, %
Mais	2,80 ± 1,00
Kartul	0,95 ± 0,30
Uba	40,07 ± 6,10
Hernes	14,12 ± 1,77

Maisitärklise keskmine sünereesi väärtus on 2,80% standardhälbega 1,00%. Maisitärklise sünereesi tase on keskmine, madalam kui oatärklis, kuid kõrgem kui kartulitärklis. Kartulitärklise keskmine sünereesi väärtus on 0,95% standardhälbega 0,30%. Kartulitärklisel on teiste tärglistega võrreldes üldiselt madal sünereesitase. Oatärklise keskmine sünereesi väärtus on 40,07% standardhälbega 6,10%. Oatärklisel on kõigi tärgliste seas kõrgeim sünereesitase. Hernetärklise keskmine sünereesi väärtus on 14,12% standardhälbega 1,77%. Hernetärklise sünereesi tase on keskmine, madalam kui oatärklis, kuid kõrgem kui kartulitärklis.

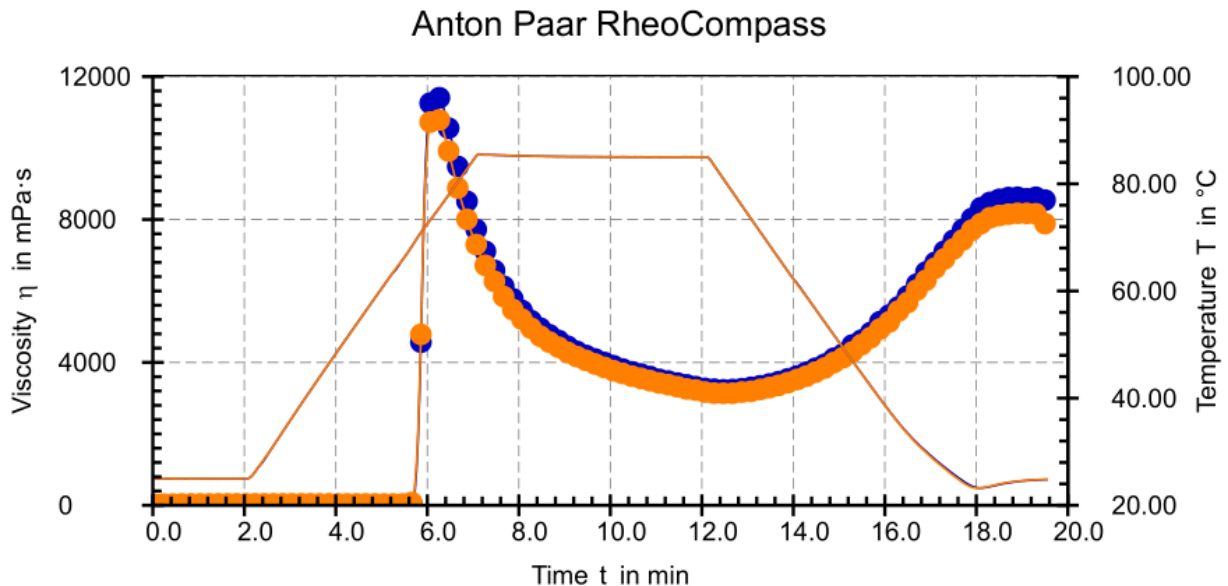
Seega on oatärklisel üldiselt kõrgeim sünereesitase, järgneb herne- ja maisitärklis ning madalaim on kartulitärklis.

Sünereesi võib põhjustada tärglise retrogradatsioon. See tähendab, et geelide jahutamisel ja säilitamisel toimub amüloosi retrogradeerumine, mis hõlmab amüloosiahelate taasassotsieerumist ja kristallstruktuuride moodustumist. Retrogradeerumine algab, kui geel jahtub ning amüloos ja amülopektiin ühinevad uuesti korrastatud struktuuriks. Ümberkorraldamise kiirust mõjutavad koostise tegurid, nagu amüloosi/amülopektiini suhe, tärglise polümeerisatsiooniate, tärglise modifikatsioon, vee kättesaadavus/liikuvus süsteemis, lisakomponentide olemasolu süsteemis (rasvhapped, valgud jne) ja töötlemistegurid, nagu aeg ja kliisterdumistemperatuur, geeli säilitustemperatuur ning aja ja temperatuuri tsüklid ladustamise ajal. See põhjustab geelist vee väljapressimise [31].

2.2.7. Reoloogia

Reoloogilised uuringud aitavad mõista, kuidas tärklikegeelid transpordil ja ladustamisel käituvad. Reoloogilised omadused mõjutavad selliseid protsesse nagu segamine, pumpamine, ekstrusioon ja vormimine.

Joonistel 15 – 18 on toodud erinevate tärkliste viskoossuse muutus sõltuvalt ajast ja temperatuurist.



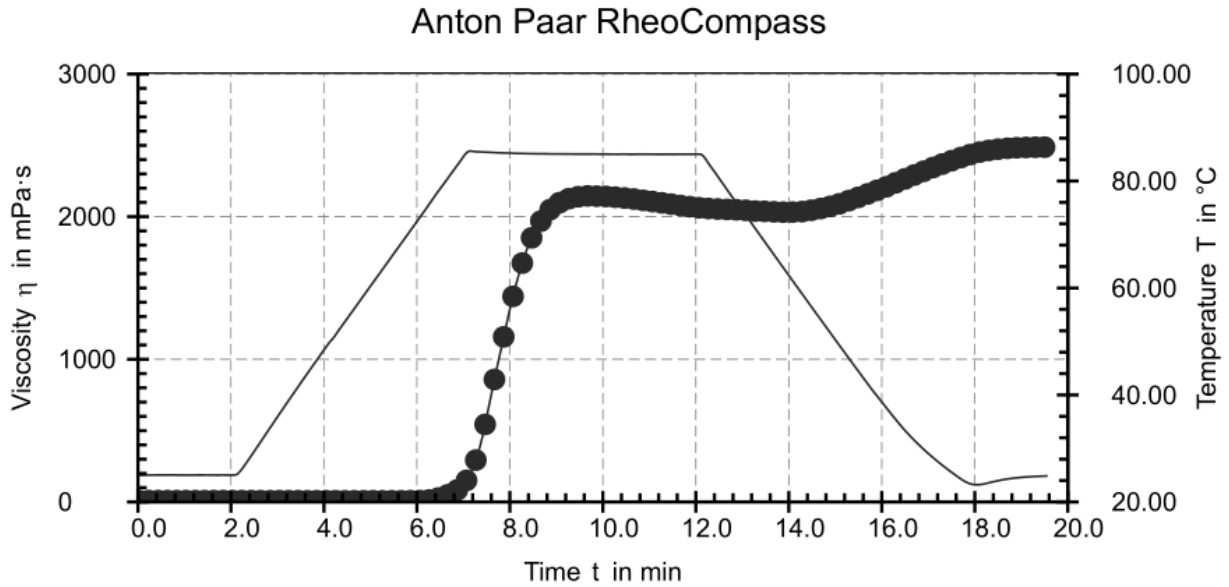
Joonis 15. 9% kartulitärklise lahuse viskoossuse sõltuvus ajast ja temperatuurist

Joonisel 15 saab näha, et maksimaalne viskoossus saavutatakse lahuse kuumutamisel umbes 74°C kraadini. Kui kartulitärklise suspensiooni kuumutatakse temperatuurini umbes 74 °C, toimub geelistumine, mille käigus tärklikegraanulid imavad vett ja paisuvad, muutes nende sisemist struktuuri.

Sel hetkel paisub suurem osa graanulitest täielikult ja purunevad, vabastades polüsahhariidahelad (amüloos ja amülopektiin) lahusesse. Selle tulemuseks on maksimaalne viskoossus, kuna vabanenud polüsahhariidid loovad keeruka võrgustiku, mis säilitab vett. Kui kuumutamist jätkatakse pärast haripunkti saavutamist, hakkavad polüsahhariidahelad kõrge temperatuuri mõjul lagunema. See viib viskoossuse languseni, kuna geeli struktuur muutub vähem sidusaks ja vesi hakkab võrgust välja pääsema. [25]

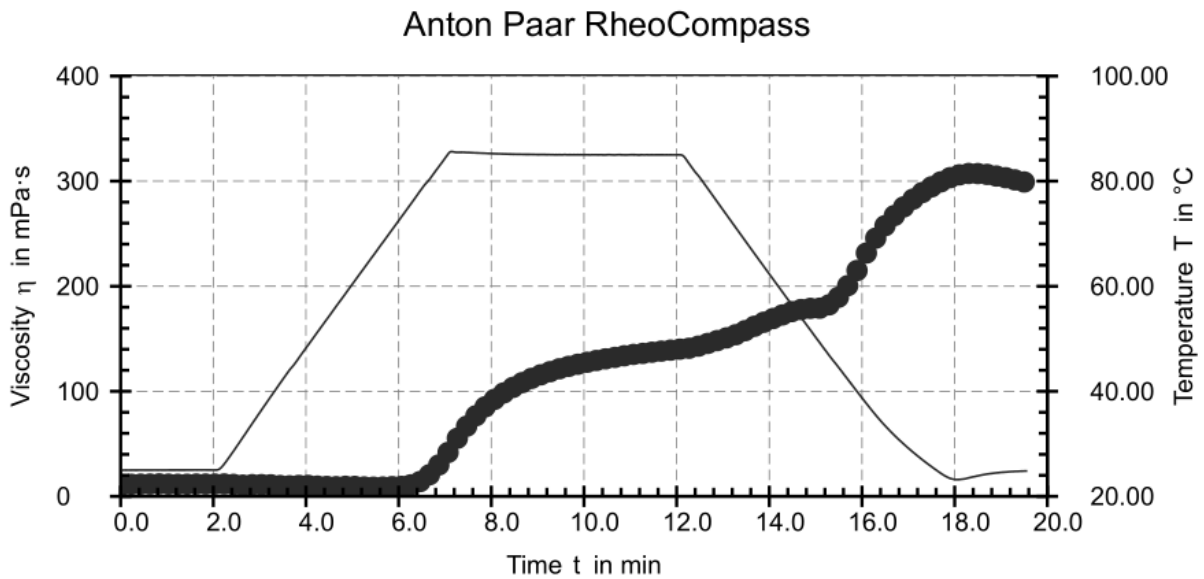
Jahtumisel hakkab viskoossus uuesti kasvama. See on tingitud tärklike geelistumisest, kus amüloos ja amülopektiin hakkavad uuesti seostuma, moodustades stabiilsemad ja tihedamad geelstruktuurid. [31]

Kui vaadata joonised 16, 17 ja 18, siis on näha, et ainult kartulitärklis näitab sellist viskoossuse käitumist.

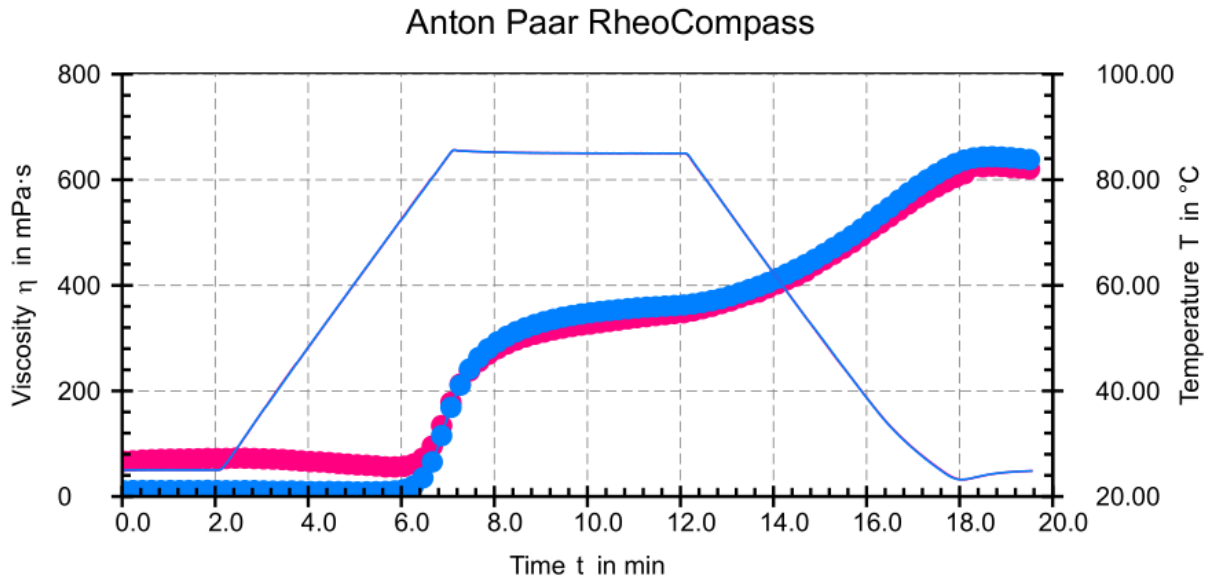


Joonis 16. 9% maisitärklise lahuse viskoossuse sõltuvus ajast ja temperatuurist

Maisitärklis hakkab geelistuma hiljem kui kartulitärklis, viskoossus suureneb järsult 65 kraadi juures ja püsib kogu kõrgendatud temperatuuri vältel ligikaudu sama tugevusega (joonis 16). Viskoossus suureneb järk-järgult jahtudes, saavutades maksimaalse väärtuse katse lõpus.



Joonis 17. 9% ootärklise lahuse viskoossuse sõltuvus ajast ja temperatuurist



Joonis 18. 9% hernetärklise lahuse viskoossuse sõltuvus ajast ja temperatuurist

Kui võrrelda jooniseid 17 ja 18, siis näeme, et oa- ja hernetärklise viskoossuse suurenemist näitav üldkõver on väga sarnane. Mõlemad tärklised hakkavad tarretuma veidi üle 60 kraadise temperatuuri juures, kuid oatärklise viskoossus on poole väiksem kui hernetärklise oma. Kui maksimaalne temperatuur jõuab 85 kraadini, aeglustub viskoossuse tõus kohe, kui temperatuur hakkab langema, viskoossus suureneb.

Tabelis 14 on toodud erinevate tärkliselahuste viskoossuste tulemused.

Tabel 14. Tärkliste suurim viskoossus, geelistumistemperatuur ja lõppviskoossus

Suurim viskoossus kõrgeimal temperatuuril				
	MAIS	KARTUL	UBA	HERNES
Viskoossus, cP	2146	7723	140	362,8
Temperatuur, °C	85	85,2	85	85
Geelistumistemperatuur				
	MAIS	KARTUL	UBA	HERNES
Temperatuur, °C	50,6	65,8	63,2	61,8
Lõppviskoossus				
	MAIS	KARTUL	UBA	HERNES
Viskoossus, cP	2486	8611	303,8	641

Tabelit 14 vaadates võib öelda et mikroskoopia uuringu tulemused langevad suures osas kokku reoloogia uuringuga, kui arvestada geelistumistemperatuuri. Mikroskoobiga oli näha, et tärklisegraanulid hakkasid paisuma ning geelistuma alates 60°C ning reoloogia uuringute tulemused näitavad, et maisitärklis geelistub temperatuuril 50,6°C, kartulitärklis 65,8°C, oatärklis 63,2°C ning hernetärklis 61,8°C juures.

Geelistumise alguses oli kõigil neljal tärglisel sarnane viskoossus (8,1 – 9,3 cP), 85 °C juures kõikide proovide viskoossus tõusis ja moodustusid geelid. Kõige suurema viskoossusega oli kartulitärklis – 7723 cP (74,4 °C), kõige madalama viskoossusega on oatarklis – 140 cP; Kartuli- ja hernetärklisel on sarnased omadused, eriti lõpliku viskoossuse poolest, mis muudab need jahutamisel paksemaks ja viskoossemaks. Maisitärklise geelistumistemperatuur on madalam, mis võib olla kasulik preparaatides, mis nõuavad geelistumist madalamatel temperatuuridel. Oatarklise viskoossus on kõikidel etappidel oluliselt madalam, mistõttu võib see olla vähem sobilik kõrget viskoossust nõudvate toodete jaoks.

Maisi-, kartuli-, oa- ja hernetärklise viskoossuse ja geelistumise temperatuuride erinevad tulemused on tingitud mitmest võtmetegurist:

- Kartulitärklis sisaldab amüloosiga võrreldes tavaliselt rohkem amülopektiini, mis muudab selle kuumutamisel viskoossemaks ja tarretavamaks.
- Maisitärklis sisaldab ka märkimisväärses koguses amülopektiini, kuid selle struktuur võib võrreldes kartulitärklisega olla vähem hargnenud.
- Oatarklis võib sisaldada rohkem amüloosi, mis muudab selle kuumutamisel vähem viskoosseks.
- Hernetärklis on ka kõrge amülopektiinisisaldusega, mis seletab selle kõrget lõppviskoossust.

Lipiidide ja valkude olemasolu tärglises võib samuti mõjutada selle viskoossust ja kuumenemiskäitumist. Näiteks võivad mõned tärglised sisaldada looduslikke lipiide, mis muudavad nende reoloogilisi omadusi.

Kokkuvõte

Töö eesmärgiks oli uurida kohalikust toorainest – põldoast ja kollasest hernest – kuivfraktsioneerimise teel toodetud tärkliste füüsikalisi omadusi, samuti võrrelda nende omadusi maisi- ja kartulitärklisega.

Töö on pühendatud tärkliste füüsikaliste omaduste uurimisele, kuna need on olulised polüsahhariidid, mida kasutatakse laialdaselt toiduaine-, farmaatsia- ja muudes tööstusharudes. Nende füüsikaliste omaduste - nagu lahustuvus, lahuste viskoossus, geelistumine ja geelide tugevus ja värvus - uurimine on tähtis, et optimeerida tärkliste rakendamist erinevates valdkondades.

Tulemustest selgus, et kaunviljade tärklised omasid oluliselt paremat veeimavusvõimet võrreldes maisi- ja kartulitärklisega. Need andmed toovad esile kaunviljade tärklise kasutamise potentsiaali toodetes, mille puhul on olulised veeimavusomadused, nagu kastmed, kreemid ja suure veeimamisvõimega tooted.

Samas leiti, et kaunviljade tärkliste viskoossus ja tarretuvus on võrreldes maisi- ja kartulitärklisega oluliselt madalam. Oa- ja hernetärklise viskoossus oli mitu korda madalam, mis võib piirata selle kasutamist kõrget viskoossust nõudvates toodetes. Need tulemused rõhutavad vajadust arvestada kaunviljade tärkliste spetsiifilisi omadusi toote- ja protsessiarenduses.

Kaunviljade tärklisest valmistatud geelidel on iseloomulikud värviomadused. Hernetärklis näitas nii visuaalselt kui ka kolorimeetriga mõõdetuna selgeid kollaseid toone, vastupidiselt maisi- ja kartulitärklisele, millel oli rohkem siniseid toone.

Kaunviljade tärklise, eriti herne- ja oatärklise süneresi määr on võrreldes kartuli- ja maisitärklisega oluliselt suurem. Need tulemused rõhutavad kaunviljade tärklise omaduste arvestamise tähtsust toote- ja tehnoloogiaarenduses, eriti kui vee eraldamise minimeerimine on kriitiline.

Tärklise füüsikaliste omaduste ja selle koostise edasiseks uurimiseks võib kaaluda järgmisi katseid: tärklise amülopektiini ja amüloosi sisalduse ning selle mõju funktsionaalsete omadustele, erinevate ekstraheerimisparameetrite (nt temperatuur, pH, aeg) mõju uurimine tärklise saagisele ja füüsikalistele omadustele ning lisandite, näiteks hüdrokolloidide mõju uurimine tärklise omadustele, sealhulgas selle viskoossusele, graanulite struktuurile ja tarretusvõimele.

Tänuavaldused

Tänan minu juhendajat Katrin Laos tema abi ja toetuse eest lõputöö kirjutamisel.

Tänan TFTAK esindajaid reomeetri kasutamise loa eest.

Tänan Karel Talvistut, kes aitas reomeetri kasutamisega.

Tänan bVegy esindajaid uurimismaterjalide andmise eest.

Kasutatud kirjandus

1. Eliasson A. C., ed. „Starch in Food: Structure, Function and Applications“, Woodhead Publishing, Taylor & Francis, 2004
2. Rufeevich A.N, Kulikov D.S., Modern Trends in the Development of Starch and Starch Products Technologies. *Food Industry*, 2018. (10), 26-30
3. Fuentes-Zaragoza E, Riquelme-Navarrete MJ, Sánchez-Zapata E, Pérez-Álvarez JA. Resistant starch as functional ingredient: A review. *Food Res Int.* 2010; 43(4):931-942. doi:10.1016/j.foodres.2010.02.004
4. Zarski A, Kapusniak K, Ptak S, Rudlicka M, Coseri S, Kapusniak J. Functionalization Methods of Starch and Its Derivatives: From Old Limitations to New Possibilities. *Polymers (Basel)*. 2024; 16(5):597. Published 2024 Feb 21. doi:10.3390/polym16050597
5. Farshi P, Mirmohammadali SN, Rajpurohit B, Smith JS, Li Y. Pea protein and starch: Functional properties and applications in edible films. *J Agric Food Res.* 2024; 15:100927. doi:10.1016/j.jafr.2023.100927
6. Young, A. H. (1984). Fractionation of starch. In *Starch: Chemistry and technology* (pp. 249-283). Academic Press.
7. Peeter Laurson. Taimsete valkude eraldamine, kontsentreerimine ja omaduste iseloomustamine. Polli Aiandusuurimuse keskus, Eesti Maaülikool, 2021
8. Chavalparit O, Ongwandee M. Clean technology for the tapioca starch industry in Thailand. *J Clean Prod.* 2009;17(2):105-110. doi:10.1016/j.jclepro.2008.03.001.
9. Zheng, G.H., Sosulski, F.W., & Tyler, R.T., Wet-milling, composition, and functional properties of starch and protein isolated from buckwheat groats, 1997. *Food Research International*, 30(7), 493-502.
10. Assatory A, Vitelli M, Rajabzadeh AR, Legge RL. Dry fractionation methods for plant protein, starch and fiber enrichment: A review. *Trends Food Sci Technol.* 2019; 86:340-351. doi:10.1016/j.tifs.2019.02.006.
11. Šárka E, Sinica A, Smrčková P, Sluková M. Non-Traditional Starches, Their Properties, and Applications. *Foods.* 2023; 12(20):3794. <https://doi.org/10.3390/foods12203794>
12. Kumari B, Sit N. Comprehensive review on single and dual modification of starch: Methods, properties and applications. *Int J Biol Macromol.* 2023; 253(Pt 3):126952. doi:10.1016/j.ijbiomac.2023.126952
13. Oikonomou NA, Krokida MK. Literature data compilation of WAI and WSI of extrudate food products. *Int J Food Prop.* 2011;14(1):199-240. doi:10.1080/10942910903160422
14. Guo Z, Jia X, Zhao B, Zeng S, Xiao J, Zheng B. C-type starches and their derivatives: structure and function. *Ann N Y Acad Sci.* 2017; 1398(1):47-61. doi:10.1111/nyas.13351
15. Yagofarov D, Kanarsky A, Sidorov Y, Polivanov M. Physicochemical properties of potato starch. *Vestnik Kazanskogo Tekhnologicheskogo Universiteta.* 2012; 15(12):212-215
16. Wu K, Li C, Li Z, et al. Highly-branched modification of starch: An enzymatic approach to regulating its properties. *Food Hydrocoll.* 2024; 147(Pt B):109433. doi:10.1016/j.foodhyd.2023.109433.

17. Ren, S., Zhang, G., Wang, Z., Sun, F., Cheng, T., Wang, D., Yang, H., Wang, Z., & Guo, Z. (2024). Potentially texture-modified food for dysphagia: Gelling, rheological, and water fixation properties of rice starch–soybean protein composite gels in various ratios. *Food Hydrocolloids*, 153, 110025; doi:10.1016/j.foodhyd.2024.110025
18. Huang, S., Chao, C., Yu, J., Copeland, L., & Wang, S. (2021). New insight into starch retrogradation: The effect of short-range molecular order in gelatinized starch. *Food Hydrocolloids*, 120, 106921.
19. Castanha, N., Villar, J., da Matta Junior, M. D., dos Anjos, C. B. P., & Augusto, P. E. D. (2018). Structure and properties of starches from Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) roots. *International Journal of Biological Macromolecules*, 117, 1029-1038; doi.org:10.1016/j.ijbiomac.2018.06.015
20. Deslandes, F., Plana-Fattori, A., Almeida, G., Moulin, G., Doursat, C., & Flick, D. (2019). Estimation of individual starch granule swelling under hydro-thermal treatment. *Food Structure*, 22, 100125; doi.org:10.1016/j.foostr.2019.100125
21. NIX Color Sensor CIELAB color converter (2024) <https://www.nixsensor.com/free-color-converter/>
22. Onwulata, C. I, Tunick M.H, Thomas-Gahring A.E. (2014). Rapid Visco Analysis of Food Protein Pastes. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(5), 2083-2089. doi:10.1111/jfpp.2014.38.issue-5
23. Sun, Xiang & Arntfield, Susan. (2010). Gelation properties of salt-extracted pea protein induced by heat treatment. *Food Research International - FOOD RES INT.* 43. 509-515. 10.1016/j.foodres.2009.09.039.
24. Denchai, N., Naree, S., Suwannaporn, P., Lin, J., Soontaranon, S., Kiatpongarp, W., & Huang, T. (2019). Retrogradation and Digestibility of Rice Starch Gels: The Joint Effect of Degree of Gelatinization and Storage. *Journal of Food Science*, 84; doi.org:10.1111/1750-3841.14633.
25. Adejumo A. L., Aderibigbe F. A., Owolabi R. U. (2013). Relationship between α -amylase degradation and amylose/amylopectin content of maize starches, Pelagia Research Library, 316.
26. Yousef N., Nazir F., Salim R., Ahsan H. and Sirwal A. (2017) Water solubility index and water absorption index of extruded product from rice and carrot blend. *J Pharmacogn Phytochem*; 6(6):2165-2168.
27. Irinislimane, Hassiba & Belhaneche-Bensemra, Naima. (2017). Extraction and Characterization of Starch from Oak Acorn, Sorghum, and Potato and Adsorption Application for Removal of Maxilon Red GRL from Wastewater. *Chemical Engineering Communications*. 204. 10.1080/00986445.2017.1325739.
28. Li, Ming & Daygon, Venea & Solah, Vicky & Dhital, Sushil. (2021). Starch granule size: Does it matter. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 63. 1-21. doi.org:10.1080/10408398.2021.1992607.
29. Mizrahi, S. (2010). Syneresis in food gels and its implications for food quality. In: Skibsted, L. H., Risbo, J., Andersen, M. L., eds. *Chemical Deterioration and Physical Instability of Food and Beverages*. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. Woodhead Publishing; 2010:324-348. doi:10.1533/9781845699260.2.324.

30. Scott, G., & Awika, J. M. (2023). Effect of protein–starch interactions on starch retrogradation and implications for food product quality. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 22, 2081–2111; doi.org:10.1111/1541-4337.13141
31. Nie, H., Li, C., Liu, P.-H., Lei, C.-Y., & Li, J.-B. (2019). Retrogradation, gel texture properties, intrinsic viscosity and degradation mechanism of potato starch paste under ultrasonic irradiation. *Food Hydrocolloids*, 95, 590-600.

Annotatsioon

Töö on pühendatud tärkliste füüsikaliste omaduste uurimisele, kuna need on olulised polüsahhariidid, mida kasutatakse laialdaselt toiduaine-, farmaatsia- ja muudes tööstusharudes. Nende füüsikaliste omaduste - nagu viskoossus, lahustuvus, geelistumine, kõvadus ja moodustunud geelide värvuse - uurimine on tähtis, et optimeerida tärkliste rakendamist erinevates valdkondades.

Töö eesmärgid:

1. Erinevate tüüpi tärkliste füüsikaliste omaduste analüüs: Uurida erinevatest taimsetest allikatest (mais, kartul, uba ja kollane hernes) saadud tärkliste füüsikaliste omaduste erinevusi.
2. Töötlemise mõju uurimine tärkliste omadustele: Hinnata, kuidas erinevad töötlemismeetodid (mehaaniline, termiline) mõjutavad tärkliste füüsikalisi omadusi.

Meetodid: Kasutati mitmesuguseid analüütilisi meetodeid, sealhulgas viskoossuse hindamiseks reoloogiat, vee omastamise uurimiseks halogeenimist, süneresi uurimiseks tsentrifuugimist ja tärkliste kristallstruktuuri määramiseks mikroskoopilist analüüsi.

Tulemused ja arutelu: Saadud andmed näitasid tärkliste füüsikaliste omaduste olulisi erinevusi sõltuvalt nende botaanilisest päritolust ja töötlemismeetoditest. Näiteks kartulitärklis oli teiste tärklistega võrreldes kõrge viskoossusega. Oa- ja hernetärklis näitas suuremat veeimavust ja süneresi. Maisitärklis näitas kõige madalama geelistumistemperatuuri.

Tärkliste füüsikaliste omaduste uurimine võimaldab paremini mõista nende käitumist erinevates tingimustes ja töötada välja tõhusamaid kasutusviise. Saadud tulemusi saab kasutada tehnoloogiliste protsesside optimeerimiseks toiduainetööstuses, ravimitootmises ja teistes valdkondades, kus tärklistel on oluline roll.

Töö koosneb 46 leheküljest, 18 joonisest, 14 tabelist.

Abstract

The work is devoted to the study of the physical properties of starches, as they are important polysaccharides widely used in food, pharmaceutical and other industries. The study of their physical properties - such as viscosity, solubility, gelation, hardness and color of the gels formed - is important to optimize the application of starches in various fields.

Work objectives:

1. Analysis of the physical properties of different types of starches: To study the differences in the physical properties of starches obtained from different plant sources (corn, potato, bean and yellow pea).
2. Investigation of the effect of processing on the properties of starches: To assess how different processing methods (mechanical, thermal) affect the physical properties of starches.

Methods: A variety of analytical methods were used, including rheology to assess viscosity, halogenation to study water solubility and absorption, centrifugation to study syneresis, and microscopic analysis to determine the crystal structure of starches.

Results and discussion: The data obtained showed significant differences in the physical properties of starches depending on their botanical origin and processing methods. For example, potato starch had a high viscosity compared to other starches. Bean and pea starch showed higher water absorption and syneresis. Maize starch showed the lowest gelation temperature.

The study of the physical properties of starches allows a better understanding of their behavior under different conditions and the development of more efficient uses. The obtained results can be used to optimize technological processes in the food industry, pharmaceutical production and other areas where starches play an important role.

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Elena Shestakova

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose
Tärkliste füüsikalise-keemilised omadused

mille juhendaja on Katrin Laos,

- 1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
 - 1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
 3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.
-

22.05.2024

¹ Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingulise tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtjaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.