



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA CHEMICKÁ

FACULTY OF CHEMISTRY

## ÚSTAV FYZIKÁLNÍ A SPOTŘEBNÍ CHEMIE

INSTITUTE OF PHYSICAL AND APPLIED CHEMISTRY

## GELOTVORNÉ LÁTKY PŘÍRODNÍ KOSMETIKY

GEL-FORMING SUBSTANCES OF NATURAL COSMETICS

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Pavla Prokopová

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Miloslav Pekař, CSc.

BRNO 2024

## Zadání bakalářské práce

Číslo práce: FCH-BAK1964/2023 Akademický rok: 2023/24  
Ústav: Ústav fyzikální a spotřební chemie  
Studentka: **Pavla Prokopová**  
Studijní program: Chemie pro medicínské aplikace  
Studijní obor: bez specializace  
Vedoucí práce: **prof. Ing. Miloslav Pekař, CSc.**

### Název bakalářské práce:

Gelotvorné látky přírodní kosmetiky

### Zadání bakalářské práce:

1. Seznámit se s pojmem přírodní kosmetika a souvisejícími předpisy.
2. Seznámit se s hydrogely a jejich charakteristikou.
3. V seznamu povolených látek přírodní kosmetiky identifikovat gelotvorné látky, vybrat vhodné zástupce pro experimentální část.
4. Navrhnout a uskutečnit experimenty, v nichž budou připraveny a charakterizovány hydrogely z vybraných látek.
5. Shrnout získané poznatky z pohledu přípravy hydrogelové matrice v přírodní kosmetice. vybraými přírodními látkami

### Termín odevzdání bakalářské práce: 20.5.2024:

Bakalářská práce se odevzdává v děkanem stanoveném počtu exemplářů na sekretariát ústavu. Toto zadání je součástí bakalářské práce.

-----  
Pavla Prokopová  
studentka

-----  
prof. Ing. Miloslav Pekař, CSc.  
vedoucí práce

-----  
prof. Ing. Miloslav Pekař, CSc.  
vedoucí ústavu

V Brně dne 1.2.2024

-----  
prof. Ing. Michal Veselý, CSc.  
děkan

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se zabývá surovinami pro přípravu hydrogelů přírodní kosmetiky a samotnými připravenými hydrogely. Cílem experimentální části bylo stanovit fyzikálně–chemické vlastnosti hydrogelů připravených z komerčně dostupných polysacharidů, které odpovídají podmínkám Standardům certifikované přírodní kosmetiky. První fází praktické části bylo optimalizovat postup přípravy jednotlivých hydrogelů a stanovit jejich optimální koncentraci pro použití při jejich charakterizaci. Druhou fází byla samotná příprava vzorků pro reometrické stanovení. Poslední fází byla samotná reometrie. Vybrané čtyři suroviny přímo z CPK Standardů byly xanthanová guma, guarová guma, tragantová guma a guma arabská. Výsledky celkem jasně prokázaly, že nejlepší surovinou použitelnou pro přípravu přírodního hydrogelu je xanthanová guma. Naopak, že hydrogel z arabské gummy je připravit téměř nemožné.

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis is focused on hydrogels preparation for natural cosmetics also it focused on those prepared hydrogels. The aim of the experimental part is to specify physical and chemical properties of hydrogels prepared from commercially available polysaccharides, which agree with conditionals of natural cosmetics standards. First phase of practical part was to prepare and optimize the preparation procedure of individual hydrogels and determine their optimal concentration for use in their characterization. The second phase was the actual preparation of samples for rheometric determination. The last stage was the rheometry itself. The four raw materials selected directly from the CPK Standards were xanthan gum, guar gum, tragacanth gum and gum arabic. The results clearly demonstrated that the best raw material for the preparation of natural hydrogel is xanthan gum. On the other hand, hydrogel from gum arabic is almost impossible to prepare.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

hydrogely, kosmetika, xanthanová guma, guarová guma, tragantová guma, arabská gum

## **KEY WORDS**

hydrogels, cosmetics, xanthan gum, guar gum, tragacanth gum, arabic gum

PROKOPOVÁ, Pavla. *Gelotvorné látky přírodní kosmetiky*. Brno, 2024. Dostupné také z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/152709>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, Ústav fyzikální a spotřební chemie. Vedoucí práce Miloslav Pekař.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem správně a úplně citovala. Bakalářská práce je z hlediska obsahu majetkem Fakulty chemické VUT v Brně a může být využita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího diplomové práce a děkana FCH VUT.

---

podpis studenta

*Na tomto místě bych chtěla poděkovat svému vedoucímu mé bakalářské práce panu prof. Ing. Miloslavu Pekařovi, CSc. za obrovskou ochotu, teoretické vedení a veškerý čas, který mi věnoval. Také bych chtěla poděkovat Ing. Andree Hurčíkové, Ph.D. za cenné rady při začátku mojí práce. Dále děkuji paní Leoně Kubikové, Ing. Martinu Kadlecovi a ostatním kolegům, kteří mi vždy byli ochotni pomoci. V neposlední řadě chci poděkovat svojí rodině a přátelům, že mi vždy pomohli a vždy mě podpořili po celou dobu mého bakalářského studia.*

# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>7</b>
2.1	Hyrogely .....	7
2.1.1	<i>Vznik hydrogelů</i> .....	7
2.1.2	<i>Kategorizace hydrogelů</i> .....	9
2.2	Kosmetický přípravek .....	10
2.2.1	<i>Certifikovaná přírodní kosmetika</i> .....	10
2.3	Xanthanová guma .....	11
2.4	Guarová guma .....	12
2.5	Tragantová guma .....	12
2.6	Arabská guma .....	13
2.7	Reologie .....	14
2.7.1	<i>Dynamická viskozita</i> .....	15
2.7.2	<i>Nenewtonovské kapaliny</i> .....	16
2.7.3	<i>Viskoelasticita látek</i> .....	18
<b>3</b>	<b>SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY</b> .....	<b>19</b>
<b>4</b>	<b>EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST</b> .....	<b>21</b>
4.1	Přístroje a pomůcky .....	21
4.2	Chemikálie .....	21
4.3	Gravimetrie .....	21
4.4	Příprava vzorků .....	21
4.4.1	<i>Optimalizace přípravy vzorků</i> .....	21
4.4.2	<i>Příprava hydrogelu z xanthanové gumy</i> .....	22
4.4.3	<i>Příprava hydrogelu z guarové gumy</i> .....	22
4.4.4	<i>Příprava hydrogelu z tragantové gumy</i> .....	22
4.4.5	<i>Příprava hydrogelu z arabské gumy</i> .....	22
4.5	Reometrie .....	22
4.5.1	<i>Tokové křivky</i> .....	22
4.5.2	<i>Amplitudové testy</i> .....	23
4.5.3	<i>Frekvenční testy</i> .....	23
<b>5</b>	<b>VÝSLEDKY A DISKUZE</b> .....	<b>24</b>
5.1	Gravimetrie .....	24
5.2	Optimalizace a příprava vzorků .....	24
5.3	Reometrie .....	25
5.3.1	<i>Tokové testy</i> .....	25
5.3.2	<i>Amplitudové testy</i> .....	27
5.3.3	<i>Frekvenční testy</i> .....	29
<b>6</b>	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>31</b>
<b>7</b>	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b> .....	<b>32</b>
<b>8</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ</b> .....	<b>35</b>
8.1	Seznam použitých zkratk .....	35
8.2	Seznam použitých symbolů .....	35
<b>9</b>	<b>PŘÍLOHY</b> .....	<b>36</b>

# 1 ÚVOD

Přírodní kosmetika nabývá na své popularitě čím dál tím více, a to rapidním tempem. Tím se může tvořit i tlak na výrobce jednotlivých kosmetických výrobků, aby co největší podíl surovin, co používají při výrobě, byl přírodního původu. Každý nový produkt, co nese označení „přírodní“ nebo dokonce „bio“ získává na trhu větší šance na úspěch než ostatní nové produkty. V dnešní době neexistuje žádné nařízení vydané státem o tom, jak by mělo složení takového „přírodního produktu“ vypadat. O to se však postarala společnost KEZ – Kontrola ekologického zemědělství (<https://www.kez.cz>). V dokumentu vydaném touto společností je jasně určeno, jaké látky se v certifikované přírodní kosmetice vyskytovat mohou a jaké nikoliv. Z jejich pozitivního seznamu látek byly vybrány zástupci polysacharidů, vhodných pro přípravu gelů v kosmetice, tedy gelotvorných látek.

Jako gelotvorné látky v kosmetice rozumíme takové látky, které po smíchání s vodou jsou schopné tvořit měkkou tuhounou hmotu s vysokým obsahem vody (hydrogel), zachycené v síťové struktuře. Hydrogely jsou velmi atraktivním materiálem, a to i přírodní, například pro medicínské aplikace, kdy fungují jako nosiče léčiv. Podobně pak slouží v kosmetice, kdy je hydrogel využíván jako nosič pro aktivní látku, kterou chceme aplikovat na kůži. V této bakalářské práci, bylo ale pracováno pouze s čistými hydrogely jednotlivých vybraných látek a byla provedena jejich fyzikálně-chemická charakteristika, a to převážně za použití metody reometrie. Experimentální metoda reometrie doplňuje vědní obor reologii, která neodmyslitelně patří k popisu viskoelastických látek, jako jsou právě hydrogely. Testy, které jsou aplikovány na hydrogely udávají převážně informace o materiálu, jeho odolnosti a také hustotě síťování. Tyto informace jsou velmi důležité pro další aplikace, pro jaké typy produktů je vhodné použít jaké materiály, popřípadě jaké koncentrace jednotlivých hydrogelů.

V teoretické části této bakalářské práce jsou obecně popsány hydrogely, jejich dělení a charakterizace. Uvedeny jsou také Standardy CPK (Certifikované přírodní kosmetiky), které upravují složení přírodních produktů, jaké látky nesmějí být použity a jaké naopak ano. Dále jsou obecně charakterizovány jednotlivé vybrané polysacharidy – xanthanová guma, guarová guma, tragantová guma a arabská guma. Jako poslední je teoreticky zpracována reologie a testy, kterým hydrogely byly podrobeny.

Experimentální část je věnována jak přípravě jednotlivých vzorků, tak samotnému reometrickému měření. Je rozebrána optimalizace přípravy jednotlivých vzorků i příprava vzorků pro samotné experimenty. U reometrie je většina věnována nastavení jednotlivých testů a vysvětlení jednotlivých parametrů.

Poslední část bakalářské práce je zaměřena na výsledky, jejich zhodnocení a diskuzi.

## 2 TEORETICKÁ ČÁST

### 2.1 Hydrogely

Hydrogely byly ve své podstatě během průběhu let definovány již různými způsoby. K nejběžnější definici však patří, že hydrogel je síť polymerních řetězců nabobtnalá vodou, která vzniká jednoduchou reakcí jednoho nebo více monomerů. Rovněž je hydrogel definován jako polymerní materiál, který vykazuje schopnost zadržovat významnou část vody ve své struktuře, ale ve vodě se nerozpouští [1].

To, že hydrogely jsou schopné absorbovat vodu vyplývá ze skutečnosti, že na jejich polymerní kostru jsou navázány hydrofilní funkční skupiny, zatímco jejich odolnost vůči rozpouštění ve vodě je způsobena zesíťováním mezi síťovými řetězci. Schopnost zadržovat vodu a propustnost jsou nejdůležitějšími charakteristickými vlastnostmi hydrogelů [1,2].

Právě proto, že polární hydrofilní skupiny se do kontaktu s vodou dostávají jako první, označujeme jimi navázanou vodu, jako tzv. „primárně vázanou vodu“. Díky tomuto jevu, dochází k nabobtnání sítě a tím dojde k obnažení hydrofobních skupin, které jsou poté také schopny reagovat s vodou a navázat tzv. „sekundární vodu“ neboli „hydrofobně vázanou vodu“. Síť může dále absorbovat vodu díky osmóze, což by vedlo k nekonečnému řešení. Tomuto dodatečnému bobtnání brání kovalentní nebo fyzikální vazby a tím hydrogel přichází do stavu rovnovážné úrovně bobtnání [2].

V závislosti na složení a povaze daného hydrogelu může dojít k dezintegraci a/nebo rozpuštění, pokud jsou vazby v síti hydrogelu degradovatelné neboli labilní. Labilní vazby mohou být rozrušeny za fyziologických podmínek enzymaticky anebo chemicky. Ve většině případů probíhá toto štěpení vazeb hydrolýzou. Klíčovou vlastností, odlišující biomateriály od ostatních materiálů, je jejich schopnost existovat a interagovat v přítomnosti specifických tkání, jako je třeba pokožka obličeje nebo obecně kůže, nebo fyziologických systémů, jako je třeba krev, imunitní buňky nebo molekuly, a nepůsobit jim žádné neúnosné množství poškození [2,3].

Obecně hydrogely vykazují dobrou kompatibilitu, jelikož jejich hydrofilní povrch, když přichází do kontaktu s tělesnými tekutinami, má nízkou mezifázovou volnou energii. To má za následek fakt, že proteiny a buňky mají nízkou tendenci přilnout k těmto povrchům. Navíc měkká a pryžová povaha hydrogelů snižuje riziko podráždění okolní tkáně. Klíčem k pochopení biokompatibility je právě pochopení toho, které chemické, fyzikální, fyziologické a další jiné mechanismy jsou aktivovány kontaktem biomateriálu s buňkami [2,3].

Příčné vazby mezi různými polymerními řetězci jsou příčinou viskózně-elastického chování, někdy až čistě elastického chování a dodávají gelu jeho charakteristické vlastnosti, jako strukturu (tvrdost), elasticitu a taktéž přispívají k lepivosti. Hydrogely mají díky svému velmi významnému obsahu vody velice podobný stupeň pružnosti jako přirozená tkáň. Je v podstatě možné měnit chemii hydrogelu řízením jejich polarity, povrchových vlastností, mechanických vlastností a bobtnání [2].

#### 2.1.1 Vznik hydrogelů

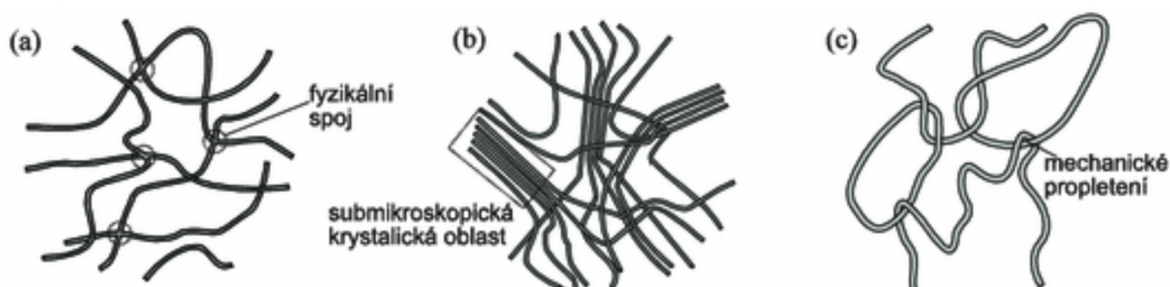
Děj, při kterém hydrogel vzniká se nazývá gelace. Jedná se o proces, při kterém se postupně více rozvětluje polymer, avšak stále zůstává rozpustný v závislosti na struktuře a konformaci výchozího materiálu. Směs takového rozpustného rozvětveného polymeru se nazývá „sol“. Proces dále pokračuje spojováním koloidních částic disperzního podílu v souvislou strukturu, postupně se stále čím dál víc zpevňuje prostorová síť. Moment, kritický bod, kde se poprvé gel objeví se nazývá „gelový bod“ [2,7].

Na rozdíl od solu a makroskopických molekul není spojitě pouze disperzní prostředí, ale také disperzní podíl je spojitý a není tedy v disperzním prostředí rozpustný. Disperzní částice dále už nejsou schopné pohybovat se v rámci disperzního prostředí nezávisle a v důsledku tohoto faktu, získávají gely mechanické vlastnosti pevných látek, i když je disperzní prostředí kapalného charakteru (např. některé gely se chovají jako pevné látky i v okamžiku kdy, je jejich obsah vody až 99,9 hm.% kapaliny). Gelace může probíhat dvěma procesy, a to fyzikálním spojením nebo chemickým spojením [2,4].

### 2.1.1.1 Fyzikálně síťované gely

Fyzikálně síťovaný gel vzniká tak, že se postupně spojují úseky polymerních řetězců působením fyzikálních sil, jako jsou van der Waalsovy síly, polární síly nebo vodíkové vazby, do uzlů nebo spíše uzlových oblastí. Jedno vlákno makromolekuly může být zapojeno do více uzlových oblastí, přičemž se tyto oblasti střídají s oblastmi volnými, které si zachovávají ohebnost a tepelný pohyb. Při snížení afinity vysokomolekulární látky k rozpouštědлу dochází k asociaci mezi jednotlivými řetězci, čehož může být dosaženo pomocí snížení teploty, zvýšením koncentrace nebo zhoršením kvality rozpouštědla, což následně vede k tomu, že se polymerní vlákna budou snažit držet co nejdále od rozpouštědla a budou se do sebe zaplétat čím dál víc [4].

Pokud nastane to, že je asociace makromolekul nepravidelná, náhodná, vznikají fyzikálním síťování gely amorfní (obrázek 1a). Dochází-li při vzniku gelu k procesu uspořádání molekul po menších úsecích lineárně vedle sebe, čímž se i zároveň snižuje Gibbsova energie celé soustavy, vytvoří se v této oblasti krystalická mřížka. Vzniká semikrystalický gel, kde struktura krystalické mřížky střídá oblasti amorfní. Není vyloučeno ani zapojení jedné makromolekuly jak do krystalické mřížky, tak do amorfní části. Počet jednotlivých oblastí ve struktuře gelu je závislý jak na charakteru vysokomolekulární látky, tak na podmínkách vzniku gelu. Také může vznikat gel, který obsahuje submikroskopické krystalické oblasti (obrázek 1b), které se vytváří díky separaci na koncentrovanou a zředěnou fázi ochlazeného roztoku polymeru amorfního charakteru. Poslední možností fyzikálního vzniku hydrogelu je geometrické síťování. Při něm dochází k mechanickému propletení řetězců v důsledku tepelného pohybu (obrázek 1c). Takováto propojení bývají ovšem pouze krátkodobá. Není-li soustava síťována také fyzikálně nebo kovalentně, nevydrží a po čase se polymery opět rozpletou a oddálí se od sebe [4].



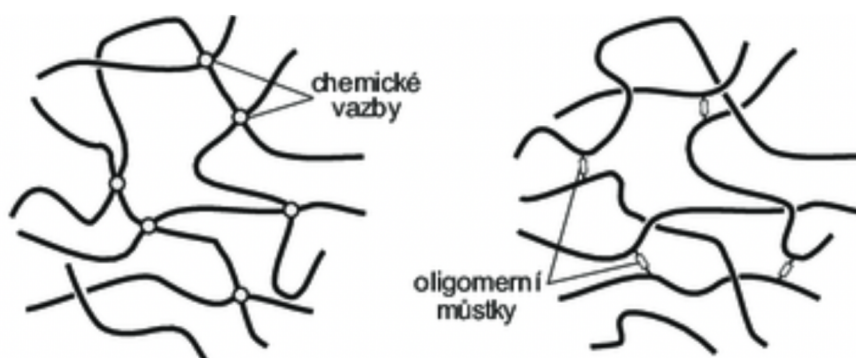
Obrázek 1: Struktura sítě fyzikálních gelů: a) amorfní gel, b) gel se submikroskopickými krystalickými oblastmi, c) geometricky síťovaný gel [6].

Uzlové oblasti fyzikálně síťovaných gelů jsou odlišné především ve velikosti, struktuře, a hlavně se liší pevností a dobou trvání, což může významně ovlivnit vlastnosti vytvořeného gelu. Gely s dobře pevnými spoji se svým chováním velmi přibližují kovalentně vzniklým gelům. Naopak sítě gelů se slabými uzly se následně pod vlivem většího napětí nebo vyšší teploty rozpadají [4].

### 2.1.1.2 Kovalentně síťované gely

Kovalentně síťované gely, jinak nazývané i jako chemicky síťované gely, představují nekonečnou trojrozměrnou síťovitou strukturu, tvořenou chemickými vazbami (obrázek 2), která může vznikat nelineární kondenzační nebo adiční polymerací monomerů. Druhou metodou, jak může vznikat tato síť, je z lineárních polymerů zesíťováním za přítomnosti vhodného činidla. Struktura gelů, které vznikly pomocí chemických vazeb je velmi pevná. Pokud by byl gel vysušen, vznikl by z něj velmi pevný xerogel. Ovšem opačná cesta, tedy převedení xerogelu zpět na lyogel (tedy gel, který jako disperze má kapalnou látku) by byla pouze taková, že by museli být chemické vazby narušeny. Při tomto procesu však není zaručeno, že by nebyly zničeny a přerušeny pouze ty vazby, které vznikly při průběhu gelace [4].





Obrázek 2: Kovalentně síťované gely [6].

### 2.1.2 Kategorizace hydrogelů

Klasifikace hydrogelů závisí na jejich fyzikálních vlastnostech, schopnosti bobtnat, původu, způsobu přípravy, dále záleží i na iontových nábojích, rychlosti biodegradace, tak i na pozorované povaze síťování [5].

Tabulka 1: Výbrané způsoby klasifikace hydrogelů [5].

způsob přípravy	homopolymerní hydrogely
	kopolymerní hydrogely
	multipolymerní
náboj skupin	záporný
	kladný
	neutrální
původ	přírodní
	syntetický
způsob síťování	fyzikálně síťované
	chemicky síťované

#### 2.1.2.1 Podle způsobu přípravy

Technika přípravy hydrogelů vede k jejich klasifikaci na tři větší skupiny. *Homopolymerní hydrogely* se označují jako polymerní sítě, které jsou odvozeny od jednoho druhu monomeru, který je základní jednotkou jakékoliv polymerní sítě. *Kopolymerní hydrogely* mají svoji strukturu složenou ze dvou nebo více odlišných monomerů, kde alespoň jeden z nich je hydrofilní, sestavených do náhodné, blokové nebo střídavé konfigurace podél řetězce polymerní sítě. *Multipolymerní hydrogely*, též nazývány jako interpenetrující polymerní hydrogely (IPN), jsou důležitou třídou hydrogelů. Jsou vyrobeny ze dvou nezávislých zesíťovaných syntetických a/nebo přírodních polymerních složek spojených do jedné sítě. Pokud je jednou složkou takového hydrogelu zesíťovaný polymer a druhou složkou nezesíťovaný polymer, nazýváme takový hydrogel jako semi-IPN [6].

#### 2.1.2.2 Podle náboje skupiny

Hydrogely lze rozdělit až do pěti skupin na základě přítomnosti a nepřítomnosti elektrického náboje na zesíťovaných řetězcích. Hydrogely mohou být neiontové (neutrální), dále pak iontové, kam zařadíme dvě podskupiny, přesněji iontový náboj kladný a záporný, občas máme hydrogely s nábojem amfoterním (amfolitickým), neboli takový hydrogel, jaký obsahuje jak kyselé, tak zásadité skupiny. Nakonec máme Zwitteriontové (polybetainy) hydrogely sestávající z aniontových i kationtových skupin v každé opakující se jednotce [6].

### **2.1.2.3 Podle původu**

Podle svého původu mohou být hydrogely rozděleny na dvě skupiny, a to na hydrogely syntetické a hydrogely přírodní [6].

### **2.1.2.4 Podle způsobu síťování**

Podle způsobu síťování dělíme hydrogely na fyzikálně síťované a chemicky síťované [4]. Rozdíl v těchto dvou skupinách hydrogelů je již popsán v kapitole 2.1.1 Vznik hydrogelů.

## **2.2 Kosmetický přípravek**

Podle nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1223/2009, o kosmetických přípravcích za kosmetický přípravek považujeme jakoukoli látku nebo směs určenou pro styk s vnějšími částmi těla, jako jsou pokožka, vlasový systém, nehty, rty i vnější pohlavní orgány, nebo přichází do styku se zuby a sliznicemi ústní dutiny. Výhradně se poté přípravek používá k jejich čištění, parfemaci, změny jejich vzhledu, jejich ochrany, udržování jich v dobrém stavu a k úpravě tělesných pachů [9]. Toto nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1223/2009, o kosmetických přípravcích stanovuje pravidla, které musí splňovat veškeré kosmetické přípravky dodávané na trh, s cílem zajistit fungování vnitřního trhu a vysokou úroveň ochrany lidského zdraví [9].

Každý kosmetický přípravek uvedený na trh musí mít na svém obalu informace o odpovědné osobě, včetně adresy, jmenovitý seznam obsahu v době balení vyjádřený hmotností nebo objemem. Taktéž musí být zřetelně uvedeno „datum minimální trvanlivosti“, které udává do kdy správně skladovaný přípravek bude plnit svoji původní funkci a bude zaručena jeho zdravotní nezávadnost. Toto kritérium se ovšem vztahuje pouze pro kosmetické přípravky, které mají minimální trvanlivost kratší než 30 měsíců. Pokud je jejich trvanlivost delší než tento časový údaj, žádné datum na balení být vyznačeno nemusí. Seznam ingrediencí, tedy všechny látky nebo směsi použité při výrobě, se uvádí v seznamu sestupně podle jejich množství v době přidání do kosmetického přípravku [9].

### **2.2.1 Certifikovaná přírodní kosmetika**

Vzhledem k tomu, že se stále více zvětšuje poptávka po kosmetických přípravcích, které mají ve svém složení přírodní, či bio složky a absenci české certifikační organizace, která by tuto problematiku byla schopna trvale řešit, vypracovala kontrolní organizace KEZ o.p.s. CPK – Standardy pro certifikaci kosmetických přípravků. KEZ o.p.s. je obecně prospěšná společnost, která na základě akreditace pro certifikační orgán provádí nezávislou kontrolu a certifikaci producentů, zpracovatelů a obchodníků zařazených v systému ekologického zemědělství [8].

K přípravě Standardů a pro samotný proces posuzování byly přizváni experti z oblasti výroby kosmetických přípravků a odborníků na kosmetickou péči. Smyslem daných Standardů je poskytnout spotřebitelům pravdivé a ověřené informace o obsahu ekologických a ekologicky šetrných surovin v certifikovaných kosmetických přípravcích [8].

Kvalitativní ukazatele kosmetických přípravků jsou zajištěny sledovatelností jednotlivých složek v průběhu celého vývojového, výrobního, a i distribučního procesu ve vztahu k životnímu prostředí. Tím je poté zabezpečena jednoznačná integrita produktu až ke konečnému spotřebiteli [8].

Dle Standardů CPK nesmí obsahovat následující:

- syntetická barviva,
- syntetické aromatické látky v souladu s ISO 9235,
- syntetické konzervanty mimo výslovně povolené,
- silikony,
- parafin, vazelinu a další obdobné produkty z ropy,
- polymery kyseliny akrylové v žádné formě,

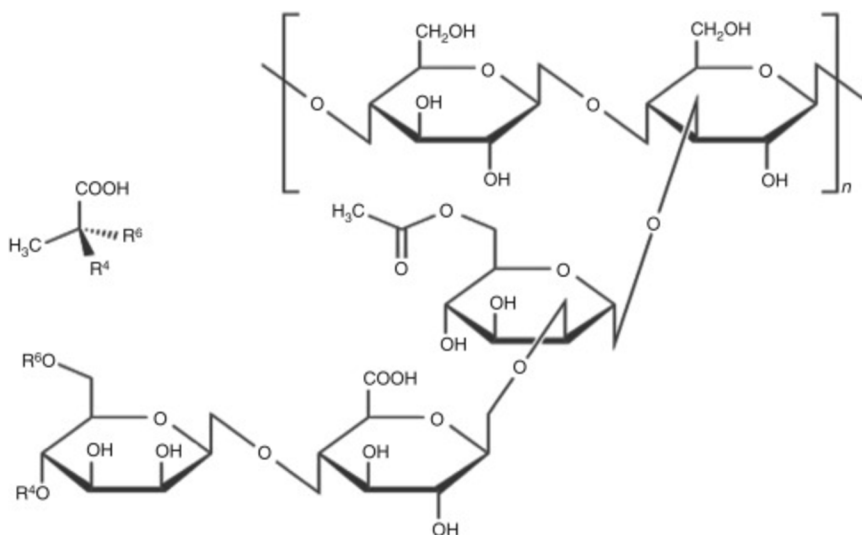
- látky, které podstoupily při své výrobě nebo v průběhu výroby CPK proces ozáření ionizující dávkou energie,
- chemické UV filtry,
- geneticky modifikované materiály a jejich produkty/deriváty,
- ethoxylované suroviny [8].

Řádné označení všech složek na etiketě v INCI (Mezinárodní nomenklatura kosmetických přísad) je nezbytné pro poskytnutí jasné a přesné informace spotřebiteli a je podmínkou certifikace. Výrobce musí prokazatelně doložit, že se Standardy seznámil všechny osoby, které se podíleli na přípravě CPK kosmetických přípravků. Dále se popisem „Smlouvy o certifikaci kosmetických přípravků“ výrobce kosmetických přípravků zavazuje k tomu, že bude podmínky Standardů dodržovat dobrovolně. Pokud by však výrobce chtěl svůj přípravek označit známkou „CPK bio“, musel by jeho kosmetický přípravek splňovat to, že obsahuje více jak 20 % bio surovin [8].

Suroviny pro výrobu CPK kosmetických přípravků můžeme dohledávat v pozitivním seznamu látek, které lze při CPK použít. Mimo jiné tento seznam upravuje i podmínky, za jakých má být používána samotná voda. Voda nesmí být použita taková, která podstoupila jakýkoliv proces chemické nebo fyzikální dezinfekce, popřípadě sterilizace typu ozařování ionizujícím jaderným nebo nejaderným zářením. Samotný pojem gelotvorné látky či hydrogely v tomto seznamu uvedeny nejsou. Pro výrobu gelů jsou použity polysacharidy, tudíž byly vybrány z kapitoly cukry, jmenovitě xanthanová guma, guarová guma, tragantová guma, arabská guma a jsou jednotlivě dále popsány (2.3–2.6) [8].

### 2.3 Xanthanová guma

Xanthanová guma je extracelulární polysacharidová guma produkovaná mikroorganismem *Xanthomonas campestris* a skládá se z glukózy, manózy a kyseliny glukuronové. Primární struktura xanthanové gumy je lineárně (1 → 4) spojená β-D-glukózová kostra s postranními trisacharidovými řetězci na každé druhé glukóze na C-3 (obrázek 3) [12].



Obrázek 3: Chemická struktura xanthanové gumy [11].

Jedná se o rychle hydratující ve vodě rozpustný hydrokoloid, který lze snadno rozpouštět při pokojové teplotě. Nepřetržité míchání a narušování struktury snižuje dobu hydratace xanthanu. Xanthanové polymery s dlouhým řetězcem se snadněji dispergují, ale za to se pomaleji hydratují. Obecně však platí fakt, že hydratace závisí na iontové síle. Pokud je iontová síla vysoká, potom má hydratace tendenci být pomalá [11].

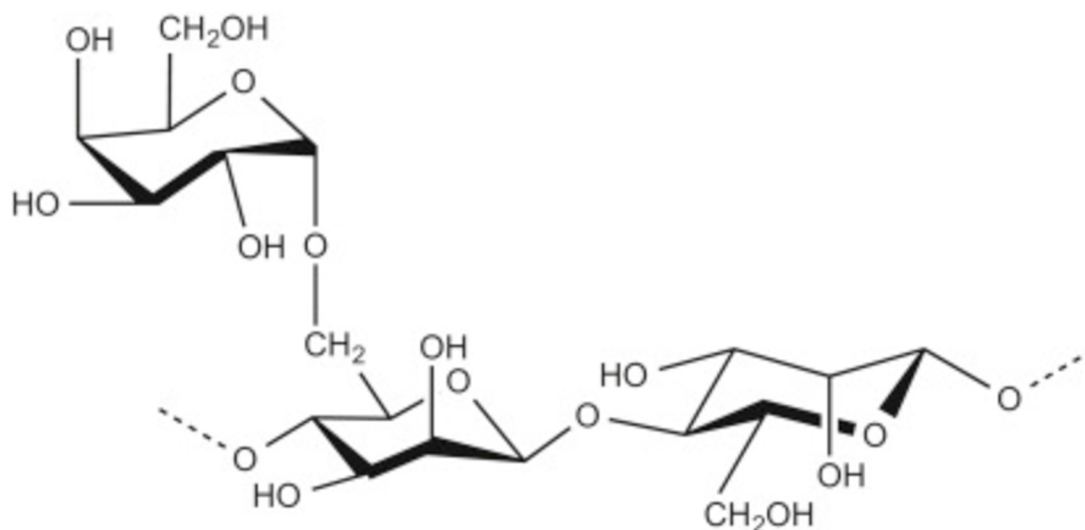
Roztoky xanthanové gumy mají viskoelastické vlastnosti a vytvářejí slabý gel, čehož se mimo jiné využívá i v potravinách jako jsou dresinky a omáčky. Dále jsou xanthanové gumy vysoce

pseudoplastické, což má za následek, že při zvyšování smykového tření se snižuje viskozita roztoku. Chování xanthanových roztoků, i jejich viskozita, jsou stabilní v širokém rozmezí pH (3–10) a teplot. Je známo, že xanthanová guma je jako zahušťovadlo stabilnější než jiná a zároveň dokonce také odolává enzymům, jako jsou amylázy, proteázy a celulózy [11,12].

Původce xanthanové gumy, mikroorganismus *Xanthomonas campestris*, je gram-negativní aerobní bakterie tyčinkovitého tvaru. Tato bakterie je mezofilní s optimální teplotou 25–30 °C, neaktivní se stává, když teplota klesne pod 10 °C. Právě xanthanovou gumu produkuje bakterie na povrchu své buněčné stěny během svého normálního životního cyklu pomocí enzymatického procesu. Komerčně je pak xanthanová guma získávána aerobním, submerzním fermentačním procesem [13,14].

## 2.4 Guarová guma

Guarová guma je polysacharid extrahovaný ze semen rostliny *Cyamopsis tetragonolobus*. Monomerní jednotka tohoto biopolymeru je složena z lineárně uspořádaných D-manózových monosacharidů pospojovaných vazbami  $\beta$ -1,4. Dále se ve struktuře ještě nachází monosacharidové jednotky D-galaktózy, které jsou navázány pomocí vazby  $\alpha$ -1,6, čímž se řetězec větvi (obrázek 4) [15, 17].



Obrázek 4: Chemická struktura guarové gumy [15].

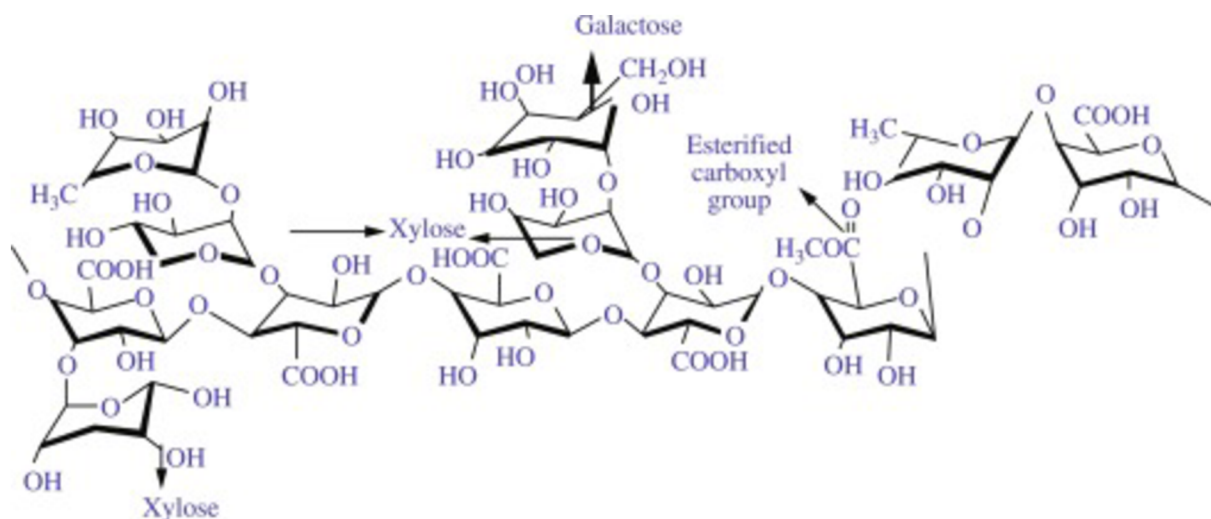
Tento polysacharid je rozpustný ve vodě, ale není rozpustný v alkoholu, tucích ani v organických rozpouštědlech. Použití samotné guarové gumy může způsobovat problémy jako je čistota roztoku, nekontrolovatelná rychlost hydratace, také pokles viskozity roztoku v čase a náchylnost roztoku k mikrobiální kontaminaci. Optimální hydratace tohoto hydrokoloidního polysacharidu je v rozmezí pH 7,5 a 9,0, ovšem stabilní dokáže být roztok v rozmezí pH 1,0 až 10,5 [15,16]. Pro řešení těchto problémů se často přistupuje k tvorbě derivátů guarové gumy. Nejběžněji používaným derivátem je hydroxypropylguar, který je získáván z guarové gumy nevratnou nukleofilní substitucí za použití propylenoxidu a v přítomnosti alkalického katalyzátoru [15].

Výhodou guarové gumy je, že je to cenově výhodný, velmi dobře dostupný a zároveň bezpečný polysacharid, který je často využíván jako zahušťovadlo nejen v potravinářství pro zahuštění omáček, dresinků a podobných výrobků. V kosmetickém průmyslu se používá pro výrobu pleťových krémů, past na zuby, tělových mlék nebo také holicí pěny. Ve farmaceutickém průmyslu je guarová guma využívána pro přípravky v pevných dávkových formách a pro perorálně dávkované léky s řízeným uvolňováním. Také bylo demonstrováno použití nanomateriálů na bázi guarové gumy, které byly připraveny metodou nanoprecipitace a síťování jako nosičů léčiv. Další možnou aplikací guarové gumy je její role jako stabilizačního činidla [18,19].

## 2.5 Tragantová guma

Tragantová guma je přírodní polysacharid pocházející z rostliny, z různých druhů íránských, tureckých i třeba indických luštěnin rodu *Astragalus*. Zejména se jedná o keře *Astragalus gummifer* a *Astragalus*

microcephalus, které se vyskytují v horských oblastech Turecka a Íránu. Vylučovaná míza rostlin *Astragalus* chrání rány rostlin před poškozením tkáně. Tato míza poté působením slunce a vzduchu tvrdne na vločky, tragantovou gumu. Skládá se ze dvou fází, první z nich, bobtnající ve vodě, se nazývá kyselina tragantová (nebo bassorin) a její obsah je 60–70 %. Druhá frakce, která je rozpustná ve vodě, se nazývá tragakanthin. Struktura je složena z hlavního řetězce zbytků kyseliny (1,4)- $\alpha$ -D-galaktopyranosyl-uronové s větvemi spojenými přes jednotky (1,3)- $\beta$ -D-xylózy zakončenými L-fukopyranózou (obrázek 5). [21,24]



Obrázek 5: Chemická struktura tragantové gumy [24].

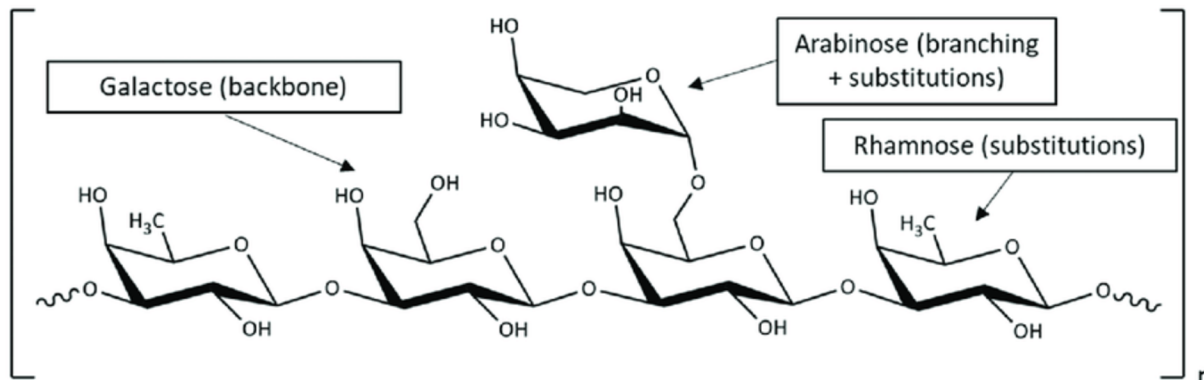
Tragantová guma dává vzniknout vysoce viskózním roztokům již při 1% koncentraci. Jeho viskozita se při zvyšování teploty nevratně snižuje. Roztok tragantové gumy je stabilní za kyselých podmínek a vykazuje při těchto podmínkách dobré emulgační schopnosti, a hlavně okolo pH 5 vykazuje nejlepší stabilitu. Kdežto nejlepší viskozita roztoku byla zaznamenána při pH 8. Vysoká viskozita při nízké koncentraci, vhodný suspenzní účinek, významná stabilita vůči teplu a kyselosti, dlouhá skladovatelnost a dobré emulgační vlastnosti vedly k široké škále aplikací tragantové gumy v průmyslu, v různých odvětvích [21,25].

Vzhledem ke svému obsahu proteinu (1–3 %), který snižuje povrchové napětí na rozhraní emulzí olej/voda a díky svému silně pseudoplastickému reologickému chování, je tragantová guma výhodnou volbou jako emulgační stabilizátor kapalných a viskózních emulzí. I v mnoha potravinách a farmaceutických přípravcích se tragantová guma používá jako stabilizátor, emulgátor, suspenzační činidlo a zahušťovadlo. I ve farmaceutických tabletách nachází uplatnění jako činidlo vytvářející matici a také jako látka s prodlouženou dobou uvolňování léčiva. Jednou z nejdůležitějších kosmetických aplikací tragantové gumy v kosmetickém průmyslu je jeho přidávání do vlasových gelů pro úpravu vlasů do požadovaných účesů. Tyto vlasové gely na přírodní bázi se nazývají gely katira, podle místního názvu tragantu v Íránu. Pro další použití může být tragantová guma smíchána s vodou a glycerolem. V tomto stavu velmi dobře funguje jako excipient pro vázání pilulkových hmot v kosmetických a farmaceutických přípravcích [24,25].

## 2.6 Arabská guma

Arabská guma, také známá jako guma akáciová, která se vyskytuje jako lepkavá kapalina vytékající ze stonků a větví akácií (*Acacia senegal* a *Acacia seyal*), které rostou v sahelském pásmu Afriky. Především se tyto stromy vyskytují v oblasti státu Senegal. Arabská guma se sbírá ručně, jelikož vytékající tekutina ze stromu na slunci vysychá a tvoří sklovité uzlíky. Guma z Akácie senegalské, tradiční zdroj arabské gumy, je komplexní polysacharid. Analýzou jeho sacharidové struktury se

ukázalo, že sestává z řetězce  $\beta$ -D-galaktózových monosacharidů spojených vazbou 1-3, kdy na uhlíku C6 dochází rozsáhlému větvení (obrázek 6). Tyto větve se skládají z galaktózy, arabinózy a končí rhamnózou a kyselinou glukoronovou. Stejně jako u jiných polysacharidů získávaných ze stromů, uvádí se u arabské gummy, že její chemické složení záleží na původu a stáří stromu, ze kterého se získává, také na klimatických podmínkách dané oblasti a na půdním prostředí rostliny [21, 23].



Obrázek 6: Chemická struktura arabské gummy [20].

Z důvodu velikého rozvětvení struktury arabské gummy tvoří viskózní roztok jenom za vysokých koncentracích gummy (~ 50 hm.%). Guma se skládá ze tří různých frakcí, u kterých bylo dokázáno, že obsahují různý podíl bílkovin. Většina gummy obsahuje poměrně nízký podíl bílkovin, ovšem druhá centrální frakce obsahuje velký podíl bílkovin a ta poskytuje opravdu dobré emulgační vlastnosti gummy čili dobře stabilizuje emulze oleje ve vodě. Prášek ve vodě hydratuje dost ochotně a připravit roztok o koncentraci 40–50 hm.% lze snadno zvládnout. Bylo zjištěno, že hydrofobní polypeptidový řetězec se adsorbují na olejové kapičky a ukotví molekuly k povrchu. Zatímco hydrofilní sacharidové bloky vyčnívají do roztoku a brání agregaci kapiček a koalescenci v důsledku elektrosterického odpuzování [21,22].

Arabská guma má široké průmyslové využití jako stabilizátor, zahušťovadlo a emulgátor, a to především v potravinářském průmyslu. Uplatnění též nachází ale ve farmaceutickém průmyslu jako emulgační a stabilizační činidlo, též jako pojivo tablet. Schopnost tvořit koncentrované roztoky nachází arabská guma silné využití v cukrářství, a to především v takových výrobcích, které obsahují velký podíl cukru, například u pastilek, kde arabská guma brání nebo snižuje krystalizaci cukru [22,23].

## 2.7 Reologie

Reologie je věda o deformaci a proudění. Jedná se o obor fyziky a fyzikální chemie, jelikož nejdůležitější proměnné pocházející z tohoto odvětví vědy a týkají se mechaniky – síly, výchylky a rychlosti. Termín „reologie“ pochází z řeckého slova „*rheo*“ – znamená „téct“. Doslova je tedy reologie „věda o proudění“ nebo „věda o toku“. Reologické experimenty ovšem neposkytují pouze informace o proudění v kapalinách, také je v rámci nich zkoumáno deformační chování pevných látek. Souvislosti můžeme vidět na tom, že dostatečně velká deformace pevné látky způsobena smykovými silami způsobí její tečení, a to u mnoha materiálů [26].

Poprvé byla reologie vnímána jako věda sama o sobě až na počátku 20. století. To ovšem neznamená, že se vědci i praktičtí uživatelé o chování kapalin a pevných látek nezajímali již dlouho před tím, i když některé jejich metody nebyly úplně příliš vědecké. Zvláště zajímavé mohou být různé pokusy o klasifikaci různého reologického chování, jako je klasifikace Marcuse Reinerja z roku 1931 a 1960, dále také klasifikace George W. Scott Blaira z roku 1942. Cílem reologů je změřit deformaci a tokové chování široké škály látek, srozumitelně prezentovat získané výsledky a vysvětlit je [26].

V reologii je možné popisovat dva mezní typy chování. Jestliže účinkem vnější síly nastane deformace, která vratně vymizí hned po odstranění účinku vnější síly, mluvíme o chování materiálu jako o elastickém chování. Taková chování je vykazováno látkami tuhými. Energie, kterou látka během deformace přijímá, je opět po její relaxaci uvolněna pryč. Druhým mezním typem chování, o kterém mluvíme je chování viskózní. Popisujeme ho v okamžiku, kdy působením síly hmota teče a tok se zastaví, ale neobráť, je-li síla odstraněna. Takové chování je charakteristické pro jednoduché tekutiny. Systémy, které se svým chováním nachází mezi dvěma mezními stavy, nazýváme viskoelastické. K nim patří řada koloidně disperzních systémů. U nich záleží na tom, jak dlouho na ně aplikovaná síla bude působit [4].

V rámci oboru reologie dnes existuje řada specializovaných disciplín, které se postupně profilovali podle metodického postupu. Mezi tyto podobory řadíme i reometrii. Toto odvětví se zabývá čistě získáváním kvantitavních informací o reologických vlastnostech. Reálné materiály jsou postupně podrobovány toku, resp. deformaci za kinematicky jednoduchých (nebo alespoň přesně definovaných) podmínek. Nejběžnějším způsobem, jak vyjádřit reometrické výsledky, jsou údaje o různých materiálových funkcích, ne pouze konstantách [27].

### 2.7.1 Dynamická viskozita

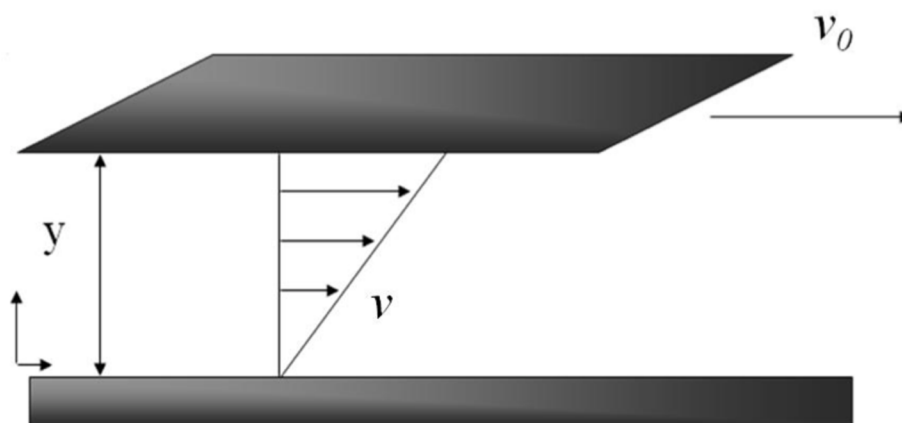
Dynamická viskozita  $\eta$  [Pa·s] je míra vnitřního odporu, způsobená pohybem dvou sousedních kapalin, vznikající chaotickým tepelným pohybem a působením mezimolekulárních přitažlivých sil. Tuto závislost je možné popsat pomocí Newtonova zákona:

$$\tau = \eta \frac{du}{dx} = \eta \cdot D$$

kde  $\tau$  [Pa] je tečné napětí, které může být dále vyjádřeno i pomocí elementární síly, která působí na určitou plochu (obrázek 7):

$$\tau = \frac{dF}{dS}$$

dále  $du$  je vzájemná rychlost pohybu smykových rovin, které jsou od sebe vzdáleny o  $dx$ , poměr těchto dvou veličin poté dává gradient rychlosti  $D$ , charakterizující tvarové změny v proudící kapalině [28].

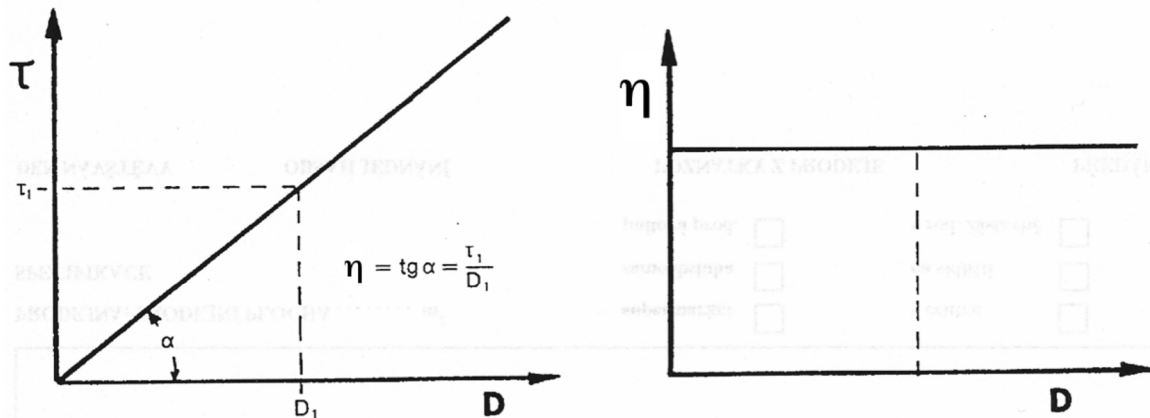


Obrázek 7: Model reologického chování [29].

Poměr dynamické viskozity  $\eta$  a hustoty dané kapaliny  $\rho$  nazýváme kinematickou viskozitou  $\nu$  [ $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ]. Kinematickou viskozitu využíváme u popisu takových kapalin, kdy je děj závislý jak na viskozitě, tak jejich hustotě, např. při popisu hydrodynamiky kapalin [30].

Tekutiny, které se řídí Newtonovým zákonem se označují jako **newtonovské kapaliny** a jedná se často o nízkomolekulární látky. Jejich viskozita závisí pouze na teplotě a je splněna přímá úměrnost

mezi smykovým napětím a gradientem rychlosti. Kapaliny není závislá na tečném napětí a pro jejich tokovou křivku platí následující rovnice:  $\eta = \operatorname{tg} \alpha$  (obrázek 8) [28,30].



Obrázek 8: Toková a viskozitní křivka kapaliny [30].

## 2.7.2 Neneutronovské kapaliny

Vedle kapalin newtonovských popisujeme i kapaliny neneutronovské, jedná se o kapaliny reologicky složitější než řídicí se Newtonovským zákonem. Analogicky s Newtonovým zákonem pro ně platí rovnice:

$$\tau = \eta \cdot D$$

kde  $\eta$  [Pa·s] není viskozita dynamická, ale viskozita zdánlivá, která není látkovou konstantou. U takovýchto systémů je reologické chování závislé na viskozitě disperzního prostředí, koncentraci a velikosti částic i na případném náboji částic disperzního podílu [4,30]. Některé typy neneutronovských kapalin jsou uvedeny níže. Rozdíly mezi nimi jsou velmi dobře viditelné v grafickém znázornění tokových a viskozitních křivek (obrázek 9).

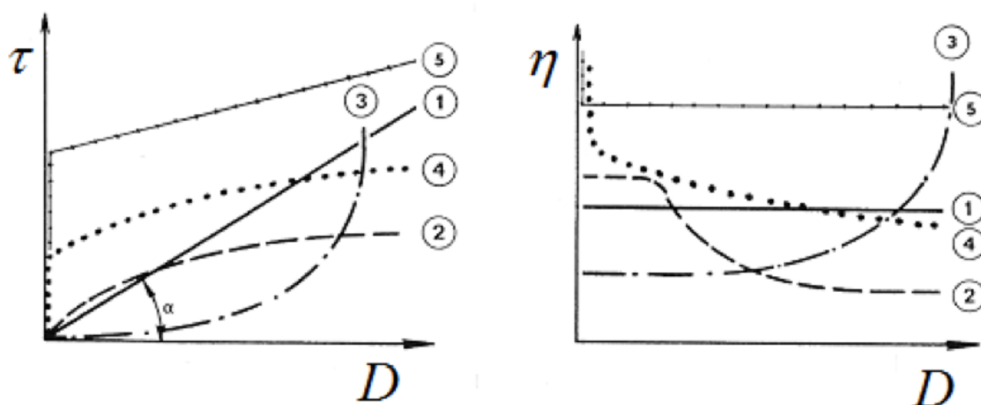
### *Pseudoplastické kapaliny*

Kapaliny, jejichž viskozita zdánlivá  $\eta$  se s rostoucím gradientem rychlosti  $D$  zmenšuje, se nazývají pseudoplastické. Takovéto chování může být jednoduše vysvětleno tím, že se zvyšující se smykovou rychlostí se jednotlivé částice urovnávají ve směru působení napětí a tím se viskozita snižuje. Z hlediska technického je pseudoplastické chování vítanou vlastností, jelikož se snižuje energetická náročnost při míchání i toku kapalin v potrubí [28].

### *Dilatantní kapaliny*

Koncentrované a dobře stabilizované suspenze se často chovají právě opačně než pseudoplastické kapaliny, vykazují tzv. dilatanci. Jejich zdánlivá viskozita roste s rostoucím gradientem rychlosti. Při malých napětích kapaliny tečou stejně jako newtonovské a viskozita je konstantou. Při větších napětích ovšem nastává náhlý vzrůst viskozity a gradient rychlosti zůstává více méně konstantní i při dalším zvyšování napětí. Dilataci je více výhodné spíše potlačit změnou složení, jelikož je technologicky velmi nevýhodná a často spíše komplikuje technologické procesy. V koncentrované suspenzi jsou částice uloženy co nejtěsněji u sebe, tudíž při malých rychlostech deformace je suspenze stále teče, dokáže se stále obnovovat původní uspořádání vlivem Brownova pohybu. Kdežto rychlou deformací se uspořádání naruší a zvětší se celkový objem mezer. Ve velké rychlosti se nestihá zpětně obnovovat uspořádání a odpor proti toku prudce stoupá – viskozita se zvyšuje [4,28].





Obrázek 9: Tokové a viskozitní křivky vybraných kapalin – (1) newtonovská kapalina, (2) strukturně viskozitní kapalina, (3) dilatantní kapalina, (4) plastická kapalina (pseudoplastická s mezí toku) a (5) binghamská kapalina [28].

### Binghamské kapaliny

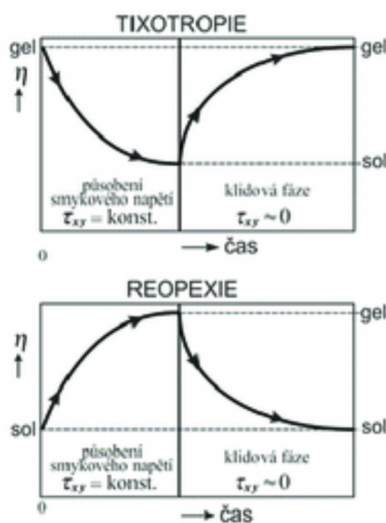
Kapaliny s plastickou složkou deformace (plastické kapaliny) jsou takové, u kterých dochází k toku až po překročení určitého prahového smykového napětí, tzv. meze toku (kluzu)  $\tau_K$ . Do doby, než dojde k překročení meze toku chová se systém jako pevná látka. Po překročení této hodnoty se viskozita dostává téměř na hodnotu konstantní, která se již při dalším zvýšení gradientu smykové rychlosti nemění. Pro tyto kapaliny platí:

$$\tau - \tau_K = \eta_0 \cdot D$$

Mezi takové kapaliny řadíme koncentrované průmyslové i odpadní kaly, ale také i fyzikálně síťované gely [4,28].

### Tixotropní a reopektické kapaliny

Dosud popsané kapaliny, resp. jejich reologické vlastnosti nebyly časově závislé. Kapaliny, které svoji zdánlivou viskozitu mění v závislosti na čase se nazývají buď tixotropní nebo reopektické. Obě jejich tokové křivky vykazují hysterezi, což znamená že křivka získaná měřením zvyšování napětí se liší oproti křivce získané z měření, kde napětí klesá ve stejném rozmezí hodnot (obrázek 10). Pokud některé pseudoplastické a plastické systémy při námaze jeví zdánlivou viskozitu, jejíž hodnota klesá, a po ponechání v klidu se viskozita zase asymptoticky přibližuje zpět ke své původní klasické metodě, vykazují systémy tixotropii. U dilatantních systémů se objevuje efekt opačný – reopexie – zdánlivá viskozita při namáhání s časem roste. V klidu se viskozita systému zase vrací k běžné nižší hodnotě [4].



Obrázek 10: Tixotropie a reopexie [4].

### 2.7.3 Viskoelasticita látek

V předchozí kapitole bylo popsáno, jak můžeme charakterizovat kapalinu pomocí viskozity. Tato charakterizace však jednoznačně není dostačující. U mnoha jevů je podstatné vzít v potaz i elastické chování. V tento okamžik se volí oscilační testy, které pomáhají viskoelastické látky charakterizovat. Při oscilačním testování je vzorek vystaven harmonicky se měnícím (obvykle sinusovým) deformacím s malou amplitudou ve smykovém poli. Tento typ experimentálního testování vede k měření viskoelastických vlastností. Nejčastěji používané termíny pro popis viskoelastických vlastností jsou takzvané moduly. Paměťový modul popisuje složku elastickou, udávající množství akumulované energie. Naopak ztrátový modul popisuje složku viskózní a udává množství uvolněné energie ve formě tepla. Celkovou tuhost látky poté určíme pomocí takzvaného komplexního modulu:

$$G^* = \sqrt{G''^2 + G'^2}$$

kde  $G''$  představuje ztrátový modul a  $G'$  modul paměťový [31].

Další velice běžnou veličinou popisující chování a vlastnosti viskoelastických látek je fázový úhel:

$$\tan \delta = \frac{G''}{G'}$$

který je funkcí frekvence a pohybuje se v rozmezí 0 až 90°. Podle fázového úhlu můžeme dále určovat charakter dané látky. Pokud je fázový úhel 0° jedná se poté o čistě viskózní kapalinu, bez zástupu elastické složky. Naopak pokud se jedná o čistě elastickou látku, fázový úhel se rovná hodnotě 90° [31].

#### *Amplitudový test*

Jedním ze základních oscilačních testů je test amplitudový, při kterém je vzorek podrobován vlivu deformace na něj od nejmenších úhlů vzrůstající deformace sinusovým způsobem, až k velkým úhlům způsobující větší deformaci. Během testu je proměnou pouze amplituda deformace, teplota i frekvence zůstávají konstantní. Určuje se, jaká deformace nakonec definitivně poruší strukturu. Výsledky jsou typicky prezentovány jako závislost modulů  $G'$  [Pa] a  $G''$  [Pa] na deformaci [%]. Amplitudový test na jeho konci určuje lineární viskoelastickou oblast (LVO), konstrukční pevnost a tuhost vzorku, jeho konstrukční stabilitu a dynamickou mez kluzu, mez toku (pro viskoelastické pevné látky). Oblast LVO je rozmezí hodnot amplitud, kdy ztrátový i paměťový modul jsou konstantní, a tedy struktura není deformací porušena [32].

#### *Frekvenční test*

Navazujícím testem na test amplitudový je frekvenční test. Při tomto testu je frekvence proměnou a amplituda, která bývá vybírána z oblasti LVO získané pomocí amplitudového testu, i teplota zůstávají konstantní. Je sledováno chování viskoelastické látky při krátkodobé relaxaci (vysoké frekvence) a dlouhodobé relaxaci (nízké frekvence). Výsledkem je tvar dvou křivek – závislost modulů  $G'$  [Pa],  $G''$  [Pa] na frekvenci [Hz]. Tímto testem jsou získány informace např. o míře zesíťování nebo obecné stabilitě zkoumaného vzorku [32].

### 3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Rešerše v této bakalářské práci je zaměřena především na přímé, popřípadě nepřímé, využití vybraných polysacharidů v kosmetickém průmyslu. Cílem rešerše bylo zjistit možné aplikace polysacharidů v kosmetických přípravcích, s jakými dalšími látkami se v kosmetických přípravcích vyskytují a také vhodný způsob stanovení charakteristických fyzikálně–chemických vlastností samotných látek i hydrogelů z nich připravených.

Autoři *Seweryn, Wasilewski a kol.* [33] se s ohledem na koncepci udržitelného rozvoje a s ohledem na nové trendy v kosmetickém průmyslu rozhodli pro studii, ve které formovali prototypy sprchových gelů. Cílem jejich studie bylo zhodnotit proveditelnost použití extraktu z digestátu bohatého na surfaktin, surovinu biotechnologického původu, jako přísady do čistící kosmetiky. Sprchové gely formulované ze surovin přírodního původu s přidavkem extraktu bohatého na surfaktin vykazují přijatelné funkční vlastnosti včetně viskozity, pěnivosti a emulgačních vlastností tuků.

Pro účely studie byly vyvinuty formulace sprchových gelů jejichž základ byl vždy stejný a skládal se z následujících surovin – voda, kokoyl glutamát disodný (6 hm.%), xanthanová guma (1 hm.%) a propandiol. Proměnnou analyzovanou ve studii byla koncentrace surfaktinu v extraktu digestátu. Extrakt digestátu a voda byly uvedeny do mísiče (50 otáček za minutu), zároveň bylo zahájeno zahřívání (1 °C/min), dokud nebylo dosaženo teploty 40 °C. Složky byly míchány, do času, než byla získána homogenní směs. Propandiol byl postupně přidáván do směsi, aby byla získána vždy konstantní koncentrace 20 %. Polymerní zahušřovadlo, tedy xanthanová guma, byla začleněna do formulace jejím dávkováním na povrch kapaliny během míchání. Míchání probíhalo až do stavu, dokud nebylo dosaženo čirého homogenního roztoku. Jako poslední byla přidávána kyselina mléčná pro dosažení pH přibližně 5,5. Přídavek extraktu do složení produktu způsobuje výrazné (cca 70%) snížení hodnoty zeinu, což je míra závažnosti účinků podráždění pokožky. Celkově studie ukázala, že je možné formulovat čistící kosmetiku v souladu s koncepcí udržitelnosti založenou na složkách přírodního původu, včetně surovin získaných biotechnologickými procesy, nabízející vhodné funkční vlastnosti a vysokou bezpečnost z hlediska účinků na uživatele [33].

Přírodnímu polysacharidu – xanthanové gumě – se také věnovali *Nordin, Rahidi a kol.* [34], kteří sepsali přehled popisující kritické aspekty xanthanu, přispívající k jeho roli ve farmaceutických a kosmetických aplikacích. Popsali fyzikálně–chemické vlastnosti, biosyntézu, výrobní proces i následný proces. Konkrétně byly diskutovány aplikace farmaceutické a kosmetické. Xanthan je oproti syntetickým polysacharidům výhodný v systému lékových nosičů díky tomu, že zlepšuje účinnost vůči degradaci a toxickým účinkům v důsledku rychlého uvolňování, ke kterému dochází během transportu do cílových míst, čímž si zachovává terapeutické výhody.

Fyzikální vlastnosti xanthanové gumy byly popsány následovně. Xanthanová guma je rozpustná jak v horké, tak studené vodě. Snadno se hydratuje a dokáže udržovat kapalné vysoce viskózní roztoky v nízkých koncentracích a často nemívá změnu pH. Viskozita xanthanové gumy zůstává stabilní po dlouhou dobu při vysokých teplotách a nízkém pH, také není ovlivněna vysokými hladinami soli. Xanthan sám o sobě velice výrazně zvyšuje viskozitu jakékoliv kapaliny, do které se přidává ve velmi malých koncentracích. Zdá se, že díky zahuštění, suspenzi, stabilitě je xanthanová guma je nejsilnější biologickou gumou na světě. Xanthanová guma má na svém řetězci více funkčních skupin než obecné polymery, tudíž může za určitých podmínek vykazovat výrazné vlastnosti [34].

Autoři *Tahmouzi, Meftahizadeh a kol.* [35] se zaměřily ve své studii na guarovou gumu a její využití v potravinářském průmyslu, ovšem též zkoumaly a popsaly její vlastnosti a mechanismy, což může být

pro tuto bakalářskou práci směrodatné. Funkční vlastnosti hydrokoloidů jsou významně závislé na jejich fyzikálně-chemických vlastnostech, včetně molekulové hmotnosti, chemických sloučenin, velikosti částic, viskozitě atd. Guar je vysoce hmotnostní polymer rozpustný ve vodě. Jeho hmotnost je uváděna na 22 000 Da. Tepelná odolnost guarové gumy se pohybuje v rozmezí teplot 80 až 95 °C. Dle reologické charakteristiky se guarová guma označuje jako materiál neneutronovský a ve vodném roztoku vykazuje chování pseudoplastické. Také bylo dokázáno, že u 1% roztoku guarové gumy při nižších frekvencích je ztrátový modul vyšší než modul paměťový, ovšem při vyšších frekvencích paměťový modul dominuje nad modulem ztrátovým. Guarová guma vykazuje svoji trixotropní povahu, protože se za stálého míchání mění v kapalinu. Kromě toho bylo zjištěno, že koncentrace vyšší než 0,045 g/dl guarové gumy povede ke zvýšení viskozity. Zároveň zvyšující se teplota urychluje rozpustnost gumy. Vysoké teploty však způsobují jeho rozklad, jelikož se naruší uspořádání vody okolo molekuly nebo se snižují mezimolekulární interakce. Maximální viskozity roztoku guarové gumy bylo dosaženo při teplotě 25–40 °C [35].

## 4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Cílem experimentální práce bylo stanovit fyzikálně–chemické vlastnosti hydrogelů připravených z komerčně dostupných polysacharidů, které odpovídají podmínkám CPK Standardům. První fází praktické části bylo optimalizovat postup přípravy jednotlivých hydrogelů a stanovit jejich optimální koncentraci pro použití při jejich charakterizaci. Druhou fází byla samotná příprava vzorků pro reometrické stanovení. Poslední fází byla samotná reometrie.

### 4.1 Přístroje a pomůcky

Reometr: TA Instruments DISCOVERY HR-2 hybrid rheometer

TGA 5500 Discovery, TA Instruments

FastGene® Mini Dry Bath System

Magnetická míchačka s vyhříváním MR Hej-Standard, Maneko

Analytické váhy TB 124 A Denver Instrument

Běžné laboratorní vybavení

### 4.2 Chemikálie

Xanthanová guma	Ekokoza s.r.o. číslo šarže: 255315
Guarová guma	Ekokoza s.r.o. číslo šarže: 16477/1
Tragantová guma	číslo šarže: 63400
Arabská guma	Ekokoza s.r.o. číslo šarže: 4500601

Deionizovaná voda

### 4.3 Termogravimetrie

Charakteristika samotných surovin byla provedena pomocí metody termogravimetrie. Její podstatou je navážit malé množství (jednotky miligramů) dané suroviny a podrobit ji spalování ve velkém rozsahu teplot. Tato gravimetrická analýza byla provedena za pomoci paní Leony Kubíkové. Vzorky byly měřeny rychlostí 10°C/min od laboratorní teploty do 1000 °C za přítomnosti vzduchu na přístroji TGA 5500 Discovery od firmy TA Instruments.

### 4.4 Příprava vzorků

#### 4.4.1 Optimalizace přípravy vzorků

Před samotnou přípravou vzorků byly připraveny zkušební vzorky ze všech čtyř surovin o třech různých koncentracích (0,5%; 1% a 2%) a byly připraveny dvěma různými postupy – prvním postupem „zastudena“ byly připraveny vzorky o koncentracích 0,5% a 1%. Druhým postupem byly připraveny vzorky 2%. Všechny vzorky byly připraveny ve stejném objemu a to 10 ml. Pro koncentraci 0,5% bylo naváženo 0,05 g suroviny, analogicky poté pro 1% vzorek bylo naváženo na analytických vahách 0,1 g a pro 2% 0,2 g suroviny.

První postup tzv. „zastudena“ byl proveden tak, že bylo naváženo dané množství suroviny, navážka byla převedena do zkumavky a k ní bylo posléze napipetováno 10 ml destilované vody o laboratorní teplotě. Obsah zkumavky byl promíchán a ponechán při laboratorní teplotě do druhého dne, kdy byl stav vzniklých nabobtnalých hydrogelů vyhodnocen.

Druhý postup se od prvního odlišuje v teplotě vody, ve které dochází k bobtnání. Jako první krok bylo napipetováno 10 ml deionizovaná voda do zkumavky. Tyto zkumavky byly vloženy do přístroje

FastGene® Mini Dry Bath System, který vodu ohřál na teplotu 60 °C. Poté do této vody byla převedena navážka každé suroviny. Obsah zkumavek byl promíchán a ponechán v zahřívacím zařízení ještě po dobu minimálně 10 minut. Poté byly zkumavky vyjmuty a ponechány při laboratorní teplotě do druhého dne, kdy byla kondice hydrogelů vyhodnocena.

Jako poslední krok pro optimalizaci vzorků byly připraveny zkušební vzorky ze všech surovin ve větším objemu, ve kterém byly později připravovány pro samotné měření, a to v objemu 30 ml. Z těchto vzorků bylo finálně rozhodnuto, jaký postup a jaké koncentrace budou použity pro samotnou přípravu vzorků pro reometrii.

#### **4.4.2 Příprava hydrogelu z xanthanové gumy**

Bylo naváženo na analytických vahách 0,3 g suroviny. Navážka xanthanové gumy byla následně převedena do kádinky, rozprostřena po celém dně a poté k ní bylo napipetováno 30 ml deionizované vody. Xanthanová guma byla opatrně pomocí špachtle rozmíchána v celém objemu 30 ml. Míchání probíhalo opravdu opatrně, jelikož za rychlejšího míchání vznikal v celém objemu velký počet bublin, které posléze nebylo možné efektivně odstranit. Připravený roztok byl ponechán při laboratorní teplotě jeden den (24 hodin), aby mohlo proběhnout jeho bobtnání a zrání. Tímto postupem, byl získán 1% vzorek hydrogelu xanthanové gumy. Pro přípravu 2% vzorku hydrogelu xanthanové gumy byl použit naprosto identický postup, jen s tím rozdílem, že navážka byla 0,6 g.

#### **4.4.3 Příprava hydrogelu z guarové gumy**

Pro přípravu hydrogelu z guarové vody bylo nejdříve do svou kádinek napipetováno po 30 ml deionizovaná vody. Tyto kádinky byly vloženy do předeřáté vodní lázně na 60 °C. V lázni byly ponechány, dokud nebylo i v kádinkách dosaženo teploty 60 °C. Mezi tím byly připraveny dvě navážky na analytických vahách, 0,3 g pro 1% vzorek a 0,6 g pro 2% vzorek. Po dosažení teploty v kádinkách byly navážky převedeny, každá do jedné kádinky a lehce promíchány pomocí špachtle, aby se předešlo tvorbě nehomogenního vzorku. Dokud nedošlo k celkovému rozmělnění suroviny ve vodě, byl vzorek ponechán v teplé vodní lázni. Po vyjmutí z vodní lázně vzorky samovolně zchladly na laboratorní teplotu a při ní byly ponechány do dalšího dne.

#### **4.4.4 Příprava hydrogelu z tragantové gumy**

Na analytických vahách byla připravena navážka 0,3 g tragantové gumy. Ta byla převedena do kádinky a rozprostřena po celém jejím dně. K tragantové gumě bylo napipetováno 30 ml deionizované vody a celý obsah kádinky byl promíchán pomocí špachtle. Z důvodu pění vzorku probíhalo míchání pomalu a opatrně, ovšem po delší časový úsek, aby se mohl veškerý obsah homogenně rozmělnit v celém objemu. Připravený vzorek byl ponechán po dobu jednoho dne při laboratorní teplotě, než s ním bylo dále pracováno. Tímto postupem byl připravený vzorek o koncentraci 1%. Pro 2% vzorek hydrogelu tragantové gumy byla připravena na analytických vahách navážka 0,6 g.

#### **4.4.5 Příprava hydrogelu z arabské gumy**

Hydrogel z arabské gumy byl, na rozdíl od hydrogelů všech ostatních surovin, připraven pouze v jedné koncentraci a to 2%. Byla tedy připravena navážka na analytických vahách 0,6 g, která byla převedena do kádinky a rozprostřena po celém dně. Dále bylo k arabské gumě napipetováno 30 ml vody a pomocí špachtle byl celý obsah důkladně promíchán.

### **4.5 Reometrie**

Všechna reologická měření gelových vzorků byla provedena na rotačním reometru Discovery HR–2 od firmy TA Instruments při teplotě 25 °C.

#### **4.5.1 Tokové křivky**

Tokové křivky byly naměřeny pro všechny připravené vzorky. Pro vzorky 1% a 2% guarové gumy; 1% a 2% xanthanové gumy a 2% tragantové gumy byla zvolena geometrie uspořádání deska-deska, konkrétně drsná deska o průměru 20 mm. Pro zbylé dva vzorky 1% tragantová guma a 2% arabská guma, byla z důvodu jejich charakteru zvolena geometrie double gap, která více vyhovuje pro tekutější vzorky, které nejsou schopny vydržet po čas měření mezi dvěma deskami.

Nastavení jednotlivých parametrů probíhá v softwaru TRIOS, kde byl nastavený čas relaxace vzorku na dobu 180 s, který následuje po sjetí senzoru do měřicí polohy (ta je nastavena na 1000  $\mu\text{m}$ ) a slouží pro temperování vzorku. Jelikož byly měřeny tokové křivky, jedná se o test rotační, jehož výsledkem je závislost dynamické viskozity na smykové rychlosti. Rozpětí smykové rychlosti bylo nastaveno na 0,01–1000  $\text{s}^{-1}$ . V tomto rozpětí bylo naměřeno 8 bodů každou jednu dekádu. U tokových testů je důležitým faktorem kroutivý moment, který je potřeba sledovat během měření. Pokud jeho hodnota klesá pod 2 nN·m můžeme takové naměřené hodnoty považovat za nesmyslné [36]. Naměřený průběh tokových křivek dává informaci o tom, jestli se jedná o látku newtonovskou nebo neneutronovskou.

Veškerá naměřená data byla ze softwaru TRIOS exportována do MS Excel, kde byly vyhodnoceny výsledky a vyneseny do grafu jednotlivé křivky. Veškeré křivky byly pro větší přehlednost převedeny do logaritmického měřítka. Pro každý vzorek bylo měření tokové křivky provedeno vždy třikrát.

#### **4.5.2 Amplitudové testy**

Po doměření rotačních testů bylo přistoupeno k měření testů oscilačních. První z oscilačních testů, určující oblast LVO důležitou pro další měření testů frekvenčních, jsou testy amplitudové. Pro oscilační testy byly zvoleny pouze vzorky, které se měřily v geometrii deska-deska. Tento destrukční test poskytuje informaci o závislosti viskoelastických modulů na měnící se amplitudě deformace za stále hodnoty frekvence.

Nastavení jednotlivých parametrů v softwaru TRIOS bylo následující. Rozmezí amplitudy bylo nastaveno od 0,01 do 1000 % a konstantní hodnota frekvence byla stanovena na 1 Hz. Každou dekádu měření bylo opět naměřeno 8 bodů. Doba temperace vzorku po sjetí měřicího senzoru byla opět 180 s. Amplitudové testy byly naměřeny pro každý vzorek třikrát.

#### **4.5.3 Frekvenční testy**

Následně navazující test na test amplitudový je test frekvenční. Tento test byl proveden pro stejné vzorky, pro které byly provedeny i testy amplitudové a taktéž byla použita geometrie deka-deska. Nastavení v softwaru TRIOS bylo takové, že rozsah měření frekvence byl nastaven na 0,01–100 Hz a konstantní v tomto případě zůstává amplituda, a to na hodnotě 1 %. Každou dekádu měření bylo naměřeno 8 bodů a doba temperace byla též stejná – 180 s. Frekvenční testy byly naměřeny pro každý vzorek třikrát. U oscilačních testů je důležité sledovat hodnotu raw phase, která by neměla přesahovat 175° [36]. Pokud tomu tak je, tyto hodnoty nejsou směrodatné.

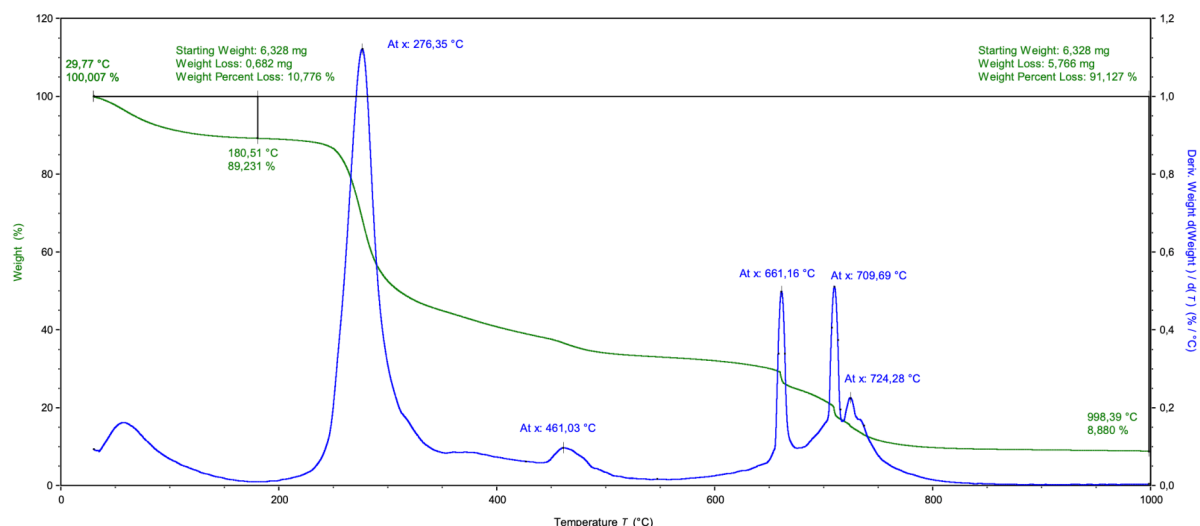
## 5 VÝSLEDKY A DISKUZE

### 5.1 Termogravimetrie

Aby bylo možné stanovit přesnou koncentraci vzorků, byl určen obsah vlhkosti v jednotlivých surovinách. Její hodnota se ve všech vzorcích pohybovala kolem 10 %. Přesné výsledky jsou uváděny v tabulce níže (tabulka 2). S těmito hodnotami bylo následně dále počítáno při přípravách vzorků, pro přesný výpočet koncentrací jednotlivých vzorků. Na grafu závislosti hmotnosti xanthanové gumy na rostoucí teplotě (obrázek 11), může být pozorován postupný úbytek hmotnosti. Z toho hlediska, že jako první se vypaří právě voda, značí první pokles zelené křivky úbytek hmotnosti, který odpovídá obsahu vlhkosti v dané surovině. V tomto případě je vidět, že při teplotě 180,51 °C poklesla hmotnost z původních 6,328 mg na 5,646 mg, což odpovídá procentuálnímu obsahu vody na 10,776 %. Pro každý materiál byly provedeny dvě měření při stejných podmínkách.

Tabulka 2: Procentuální zastoupení vlhkosti v jednotlivých surovinách

surovina	úbytek hmotnosti $\Delta m$ [mg]	procentuální zastoupení vlhkosti [%]
xanthanová guma	0,76±0,08	11,0±0,1
guarová guma	0,65±0,23	9,0±0,5
tragantová guma	0,72±0,07	9,0±0,1
arabská guma	0,60±0,10	9,6±0,3



Obrázek 11: Graf závislosti hmotnosti xanthanové gumy  $m$  [%] na teplotě  $t$  [°C]

### 5.2 Optimalizace a příprava vzorků

Pro první seznámení s chováním materiálu, byly připraveny hydrogely ze všech čtyř surovin o koncentraci 1 % do zkumavek v objemu 10 ml. Bylo pozorováno, jak snadno se surovina ve vodě rozpouští a jak tuhý či tekutý hydrogel při takovéto koncentraci vzniká a také jestli jsou hydrogely zakalené nebo bezbarvé, tedy průhledné. První poznatky o hydrogelech jsou souhrnně popsány níže v tabulce (tabulka 3).

Tabulka 3: přehled hydrogelů o koncentraci 1 %

surovina	navážka $m$ [g]	vzhled	konzistence
xanthanová guma	0,1046	průhledný s bublinami	dobře tekutý gel
guarová guma	0,1017	zakalené	dobře tekutý gel
tragantová guma	0,1049	zakalené, lehce pěňivé	velmi dobře tekutý gel
arabská guma	0,1026	průhledné	tekuté jako voda, negeluje



Po přípravě těchto hydrogelů byly do zkumavek připraveny ještě dvě série vzorků. Byly připraveny ještě vzorky o koncentraci 0,5 % (tabulka 4) a 2 % (tabulka 5).

Tabulka 4: přehled hydrogelů o koncentraci 0,5 %

surovina	navážka $m$ [g]	vzhled	konzistence
xanthanová guma	0,0516	průhledné s bublinami	velmi dobře tekutý gel
guarová guma	0,0538	zakalené	velmi dobře tekutý gel
tragantová guma	0,0506	zakalené, lehce pěnivé	příliš tekutý gel (jako voda)

Tabulka 5: přehled hydrogelů o koncentraci 2 %

surovina	navážka $m$ [g]	vzhled	konzistence
xanthanová guma	0,2003	průhledný s bublinami	velmi špatně tekutý gel
guarová guma	0,2006	velmi zakalené	velmi špatně tekutý gel
tragantová guma	0,2007	zakalené s pěnou	dobře tekutý gel
arabská guma	0,2006	průhledné	tekuté jako voda, negeluje

U 0,5% vzorcích bylo odstoupeno od přípravy vzorku z arabské gumy, jelikož její charakter u vzorku 1% byl tak tekutý a bylo velmi zřejmé, že už u této koncentrace velmi špatně geluje, bylo rozhodnuto, že musí být připravena jedinečně ve vyšších koncentracích. Následně tedy byly připraveny ještě dva další vzorky z arabské gumy, a to o koncentraci 15 % a 20 %. Při těchto koncentracích byl ovšem problém, že arabská guma byla těžko rozpustitelná ve vodě a tvořily se spíše hrudky, které dále nebylo možné rozmíchat a rozpustit.

Z celkového pohledu se jeví nejlépe dále použitelné vzorky připravené z gumy xanthanové a guarové, které ve stejných koncentracích mají velmi podobné vlastnosti a podobnou konzistenci. Jediný rozdíl mezi těmito dvěma surovinami je v tom, že při přípravě guarové gumy je efektivnější takový způsob, který zahrnuje nejdříve zahřát vodu na vyšší teplotu a v ní následně guarovou gumu rozpouštět. U xanthanové gumy byly oba přístupy vyhodnoceny jako stejně efektivní.

Pro přípravu vzorků, které byly dále použity pro reometrii byly připraveny v třikrát větším objemu do kádinek. Kromě guarové gumy byl vyhodnocen jako dostačující postup přípravy takový, kdy je navážka rovnou rozpouštěna v deionizované vodě při laboratorní teplotě. U guarové gumy byl použit postup kdy se voda nejdříve pomocí vodní lázně zahřeje na 60 °C a až v té se následně guarová guma rozpouští. U všech vzorků připravených pro reometrii byla přepočítána koncentrace na přesnou hodnotu podle dané navážky a obsahu vlhkosti, která byla zjištěna pomocí gravimetrie (tabulka 6, tabulka 7).

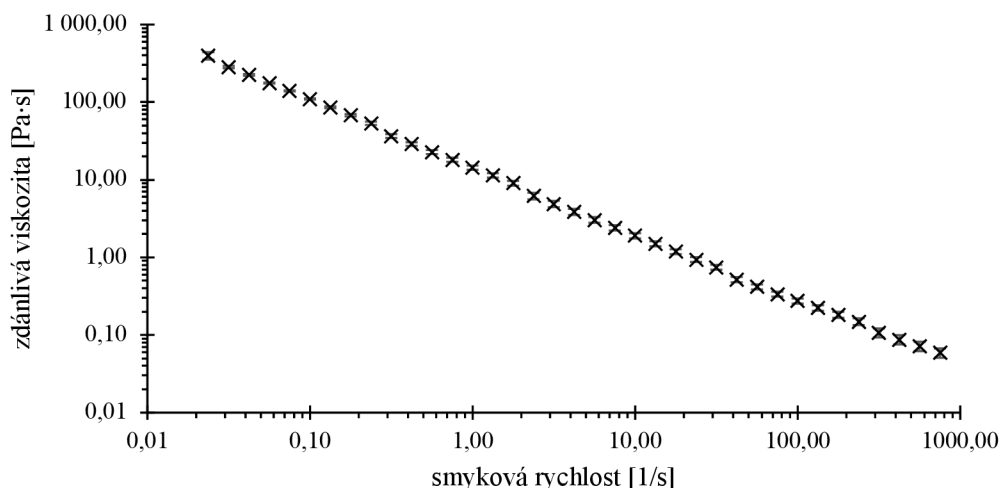
## 5.3 Reometrie

### 5.3.1 Tokové testy

Aby bylo možné určit charakter hydrogelů, tedy to, jestli se chovají jako kapaliny newtonovské nebo neneutronovské, byly pro všechny připravené vzorky (tabulka 6) provedeny tokové testy. Jejich výsledkem jsou tokové křivky, jejíž příklad můžeme vidět na grafu závislosti dynamické viskozity na smykové rychlosti pro 2% xanthanovou gumu (obrázek 12). Data do grafů byly naměřeny ve 3 sériích a z těchto hodnot byl vytvořen průměr, který prezentuje jednotlivé tokové křivky připravených hydrogelů. Odchylka dat byla vypočtena podle vzorce:

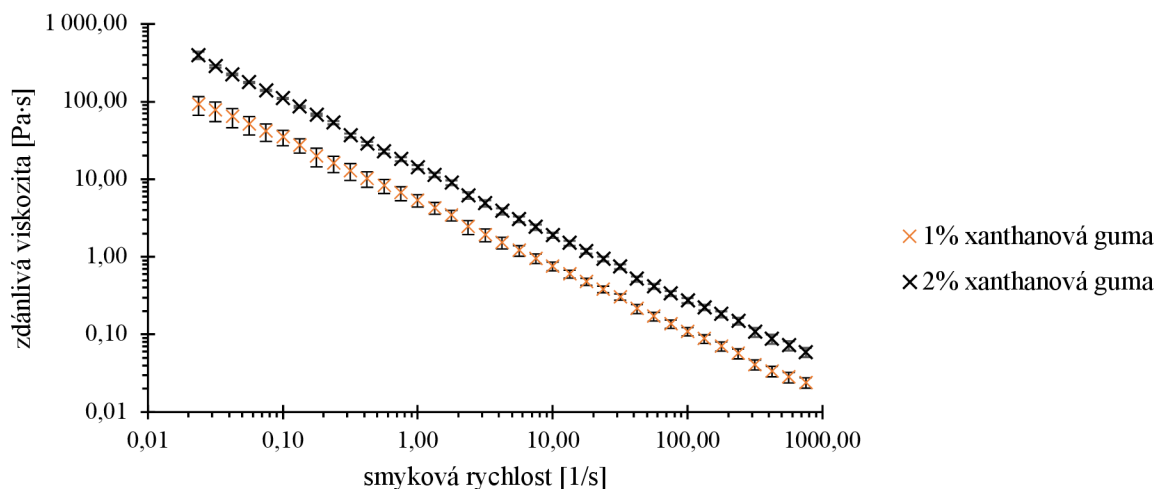
$$s_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

kde  $s_{\bar{x}}$  je odchylka aritmetického průměru,  $s$  je odchylka směrodatná vypočítaná v MS Excel pomocí funkce SMODCH.VÝBĚR a  $n$  je počet individuálních měření (počet provedených sérií jednotlivých měření) [37].



Obrázek 12: Graf závislosti zdánlivé viskozity na smykové rychlosti pro 2% xanthanovou gumu

Pro větší přehlednost byly sestrojeny grafy se dvěma tokovými křivkami, vždy pro stejnou látku, ale v různých koncentracích. Na grafu tokových křivek hydrogelů z xanthanové gumy 1% a 2% (obrázek 13) je vidět, že obě křivky jsou klesající, tudíž z toho lze vyvodit fakt, že hydrogely z xanthanové gumy se chovají jako kapaliny neneutronovské. Dále je velmi pozitivní i fakt, že průběh tokové křivky se nijak mezi koncentracemi neliší, pouze se liší její výška umístění v grafu a to právě, kvůli rozdílné koncentraci vzorku. Při vyšší koncentraci získáváme roztok více viskózní čili s vyšší koncentrací viskozita roste.

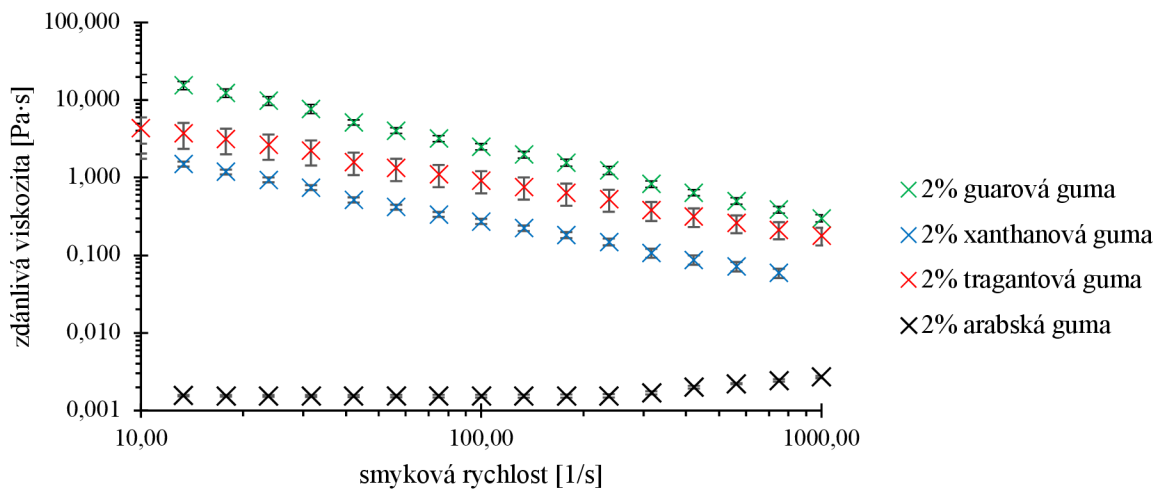


Obrázek 13: Graf závislosti zdánlivé viskozity na smykové rychlosti pro 1% a 2% xanthanovou gumu

Toková křivka guarové gumy (obrázek 21) ukazuje, že stejně jako xanthanová guma patří guarová guma k materiálům, které řadíme do skupiny neneutronovské. Z grafu je opět zřejmé, že koncentrace nijak průběh křivky neovlivňuje. V grafu závislosti zdánlivé viskozity na smykové rychlosti je vidět, že křivka pro 1% guarovou gumu začíná až o dekádu později než křivka pro 2% guarovou gumu. Tento fakt je způsobený tím, že hodnota kroutivého momentu v rozmezí měření  $0,01-0,1 \text{ s}^{-1}$  byla nižší než  $2 \text{ nN}\cdot\text{m}$ , tudíž tyto hodnoty není možno považovat za směrodatné, a proto v grafu nebyly použity. U tragantové gumy je možné vidět velmi podobné výsledky (obrázek 22), tudíž též je tragantová guma označena za neneutronovskou látku. Začátek jedné křivky je opět posunut, jelikož při začátku měření u 2% tragantové gumy až po hodnotu  $0,1 \text{ s}^{-1}$  byly hodnoty kroutivého momentu opět nižší než  $2 \text{ nN}\cdot\text{m}$ , tudíž byly hodnoty vyhodnoceny jako nesměrodatné.

U arabské gumy byly naměřeny data pouze pro vzorek 2%, po odstranění hodnot, které neměly pro výsledek význam (ty u nichž kroutivý moment klesl pod hodnotu  $2 \text{ nN}\cdot\text{m}$ ) byla získána křivka (obrázek 23), podle které lze určit, že se roztok chová jako newtonovská kapalina. Již z charakteru

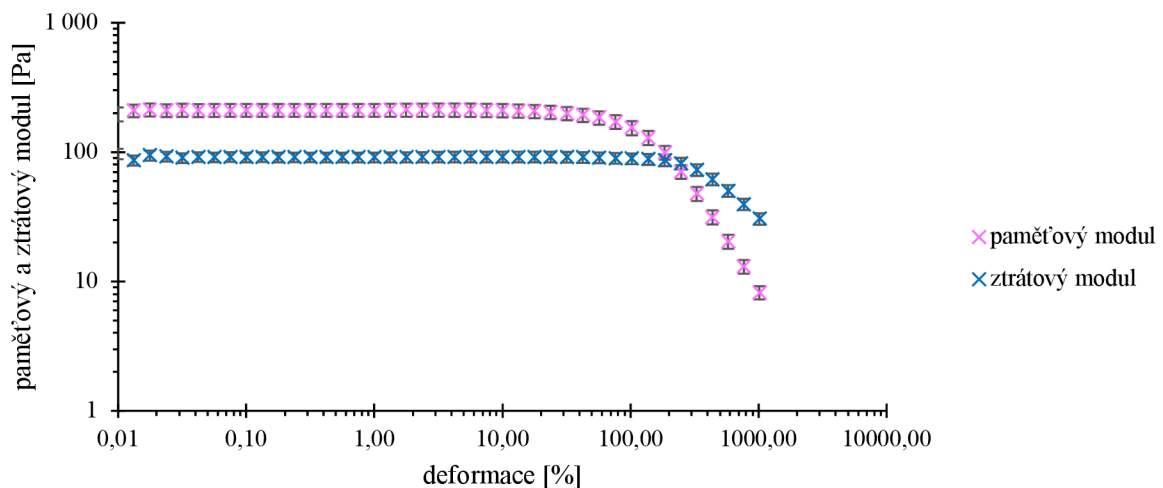
vzorku byly takové výsledky patrné, vzorek 2% arabské gummy byl nejvíce tekutý z celé škály připravených vzorků, nejevil žádné známky gelovatění, následně tokový test potvrdil tento předpoklad. Pro demonstraci porovnání vzorků mezi sebou byly do jednoho grafu přidány tokové křivky všech 2% vzorků (obrázek 14).



Obrázek 14: Graf závislosti zdánlivé viskozity na smykové rychlosti pro všechny připravené 2% vzorky

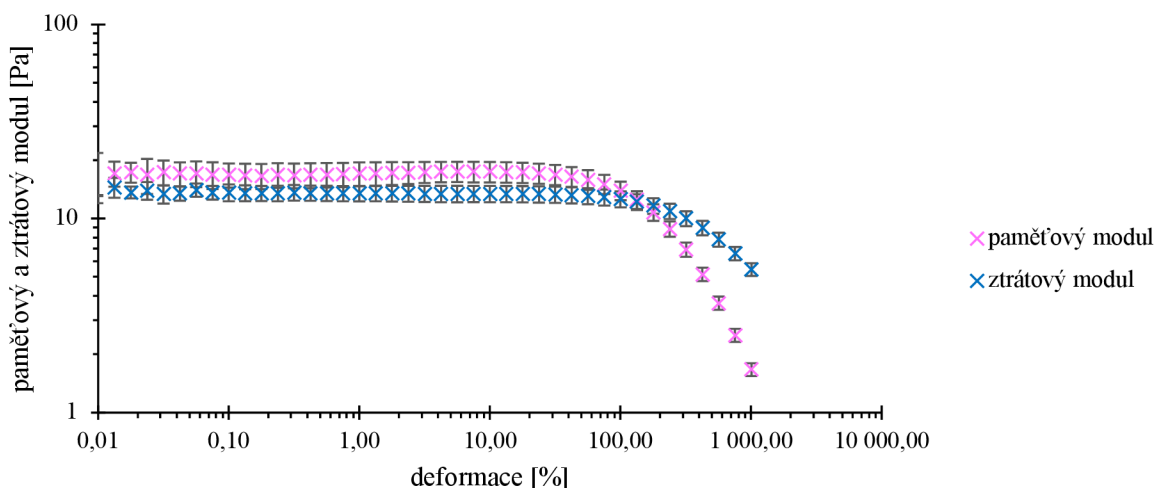
### 5.3.2 Amplitudové testy

Jako první oscilační test byly provedeny testy amplitudové, poskytující informaci o tom, jak velký podíl zastupuje složka elastická a jaký podíl zastupuje složka viskózní v hydrogelu. Také byly získány informace o oblasti LVO, která je podstatná pro další testy – frekvenční. V grafu pro 2% guarovou gumu (obrázek 15), je zřejmé, že paměťový modul převažuje nad ztrátovým, až do bodu, kdy oscilace dosahuje hodnoty asi 185 %, v tento moment začne převažovat modul ztrátový a tím pádem začne převažovat viskózní charakter. Oblast LVO zasahuje až k hodnotě oscilace deformace 10 %. Pro následující frekvenční test byla zvolena hodnota deformace 1 %.

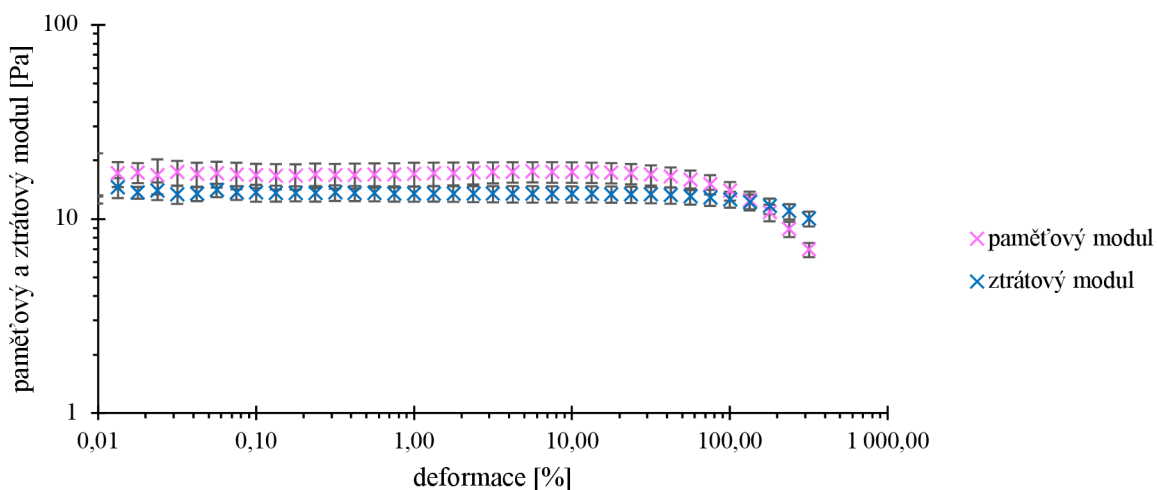


Obrázek 15: Graf závislosti paměťového a ztrátového modulu na deformaci pro 2% guarovou gumu

Podobně jako u tokových testů i u oscilačních testů je známa veličina, kterou je potřeba sledovat během měření, jestli je ještě hodnoty možné považovat za směrodatné. V případě oscilačních testů se jedná o tzv. raw phase, který hlásí přístroj jako ukazatel korektnosti měření, pokud je jeho hodnota vyšší než 170° považujeme hodnoty za směrodatné. Proto byly z grafu pro guarovou gumu 1% (obrázek 16) odebrány ty data, které nesplňují tuto podmínku, aby byly data považovány za směrodatné (obrázek 17).



Obrázek 16: Graf závislosti paměťového a ztrátového modulu na deformaci pro guarovou gumu 1%



Obrázek 17: Graf závislosti paměťového a ztrátového modulu na deformaci pro 1% guarovou gumu pro hodnoty kdy raw phase je pod hodnotou 170°

Z grafů je zřejmé, že oblast LVO dosahuje až k hodnotě 10 %, stejně jako u 2% vzorku. Z toho lze vyvodit, že koncentrace nijak neovlivní rozpětí LVO. V čem se ovšem závislost liší je to, jaké hodnoty moduly dosahují, u vyšší koncentrace dosahovaly moduly vyšší hodnoty než u vzorku s koncentrací nižší, také jsou jejich hodnoty obou modulů blíže u sebe než u 2% vzorku. To potvrzuje fakt, že vzorek je více viskózní než ten koncentrovanější. Také je z grafu zřejmé, že hodnoty jednotlivých modulů u 1% vzorku jsou si mnohem bližší než u 2% vzorku. To značí, že zastoupení viskózní a elastické složky je velmi podobné.

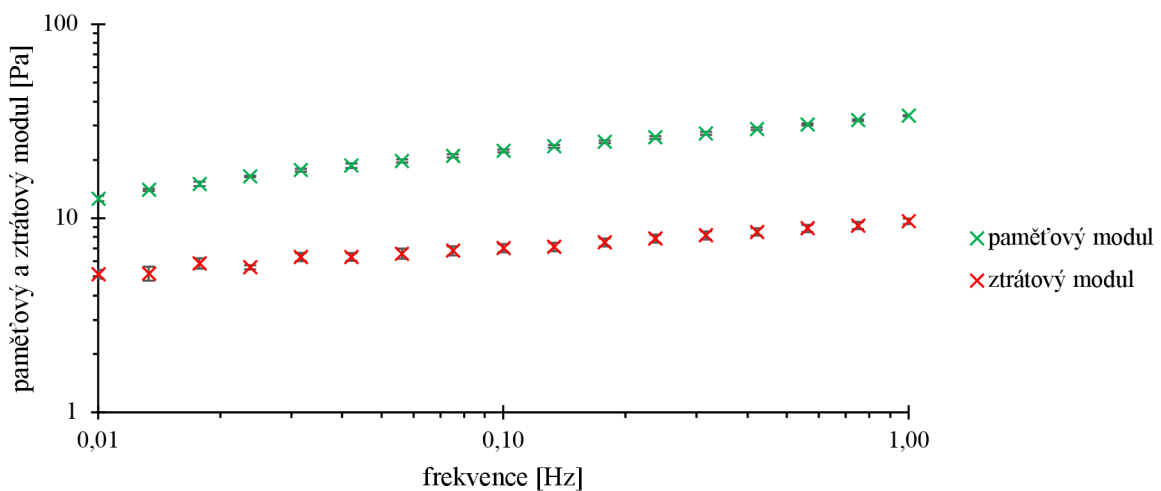
Pro měření xanthanové gumy, které bylo nastaveno stejně (viz kapitola 4.5.2) jako u všech ostatních vzorků byla získána závislost paměťového a ztrátového modulu pouze pro vzorek 2% (obrázek 24). U 1% vzorku musely být všechny hodnoty považovány za nesměrodatné, jelikož u všech hodnot byla hodnota raw phase vyšší než 170°. Závislost paměťového a ztrátového modulu na oscilaci pro 2% vzorek xanthanové gumy podává informaci o tom, že v celém rozsahu měření převažuje elastická složka nad složkou viskózní. Oblast LVO dosáhla až k hodnotě oscilace 15 %. Tím bylo potvrzeno, že i pro xanthanovou gumu může probíhat měření frekvenčních testů při hodnotě oscilace 1 %.

U tragantové gumy byl změřen pouze vzorek 2%, jelikož vzorek 1% nebylo možné v geometrii deska-deska udržet. V porovnání s ostatními výsledky 2% vzorků připomínaly výsledky závislosti paměťových a ztrátových modulů na oscilaci (obrázek 25) spíše vzorek více viskózní. V grafu je zřetelně viditelné, že oba moduly se téměř překrývají, tudíž je zřejmé, že zastoupení elastické a viskózní složky

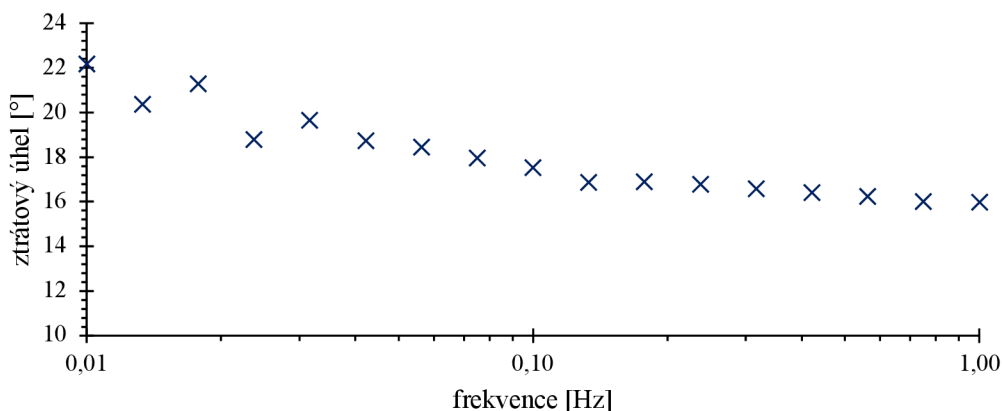
je velmi podobné. Oblast LVO dosahuje až k hodnotě oscilace 10 %, při této hodnotě také dochází k překřížení těchto dvou modulů a při vyšší oscilaci už převažuje složka viskózní nad složkou elastickou.

### 5.3.3 Frekvenční testy

Na základě amplitudových testů byla pro následné frekvenční testy zvolena hodnota konstantní deformace na 1 %, která se pro všechny vzorky vyskytovala v oblasti LVO. Jelikož se jedná o test oscilační byla pro určení směrodatných a nesměrodatných dat rozhodující hodnota raw phase stejně jako u testů amplitudových. Závislost paměťového a ztrátového modulu na frekvenci pro 2% xanthanovou gumu (obrázek 18) podává informaci o tom, že elastická složka převažuje nad složkou viskózní v celém rozsahu měření. Paměťový modul vyjadřuje schopnost materiálu uchovat deformaci způsobenou oscilacemi s rostoucí frekvencí a vracet se do původního stavu, jako před deformací. Dále byla vytvořena závislost ztrátového úhlu na frekvenci (obrázek 19), také v logaritmickém měřítku, ze kterého je patrné, že ztrátový úhel se téměř nemění. Jeho hodnota je mírně klesající v rozsahu od 22° do 15°. Ztrátový úhel tedy jednoznačně určuje, že látka se spíše blíží k úplně viskózní kapalině (takovému stavu odpovídá ztrátový úhel 0°) než k elastické látce (tomuto stavu odpovídá druhá krajní hodnota – 90°). To že se s rostoucí frekvencí ztrátový úhel nemění také potvrzuje fakt, že se zvyšující se deformací se charakter vzorku výrazně nemění a že je vzorek schopný odolávat deformaci v celém rozsahu měření. Pro tuhé látky je typická nezávislost modulů na frekvenci, což téměř odpovídá případu xanthanové gumy. Hodnota modulů je nízká, tudíž se sice jedná o tuhý materiál, ale měkký. U viskoelastických kapalin je závislost modulů na frekvenci výrazná. Gely bývají většinou někde mezi, většinou mnohem blíže tuhému charakteru.



Obrázek 18: Graf závislosti paměťového a ztrátového modulu na frekvenci pro 2% xanthanovou gumu pro hodnoty kdy raw phase je pod hodnotou 170°

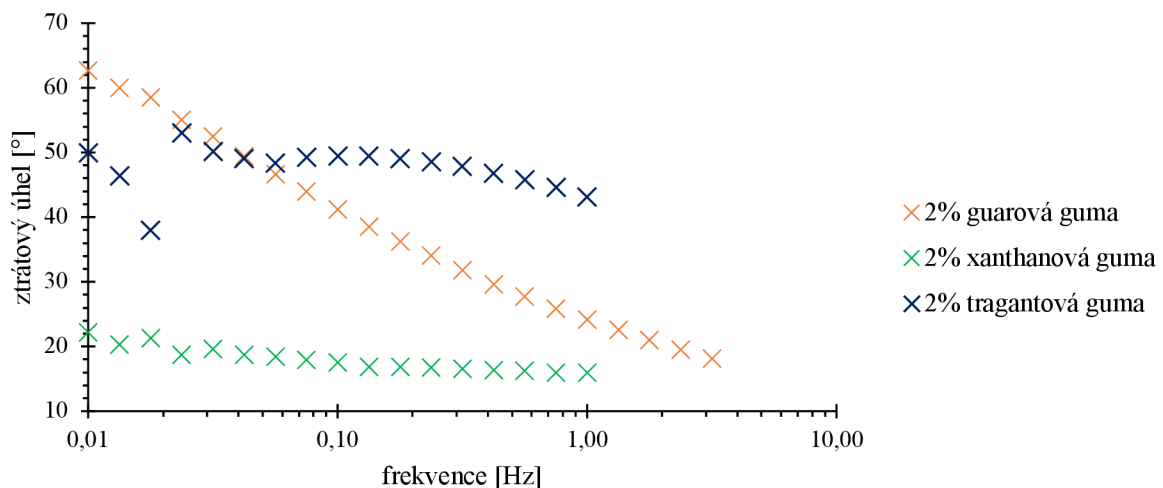


Obrázek 19: Graf závislosti ztrátového úhlu na frekvenci pro 2% xanthanovou gumu pro hodnoty kdy raw phase je pod hodnotou 170°

Pro xanthanovou gumu 1% byl test proveden taktéž, i přes to, že amplitudový test byl v celém rozsahu nesměrodatný. Jelikož se ale jedná o stejnou surovinu pouze o jiné koncentraci, byl frekvenční test proveden za stejného nastavení, jako test pro 2% xanthanovou gumu. Průběh závislosti paměťového a ztrátového modulu na frekvenci 1% (obrázek 26) je velice podobný jako u 2% vzorku, což potvrzuje, že vlastnosti materiálu, schopnost odolávat deformaci, se s koncentrací nezměnily.

Pro guarovou gumu byly provedeny též stejné frekvenční testy se stejným nastavení měření. Průběh závislosti je opět pro 1% (obrázek 29) i 2% (obrázek 27) guarovou gumu podobný, což potvrzuje, že koncentrace nijak neovlivní vlastnosti samotného materiálu. Velkým rozdílem oproti xanthanové gumě je to, že na začátku měření ztrátový modul převyšoval modul paměťový. Při nižších frekvencích v těchto vzorcích tedy převažují viskózní vlastnosti materiálu, ale při frekvencích vyšších začínají dominovat vlastnosti elastické. Toto může být způsobeno faktem, že zvyšující se frekvence způsobuje vyšší namáhání materiálu a také způsobuje změny v materiálu na mikroskopické úrovni. Například polymerní řetězce nebo částice se mohou začít orientovat nebo uspořádat v reakci na změny rychlosti deformace. Tato strukturální reorganizace může mít za následek změnu viskoelastických vlastností materiálu a přechod mezi reologickými režimy. Také v grafu závislosti ztrátového úhlu na frekvenci (obrázek 28) je vidět, že se zvyšující se frekvencí se ztrátový úhel snižuje, což naznačuje, že viskoelastické vlastnosti materiálu se v průběhu měření mění, na rozdíl od xanthanové gumy. Je z toho tedy patrné, že xanthanová guma je vůči deformacím více odolná než guma guarová.

Tragantová guma dle výsledků frekvenčních testů vykazuje jak chování elastické, tak viskózní. Ztrátový úhel se po celou dobu měření také pohyboval v rozmezí 45°–50° (obrázek 31), což naznačuje, že zastoupení viskózní a elastické složky je na podobné úrovni. Proto nejspíš v grafu závislosti obou modulů na frekvenci pro 2% tragantovou gumu (obrázek 30) dochází téměř po celý rozsah měření k překrývání obou křivek. Pro porovnání všech materiálů byla vybrána křivka závislosti ztrátového úhlu na frekvenci pro všechny 2% vzorky, které byly frekvenčním testem proměřeny (obrázek 20).



Obrázek 20: Graf závislosti ztrátového úhlu na frekvenci všech připravených vzorků o koncentraci 2 %

## 6 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo provést charakterizaci jednotlivých hydrogelů připravených ze surovin, které odpovídají požadavkům pro použití k výrobě certifikované přírodní kosmetiky, o kterou je v poslední době stále větší zájem. Společnost KEZ o.p.s. vydala CPK Standardy, které přesně upravují podmínky o tom, jaké složky může a nemůže obsahovat certifikovaná přírodní kosmetika a také jaké postupy jsou při přípravě kosmetiky zakázány, aby mohla být certifikace udělena. Přimo z CPK Standardů byly vybrány čtyři polysacharidy, ze kterých mohou být hydrogely připraveny, jmenovitě xanthanová guma, guarová guma, tragantová guma a arabská guma.

Po optimalizaci jejich přípravy bylo zřejmé, že nejlépe gelující látky jsou xanthanová guma a guarová guma, naopak nejhůře gelující byla guma arabská. Celkově za nejlepší hydrogel podle vzhledu, textury i přípravy byla vyhodnocena xanthanová guma. Jako jediná tvoří průhledný hydrogel a na jeho přípravu není potřeba žádná tepelná úprava. Dále byla provedena charakterizace pomocí reometrie pro všechny připravené vzorky. Jediná arabská guma vykazovala charakter newtonovské kapaliny. Ostatní hydrogely měly průběh tokové křivky odpovídající neneutronovskému, konkrétně pseudoplastickému chování. U oscilačních testů bylo pozorováno zastoupení elastické a viskózní složky v hydrogelech, také to, jak se toto zastoupení mění s rostoucí amplitudou oscilace nebo frekvencí deformace. Oscilační testy mohly být provedeny pouze pro 2% a 1% xanthanovou gumu, 2% a 1% guarovou gumu a 2% tragantovou gumu, jelikož bylo možné tyto vzorky změřit pomocí geometrie deska-deska. U všech proměřených amplitudových testů převažoval nad ztrátovým modulem modul paměťový, tedy převažuje elastické chování před chováním viskózním. Lineárně viskoelastická oblast dosahovala u všech pěti vzorků až k hodnotě oscilace 10 %. Pro frekvenční test bylo tedy zvoleno nastavení takové, že konstantní oscilace byla nastavena na 1 %. Frekvenční testy jasně ukázaly u xanthanové gumy charakter tuhé (ale měkké) látky. U ostatních materiálů frekvenční test poukazoval spíše na charakter viskoelastické kapaliny.

Po celkovém hodnocení všech čtyř surovin od samotné přípravy až k reologickým testům bylo vyhodnoceno, že nejlépe slibnou surovinou pro přípravu hydrogelu k výrobě přírodní kosmetiky se jeví xanthanová guma.

## 7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] AHMED, Enas M. Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review. Online. *Journal of Advanced Research*. 2015, roč. 6, č. 2, s. 105–121. Dostupné z: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jare.2013.07.006>. [cit. 2024-03-07].
- [2] GULREZ, Syed K. H.; AL-ASSAF, Saphwan a O PHILLIPS, Glyn. Hydrogels: Methods of Preparation, Characterisation and Applications. Online. *Progress in Molecular and Environmental Bioengineering - From Analysis and Modeling to Technology Applications*. 2011. Dostupné z: <https://doi.org/10.5772/24553>. [cit. 2024-03-07].
- [3] HOFFMAN, Allan S. Hydrogels for biomedical applications. Online. *Advanced Drug Delivery Reviews*. 2012, s. 18–23. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.addr.2012.09.010>. [cit. 2024-03-07].
- [4] BARTOVSKÁ, Lidmila a RANDOVÁ, Alena. *Fázová rozhraní, koloidy a nanosystémy*. Online. 1. Praha: VŠCHT Praha, 2019. ISBN 978-80-7592-050-8. Dostupné z: <https://vydavatelstvi.vscht.cz/katalog/publikace?isid=978-80-7592-050-8>. [cit. 2024-03-07].
- [5] ULLAH, Faheem; OTHMAN, Muhammad Bisyrul Hafi; JAVED, Fatima; AHMAD, Zulkifli a AKIL, Hazizan Md. Classification, processing and application of hydrogels: A review. Online. *Materials Science and Engineering C*. 2015, roč. 57, s. 414–433. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.msec.2015.07.053>. [cit. 2024-03-07].
- [6] GARG, Sweta a GARG, Ashish. Hydrogel: Classification, Properties, Preparation and Technical Features. Online. *Asian Journal of Biomaterial Research*. 2016, roč. 2, č. 6, s. 163–170. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/profile/Sweta-Garg-2/publication/316075989\\_Hydrogel\\_Classification\\_Properties\\_Preparation\\_and\\_Technical\\_Features/links/59817ad80f7e9b7b524b154e/Hydrogel-Classification-Properties-Preparation-and-Technical-Features.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Sweta-Garg-2/publication/316075989_Hydrogel_Classification_Properties_Preparation_and_Technical_Features/links/59817ad80f7e9b7b524b154e/Hydrogel-Classification-Properties-Preparation-and-Technical-Features.pdf). [cit. 2024-03-07].
- [7] BARTOVSKÁ, Lidmila a ŠIŠKOVÁ, Marie. *Co je co v povrchové a koloidní chemii*. Online. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. Dostupné z: [https://e-learning.vscht.cz/knihy/uid\\_es-001/ebook.anotace.htm](https://e-learning.vscht.cz/knihy/uid_es-001/ebook.anotace.htm). [cit. 2024-03-07].
- [8] *CPK Standardy: Certifikace přírodní kosmetiky a biokosmetiky*. KEZ, 2022.
- [9] Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1223/2009 o kosmetických přípravcích. In: . 2009.
- [10] NAŘÍZENÍ EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) 2018/848 o ekologické produkci a označování ekologických produktů a o zrušení nařízení Rady (ES) č. 834/2007. In: . 2018.
- [11] JINDAL, Namita a Jasvirinder Singh KHATTAR. Microbial Polysaccharides in Food Industry. *Biopolymers for Food Design* [online]. 2018, 95–123 [cit. 2024-03-30]. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-811449-0.00004-9
- [12] MCARDLE, R. a HAMILL, R. Utilisation of hydrocolloids in processed meat systems. Online. *Processed Meats Improving Safety, Nutrition and Quality*. 2011, s. 243–269. Dostupné z: <https://doi.org/10.1533/9780857092946.2.243>. [cit. 2024-03-31].
- [13] SWORN, G. Xanthan gum. Online. *Handbook of Hydrocolloids*. 2009, roč. second ed., s. 186–203. Dostupné z: <https://doi.org/10.1533/9781845695873.186>. [cit. 2024-03-31].
- [14] *Xanthomonas campestris*. Online. Dostupné z: [https://microbewiki.kenyon.edu/index.php/Xanthomonas\\_campestris](https://microbewiki.kenyon.edu/index.php/Xanthomonas_campestris). [cit. 2024-03-31].



- [15] GELARDI, G.; MANTELLATO, S.; MARCHON, D.; PALACIOS, M.; EBERHARDT, A.B. et al. Chemistry of chemical admixtures. Online. *Science and Technology of Concrete Admixtures*. 2016, s. 149–218. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100693-1.00009-6>. [cit. 2024-03-31].
- [16] BRUSCHI, Marcos L.; BORGHI-PANGONI, Fernanda B.; JUNQUEIRA, Mariana V. a DE SOUZA FERREIRA, Sabrina B. Nanostructured therapeutic systems with bioadhesive and thermoresponsive properties. Online. *Nanostructures for Novel Therapy Synthesis, Characterization and Applications*. 2017, s. 313–342. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-46142-9.00012-8>. [cit. 2024-03-31].
- [17] SINGH, Hemant; SINGH, Ramesh; DAN, Aniruddha; VITHALANI, Hitasha; DAS, Sabya Sachi et al. Bioconjugated materials as potential vehicles for delivery of antibiotics/drugs. Online. *Comprehensive Analytical Chemistry*. 2023, č. 103, s. 29–58. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/bs.coac.2023.03.003>. [cit. 2024-03-31].
- [18] NASROLLAHZADEH, Mahmoud; SAJJADI, Mohaddeseh; SAJADI, S. Mohammad a ISSAABADI, Zahra. Green Nanotechnology. Online. *Interface Science and Technology*. 2019, č. 28, s. 145–198. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813586-0.00005-5>. [cit. 2024-03-31].
- [19] SAYA, Laishram; GAUTAM, Drashya; HOODA, Sunita; GAMBHIR, Geetu a KUMAR, Sarita. Modeling and characterization of guar-gum based nanocomposites for water purification. Online. *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*. 2022. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-96020-5.00019-4>. [cit. 2024-03-31].
- [20] *Structure of the main gum Arabic polysaccharide (arabinogalactan)*. Online. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/figure/Structure-of-the-main-gum-Arabic-polysaccharide-arabinogalactan\\_fig2\\_361923770](https://www.researchgate.net/figure/Structure-of-the-main-gum-Arabic-polysaccharide-arabinogalactan_fig2_361923770). [cit. 2024-03-31].
- [21] WILLIAMS, P.A. Gums: Properties and Uses. Online. *Encyclopedia of Food and Health*. 2016, s. 283–289. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00364-0>. [cit. 2024-03-31].
- [22] THEVENET, F. Acacia Gum. Online. *Polymer Science: A Comprehensive Reference*. 2012, č. 10, article 10.09, s. 205–212. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53349-4.00260-0>. [cit. 2024-03-31].
- [23] DOS SANTOS, Marlise A. a GRENHA, Ana. Polysaccharide Nanoparticles for Protein and Peptide Delivery: Exploring Less-Known Materials. Online. *Advances in Protein Chemistry and Structural Biology*. 2015, č. 98, s. 223–261. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/bs.apcsb.2014.11.003>. [cit. 2024-03-31].
- [24] KANDAR, Chandi Charan; HASNAIN, Md Saquib a NAYAK, Amit Kumar. Natural polymers as useful pharmaceutical excipients. Online. *Advances and Challenges in Pharmaceutical Technology*. 2021, article chapter 1, s. 1–44. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820043-8.00012-8>. [cit. 2024-03-31].
- [25] FAHIMIRAD, Shohreh. Gum tragacanth-based nanosystems for therapeutic applications. Online. In: *Polymeric Nanosystems*. Academic Press, 2023, s. 367–404. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780323856560000073>. [cit. 2024-03-31].
- [26] MEZGER, Thomas G. The Rheology Handbook. Online. In: *The Rheology Handbook*. 5th. Hanover, Germany: Vincentz Network, 2020. ISBN 978-3-86630-532-8. Dostupné z: [https://books.google.cz/books?hl=cs&lr=&id=Xxv5DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA16&dq=MEZGER%20Thomas.%20Applied%20rheology&ots=hBSYK3EvS-&sig=RdGc9gs8W-je\\_QTDYoHqdkQBxQ0&redir\\_esc=y&fbclid=IwAR0D9lkTTbxgp8wpaZ2SQIDSjppTXz0HuvnVcw6uiE8y79796m4hUWoSgc4#v=onepage&q&f=true](https://books.google.cz/books?hl=cs&lr=&id=Xxv5DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA16&dq=MEZGER%20Thomas.%20Applied%20rheology&ots=hBSYK3EvS-&sig=RdGc9gs8W-je_QTDYoHqdkQBxQ0&redir_esc=y&fbclid=IwAR0D9lkTTbxgp8wpaZ2SQIDSjppTXz0HuvnVcw6uiE8y79796m4hUWoSgc4#v=onepage&q&f=true). [cit. 2024-03-08].

- [27] WEIN, Ondřej. *Úvod do reologie*. Brno: Malé Centrum, 1996.
- [28] HOLUBOVÁ, Renata. *ZÁKLADY REOLOGIE A REOMETRIE KAPALIN*. Online. Univerzita Palackého v Olomouci, 2014. ISBN 978-80-244-4178-8. Dostupné z: [http://mofychem.upol.cz/KA6/Zaklady\\_reologie.pdf](http://mofychem.upol.cz/KA6/Zaklady_reologie.pdf). [cit. 2024-03-09].
- [29] Tokové chování polymerních tavenin – reologické modely. Online. In: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Dostupné z: [http://ufmi.ft.utb.cz/texty/fyzika\\_pol/FP\\_02.pdf](http://ufmi.ft.utb.cz/texty/fyzika_pol/FP_02.pdf). [cit. 2024-03-09].
- [30] Základy reologie a reometrie kapalin. Online. Dostupné z: [https://is.muni.cz/el/1431/podzim2006/C5160/um/2457585/2457594/Reologie\\_a\\_reometrie\\_kapalin.pdf](https://is.muni.cz/el/1431/podzim2006/C5160/um/2457585/2457594/Reologie_a_reometrie_kapalin.pdf). [cit. 2024-03-09].
- [31] NORTON, Ian T.; SPYROPOULOS, Fotios a COX, Philip. Practical Food Rheology An Interpretive Approach. In: . 2011, s. 7–26.
- [32] Basics of Applied Rheology. Online. In: . Oregon State University, Corvallis, OR, 2016. Dostupné z: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5362553/mod\\_resource/content/1/Rheology\\_tutorial\\_Anton%20Paar.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5362553/mod_resource/content/1/Rheology_tutorial_Anton%20Paar.pdf). [cit. 2024-04-26].
- [33] SEWERYN, Artur; WASILEWSKI, Tomasz; HORDYJEWICZ-BARAN, Zofia; BOCHYNEK, Michal; PANNERT, Dominika et al. Implementation of sustainable development goals in the cosmetics industry based on the example of cleansing cosmetics containing a surfactin-rich digestate extract. Online. *Clean Technologies and Environmental Policy*. 2023, s. 3111–3125. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10098-023-02562-8>. [cit. 2024-04-21].
- [34] NORDIN, Nurul Zahidah; RASHIDI, Ahmad Ramli; DAILIN, Daniel Joe; MALEK, Roslinda Abd; WAN AZELEE, Nur Izyan et al. Xanthan Biopolymer in Pharmaceutical and Cosmeceutical Applications: Critical Review. Online. *Bioscience Research*. 2020, č. 17, s. 205–220. ISSN 2218-3973. Dostupné z: [www.isisn.org](http://www.isisn.org). [cit. 2024-04-21].
- [35] TAHMOUZI, Sima, Heidar MEFTAHIZADEH, Saba EYSHI, Amin MAHMOUDZADEH, Behnam ALIZADEH, Neda MOLLAKHALILI-MEYBODI a Mehrnaz HATAMI. Application of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) gum in food technologies: A review of properties and mechanisms of action. *Food Science & Nutrition WILEY* [online]. 2023, 4869–4897 [cit. 2024-04-21]. Dostupné z: doi:10.1002/fsn3.3383
- [36] *Rheology Theory and Applications*. Online. Dostupné z: <https://www.tainstruments.com/wp-content/uploads/Boston-Rheology-Training-2019.pdf>. [cit. 2024-05-10].
- [37] PECHOČ, Vladimír. *Výhodnocování měření a početní metody v chemickém inženýrství*. Druhé. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1981.

## 8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

### 8.1 Seznam použitých zkratek

KEZ	Kontrola ekologického zemědělství
CPK	Certifikovaná přírodní kosmetika
IPN	Interpenetrující polymerní hydrogel
INCI	Mezinárodní nomenklatura kosmetických přísad
LVO	Lineární viskoelastická oblast

### 8.2 Seznam použitých symbolů

$\eta$	dynamická/zdánlivá viskozita
$\tau$	tečné napětí
$D$	gradient rychlosti
$u$	vzájemná rychlost smykových rovin
$F$	elementární síla
$S$	plocha
$\rho$	hustota
$\nu$	kinematická viskozita
$\alpha$	úhel směrnice tokové křivky
$G'$	paměťový modul
$G''$	ztrátový modul
$G^*$	komplexní modul
$\Delta m$	úbytek hmotnosti
$m$	hmotnost
$t$	čas
$s_x$	odchylka aritmetického průměru
$s$	směrodatná odchylka
$n$	počet individuálních měření

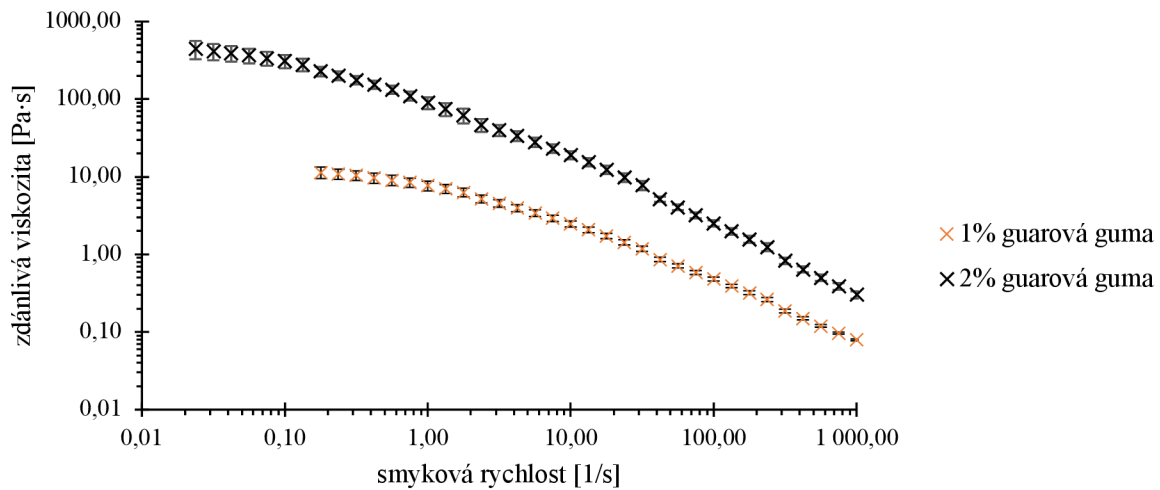
## 9 PŘÍLOHY

Tabulka 6: Přesné koncentrace všech vzorků připravených pro rotační testy

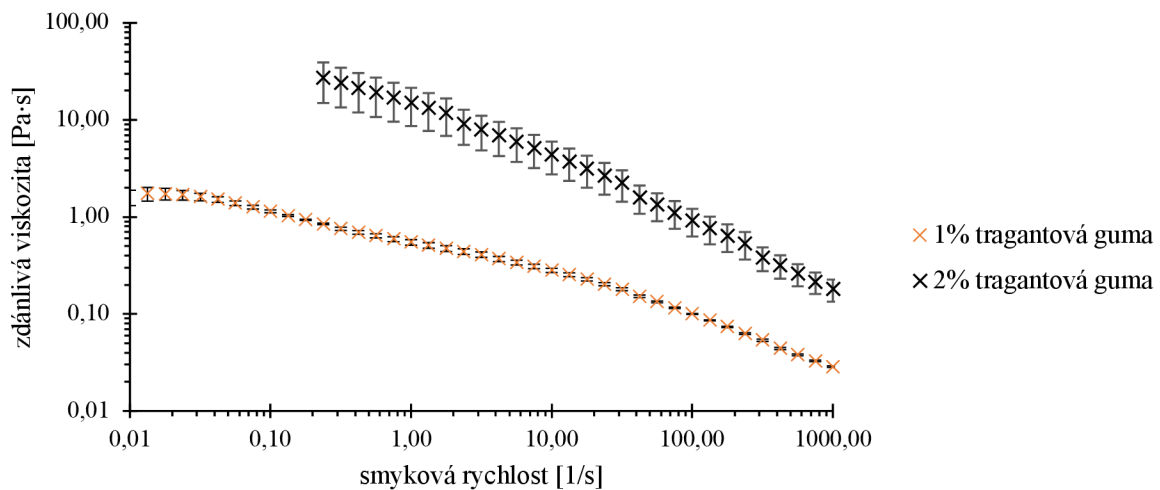
		navážka m [g]	koncentrace [%]	obsah vlhkosti [%]	přepočtená koncentrace [%]
xanthanová guma 2%	1. série	0,6030	2,010	11	1,789
	2. série	0,6008	2,003	11	1,782
	3. série	0,6008	2,003	11	1,782
xanthanová guma 1%	1. série	0,3042	1,014	11	0,902
	2. série	0,3006	1,002	11	0,892
	3. série	0,3005	1,002	11	0,891
guarová guma 2%	1. série	0,6052	2,017	9,0	1,836
	2. série	0,6006	2,002	9,0	1,822
	3. série	0,6006	2,002	9,0	1,822
guarová guma 1%	1. série	0,3030	1,010	9,0	0,919
	2. série	0,3019	1,006	9,0	0,916
	3. série	0,3003	1,001	9,0	0,911
tragantová guma 2%	1. série	0,6022	2,007	9,0	1,827
	2. série	0,6040	2,013	9,0	1,832
	3. série	0,6000	2,000	9,0	1,820
tragantová guma 1%	1. série	0,3026	1,009	9,0	0,918
	2. série	0,3015	1,005	9,0	0,915
	3. série	0,3001	1,000	9,0	0,910
arabská guma 2%	1. série	0,6024	2,008	9,6	1,815
	2. série	0,6018	2,006	9,6	1,813
	3. série	0,6011	2,004	9,6	1,811

Tabulka 7: Přesné koncentrace vzorků připravených pro oscilační testy

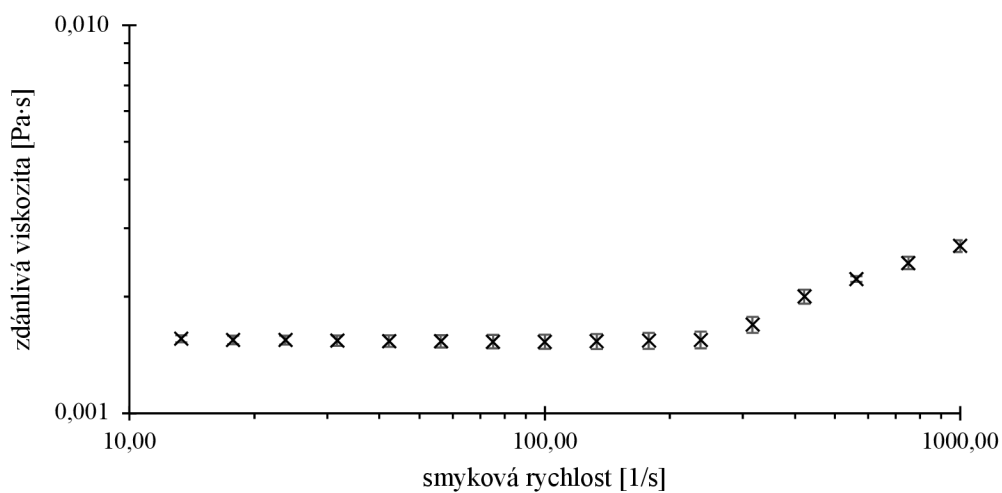
		navážka m [g]	koncentrace [%]	obsah vlhkosti [%]	přepočtená koncentrace [%]
xanthanová guma 2%	1. série	0,6001	2,000	11	1,780
	2. série	0,6003	2,001	11	1,781
	3. série	0,6004	2,001	11	1,781
xanthanová guma 1%	1. série	0,3008	1,003	11	0,892
	2. série	0,3005	1,002	11	0,891
	3. série	0,3005	1,002	11	0,891
guarová guma 2%	1. série	0,6018	2,006	9,0	1,825
	2. série	0,6012	2,004	9,0	1,824
	3. série	0,6002	2,001	9,0	1,821
guarová guma 1%	1. série	0,3002	1,001	9,0	0,911
	2. série	0,3005	1,002	9,0	0,912
	3. série	0,3009	1,003	9,0	0,913
tragantová guma 2%	1. série	0,6005	2,002	9,0	1,822
	2. série	0,6008	2,003	9,0	1,822
	3. série	0,6002	2,001	9,0	1,821



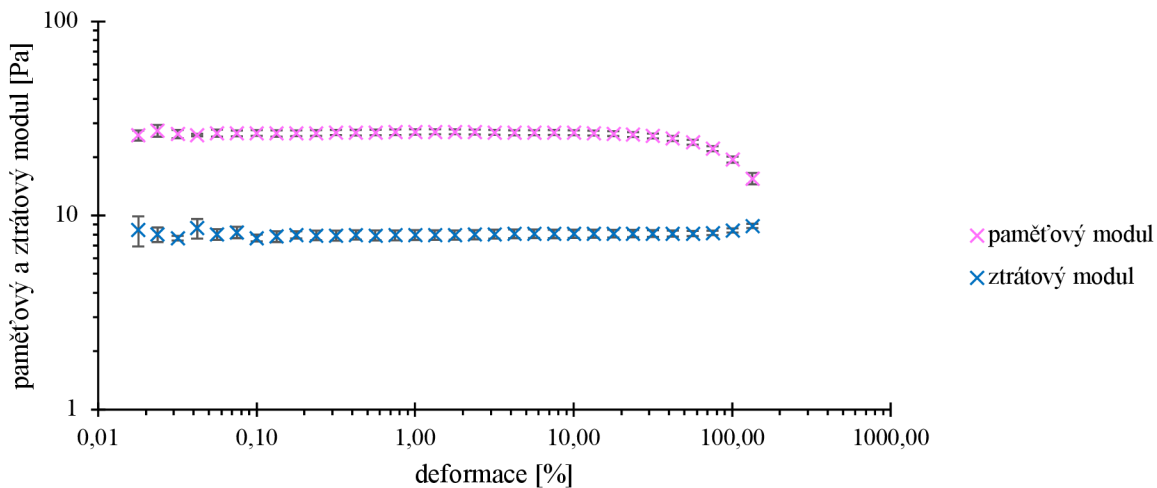
Obrázek 21: Graf závislosti zdánlivé viskozity na smykové rychlosti pro 1% a 2% guarovou gumu



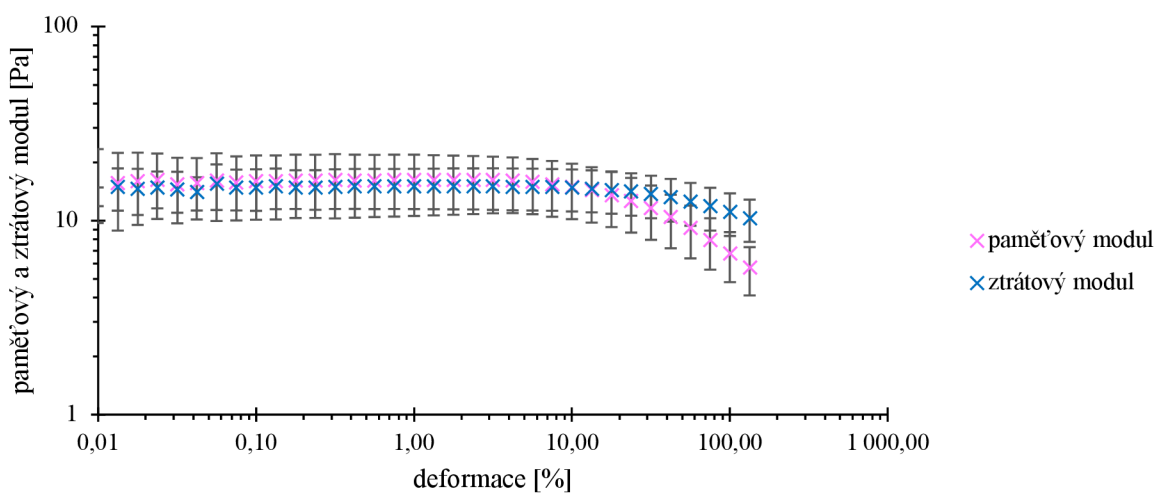
Obrázek 22: Graf závislosti zdánlivé viskozity na smykové rychlosti pro 1% a 2% tragantovou gumu



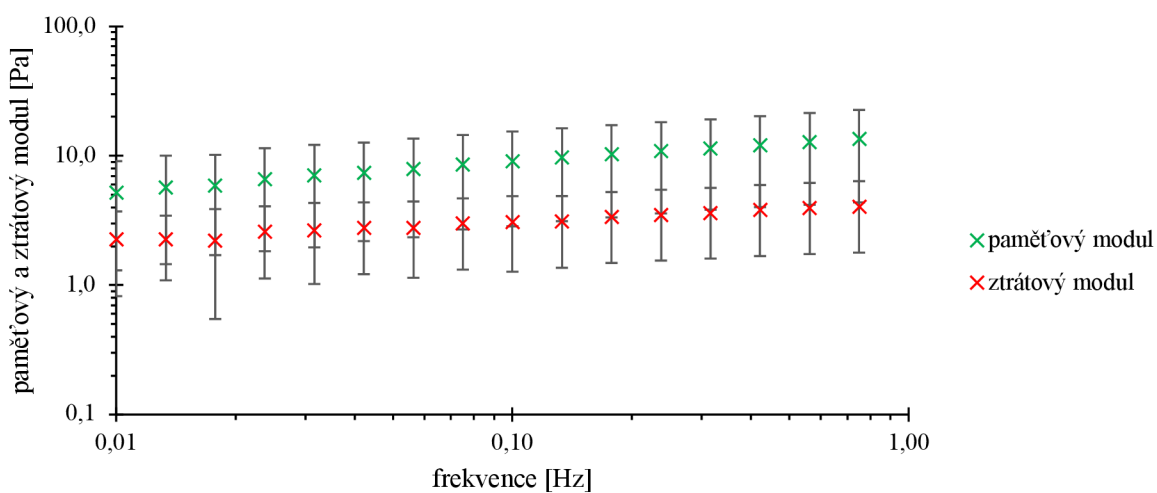
Obrázek 23: Graf závislosti zdánlivé viskozity na smykové rychlosti pro 2% arabskou gumu



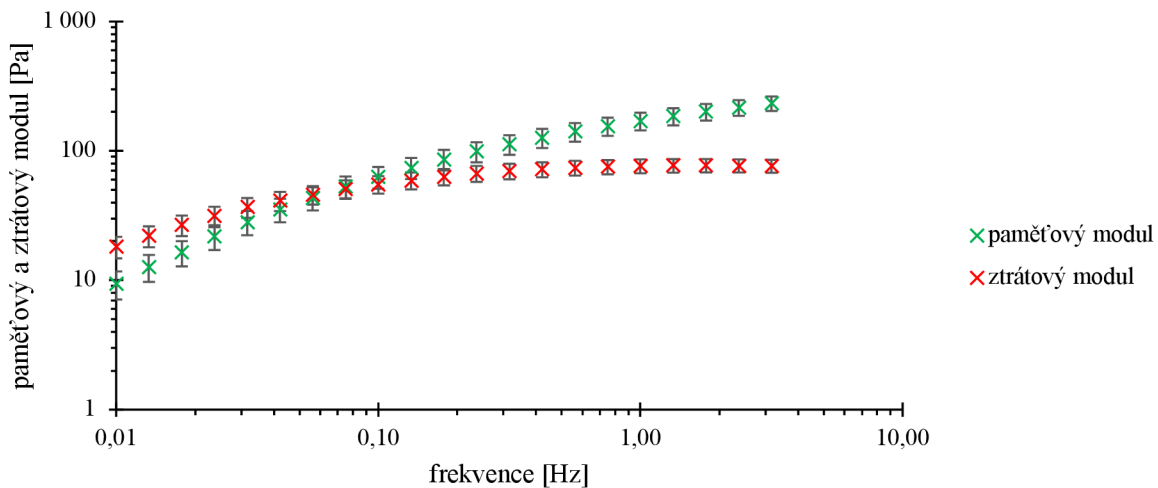
Obrázek 24: Graf závislosti paměťového a ztrátového modulu na deformaci pro 2% xanthanovou gumu pro hodnoty kdy raw phase je pod hodnotou 170°



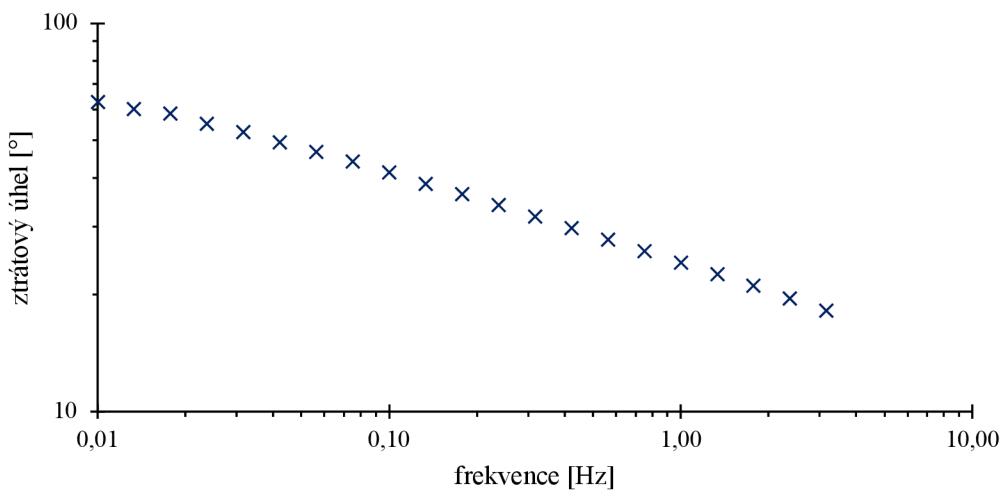
Obrázek 25: Graf závislosti paměťového a ztrátového modulu na deformaci pro 2% tragantovou gumu pro hodnoty kdy raw phase je pod hodnotou 170°



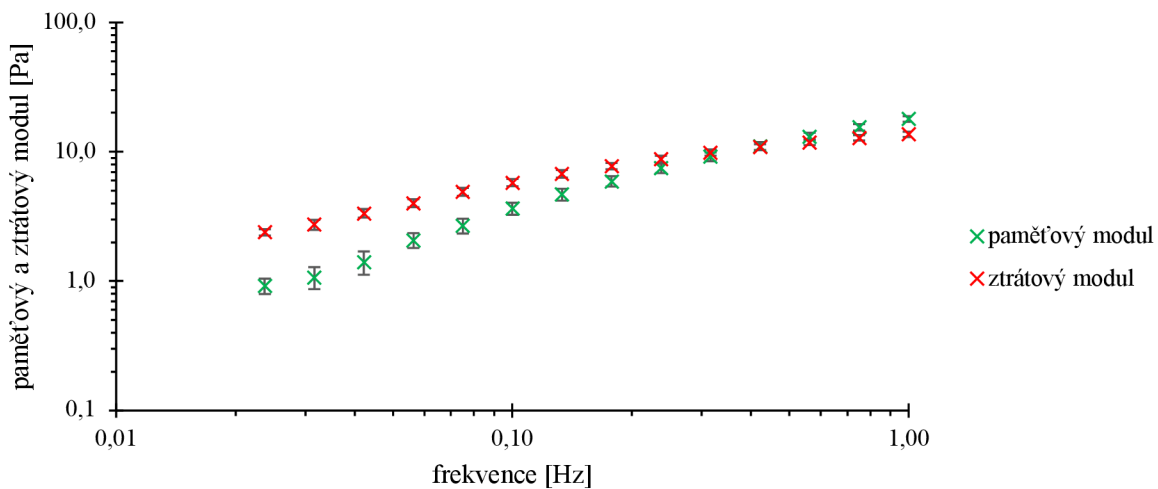
Obrázek 26: Graf závislosti paměťového a ztrátového modulu na frekvenci pro 1% xanthanovou gumu pro hodnoty kdy raw phase je pod hodnotou 170°



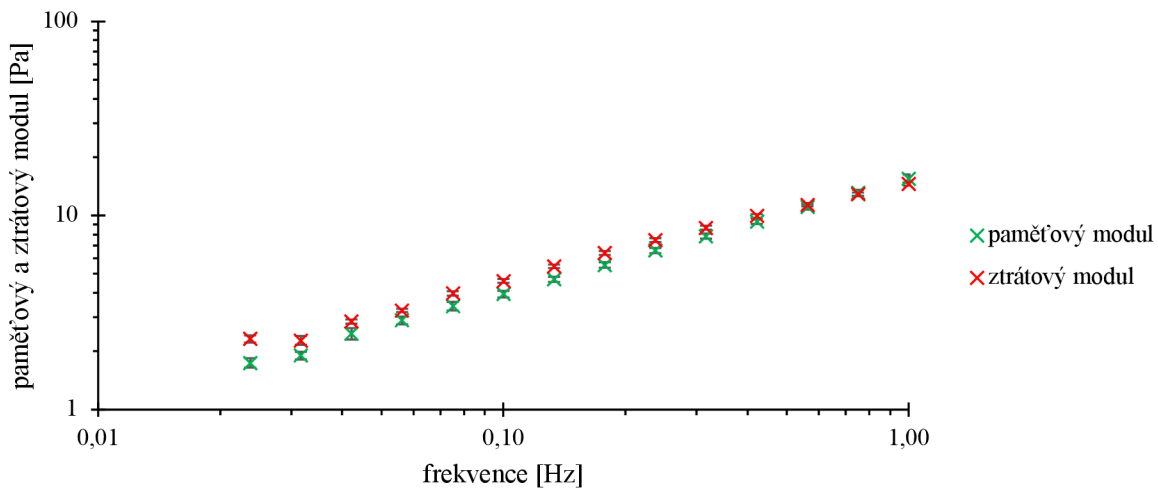
Obrázek 27: Graf závislosti paměťového a ztrátového modulu na frekvenci pro 2% guarovou gumu pro hodnoty kdy raw phase je pod hodnotou 170°



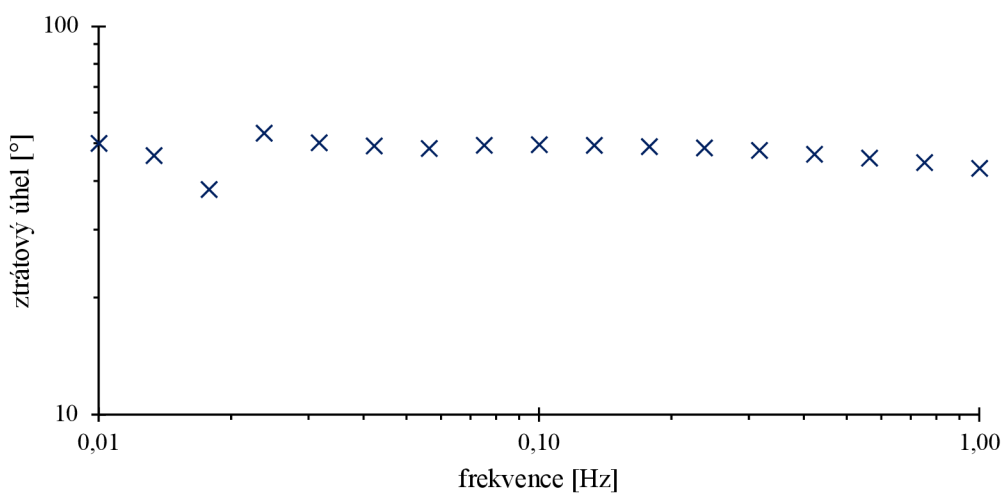
Obrázek 28: Graf závislosti ztrátového úhlu na frekvenci pro 2% guarovou gumu pro hodnoty kdy raw phase je pod hodnotou 170°



Obrázek 29: Graf závislosti paměťového a ztrátového modulu na frekvenci pro 1% guarovou gumu pro hodnoty kdy raw phase je pod hodnotou 170°



Obrázek 30: Graf závislosti paměťového a ztrátového modulu na frekvenci pro 2% tragantovou gumu pro hodnoty kdy raw phase je pod hodnotou  $170^\circ$



Obrázek 31: Graf závislosti ztrátového úhlu na frekvenci pro 2% tragantovou gumu pro hodnoty kdy raw phase je pod hodnotou  $170^\circ$