

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

STUDIUM BIOLOGICKÉ AKTIVITY SUPERABSORPČNÍCH POLYMERŮ

STUDY OF BIOLOGICAL ACTIVITY OF SUPERABSORPTION POLYMERS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Adriana Männlová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Martina Klučáková, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání diplomové práce

Číslo práce: FCH-DIP1013/2016
Ústav: Ústav fyzikální a spotřební chemie
Studentka: **Bc. Adriana Männlová**
Studijní program: Spotřební chemie
Studijní obor: Spotřební chemie
Vedoucí práce: **prof. Ing. Martina Klučáková, Ph.D.**
Akademický rok: 2016/17

Název diplomové práce:

Studium biologické aktivity superabsorpčních polymerů

Zadání diplomové práce:

Seznámit se s problematikou superabsorpčních polymerů a biologické aktivity, literární rešerše. Zvolit vhodný způsob studia, vybrat systémy vhodné pro studium a metody analýzy. Navrhnout a realizovat vlastní experimenty, zpracovat data a vyvodit závěry ze získaných výsledků.

Termín odevzdání diplomové práce: 5.5.2017

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

Bc. Adriana Männlová
studentka

prof. Ing. Martina Klučáková, Ph.D.
vedoucí práce

prof. Ing. Miloslav Pekař, CSc.
vedoucí ústavu

V Brně dne 31.1.2017

prof. Ing. Martin Weiter, Ph.D.
děkan

ABSTRAKT

Tato diplomová práce je zaměřená na studium biologické aktivity superabsorpčních polymerů pro environmentální a zemědělské aplikace. Obecně mají tyto hydrogely plnit řadu funkcí v půdě, která je stále více namáhána působením syntetických hnojiv a přichází tak o své přirozené vlastnosti, jako je například zadrž vláhy. Řešení těchto problémů se nachází právě v aplikaci superabsorpčních polymerů, které umí nasát a zároveň zadržet velké množství vody v okolí kořenového systému co nejdéle. Dokáží plnit i funkci nosiče hnojiva s postupným uvolňováním. Na základě literární rešerše bylo navrženo a provedeno studium biologické aktivity v modelových půdách na kukuřici seté. Superabsorpční polymery byly připraveny v rámci smluvního výzkumu Fakulty chemické Vysokého učení technického v Brně s firmou Amagro s.r.o. Náplní experimentální části je pozorování vlivu superabsorpčních polymerů na růst kukuřice seté. Byl také studován kořenový systém z hlediska vstřebávání minerálních živin. Dále byly pozorovány změny reologických vlastností připravených superabsorpčních polymerů, jelikož superabsorpční polymery mají sloužit jako zdroj živin a napomáhat zadržet vláhu v půdě, je nutné znát jejich viskoelastické vlastnosti i při teplotách pod nulou. Tato práce je založena především na velké motivaci využití superabsorpčních polymerů v zemědělství a současně i v ochraně životního prostředí.

ABSTRACT

This thesis is focused on the study of the biological activity of superabsorbent polymers for environmental and agricultural applications. Generally these hydrogels perform many functions in the soil, which is increasingly stressed by treatment with synthetic fertilizers and thus loses their natural properties, such as the uptake of moisture. Addressing these issues is now in superabsorbent polymers that can absorb and also retain a lot of water around the root system as long as possible. They can perform the function of carriers gradual release fertilizer. Based on the literature review was designed and conducted the study of biological activity in the soil model on corn sown. SAPs were prepared in the framework of contract research Faculty of Chemistry of the Technical University in Brno with the company Amagro Ltd. The content of the experiment, the superabsorbent polymer, observing effects on the growth of dent corn. He was also studied root system for absorption of nutrients. Further changes were observed rheological properties of prepared superabsorbent polymer, superabsorbent polymers since they provide a source of nutrients and help to retain moisture in the soil, it is necessary to know their viskoelstic properties even at temperatures below freezing. This work is based primarily on the use of great motivation superabsorbent polymers in agriculture and also in environmental protection.

KLÍČOVÁ SLOVA

biologická aktivita, huminové látky, gely, superabsorpční polymery, půdy

KEY WORDS

biological activity, humic substances, gels, superabsorbents polymers, soil

MÄNNLOVÁ, A. *Biologická aktivita superabsorpčních polymerů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 201. 87 s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Martina Klučáková, Ph.D..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem správně a úplně citovala. Diplomová 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

Poděkování

Na tomto místě bych velmi ráda poděkovala mé vedoucí prof. Ing. Martině Klučákové, Ph.D. za poskytnutí cenných rad a zkušeností, které mi pomohly při vypracování diplomové práce. Také velice děkuji Ing. Romaně Kratochvílové, Ing. Petru Sedláčkovi, Ph.D. a Ing. Jiřímu Smílkovi, Ph.D. za poskytnutí nezbytných rad, informací a za pomoc v laboratoři, které mi pomohly při psaní diplomové práce. Na závěr bych ráda poděkovala své rodině za podporu při studiu.

OBSAH

1 ÚVOD	8
2 CÍL	9
3 TEORETICKÁ ČÁST	10
3.1 HUMINOVÉ LÁTKY	10
3.1.1 Definice a rozdělení huminových látek	10
3.1.2 Vznik huminových látek.....	11
3.1.3 Složení a struktura huminových látek	13
3.1.4 Vlastnosti huminových kyselin	16
3.1.5 Využití huminových látek	16
3.1.6 Výskyt huminových látek.....	17
3.2 PŮDA.....	19
3.2.1 Definice půdy	19
3.2.2 Složení půdy	19
3.2.3 Chemické a fyzikální vlastnosti půdy.....	20
3.2.4 Půdní voda a retenční schopnosti půdy	22
3.3 HNOJIVA	22
3.3.1 Průmyslová hnojiva	22
3.3.2 Minerální hnojiva	23
3.3.3 Nové aplikační formy hnojiv.....	23
3.3.4 Systémy řízeného uvolňování v zemědělské praxi.....	23
3.4 GELY	24
3.4.1 Rozdělení gelů	25
3.4.2 Botnání.....	26
3.4.3 Vliv podmínek na botnání	26
3.5 SUPERABSORČPNÍ POLYMERY	27
3.5.1 Využití SAP.....	27
3.6 ROSTLINNÝ PŘÍJEM ŽIVIN	29
3.6.1 Příjem živin kořeny	29
3.7 REOLOGIE.....	30
3.7.1 Dělení látek v reologii	32
4 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	33
4.1 Možnosti postupného uvolňování živin	34
4.2 Reologické vlastnosti SAP.....	36
5 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	37

5.1	POUŽITÉ CHEMIKÁLIE	37
5.2	POUŽITÉ PŘÍSTROJE	37
5.3	PŘÍPRAVA SUPERABSORPČNÍCH POLYMERŮ	38
5.4	STUDIUM BIOLOGICKÉ AKTIVITY	41
5.4.1	Klíčení	41
5.4.2	Příprava modelové půdy	41
5.4.3	Růst.....	41
5.4.4	Vyhodnocení růstu.....	42
5.5	REOLOGICKÉ VLASTNOSTI SUPERABSORPČNÍCH POLYMERŮ	44
5.5.1	Příprava vzorků.....	44
6	VÝSLEDKY A DISKUZE.....	46
6.1	Studium biologické aktivity	46
6.2	Reologie	51
7	ZÁVĚR.....	55
8	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	56
9	SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	63
10	PŘÍLOHY.....	65

1 ÚVOD

Diplomová práce navazuje na poznatky mé bakalářské práce. Úkolem bakalářské práce bylo sledovat chování superabsorpčních polymerů v modelové půdě a průběh jejich botnání v prostředí s různou iontovou silou. Bylo zjištěno, že přidavkem SAP do půdy se zvyšuje schopnost půdy zadržet vodu. Superabsorpční polymery zkoumané v této práci se dají použít jako zdroje závlahy i jako hnojivo současně, ale jen v omezených koncentracích aplikovaných výživových preparátů, jejich vyšší koncentrace způsobují omezení botnací schopností. Další částí experimentu bylo sledování vlivu velikosti částic na průběh botnání. Bylo potvrzeno, že nejlépe botnají preparáty blízké se svou strukturou prášku, tedy i velikost částic má prokazatelný vliv na botnání SAP. Všechny poznatky zjištěné v bakalářské práci nyní aplikuji i v mé diplomové práci, která zahrnuje živé organismy.

V předložené diplomové práci je využito poznatků z přechozí bakalářské práce, aby mohly být co nejlépe navrženy experimenty zahrnující rostliny – kukuřici setou. Vliv superabsorpčních polymerů na biologickou aktivitu rostlin pozoruji v pěstebním boxu po několik týdnů s pravidelnou závlahou. Jedná se o výzkum spojený s průmyslem, protože připravené vzorky SAP mají být opravdu používány v zemědělství. Řeší se reálné podmínky, které je nutno co nej přesněji napodobit.

S intenzivním využíváním zemědělské půdy dochází všeobecně k vyčerpání přírodního půdního potenciálu. Půda musela snášet nešetrné využívání syntetických hnojiv. Nejvíce se to projevilo na stavu její svrchní vrstvy, což je místo pěstování zemědělských plodin. Půda ztratila svoji přirozenou schopnost zadržovat vláhu a voda ze srážek přes ni jednoduše proteče do podzemních vod a rostliny tak zůstávají v poměrně suchém prostředí, což má za následek snižování úrodnosti. Ale nejvýznamnějším faktorem procesu degradace je úbytek obsahu organické hmoty v půdě. Tudíž je velmi nutné řešení tohoto problému. Cílem je vrátit do půdy to, co se z ní postupem času ztratilo.

Řešení tohoto problému se nabízí v použití superabsorpčních polymerů. Původním předpokladem bylo jejich využití za účelem zemědělské aplikace ve formě půdního kondicionéru. Jejich aplikace však díky jejich unikátním vlastnostem přešly zejména do oblasti hygienických sacích produktů. Postupem ale vědci obnovili svůj prvotní záměr a vrátili se k vývoji environmentálních přípravků, které mají půdě napomoci lépe hospodařit s vodou.

V diplomové práci jsou dále zkoumány viskoelastické vlastnosti superabsorpčních polymerů v různých podmínkách, jako je vyšší teplota nebo dokonce extrémní podmínky, jako mráz. Tyto reálné podmínky se snažím co nejlépe nasimulovat v laboratoři, ale zároveň se snažím, co nejlépe zajistit reprodukovatelnost měření. Jelikož SAP mají být aplikovány v půdě, tedy v různých podmínkách, je nutné vědět, zda se nezmění viskoelastické vlastnosti superabsorpčních polymerů [1, 2, 3].

2 CÍL

Cílem této diplomové práce je studium biologické aktivity superabsorpčních polymerů v modelových půdách na kukuřici seté. Na základě vypracované rešerše byl navržen experiment pro testování biologické aktivity superabsorpčních polymerů. V rámci experimentální části práce byla připravena modelová půda, ve které byla zkoumána biologická aktivita superabsorpčních polymerů na kukuřici seté. Růst kukuřice byl pozorován po několik týdnů v pěstebním boxu s definovanými podmínkami na základě rešerše. Dále byl pozorován i vliv teploty na reologické vlastnosti superabsorpčních polymerů. Jelikož hlavním cílem je aplikace hydrogelů do půdy, je nutné znát jejich viskoelastické vlastnosti, jak při vyšších teplotách, tak i při teplotách pod bodem mrazu.

3 TEORETICKÁ ČÁST

3.1 HUMINOVÉ LÁTKY

3.1.1 Definice a rozdělení huminových látek

Huminové látky (dále jen HL) představují skupinu vysokomolekulárních a nízkomolekulárních látek vznikajících chemickými i biologickými rozklady organických hmot, tedy rozkladem zbytků odumřelých těl rostlin a živočichů, ale také syntetickou činností mikroorganismů. Tento proces je označován jako *humifikace*. Jelikož složení rostlinných i živočišných těl jsou velice různorodé, vede ke vzniku nekonečného počtu molekul, z toho vyplývá, že HL nelze charakterizovat jednou strukturou a vlastnostmi. Jejich velikost, struktura, složení, molekulová hmotnost, počet a poloha funkčních skupin je závislá na materiálu, z něhož vznikly. Bez HL není život na zemi možný. S HL se přirozeně můžeme setkat v různých materiálech, jako jsou zeminy, sedimenty, hnědé uhlí, lignit a rašeliny. Obsah může být různý, kolísá od stopových množství (jíly, písky), přes jednotky procent (v běžných zemínách okolo 3 hm. %) až k několika desítkám procent (lignit, hnědé uhlí). Mimořádně vysoký obsah až 85 hm. % vykazuje lignit a rašelina. Lze o nich říci, že jsou všudypřítomné. Tyto látky napomáhají vytvářet příznivé prostředí pro život důležitých půdních mikroorganismů, usnadňují transport živin z půdy do rostlin a půdě pomáhají zadržet vodu [1, 6, 7].

Tabulka 1: Podíl hmotnostního % u některých materiálů [4]

Zdroj	Hmotnostní %
lignit	40–85
rašelina	10–40
hnědé uhlí	10–30
hnůj	5–15
kompost	2–15
půda	1–5
usazenina	1–5
černé uhlí	0–1

HL se mohou dělit na základě různých kritérií. Nejčtenějším je dělení do tří skupin podle jejich rozpustnosti ve vodných roztocích [6]:

- Fulvínové kyseliny (FK) – rozpustné v kyselinách a zásadách
- Huminové kyseliny (HK) – rozpustné ve zředěných zásaditých roztocích a částečně i v roztocích kyselých
- Huminy (HU) – nerozpustné v kyselinách i v zásadách

Fulvínové kyseliny jsou organické látky, které se dobře rozpouštějí v celém rozsahu hodnot pH, na rozdíl od ostatních druhů HL. Od huminových kyselin se liší menší relativní molekulovou hmotností, která se pohybuje v rozmezí 2 000–8 000 g·mol⁻¹, větším počtem karboxylových skupin na rozdíl od fenolových, větším obsahem kyslíku v molekule, kyselejším charakterem, méně výrazným aromatickým charakterem a lepší rozpustností ve vodě. Jejich zbarvení je charakteristické žlutou až světle hnědou barvou [1, 6].

Humínové kyseliny jsou složité aromatické molekuly skládající se z aminokyselin, cukrů, peptidů a alifatických sloučenin situovaných do vazeb mezi aromatickými skupinami. Ve své struktuře obsahuje volně i navázané na aromatických jádrech. Tato jádra mohou být vázána můstky etherovými [-O-], alkylovými [-(CH₂)n-], aminovými [-N=] i iminovými [-NH-]). HK jsou rozpustné při vyšších hodnotách pH, tedy dobře rozpustné v louhu a roztocích hydrolyticky zásaditých solí, ale nerozpustné při nižším pH, tedy v kyselých prostředí, ke je pH < 2 a ve vodě. Důvodem špatné rozpustnosti HK v kyselých roztocích je protonace přítomných karboxylových skupin, která vede až k jejich srážení. Zbarvení HK je tmavě hnědé až černé. Molekulová hmotnost se pohybuje v rozmezí asi od 2 do 200 kDa. Jejich molekulová hmotnost je tedy nižší než u huminů, ale vyšší než u fulvokyselin [5, 6][5]. Jeho struktura je zobrazena na **Obrázek 3**

Huminy mají vysokou molekulovou hmotnost, malý počet karboxylových skupin a jsou nerozpustné v roztocích. Barva je černá[6]. Dělení huminových látek je zobrazeno na **Obrázek 1**.



Obrázek 1: Rozdělení huminových látek [6]

3.1.2 Vznik huminových látek

Proces, ve kterém vznikají HL – humifikace, zahrnuje množství biochemických reakcí. HL jsou tedy tvořeny rozloženými rostlinami a z těl odumřelých organismů. Navzdory intenzivnímu výzkumu vzniku huminových látek, není doposud přesný mechanismus vzniku HL úplně objasněn. Bylo formulováno několik teorií [4].

První teorie – *ligninová teorie*, předpokládá, že jsou HL odvozeny z lignifikovaných pletiv rostlinných zbytků, druhá – *polyfenolová teorie*, upřednostňovala mechanismus zahrnující chinony a další podporovala vznik z jednoduchých cukrů – *melanoidinová teorie*.

Pro *ligninovou teorii* byly navrženy dva modely. První model je lignin – degrační model, ve kterém je lignin částečně degradován na menší sloučeniny, jako jsou karboxylové skupiny a fenoly. Tyto reakce probíhají za vzniku huminových kyselin a za pomoci oxidace dochází ke vzniku fulvínových kyselin. Druhý model je degračně – polymerační model, v němž je

lignin degradován na polyfenoly, které podstoupí enzymatickou oxidaci na chinony, poté dochází k polymeraci a ke vzniku huminových látek [8].

Humifikace je důležitým biochemickým procesem, při kterém dochází ke vzniku HL. Při rozkladu vznikají důležité materiály, jako aminokyseliny, proteiny, sacharidy, lipidy, vosky, nukleové kyseliny a mnohé další organické sloučeniny, jsou důležitým zdrojem huminové frakce půdy. Humifikační procesy můžeme rozdělit na *kondenzační* a *degradační*.

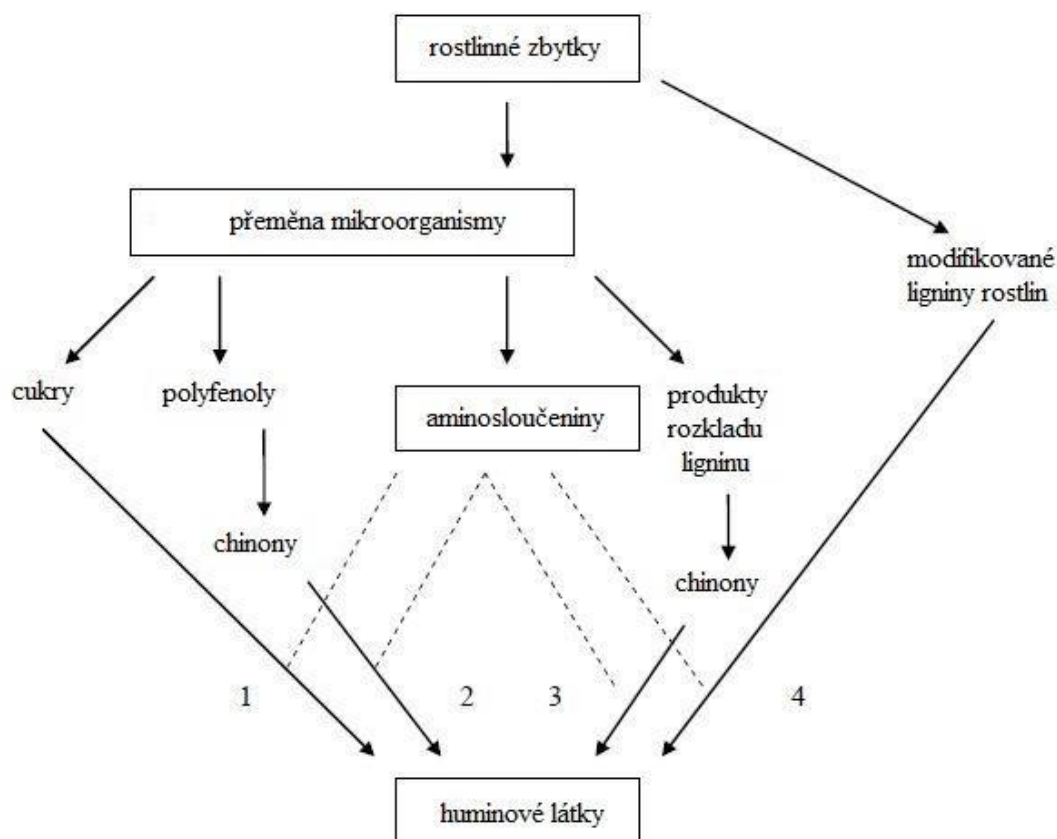
Kondenzační způsob předpokládá rozklad biopolymerů na monomery, ze kterých se kondenzací získávají HL. Jsou známé tři kondenzační způsoby – polyfenolová teorie, melanoidinová teorie a teorie polynenasycených struktur.

Polyfenolová teorie je proces při kterém se do struktury HL začleňuje dusík – N, jedná se o reakci chinonu a amoniaku. Jako zdroj chinonu lze použít degradaci ligninu, mikroorganismů a řas.

Melanoidinová teorie popisuje vznik HL pomocí reakce monomerů redukujících cukrů s aminokyselinami, při které dochází k reakci karbonylových skupin s peptidickými aminoskupinami. Výsledkem jsou melanoidiny podobné HL, mající hnědé zbarvení.

Teorie polynenasycených struktur je další možností vzniku HL z polynenasycených látek typu mastných kyselin a alkenonů a karotenoidů.

Degradační způsob humifikace je založen na přeměně biopolymerů na humin, který je dále množné degradovat na HK a FK. Během této přeměny za účasti mikroorganismů dochází k rozkladu nestabilních makromolekul, zatímco stále makromolekuly (lignin, suberin, kutin, melanin) zůstávají zachovány a tvoří základní kostru huminových sloučenin. Základním materiálem humifikace je humin, ale s vyšším obsahem funkčních skupin jako karbonylové, karboxylové a hydroxylové. Další degradace produkuje FK, které mají nižší molekulovou hmotnost, ale vyšší obsah funkčních skupin. Z těchto degradačních procesů je tvořen základ ligninové teorie [8].



Obrázek 2: Humifikační proces podle Stevenson [4]

3.1.3 Složení a struktura huminových látek

Jak již bylo zmíněno, huminové látky představují skupinu vysokomolekulárních a nízkomolekulárních látek, proto chemická povaha HL je možná jedním z nejvíce diskutovaných témat. I přes použití všech známých analytických metod a přístrojů, je jejich struktura stále neobjasněná. Ve své struktuře mají velké množství různých funkčních skupin [9].

Základní složení HL je závislé především na půdě, kde se vyskytují, na vzniku a stáří, ale i na způsobu odebrání vzorku. V průměru HL obsahují 50 hm. % organického uhlíku, dále kyslík, vodík a dusík. V *Tabulka 1* je ukázán obsah základního složení HL.

Tabulka 2: Elementární složení HL [10, 11]

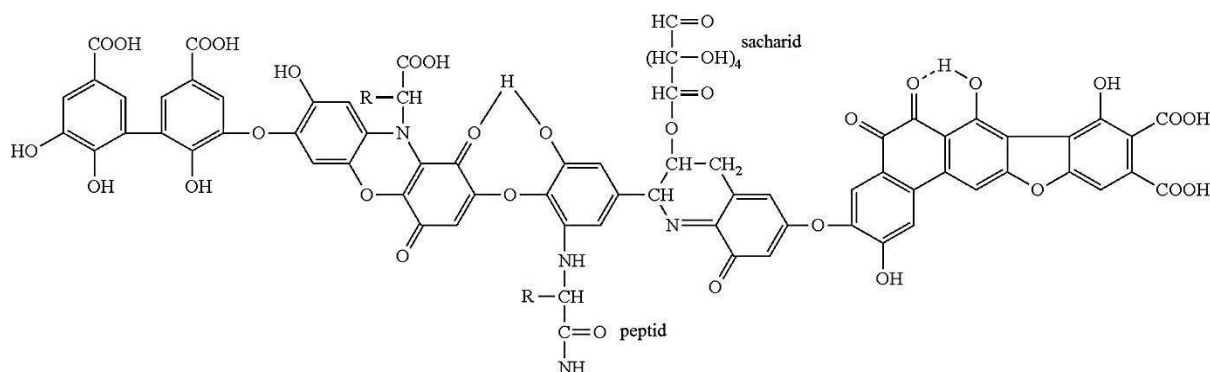
Prvek	HK	FK
C hm. %	53,8 – 58,7	40,7 – 50,6
O hm. %	32,8 – 38,3	39,7 – 49,8
H hm. %	3,2 – 6,2	3,8 – 7,0
N hm. %	0,8 – 4,3	0,9 – 3,3

Ačkoliv HL mají společné vlastnosti, tak mají různé relativní zastoupení funkčních skupin v závislosti na prostředí (zemědělské půdy, lesní půdy, ...) [12]. V **Tabulka 3** jsou vypsány některé důležité funkční skupiny rozpuštěného organického uhlíku.

Tabulka 3: Důležité funkční skupiny rozpuštěného organického uhlíku [12]

Funkční skupina	Struktura	Místo výskytu
aldehydová	$(Ar-)R-C=O(-H)$	cukry
alkoholová	$(Ar-)R-CH_2-OH$	vodní HL, cukry
amidová	$(Ar-)R-C=O(-NH-R)$	peptidy
aminová	$(Ar-)R-CH_2-NH_2$	aminokyseliny
cyklicky imidová	$(R-)O=C-NH-C=O(-R)$	vodní HL
enol vodík	$(Ar-)R-CH=CH-OH$	vodní HL
etherová	$(Ar-)R-CH_2-O-CH_2-R$	vodní HL
esterová, laktonová	$(Ar-)R-C=O(-OR)$	vodní HL, hydroxykyseliny, taniny
fenolová	$Ar-OH$	vodní HL, fenoly
chinonová	$Ar=O$	vodní HL, chinony
iminová	$CH_2=NH$	(nestabilní, tvořící polymerní deriváty) HL
karboxylová	$(Ar-)R-COOH$	v 90 % rozpuštěného organického uhlíku
ketonová	$(Ar-)R-C=O(-R)$	vodní HL, těkavé látky, ketokyseliny, cukry

Pravděpodobně první návrhy struktury huminové kyseliny byly předloženy téměř současně F. J. Stevensonem (1972) a Harworthem (1973). Se vznikající hypotetickou strukturou hnědého uhlí, se předpokládalo, že huminové látky obsahují ve své primární struktuře polyaromatické uhlovodíky. Huminové látky jsou heterogenní směsí látek, a proto neexistuje jeden strukturální vzorec pro všechny tyto sloučeniny. Hypotetickou strukturou dle Stevensona znázorňuje **Obrázek 2**, obsahuje volné a vázané fenolické skupiny –OH, chinonové struktury, dusíkaté a kyslíkaté atomy ve funkci můstků a karboxylové skupiny umístěné na aromatických kruzích. Dříve se uvažovala přítomnost polyaromatického uhlovodíku v základní struktuře huminové látky, ale tato představa je opuštěna [13, 14].



Obrázek 3: Předpokládaný základní strukturální vzorec huminových kyselin podle Stevensona [4]

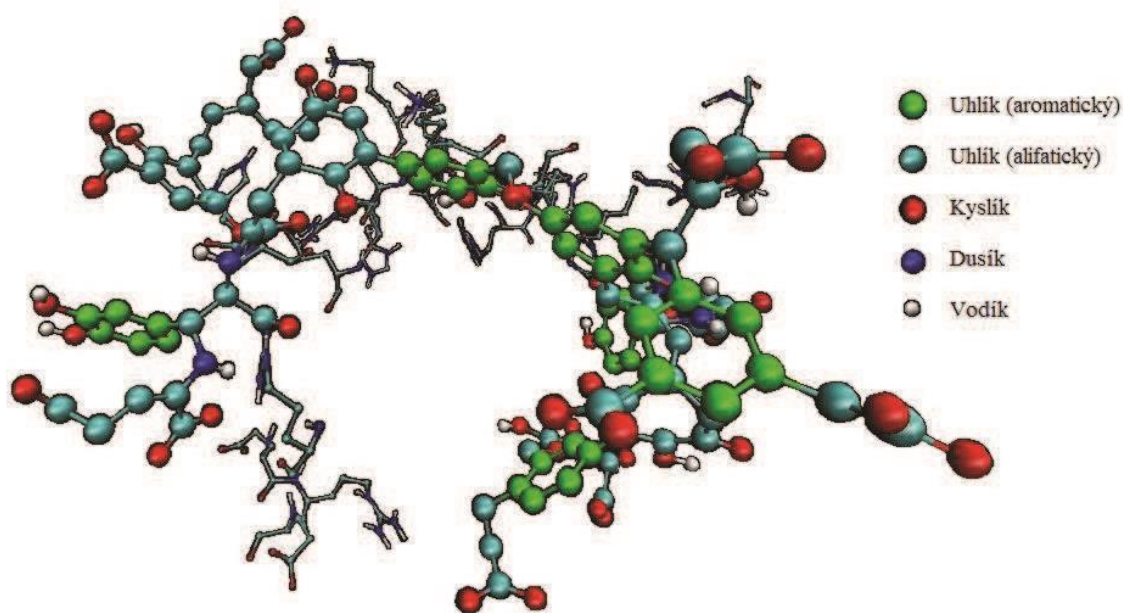
V následujících letech došlo k řadě zásadních objevů ve struktuře huminových kyseliny, a to zejména díky pokrokům dosažených v oblasti instrumentální analýzy (NMR, chromatografie, hmotnostní spektroskopie). Huminové látky byly dlouho považovány za lineární polymerní sloučeniny nacházející se v půdě. Pomocí analytické ultracentrifugace byla určena molekulová hmotnost těchto makromolekul, v případě FK je to v rozmezí 10 000–50 000 Da a více než 30 000 pro HK. Huminové kyseliny jsou obecně považovány za komplexní aromatické makromolekuly, kde spojení mezi aromatickými skupinami zajišťují aminokyseliny, aminocukry, peptidy a alifatické sloučeniny. Huminové kyseliny vykazují tedy polyaniontový charakter a mohou různými mechanismy (jak chemickými, tak fyzikálními) vázat ionty.

Ve struktuře HK jsou karboxylové tak fenolové skupiny, které mají důležitou schopnost, a to vyvážet s kovovými ionty stabilní komplexní sloučeniny. Kov se na karboxylovou skupinu HK váže prostřednictvím koordinační vazeb. Tato vazba je hlavní příčinou kyselosti těchto sloučenin.

Přítomnost chinoidních struktur je podstatná při přímé chemické tvorbě kovaletních vazeb humusu s cizorodými látkami bez asistence enzymatické katalýzy [14].

Na huminové látky lze pohlížet jako na polymer, tedy makromolekulu či polyelektrolyt, a nebo také jako na supramolekulární agregát. První teorie je považována za tradičnější, starší a dnes se od ní odstupuje. Naopak supramolekulární systém huminových kyselin je modernější, novější a je podpořen novými analytickými metodami.

Supramolekula je tvořena tím, že v půdě je organická hmota degradována na relativně malé molekuly, které se spojují do větších heterogenních systémů, tedy supramolekul. Tyto systémy mohou být stabilizovány slabými vazebnými interakcemi, jako jsou van der Waalsovy, π - π a π -CH vazby v případě neutrálního pH, a naopak při nižším pH jsou to vodíkové můstky [15].



Obrázek 4: Supramolekulární struktura HK [16]

3.1.4 Vlastnosti huminových kyselin

Vlastnosti huminových kyselin silně závisí na jejich původu, izolaci, ale hlavně na jejich struktuře. Huminové kyseliny jsou považovány za nejhodnotnější produkt humifikačních procesů v půdě. Ovlivňují půdní vlastnosti a zvyšují pufrovací schopnost půd. Stálé a odolné vůči mineralizaci jsou ve svém nasyceném stavu. Huminové kyseliny obsahují řadu funkčních skupin. Například karboxylové skupiny a fenolické hydroxylové skupiny, u nichž je vodík lehce nahraditelný jiným kationtem či radikálem, je příčinou jejich vysoké schopnosti vázat kovové prvky z pevných systémů, jako je půda nebo z kapalných systémů, příkladem jsou odpadní vody. Vázáním kovových iontů pomocí huminových kyselin dochází ke snížení toxicity, snazší migraci v prostředí a dochází ke zlepšení využitelnosti různými organismy. Chinolové skupiny v HK vysvětlují jejich schopnost vázat aminokyseliny a umožňovat výměnu volných elektronů mezi chinolovou skupinou a dusíkem aminokyselin. Tyto vlastnosti se projevují jako potenciální zdroj biologické aktivity, vazebných a sorpčních schopností. To ovlivňuje zejména chemické a biochemické procesy.

Fyziologicky pozitivní vliv humátů, tedy solí HK, je zřejmý již v počátečních fázích vývoje rostlin. Bylo prokázáno, že huminové kyseliny jsou po přijetí kořeny transportovány až do listů, tímto dochází k zesílení fotosyntézy. Má to pozitivní vliv na metabolismus kořenových buněk, růstové pochody rostlin a působí i na příjem živin a efektivnější využití.

Další podstatnou vlastností HK je sorpční schopnost pro různé organické a anorganické látky. Huminové látky mohou tvořit s různými složkami půdy sorpční půdní komplexy a to hlavně s jílovými minerály vytváří jílovohumusové komplexy. K sorpci může docházet i na aktivním uhlí [16, 17, 18].

3.1.5 Využití huminových látek

Huminové látky jsou jedny z nejrozšířenějších organických látek na Zemi. Mají široké spektrum využití nejen v zemědělství a v ochraně životního prostředí, ale poslední dobou také v medicíně či průmyslu. HL v sobě skrývají obrovský potenciál. Jejich možnost aplikace je velmi různorodá. Zájem HL v zemědělské aplikaci nastal již v 60. letech 20. století [19, 20].

- **Využití v zemědělství**

HL zde hrají velmi důležitou roli, mají velký a mnohostranný vliv na úrodnost půdy, jsou energetickým základem biologických procesů, zvyšují nárůst biomasy a disponují vlastnostmi fyziologicky aktivních látek regulujících růst a vývoj rostlin. HL napomáhají vytvářet póry v půdě, které jsou důležité při přenosu živin z půdy.

Podstatnou roli hrají humátové látky neboli soli huminových kyselin. Mají velký vliv na poutání, uvolňování a propouštění vody, na provzdušnění a tepelný režim půdy. Působení humátu sodného má velmi pozitivní vliv na tvorbu kořenového systému rostlin, ale jen při jeho nízkých koncentracích. Nad 0,06 % může humát sodný působit již inhibičně [19].

Dostatečné množství HK v půdě zabraňuje procesu degradace půd, k degradaci dochází působením větru a vodní erozí. Degradaci může nastat poškození povrchových a podzemních vod, ke snížení zadržení vody, tedy retence, a to vše vede ke snížení produkční schopnosti vody [22].

- ***Aplikace v průmyslu***

Příkladem využití HL může být stavebnictví, zde se používají především jako hydrofobní plniva cementů. HL ovlivňují celkovou rychlost tuhnutí betonu, disperzitu cementu a smáčivost vzniklých povrchů. HK slouží také jako účinné složky plastifikátorů betonových směsí. V dřevozpracujícím průmyslu slouží k barvení dřevěné dýhy či k přípravě přírodního indigo [23].

HK se svojí strukturou podobají průmyslově vyráběným ionexům, proto je možné použít tyto látky a jejich deriváty k zachycování toxických kovů, jako je Pb, Hg, Cd, Zn, Ni a další.

V papírenském průmyslu se uplatňuje humát sodný, tedy sodná forma HK, který je využíván jako barvivo papíru. Přítomnost humátu sodného zlepšuje i retenci papírů [16].

HK našly uplatnění i v keramickém průmyslu, kde především zvyšují barevnost a mechanickou pevnost keramických materiálů [24].

- ***Životní prostředí***

Vzhledem k schopnosti HK vázat těžké kovy se využívají k likvidaci kalů, neboť HK zabraňují uvolňování těchto látek, a proto se využívají jako transportní činidla v prostředí [24].

Využívají se také při odstraňování toxických kovů a jejich iontů, jako nikl, železo, rtuť, měď a radioaktivní prvky z jaderných elektráren, z odpadních vod. HK jsou důležité v chemickém ošetření vody, kde dochází ke srážení kovů pomocí hydroxidu sodného či vápenatého. Přidáním HL zlepšuje proces čištění, snižuje se koncentrace nežádoucích iontů, jedná se o rentabilní, bezpečnou metodu, která je šetrná k životnímu prostředí [25].

- ***Biomedicínské využití***

V medicíně se využívají především HL vyráběné v komerčním měřítku. Použití souvisí především díky jejich antivirovým, protizánětlivým a chelatačním vlastnostem. HL v těle pracují jako čistící a transportní látky organických minerálů a jiných buněčných živin. Negativním aspektem využití HL ve farmacii je fakt, že mohou způsobovat mutagenzi DNA. HL nachází využití v kosmetice, ve výrobě krémů [23].

3.1.6 Výskyt huminových látek

HL se nevyskytují pouze v půdách, ale patří mezi nejrozšířenější materiál s obsahem organického uhlíku na zemském povrchu. Místa, kde se s nimi můžeme setkat, jsou následující:

- ***HL v půdě***

Huminové látky nacházíme ve všech typech půd, a to jako hlavní složku humusu v různých koncentracích, které především závisí na vlhkostních a klimatických podmínkách. Vliv na přítomnost HL má i způsob obdělávání půd a přítomnost rostlinných společenstev.

Poměrně vysoký obsah HL je zejména v tzv. mollisolech, to jsou černozemě, jedná se o půdu typickou pro stepi s mocně vyvinutou humusovou vrstvou. Obsah organického uhlíku zde dosahuje až 6 %. Huminový materiál se nejčastěji vyskytuje jako Ca-humát či Ca-fulvát,

jelikož pro tyto půdy je typické hromadění CaCO_3 . Stejný obsah HL mají i mladé půdy neboli andosoly, vzniklé z poměrně čerstvých sopečných popelů [26].

- ***HL ve vodě***

Obecně lze říct, že HL nalézáme ve všech typech vody – v potocích, řekách, jezerech, mořích a oceánech, pramenech, ve spodní vodě i ve srážkové vodě. Ve vodě se mohou vyskytovat v několika podobách, a to v pevné, koloidní a rozpuštěné. Samotné HL jsou ve vodě součástí tzv. rozpuštěného organického uhlíku (DOC – dissolved organic carbon), neboli rozpuštěné organické hmoty (DOM – dissolved organic matter).

S nejvyšší koncentrací DOC se setkáváme v půdní pórové vodě, zde dosahují koncentrace až $100 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Sladké přírodní vody obsahují $0,5\text{--}50 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ jako DOC, z čehož až 80 hm. % jsou HL [27].

- ***HL v mokřadech***

Anaerobní podmínky mokřadů způsobené slabým odvodněním vedou ke zpomalení rozkladných procesů a tím způsobují nahromadění obrovského množství organické hmoty. Rašelinná ložiska nacházíme po celém světě, nezávisle na klimatických podmínkách. Jsou především známá jako rašeliniště, mokřady, blata či histosoly neboli organické půdy. Pokrývají 500 miliónů hektarů zemského povrchu a obsahují 10^{12} tun organického uhlíku. Předpokládá se, že z rašeliny v konečné fázi vzniká uhlík a další fosilní paliva [28].

- ***HL v geologických ložiscích***

Humínové látky můžeme nacházet také v lignitu, uhlí, fosilních palivech a ropě. Proces vzniku geologických HL z rašeliny nazýváme diagenéze či metamorfóza. Zvednutí mořské hladiny, nebo také pokles země, způsobí zalití mořem. Po čase se tedy rašelinné ložisko pokryje vrstvami mořského sedimentu, váha sedimentu stlačuje rašelinu, navyšuje se teplota a dojde tak k chemickým přeměnám. Čím větší tlak působí, tím pevnější uhlí vzniká [29].

- ***HL v lidských odpadech***

Se zvyšováním populace na zemi, se produkuje ohromné množství odpadů. Proto je nutné odpady dobře uskladňovat nebo lépe opětovně využít. Organická část odpadu se dnes stává novým zdrojem využitelným např. v zemědělství, kdy hnůj se používá jako hnojivo, ale díky velkému množství tohoto odpadu je to cenný zdroj HL, srovnatelný s rašelinou a lignitem. Další odpady obsahující HL jsou kaly z čistíren odpadních vod, kompost, ale také černý kal zanášející znečištěné drenážní trubky, řeky a jezera v průmyslově rozvinutých oblastech. Bohužel o těchto zdrojích HL zatím není moc známo, větší pozornost je zaměřena spíše na rizika spojená s použitím takových odpadů [28].

3.2 PŮDA

3.2.1 Definice půdy

Obecná a všeobecně známá definice půdy je, že se jedná o nejsvrchnější část zemského kůry, která byla vytvořená a je stále vytvářena. Půda je složka přírodního prostředí, která představuje hlavní biotop pro mnoho organismů, a která je v úzkém vztahu s ostatními geosférami. Spolu s atmosférou, hydrosférou a biocenózou tvoří ekosystém. Půda je pevné prostředí zemského povrchu, utvářena souborem vlivů mnoha prostředí a látek, které se navzájem prolínají, ovlivňují a mění. Je životním prostředím pro obrovské množství organismů, kteří svou životní činností vytvářejí a udržují podstatnou vlastnost půdy – úrodnost. Úrodnost půdy zahrnuje schopnost poskytovat podmínky pro rostliny a jiné organismy. Slouží jako zdroj živin pro rostliny. Půda vzniká a vyvíjí se z povrchových zvětralin zemské kůry a zbytků organismů, působením půdotvorných faktorů a je schopná zajišťovat životní podmínky organismům, které v ní žijí. Vznik a vývoj půdy se děje po velmi dlouhou dobu, zvětráváním hornin a minerálů, pochody jak fyzikálními, tak i chemickými. Procesy vzniku půdy jsou obecné a platné pro všechny půdy a přírodní podmínky. Na tvorbě půd se podílí tzv. půdotvorné faktory, jejichž výsledkem vzniká půda konkrétních vlastností, která se nadále během času vyvíjí. Vznik půdy je nazýván pedogeneze. Například tvorba jednoho centimetru půdní vrstvy trvá přibližně 80–150 let, avšak vlivem eroze může být zničena během několika minut [17, 30, 31].

Kvalitu půdy charakterizuje množina jejich komplexních vlastností, které mají vliv mj. na výnos zemědělských plodin. Popsat úrodnost půdy je značně složité. Mezi základní snadno zjištělné znaky půdy patří např. teplota, obsah vody, obsah živin, kyselost půdy. Tyto základní znaky jsou často nestálé, v čase proměnlivé. Záleží také hodně na vlivu okolního prostředí. Na půdu je třeba vždy pohlížet jako na dynamický přírodní útvar, který se tvoří, vyvíjí a udržuje pod vlivem okolního prostředí [32, 33].

Půda je souborem anorganických i organických látek, půdního vzduchu, půdní vlhkosti a organismů. Souhrn všech půd na daném území je označován jako *pedosféra*.

Půda plní několik velmi důležitých funkcí v rámci životního prostředí. Určuje řadu biologických i nebiologických přírodních cyklů, ovlivňuje atmosférické podmínky, reguluje hydrologické poměry v krajině, tvoří základ potravního řetězce a funguje také jako receptor škodlivin [30, 31].

Na Zemi se vyskytuje obrovské množství nejrůznějších půdních forem. Složení půd se liší podle místa odběru i podle hloubky, ze které byl vzorek odebrán. Jsou známy tisíce půdních profilů, které mají různou hloubku, obsah humusu, zrnitost. Půdy se mohou třídit podle různých kritérií, jako je například matečná hornina, klima, vegetace a další. Nejvhodnějším způsobem třídění půd je půdní geneze, při které je kritériem pro třídění způsob, jak půda vznikla [17].

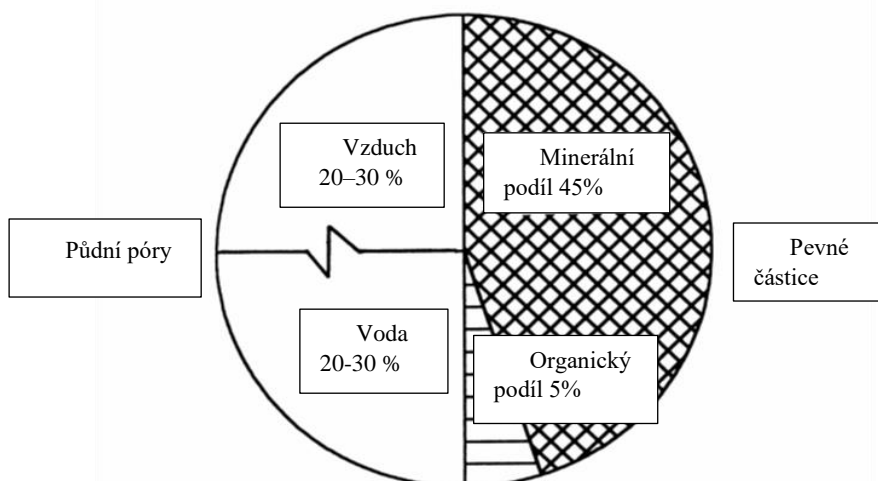
3.2.2 Složení půdy

Půda je nedílnou součástí přírodního prostředí a může být vnímána jako přírodní útvar umožňující růst rostlin. Jedná se tedy o dynamický přírodní útvar tvořený minerálním i organickým materiálem a živými organismy, ve kterém rostou rostliny.

Půda je složena z několika významných složek. Složky půdy dělíme na živou a neživou část. Větší zastoupení je v neživé části, kam se řadí minerální částice, organická hmota, voda a vzduch. Průměrné zastoupení jednotlivých složek minerální půdy je vyobrazeno na **Obrázek 5**.

K živým složkám půdy patří organická hmota. Primárním zdrojem půdní organické hmoty jsou rostliny, rostlinné zbytky a různé části rostlin včetně kořenů. Sekundárním zdrojem jsou živočišné a půdní mikroorganismy. Část organické hmoty v půdě, která prošla procesy přeměn, k nimž patří syntetické a rozkladné procesy. Obecně se obsah organické hmoty snižuje směrem do hloubky půdního profilu. Bez organismů půda přestává být půdou a stává se pouhým substrátem.

Minerální podíl, je tvořen nejrůznějšími anorganickými sloučeninami a částicemi různé velikosti, od velkých úlomků hornin, až po koloidní částice. Různé velikosti skupin minerálních částic určují zrnitost půdy. Minerální podíl tvoří jílové minerály (až 75 hm. %), oxidy a hydroxidy (10–15 hm. %) a primární minerály (7–10 hm. %) [34, 35, 37].



Obrázek 5: Průměrné zastoupení jednotlivých složek minerální hlinité půdy ve stavu příznivém pro růst rostlin [35]

Půda je tedy heterogenní, vícefázový, otevřený systém, který obsahuje tuhou, kapalnou a plynnou fázi. Plynná fáze je tvořena půdním vzduchem, který vyplňuje všechny volné póry. V porovnání s normálním vzduchem obsahuje méně kyslíku, ale více oxidu uhličitého. Vzduch v půdě zastupuje významnou roli, díky němu je zvýšena biologická činnost a uvolňování živin mineralizací organických látek. Kapalnou fázi tvoří hlavně voda s obsaženými rozpuštěnými látkami. Voda v půdě je nezbytná pro život rostlin. Půdní voda je více rozepsána v **kapitole 3.2.4**. Poslední částí je pevná fáze, která se dělí do dvou základních skupin: minerální a organické [35].

3.2.3 Chemické a fyzikální vlastnosti půdy

Jednou z nejdůležitějších chemických charakteristik půdy je reaktivita půdy, respektive půdního roztoku. Rozeznávají se tři druhy půdních reakcí: aktivní, výměnná a reziduální neboli zbytková. Aktivní reakce je vyvolána výskytem volných iontů H^+ . Výměnná reakce ovlivňuje kyselost. Většina půd má tendenci se okyselovat v důsledku přísunu iontů H^+ .

Mnoho chemických i biologických procesů v půdě závisí na množství vodíkových kationtů H^+ v půdě a hydroxylových aniontů OH^- . Distribuci kationtů v půdě do značné míry ovlivňuje pH. Další vlastností půdy je pufrovitost půdy. Pufrovitost je schopnost odolávat změnám pH půdního roztoku. K chemickým vlastnostem půdy se řadí i elementární složení půdy, minerální složení půdy, složení půdního roztoku, obsah a složení půdní organické hmoty [35, 37, 39].

Fyzikálními vlastnostmi půdy nazýváme takové vlastnosti, které můžeme ohodnotit vizuálně nebo hmatem a určit pomocí stupnice tvarů, síly a intenzity. Každá půda je charakteristická souhrnem fyzikálních vlastností závislých na relativním množství přítomných komponentů a vzájemného spojení.

Každý půdní typ je charakteristický různými fyzikálními vlastnostmi, které jsou podmíněné disperzitou půdních částic, prostorovým uspořádáním a vzájemnými vztahy mezi pevnými částicemi, kapalnou fází (půdním roztokem) a vzduchem. Z toho vyplývá, že půda je pórovité těleso, jehož fyzikální vlastnosti se vyznačují různými specifickými vlastnostmi.

Fyzikální vlastnosti se dělí podle vztahu k půdě a funkčnosti na dvě skupiny. K základním vlastnostem, které jsou úzce spojené s prostorovým uspořádáním půdní hmoty a jejich kvalitativními vlastnostmi, řadíme měrnou a objemovou hmotnost, strukturnost a pórovitost. Druhotné (funkční) vlastnosti jsou závislé na základních a jsou výsledkem funkce půdy jako prostředí obývaného rostlinami a živočichy. Z hlediska funkce půdy charakterizují vztah ke vzduchu, teplu, vodě a fyzikálně-mechanickým vlastnostem. Řadí se sem vzdušný, tepelný a vodný režim, soudržnost, lepivost, konzistenci, vláčnost, usazování a zralost půdy [17].

Mezi fyzikální vlastnosti půdy se řadí velká škála faktorů, jako je struktura půdy, její zrnitost, vlhkost a konzistence a velmi důležitým faktorem je barva.

Strukturou půdy se rozumí prostorové uspořádání elementárních částic. Velikost minerálních částic v půdě, respektive zastoupení jednotlivých velikostních kategorií, zásadně ovlivňuje fyzikální a chemické vlastnosti půdy. Postupně byly vytvořeny různé systémy třídění částic podle velikosti. Nejjednodušší stupnice rozlišuje kategorie štěrk, písek, prach a jíl. Jednoduše se dají půdní druhy rozdělit podle textury na půdy písčité, hlinité a jílovité. Půdu lze rozdělit podle zrnitosti do 7 kategorií, na písčitou, hlinitopísčitou, písčitolhinitou, hlinitou, jílovitolhinitou a jílovitou. Na tvorbě struktury se mohou významně podílet objemové změny půdy při střídavé vlhkosti [35, 39].

Vlhkostí půdy se obecně rozumí momentální relativní obsah půdy. Podle obsahu půdy označujeme zeminu jako suchou, vlahou, vlhkou a mokrou.

Mezi fyzikální vlastnosti půdy patří i její *barva*. Barva je jednou z nejdůležitějších a nejužitečnějších charakteristik půdy. Barva půdy může být měřítkem obsahu organické hmoty, stupně a intenzity půdního zvětrání, vegetaci, která se podílela na utváření dané půdy [17].

3.2.4 Půdní voda a retenční schopnosti půdy

Půdní voda představuje kapalnou fázi půdy. Ve skutečnosti jde o půdní roztok různých minerálních a organických látek. Z fyzikálního hlediska se půdní voda dělí na gravitační, kapilární a hygroskopickou. Gravitační voda je přítomna v půdě pouze po silných deštích, proto ji rostliny nestihnou využít. Kapilární voda se nachází v pórech a hygroskopická je v půdě silně vázaná a mohou ji přijímat jen některé mikroorganismy. Koncentrace půdního roztoku se mění vlivem působení řady fyzikálních, chemických a biologických procesů v souvislosti s vlhkostí, teplotou, provzdušením půdy, složením pevné fáze půdy aj. Půdní roztok v souvislosti s těmito podmínkami obsahuje řadu rozpuštěných minerálních i organických látek v různém množství a poměru [34, 35, 38].

Půda má dominantní postavení v hydrologickém cyklu krajiny, je významným filtračním, retenčním a transportním prostředím. Důležitý je objem vody, který je půda schopna zadržet a objem vody protékající půdou. Stav a množství vody v půdě mezi půdním povrchem a hladinou podzemní vody nebo nepropustnou vrstvou bezprostředně ovlivňuje mnoho životních důležitých procesů (odtok z povodí, zásobování zdrojů podzemní vody, zásobení rostlin vodou apod.). Nevyrovnaný koloběh vody v krajině, zvláště zrychlený odtok vody, má za následek střídání povodní a sucha, s čímž souvisí i degradace půd. Retenční schopnost krajiny je dána její schopností zadržet vodu a v konečném důsledku zpomalit odtok srážkových vod. Pod tímto pojmem se rozumí dočasné zadržení vody na vegetaci, objektech v povodí, zadržení vody v povrchu půdy, v půdě. Je také prokázáno, že retenční schopnost půdy, pozitivně koreluje s obsahem organické hmoty v půdě a negativně s objemovou hmotností [39, 40].

3.3 HNOJIVA

Hnojiva představují neodmyslitelný prostředek ke zvyšování úrodnosti půdy. Jedná se o látky, které dodávají rostlinám výživu a biogenní prvky, jako je dusík, fosfor a draslík, které jsou pro výživu a růst rostlin velice důležité. Hnojiva tedy působí na růst, vývoj rostliny a tím i na jejich kvalitu a úrodnost. Při hnojení se musí dbát zřetel na klimatické podmínky, půdní vláhu a také na ekologické podmínky. Hnojiva jsou obvykle aplikována přes půdu pro výživu přijímanou skrze kořenový systém nebo postřikem listů v případě látek vstřebatelných přes kutikulu.

3.3.1 Průmyslová hnojiva

Taková hnojiva představují chemické směsi a jejich sloučeniny, které dodávají ve vstřebatelné formě rostlinám chemické prvky, a to především fosfor, dusík a draslík, které jsou nezbytnou součástí pro růst a výživu rostlin. Použití průmyslových hnojiv je jedním z rozhodujících kontrolovatelných faktorů ovlivňujících výrobu potravin, krmiv a také některých přírodních surovin. V tomto směru mají průmyslová hnojiva nezastupitelnou roli při řešení problému s celosvětovým nedostatkem potravy. Tato skutečnost je pro současný i budoucí výhled spotřeby průmyslových hnojiv rozhodující. Největších objemů dosahuje výroba a spotřeba dusíkatých a fosforečných hnojiv, která obsahují chemicky vázaný dusík a fosfor v rozpustné formě. Hnojení anorganickými i organickými hnojivy představuje často hlavní zdroj dusíku v mnoha systémech a zároveň také řeší nedostatek vhodné formy rostlinami přijatého fosforu z většiny půd.

Průmyslová hnojiva se dle jejich fyzikálního stavu, ve kterém se aplikují, dělí na pevná a kapalná. Průmyslová hnojiva se dělí podle fyzikálního stavu, ve kterém se vyrábějí a aplikují, na pevná a kapalná. Pevná pak mohou dále být krystalická (např. síran amonný), či granulovaná (např. dusičnan amonný nebo NPK) nebo také prášková. Průmyslová hnojiva se mohou rozdělit podle obsahu výživných složek na jednosložková, ta obsahují pouze jednu živinu. Mezi jednosložková hnojiva řadíme dusíkatá, fosforečná a např. draselná [41].

3.3.2 Minerální hnojiva

Pomocí minerálních hnojiv se dodávají do půdy prvky N, P a K. U dusíku se vyjadřuje jeho kvantitativní množství jednoduše, avšak pro fosfor se musí množství přepočítat na oxid fosforečný a draslík na množství oxidu draselného. Problém předávkování nehrozí, pokud jsou hnojiva pomalu rozpustná.

Z počátku se ke hnojení fosforem využívali kosti, ty byly ale nahrazeny superfosfáty, které jsou vyrobeny z rozemletého nerozpustného apatitu, zalitého v kyselině sírové. V dnešní době je ale vyráběno kombinované hnojivo NPK, které již obsahuje všechny podstatné prvky a tvoří tak důležité živiny pro rostliny [42].

3.3.3 Nové aplikační formy hnojiv

Jak již bylo zmíněno, hnojiva se nejčastěji vyskytují ve formě postřiků a prášků, které se aplikují přímo na listy dané rostliny nebo pak v podobě různých granulí do půdy do oblasti kořenového systému rostliny. Bohužel rostlina využije jen malé množství hnojiva. V odborné literatuře se uvádí, že v případě postřiků se jedná o pouhou jednu třetinu z celkového aplikovaného množství. Většina hnojiva je tak odváta povětrnostními vlivy, případně odplavena srážkovou vodou. Problém však není pouze v ekonomických ztrátách, ale i ve znečišťování životního prostředí. Hnojivo, které není využito rostlinou, se ve většině případů dostává do zdrojů pitných vod, popřípadě do ovzduší a přichází tak do kontaktu s každodenní činností člověka [41].

Cílem nejednoho vědeckého týmu je tedy vyvinout takovou formu hnojiv, která by toto znečišťování životního prostředí zamezila a zároveň tak snížila jejich celosvětovou spotřebu. Člověk už ví, které látky podporují růst rostlin, popřípadě které látky zvyšují úrodnost plodin. Otázkou však stále zůstává v jaké formě tyto látky rostlinám „nabídnout“. Inspirace se nabízí třeba v dnes tak hodně diskutovaném farmaceutickém průmyslu. Obecně je známo, že léky jsou do organismu vpravovány nejen v jejich čisté formě, ale v systémech, které zprostředkovávají jejich cílené a pozvolné uvolňování. A takové systémy by se daly využít rovněž i při dávkování hnojiva [41, 43].

3.3.4 Systémy řízeného uvolňování v zemědělské praxi

Systémy řízeného uvolňování hnojiva (dále jen CRF – controlled release fertilizers) jsou v poslední době velmi žádané v zemědělské praxi. Díky neustále se zvyšujícímu množství hnojiva na celém světě je tento typ nosičů stále více populární. Je známo, že rostliny jsou schopny přijmout kolem 30 hm. %, v lepších případech až 50 hm. % z celkového množství dodaného hnojiva [40]. Ke ztrátě hnojiv může docházet z různých důvodů. Velká většina se odplaví do podzemních vod a tím dojde k jejich znehodnocení nebo se odpaří do ovzduší. V ovzduší tak může dojít ke vzniku kriticky vysokých hodnot oxidu dusného, který způsobuje ničení ozonové vrstvy v atmosféře. Část hnojiv podléhá mikrobiálnímu rozkladu

a chemickým procesům, produkty těchto reakcí mohou mít nepříznivý vliv na životní prostředí. Velké dávky hnojiv s obsahem dusíku vedou ke špatné úrodě, ale mohou působit i negativně na zdravotní stav obyvatel, kteří žijí v poškozené oblasti a samozřejmě i na hospodářská zvířata. Dále zvyšují salinitu půdy a koncentraci těžkých kovů. Proto neustále vzrůstá poptávka po CRF, které jsou variabilní, co se týče dávkování živin pro různé typy plodin. Hlavní živiny důležité pro růst rostlin jsou dodávány prostřednictvím komerčních hnojiv na bázi prvků N, P a K ve formě solí. Tyto hnojiva mají tendenci podléhat již zmíněným vedlejším procesům, jako mikrobiální rozklad. A právě aplikací těchto živin do systému CRF by snížila ztráty způsobené rozkladem [44].

Pokud je hnojivo aplikováno do půdy ve formě CRF, tak to znamená, že nosič obsahuje živinu potřebnou pro metabolismus rostliny, ale tato látka se pro rostlinu stává dostupnou až po určité době. Ve většině případů je potažena anorganickým nebo organickým materiálem, který se časem rozloží a tím poskytuje rostlině opožděné dávkování hnojiva. U těchto typů nosičů je živina uvolňována např. pomocí polopropustné membrány, nebo rozpadem obalu hnojiva [45].

Jako obalový a enkapsulační materiál se začal aplikovat polyhydroxybutyrát. Tato látka, se může vyskytovat v několika formách – vlákno, nástřík, film, obal. Tento plast byl vlastně vyvinut na výrobu cigaretových filtrů, které lidé často odhazují na zem, a proto je potřeba, aby se co nejdříve rozložily. Umí se rozkládat za aerobních tak i anaerobních podmínek, díky této vlastnosti se stává důležitým nástrojem pro zajištění řízeného uvolňování hnojiv, pesticidů, herbicidů a dalších látek. Může být využit na výrobu prostředků zajišťujících mechanickou obranu půdy [46].

Mezi nové aplikační formy hnojiv se řadí superabsorbční polymery, které budou blíže specifikovány v následující kapitole.

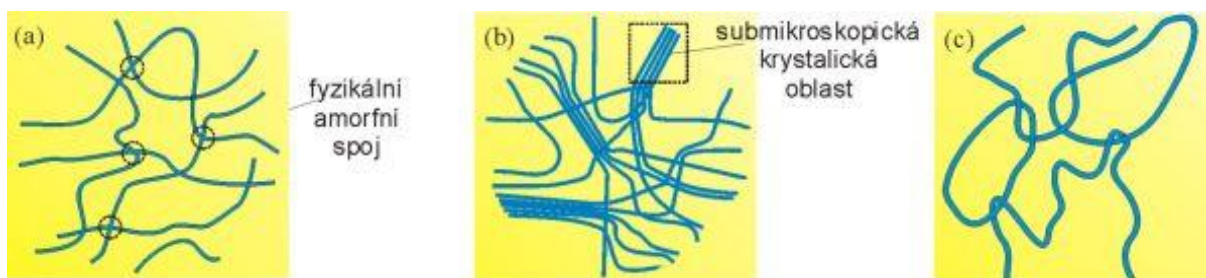
3.4 GELY

Gel je systémem spojitě trojrozměrné sítě prostupujícím disperzním prostředím. Díky přítomnosti prostorové sítě mají gely vlastnosti mechanické, a to dokonce i přesto že obsahují kapalně disperzní prostředí. Vytvoří-li se mezi makromolekulami sítě dostatečný počet uzlů, může dojít ke vzniku sítě. Síť může vzniknout z lineárního polymeru nebo roztoku. Mezi jednotlivými disperzními částicemi gelu působí síly fyzikální nebo chemické. Spoje neboli uzly mohou vzniknout chemickou reakcí, mluví se tedy o kovalentních sítích tedy kovalentně síťovaných gelech. Jinou možností je tedy vznik pomocí fyzikálních sil, jako je například van der Waalsova síla či vodíková vazba, tyto gely se nazývají fyzikálně síťované gely.

Gely mají makroskopickou velikost a elastické vlastnosti. Gely mají charakter tuhé látky, i přesto že disperzní prostředí je kapalně. Gelace je proces, při kterém dochází ke vzniku gelu. Vyšší teplota u gelace roztoků vysokomolekulárních látek většinou brání ke vzniku gelu, protože narůstá tepelný pohyb jednotlivých částí systému a dochází ke snížení počtu vazeb mezi molekulami. Naopak snížení teploty zpravidla vede k tvorbě gelu. Při zvýšení teploty u lyofobních solí vede k rychlejší gelaci [47, 48, 49].

- **Fyzikálně síťované gely**

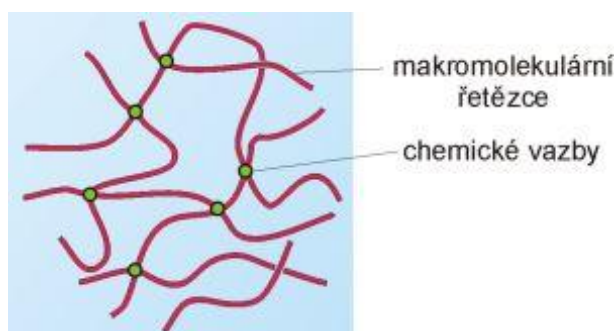
Fyzikálně síťované gely vznikají působením fyzikálních sil (van der Waalsových, polárních, vodíkových můstků), dochází tak ke spojování úseků polymerních řetězců do uzlů nebo spíše uzlových oblastí, ty se tvoří mezi libovolnými úseky makromolekul. Jedna makromolekula může být zapojena do několika uzlových oblastí. Síťová struktura vysokomolekulárních gelů je ukázána na **Obrázek 6**. Ke spojení může docházet při snížení teploty, zvýšení koncentrace nebo zhoršení kvality rozpouštědla. Při vzniku gelu lze velmi často pozorovat rovnoběžné uspořádání jednodolých částí molekul, které spolu integrují [49].



Obrázek 6: Síťovitá struktura vysokomolekulárních gelů (a) amorfni gel, (b) gel se submikroskopickými krystalickými oblastmi, (c) geometricky síťovaný gel [49]

- **Kovalentně (chemicky) síťované gely**

Kovalentně síťované gely vznikají jako xerogely nebo lyogely podle toho, zda při přípravě bylo přítomno kapalné disperzní prostředí. Kovalentní makromolekulární gel představuje trojrozměrnou síťovitou strukturu, která je tvořena chemickými vazbami. Chemická vazba vzniká buď adiční polymerací nebo nelineární kondenzační polymerací monomerů. Struktura gelu je díky chemické vazby velmi pevná. Na **Obrázek 7** je naznačena struktura gelu vytvořeného chemickými vazbami. Vysoušením vznikají xerogely. V rozpouštědlech botnají, ale převést je opět na roztok by bylo možné pouze odbouráním chemických vazeb, přičemž se však nezruší vazby, které vznikly při gelaci [49].



Obrázek 7: Struktura kovalentně síťovaného gelu [49]

3.4.1 Rozdělení gelů

Gely se dělí dle několika kritérií. Podle obsahu rozpouštědla se gely mohou dělit na xerogely a lyogely. Pokud dojde k odstranění disperzního prostředí, dochází k vysoušení gelu, vzniká tak systém, který se nazývá xerogel, jehož objem je menší přibližně o objem odstraněného rozpouštědla. Xerogel lze opět převést do původního stavu lyogelu nabotnáním. Tím se xerogel, který lze zpět uvést do původního stavu, liší od gelů připravených

z lyofobních solů, jejichž sušení je nevratné. *Hydrogelem* se označují gely, je-li disperzní prostředí tvořeno pouze vodou. Pokud je disperzní prostředí tvořeno organickou kapalinou, nazývá se *organogelem*. Dle chemického charakteru disperzního podílu, je možno dělit gely na anorganické a organické.

Dalším kritériem pro dělení gelů může být chování ve vysušeném stavu. Gely se tak dělí na reverzibilní a ireverzibilní. *Gely ireverzibilní* jsou porézní a ve vysušeném stavu mají přibližně stejný objem jako původní lyogel. Při styku s disperzním prostředím jsou schopné část kapaliny sorbovat, ale do původního stavu se již nikdy nevrátí. Přeměna ireverzibilního gelu na xerogel je tedy nevratná. *Gely reverzibilní* jejichž disperzní podíl je na bázi makromolekul. Při vysoušení zmenší svůj objem a dávají tak kompaktní xerogely. Které umí opět přejít do původního stavu přijímáním disperzního prostředí. Takové chování mají především makromolekulární gely [48, 49].

3.4.2 Botnání

Důležitým procesem je botnání gelů, které může být charakterizováno jako proces, při němž reverzibilní xerogel, neboli vysokomolekulární látka, pohlcuje nízkomolekulární rozpouštědlo a zvětšuje přitom svůj objem a také hmotnost. Botnání je vlastně zvláštním případem rozpouštění, jedná se o samovolný děj, který může být omezený či neomezený. Rozdíl mezi nimi je, že omezené botnání se zastaví ve stádiu elastického lyogelu a nepohlcuje již zbylé rozpouštědlo, k čemuž u omezeného botnání nedochází.

Botnání bývá popisována stupněm nabotnání Q , definovaným jako hmotnost kapaliny pohlcené jednotkou suchého xerogelu

$$Q = \frac{m_\tau - m_0}{m_0} = \frac{\rho \cdot \Delta V}{m_0}, \quad (1)$$

kde m_τ je hmotnost botnajícího gelu v čase τ od počátku botnání, m_0 je počáteční hmotnost xerogelu, ρ je hustota kapaliny a ΔV je objem pohlcené kapaliny. Stupeň nabotnání Q je definován jako hmotnost kapaliny pohlcené jednotkou suchého xerogelu. Může se stanovit také jako relativní přírůstek hmotnosti gelu při botnání vážením nebo měřením objemu pohlcené kapaliny ΔV . Vážením gelu nebo měřením objemu v různých časech jsme schopni pozorovat i kinetiku botnání až do případného dosažení rovnovážného stavu.

Objemový stupeň nabotnání je definován rovnicí:

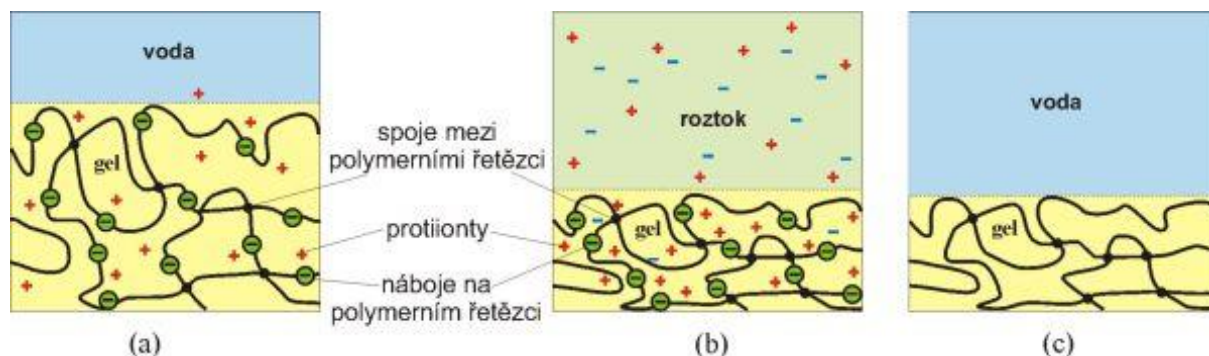
$$Q = \frac{V}{V^0} = \frac{1}{\varphi_2}, \quad (2)$$

kde V je objem nabotnaného gelu, V^0 je objem suchého gelu a koeficient botnání φ udává poměr nabotnaného gelu k objemu gelu v suchém stavu. Koeficient φ nelze bezprostředně přepočítat na Q , pokud při botnání dochází k objemové kontrakci systému [49].

3.4.3 Vliv podmínek na botnání

Velký vliv na botnání má to, z čeho je síť tvořena. Velmi často může být gel tvořen tzv. polyelektrolytem, což je vysokomolekulární látka, která obsahuje skupiny schopné elektrolytické disociace. Pokud gel botná v čisté vodě, jsou ve struktuře přítomny malé ionty

vzniklé disociací postranních skupin řetězce. Velký rozdíl koncentrací iontů v gelu a ve vodě, zvyšuje snahu molekul vody přecházet do gelu. Naopak, když gel botná v roztoku soli, dochází tak ke snížení rozdílu mezi ionty v gelu a v roztoku soli, a to má za následek, že gel se v určitém stupni odbotná. Výsledkem je, že gel v roztoku soli botná mnohem hůř než v čisté vodě. Botnání za různých podmínek je ukázáno na **Obrázek 8** [49].



Obrázek 8: Botnání gelů v různých roztocích [49]

3.5 SUPERABSORČNÍ POLYMERY

Superabsorpční polymery (SAP) jsou volně zesíťované hydrofilní polymery, které se vyznačují schopností absorpce a udržení velkého množství vody ve své struktuře. Dokáží absorbovat až desetinásobek jejich vlastní hmotnosti. Většina SAP jsou na bázi akrylových monomerů, jako je akrylamid a kyselina akrylová. Polymery jsou převážně připravovány ve formě suchých a tvrdých granulí, které se v přítomnosti vody přemění na gel. Vodu, kterou SAP absorbuje, jde velmi těžko odstranit, a to i pod tlakem. Tato jejich ojedinělá a užitečná vlastnost má mnoho využití především tam, kde je zapotřebí zadržet velké množství vody, což je u jednorázových dětských plenek, dámských hygienických prostředků a také v zemědělské a zahrádkářské půdě [50, 51, 52].

První absorbenty byly vytvořeny v 60. letech minulého století, kdy se ministerstvo zemědělství spojených států snažilo vylepšit materiály udržující vodu v půdě. Podařilo se jim připravit kopolymer škrobu a akrylonitrilu, který absorboval vodu několikrát více v porovnání s jejich hmotností a zároveň neuvolňoval žádnou vodu. Jako první uplatnění SAP našlo v hygienických ubrouscích. Dnes jsou vyráběny jako superabsorbenty využívané pro hygienické potřeby hlavně ze zesíťovaných akrylátových homopolymerů neutralizovaných sodíkem. Pro aplikaci do půdy jsou většinou zesíťováním akrylo-akrylamínových kopolymerů neutralizovaných draslíkem [53].

3.5.1 Využití SAP

Díky unikátním vlastnostem SAP, které byly zmíněny v předchozí kapitole, jsou využívány v mnoha aplikacích, a to nejen jako výroby používané v běžném životě, ale také v zemědělství a zahrádkářství.

- **Zemědělství**

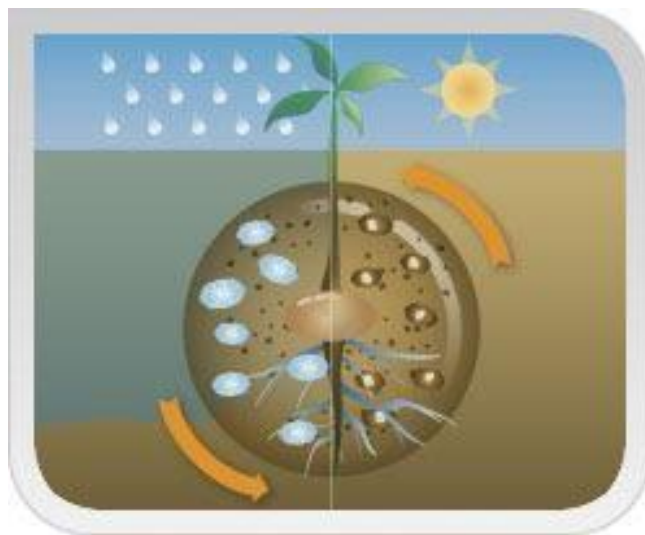
Popularita využití SAP v zemědělství stále narůstá. SAP zde hrají hlavní roli při zvyšování obsahu vody v půdě a tím i podporu pro růst rostlin. Velkým problémem je úbytek organické složky v půdě, které je její nedílnou součástí, proto SAP v současnosti patří mezi nejvíce pokrokové zemědělské technologie a díky svým unikátním vlastnostem mohou být

aplikovány přímo do půdy. Dále SAP mají vliv na propustnost, hustotu, strukturu, výparnost a míru infiltrace vody skrz půdy. Hrají velkou roli v klíčivosti rostlin, a to i v suchých a polosuchých oblastech, protože jsou schopny prodloužit dobu využití půdní vody rostlinami i tam, kde je závlaha přerušena. Tím, že jsou aplikovány do okolí kořenového systému rostliny, tak udržují vláhu ve vnější vrstvě půdy, která je velice náchylná na vysychání. SAP mohou nahrazovat systém zavlažování, čímž se zlepšuje úrodnost rostlin. Na **Obrázek 9** je zobrazen koloběh botnání a vysychání hydrogelů v půdě při různých podmínkách [55, 56].

SAP mají v půdě omezenou životnost, která se mění v závislosti na některých faktorech. Mezi hlavní faktory patří především chemická struktura SAP, polymery mají životnost maximálně 3 roky, zatímco kopolymery mohou mít životnost až 5 let. Druhým faktorem je síťování, pokud je stupeň síťování dostatečně velký, tím je voda déle dostupná a tím má i SAP delší životnost. V neposlední řadě hraje podstatnou roli i kvalita vody [57].

Podle článku mohou hydrogely také podpořit účinky biocidů a herbicidů. Přítomností polymerů by se daly vylepšit některé vlastnosti biocidů a herbicidů a předejít tak některým vedlejším účinkům. Hydrogel by zde posloužil k ochraně těchto látek, uvolňoval je na cíleném místě, kontroloval rychlost uvolňování a potřebnou koncentraci. Existují dva typy kombinací biocidních a herbicidních přípravků s polymery. Prvním je fyzická kombinace, která spočívá v zapouzdření látky v hydrogelu. Další možností je chemická kombinace, zde zastupují roli nosiče [54].

Přidání HL do půdy společně se SAP přináší velmi pozitivní vlastnosti, čímž se zajistí udržení úrodnosti půdy. HL umí vázat těžké kovy a tím zabraňují, aby se kovy dostaly do rostlin, jelikož mají velmi negativní vliv na růst zemědělských plodin. Jde o látky s výbornou biologickou účinností, přispívají ke zvyšování odolnosti rostlin k nepříznivým činitelům a zvyšují účinnost minerálního hnojení [55, 56].



Obrázek 9: Koloběh botnání a vysychání hydrogelů v půdě při různých podmínkách [58]

- **Hygienické pomůcky**

Asi nejvíce známá je přítomnost SAP v dětských plenách, kde je zadržování tekutiny nutností a v hygienických pomůckách, jako jsou menstruační vložky. Všechny produkty se SAP mají za úkol sát a zadržovat vodu nebo jinou tekutinu. Cílem těchto výrobků je neustálé

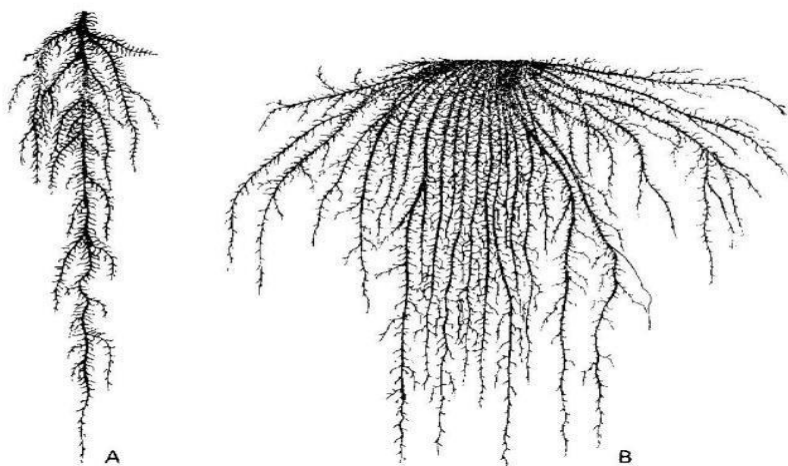
zvyšování savosti a co nejdéle tak zadržet vodu ve své polymerní síti. V plenách nabotnaný gel zadržuje tekutiny v pevném, gumovitém stavu a zabraňuje jejímu kontaktu s pokožkou dítěte. Rychlost absorpce pleny nesmí být pomalejší než rychlost močení dítěte, jinak by mohlo dojít k úniku tekutiny, což je u plen nežádoucí efekt. Rychlost absorpce tekutiny do SAP je ovlivněna maximální absorpční kapacitou polymeru, velikostí jeho částic a jejich tvaru [50, 51].

3.6 ROSTLINNÝ PŘÍJEM ŽIVIN

Rostliny přijímají výživu, aby získaly energii a produkovaly nové biogenní hmoty pro růst a rozvoj. Živiny, které je rostlina schopná přijmout, do ní vstupují různými cestami. Nejběžnější cesta příjmu živin a také vody je hlavně prostřednictvím kořenů. Dále do rostliny dokáží dostat živiny obsahující N, P, K, Ca, Mg, Fe, mikroelementy aj. pomocí vstupů na listech, stoncích a některých generativních orgánech, jako jsou plody a klasy. Živiny jsou přijímány ve formě rozpustných solí, což je nazýváno jako tzv. foliární výživa [59].

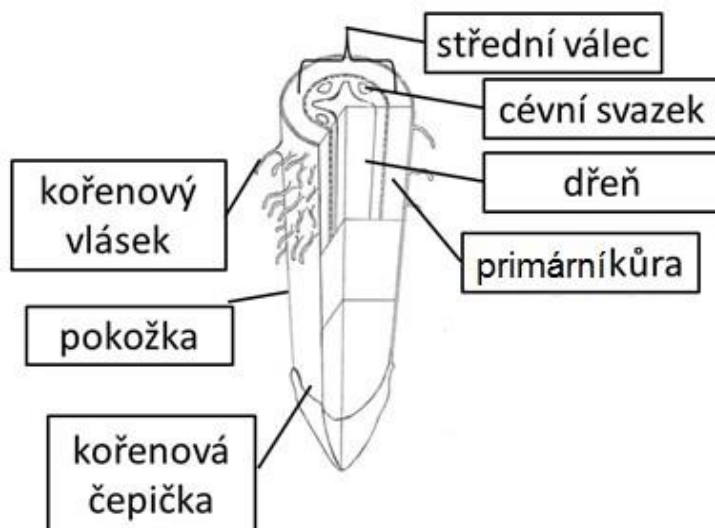
3.6.1 Příjem živin kořeny

Kořen je rostlinný orgán umístěný obvykle pod zemí. Kořen má několik funkcí, jako je upevnění rostliny, přijímání vody a živin, které v ní jsou, a také rozvod vody přes celý kořen až ke stonku rostliny. Nedílnou funkcí kořenů je také část metabolismu rostliny v něm probíhající. Syntetizují se v něm aminokyseliny, alkaloidy a cytokiny. Kořenové systémy se rozdělují na dva typy, na homorhizii a na allorhizii, které jsou zobrazeny na **Obrázek 10**. Z fylogenetického hlediska je starší homorhizie, která se skládá z adventivních neboli přichytných kořenů. Allorhizie je tvořena hlavním kulovitým kořenem, který je obklopen bočními postranními kořeny, mnohem menší velikosti. Boční kořeny vyrůstají postupně z hlavního kulovitého kořene podél celého jeho obvodu [60].



Obrázek 10: Stavba kořene (A – allorhizie, B – homorhizie) [59]

Kořen je sestaven ze tří hlavních pletivových celků: z pokožky (krycí pletivo), primární kůry (základní pletivo) a středního válce (vodivé pletivo). Řez kořene je zobrazen na **Obrázek 11**.



Obrázek 11: Řez kořenem [62]

Důležitou součástí kořenů je jeho absorpční povrch, který zajišťuje přijímání živin. Tento povrch je ale mnohem menší než povrch půdních částic či vodních filmů. Kořen může přijímat živiny ze dvou zdrojů, a to z půdní tuhé fáze nebo také z vodného půdního roztoku. Živiny jsou zde obsaženy ve formě iontů. Většina iontů je obsažena ve velmi nízké koncentraci, proto jsou z půdního roztoku získávány velmi obtížně.

Důležitý je také přísun živin ke kořenům rostlin. Může k tomu docházet dvěma způsoby, prvním z nich je tzv. kontaktní výměna, která se uskutečňuje mezi povrchem kořenů a povrchem půdních koloidů [61].

3.7 REOLOGIE

Reologie studuje vnitřní reakce látek na působení vnějších sil, popisuje deformace látek (těles) působením napětí. Při vnějším působení se mění jejich deformace s časem. Látky mohou být pevné, kapalné i plynné. Ideální tekutiny se deformují nevratně, to znamená, že tečou. Naopak ideální pevné látky se deformují elasticky. Matematiky lze chování popsat Newtonovým zákonem, který je obdobný Hookově zákonu [63]:

$$\tau = \eta \cdot \frac{du}{dx} = \eta \cdot \gamma, \quad (3)$$

kde τ [Pa] je smykové napětí, γ [s^{-1}] je smyková rychlost a konstanta úměrnosti η [Pa·s] je dynamická viskozita. Ta charakterizuje vnitřní tření v kapalině a je specifická tím, že u kapalin s rostoucí teplotou klesá. Vzájemná rychlost pohybu smykových rovin, je označena jako du . Ty jsou vzdáleny o dx . Newtonův zákon viskozity platí pro tzv. newtonské kapaliny. Podíl dynamické viskozity a hustoty kapaliny je kinematická viskozita, která bývá zaváděna při experimentech, ve kterých jsou děje závislé kromě viskozity i na hustotě [63]:

$$v = \frac{\eta}{\rho} [m^2 \cdot s^{-1}]. \quad (4)$$

K základnímu popisu reologických vlastností se používá nejčastěji model s posuvnými deskami, který je zobrazen na **Obrázek 12**. Přičemž horní deska o ploše A je uvedena do pohybu o rychlosti v a smykovou silou F . Dolní deska je statická, tudíž rychlost $v = 0$. Mezi deskami je prostor o vzdálenosti h . Do prostoru je nanášen měrný vzorek.

Smykové napětí τ je definováno jako síla působící na jednotku plochy potřebná na udržení konstantní rychlosti pohybu

$$\tau = \frac{F}{A} [kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}]. \quad (5)$$

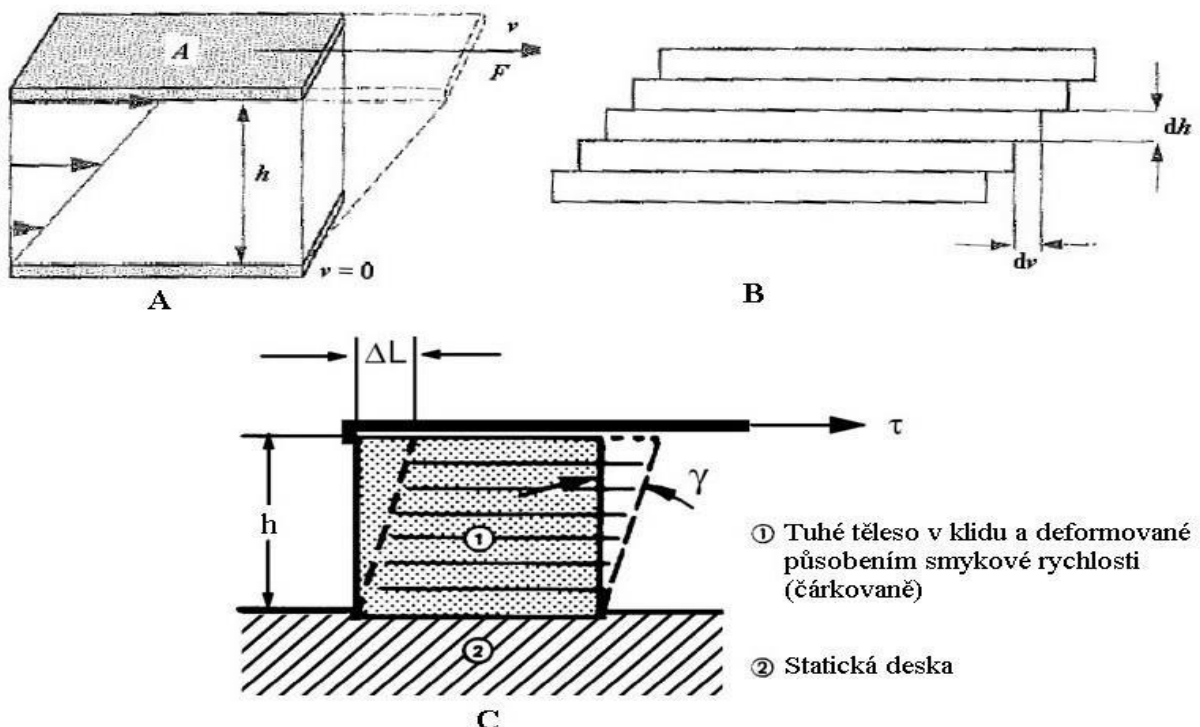
Působením smykového napětí na pevné látky vzniká deformace, jde o poměr změny délky či objemu k původní délce nebo objemu

$$\gamma = \frac{dL}{h}, \quad (6)$$

kde dL = deformace v důsledku působení smykové rychlosti a h = výška tělesa.

Smyková rychlost $\dot{\gamma}$ je gradient rychlosti mezi deskami, kde dochází k laminárnímu toku kapaliny. Je definována jako poměr rychlosti v a vzdálenosti desek h [63]:

$$\dot{\gamma} = \frac{v}{h} [s^{-1}]. \quad (7)$$



Obrázek 12: Schéma modelu s posuvnými deskami (A), laminárního toku (B) a deformace tuhého tělesa (C) [63]

3.7.1 Dělení látek v reologii

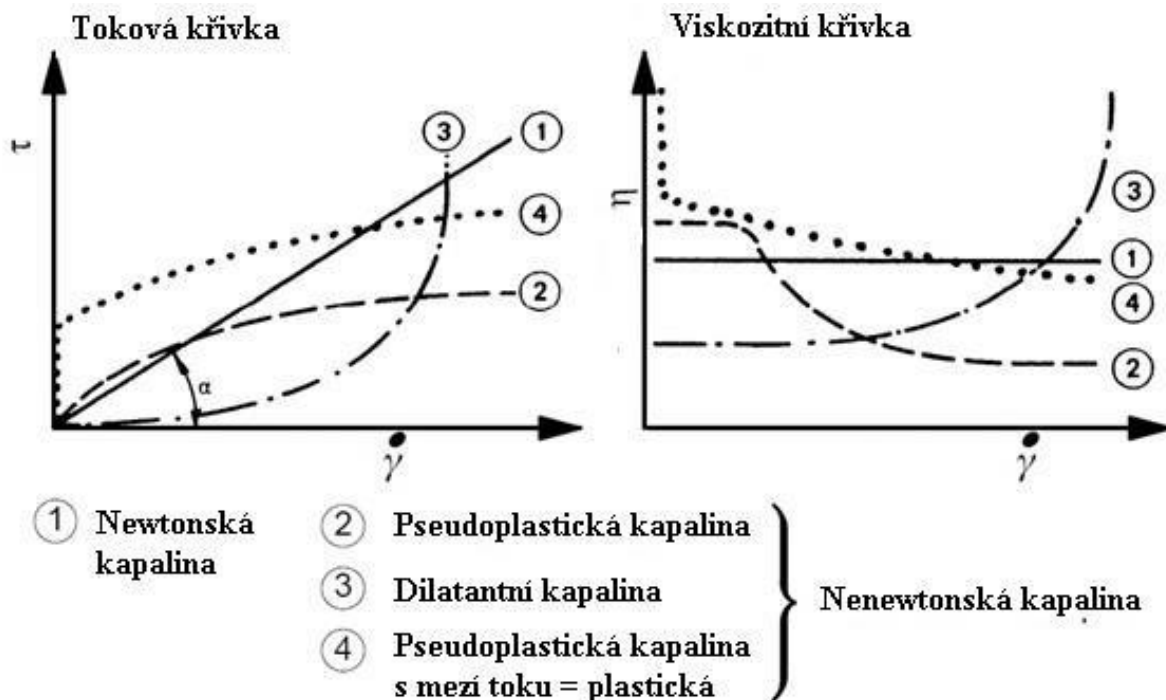
- *Newtonské kapalina*

Newtonské kapaliny vykazují ideální tokové vlastnosti. Newton předpokládal, že grafickým vyjádřením jeho rovnice pro ideální kapaliny bude přímka a bude stoupat pod úhlem α . Jakýkoliv bod na přímce lze definovat dvojicí hodnot smykové rychlosti $\dot{\gamma}$ a smykového napětí τ . Poměrem těchto dvou hodnot pak získáme hodnotu viskozity η .

- *Nenewtonské kapaliny*

Všechny ostatní kapaliny, které nevykazují ideální tokové vlastnosti, neplatí pro ně tedy Newtonův zákon, se nazývají nenewtonské kapaliny. Tyto tekutiny nedodržují Newtonův viskozitní zákon. Je možné je rozdělit do tří základních skupin, a to do plastických, pseudoplastických a dilatantních.

Pseudoplastické kapaliny vykazují obrovský pokles ve viskozitě v případě, kdy je smyková rychlost zvýšena z nízkých hodnot do vysokých. Při působení tlaku či síly, může být látka přinucena téct nebo může být redukována energie k udržení požadovaného toku. Řadí se zde emulze, suspenze nebo disperze. Plastické kapaliny lze popsat stejně jako pseudoplastické, ale aby došlo k toku, musí dojít k překročení prahového smykového napětí, tedy meze toku. Příkladem plastické kapaliny je zubní pasta. Poslední skupinou jsou dilatantní kapaliny, které vykazují zvýšení viskozity kdykoli je zvýšena smyková rychlost [64].



Obrázek 13: Tokové a viskozitní křivky [64]

4 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

V současné době dochází k vyčerpání přírodního půdního potenciálu. Podstatnou součástí všech půd jsou huminové látky (HL). Jedná se o kategorii přirozeně se vyskytujících organických sloučenin, které vznikají rozkladem a transformací rostlin, živočichů a zbytků mikroorganismů. Mnoho důkazů ukazuje, že moderní zemědělství zahrnuje postupy, které mají za následek pokles HL v půdě. Mezi zemědělské praktiky se zahrnuje přehnané hnojení. Ztráta HL společně s celkovým snížením půdní organické hmoty je znepokojující, jelikož hraje důležitou roli v růstu rostlin a udržení kvality půd. HL dokáží přispět ke zlepšení úrodnosti půd a to především díky jejich složení. Mezi některé výhody půd bohatých na obsah HL patří zlepšení struktury, pH, zvýšená schopnost zadržovat vodu, zvýšení biologické dostupnosti živin, snížení toxicity a výskyt těžkých kovů. Do experimentálních podmínek prostředí se zahrnují podmínky růstu, včetně pH, elektrické vodivosti, dostupnosti živin a teploty. Proto při testování půda rozdělena jako stresující či nestresující médium. Mezi stresové podmínky patří slanost, přítomnost těžkých kovů, toxicita a samozřejmě nedostatek živin. Aplikací HL do půdy, dochází ke snižování stresových podmínek. Toto zjištění je velice důležité pro agronomické použití, protože degradaci půdy, změnou klimatu, snižováním živin a vodou v půdě lze zabránit právě aplikací HL, které se zaměřují na zmírnění těchto stresových namáhání. Účinnost HL samozřejmě závisí i na způsobu aplikace. Existují tři způsoby – přes kořeny, přes listy nebo kombinace obou. Vliv HL není závislý jen na původu a rychlosti aplikace, ale také na druhu pozorovaných rostlin. Rostliny jsou zde rozděleny do tří úrovní – jednoděložné rostliny, dvouděložné byliny a dřeviny, někdy zvané jako trvalky. HL jsou někdy v literatuře označovány jako růstový regulátor rostlin. Působí tedy jako růstové hormony, které jsou nazývané auximony [47]. Nicméně existuje mnoho odpůrců této hypotézy [47].

V publikaci [66] autoři pozorovali vliv HL získaných z odpadu při výrobě celulózy na růst kukuřice v hydroponických podmínkách. Hydroponie je založena na růstu rostlin bez půdy v živěném roztoku HL. Bylo sledováno klíčení semen jak v roztoku referenčním, tak v roztoku s přísávkem HL. Optimální dávká HL byla stanovena pomocí screeningového testu. V tomto případě, byl screeningový test proveden následovně. Na filtrační papír byl nanášen jak referenční roztok, tak 10 ml roztoku s přísávkem HL. Roztoky s přísávkem HL se liší v koncentraci uhlíku. Optimální dávká obsahovala 50 mg C na 1 litr roztoku. Celý experiment byl prováděn při konstantní teplotě 25 °C, ve tmě a ve skleníku. Pomocí každodenního měření délky klíčku kukuřice po dobu 14 dnů byla vypočtena střední rychlost klíčení. Autoři experiment prováděli ve skleníku po dobu 2 měsíců, kdy se pravidelně střídalo období 16 hodin světla při 25 °C a 8 hodin tmy při 16 °C. Po 2 měsících aplikace HL, byl pozorován celkový nárůst biomasy, asi o 66 hm. %.

V článku [67] byl sledován růst pšenice ve vápenatých a nevápenatých půdách. Na kilogram půdy byli přidávány různé dávky lignitu (0, 30, 60, 90 mg.kg⁻¹). Roztok HL byl aplikován ve formě spreje na listy. Po aplikaci HL, autoři zjistili, že došlo k pozitivnímu efektu v obou půdách, ale o něco lepšího výsledku bylo dosaženo v nevápenatých půdách. Po aplikaci se tedy výrazně zvýšil růst pšenice. Ze všech přísávků se nejlépe jevil přísávek 60 mg.kg⁻¹.

Hodnocení účinků HL na různých typech rostlin, jako je paprika, rajčata, měsíček lékařský či jahody, bylo popsáno v článku [68]. Použité HL byly extrahovány ze statkových hnojiv

a odpadu při výrobě papíru. Byl pozorován výnos rostlin po přidavku humátu v různých dávkách. Největší výnos byl při použití humátu v rozmezí 50–500 mg. Při překročení hranice 1000 mg humátu, došlo k poklesu výnosu rostlin.

V publikaci [69] autoři pozorovali rychlost klíčení semene a délku kořene po dobu 10 dnů. Byla přidávána různá koncentrace HL v rozmezí 0,1–10 hm. %. Laboratorní experiment byl proveden v Petriho misce o velikosti 10 cm. Petriho misky se nejprve sterilizovaly roztokem H_2Cl_2 , poté byla na dno umístěna tenká vrstva bavlny a pokryta filtračním papírem. Na filtrační papír byla naskládána semena a pravidelně zavlažována roztokem HL. Ve srovnávacím vzorku byla semena zavlažována kohoutkovou vodou. Jako roztok s HL zde byl použit humát draselný. Po 10 dnech byla měřena délka kořene. Nejlepší klíčivosti a délky kořene bylo dosaženo při koncentraci humátů 10 hm. %.

V několika dalších publikacích se autoři zabývají vlivem HL na růst rostlin, snížení salinity v půdě a přeměnu živin do přijatelné formy pro rostliny. Velmi důležitá je i forma podávání hnojiva, aby nedošlo k jeho ztrátám, ale aby se většina živin dostala k rostlinám. Růst rostlin a jejich kvalita jsou podraženy množstvím hnojiva a vody. Většina dusíku, fosforu a draslíku z běžných hnojiv jsou odplaveny, a tudíž nemohou být absorbovány rostlinami, což způsobuje nejen velké ekonomické ztráty, ale také velmi vážné environmentální znečištění [70, 71, 72].

4.1 MOŽNOSTI POSTUPNÉHO UVOLŇOVÁNÍ ŽIVIN

V poslední době je velkým trendem používat hnojiva s postupným uvolňováním živin. Tato hnojiva se snaží postupně uvolňovat živiny s požadavkem na konkrétní rostliny. Taková hnojiva mohou být připravena např. z potahovaných granulí, které mají menší tendenci k rozpouštění. Rozpustnost závisí na použitém povlaku. Jedním z povlaků může být chitosan, jedná se o derivát chitinu. Aplikace chitosanu je velice atraktivní, díky své biologické rozložitelnosti, biokompatibilitě a netoxičnosti.

Kombinací hnojiv s postupným uvolňováním živin se superabsorpčními polymery (SAP) dochází ke zlepšení výživy rostlin, omezení vlivu na životní prostředí, snížení ztrát vody, a tedy i ke snížení zavlažování [73].

Již výše zmíněné SAP mají velmi užitečné vlastnosti, mezi nejvýznamnější patří zadržování vody ve své trojrozměrné zesíťované struktuře, a to i pod určitým tlakem. Mohou postupně uvolňovat vodu do půdy pro kořeny rostlin. Proto se SAP stále častěji využívají v zemědělství i zahrádkářství a také se se SAP provádí stále řada experimentů a pokusů a některé z nich budou zmíněny v řešerši.

V publikaci [74] sledovali vliv SAP na růst kukuřice v PVC válci, který byl vysoký 150 cm a obsahoval 6 otvorů pro sondy sledující stav půdy. Otvory jsou uzavíratelné gumovou zátkou. Ve válcích pozorovali, jak vliv SAP, tak i běžného anorganického hnojiva. Aplikace SAP byla mnohem účinnější než běžná hnojiva, kukuřice vyrostla o více než 22 hm. %, počet zrn vzrostl také okolo 20 hm. % a průměr stonku zesílil o 18 hm. %. V závěru této publikace se uvádí, že SAP jsou účinným nástrojem pro pěstování kukuřice v půdách s nízkou vodní kapacitou a nedostatkem živin.

V článku [75] byl také sledován vliv SAP, který byl aplikován pomocí postřiků na půdu za použití rozprašovacího stroje, v tomto případě se jednalo o půdu písčitohlinitá. SAP byl bílý prášek o velikosti částic 50–250 μm , který byl do půdy přidáván ve třech různých

koncentracích 0,15 hm. %, 0,3 hm. % a 0,45 hm. %. Každý den se zaznamenávala hmotnost válce s půdou a SAP, dokud nebyl pozorován znatelný úbytek hmotnosti. Nejlepší výsledek zadržování vody pozorovali při koncentraci SAP 0,45 hm. % a nejhůře dopadl SAP o koncentraci 0,15 hm. %. Byla zde sledována klíčivost osiva a jeho rychlost růstu. Klíčivost vzrostla více než dvakrát a byla snížena spotřeba vody.

V publikaci [76] také sledovali vliv SAP na růst kukuřice. Při experimentu byla použita nádoba vysoká 30 cm o průměru 25 cm, SAP byly aplikovány do hloubky 20 cm. Do srovnávacího kelímku, bylo místo SAP dáno granulované hnojivo NPK. Experiment byl prováděn při teplotě v rozmezí 22–28 °C. Po aplikaci SAP kukuřice mnohem rychleji a lépe rostla. I tento experiment dokázal, že používání SAP v zemědělství má velmi pozitivní účinky na růst rostlin. SAP má užitečné vlastnosti i v mnoha různých aplikacích, jako v lékařství, v dámských kosmetických výrobcích a dětských plenách.

Ve studii [77] v experimentu použili dva druhy SAP a byl zkoumán jejich vliv na zimní růst pšenice na poli. Půda měla pH přibližně 7,6. První SAP bylo označováno jako JC, měl žlutou barvu, velikost částic v rozmezí 0,05–0,09 mm a komponentou byl 2–hydroxypropyl 2–hydroxy–3–propyl ether. Druhé SAP bylo označováno jako JS, který měl špinavě bílou barvu a rozměr částí v rozmezí 0,06–0,09 mm. Studie jasně ukázala, že aplikací SAP při koncentraci 200 kg·ha⁻¹ do půdy zvýšilo kapacitu zadržování vody v půdě, zvýšil produktivitu rostlin a také vedlo ke zlepšení fyzikálních vlastností půdy. V této studii se také zaměřili na mikrobiální činnost půdy, která aplikací SAP do půdy narostla.

Většina tradičních SAP na trhu jsou výrobky na bázi akrylátu a ten není úplně biologicky odbouratelný. Proto se ve studii [78] zaměřili na hodnocení nové třídy hydrogelů, které jsou na bázi celulózy, tak aby SAP byl zcela biodegradabilní a biokompatibilní pro používání v zemědělství. Použitý SAP obsahoval dva deriváty celulózy, prvním z nich je sodná sůl karboxymethylcelulózy a druhým derivátem je hydroxyethylcelulóza. Jako síťovací činidlo zde byla použita kyselina citrónová. Ve studii testovali schopnost zadržování vody v SAP a vliv na růst rostlin. Substrát společně se SAP byl vložen do nádoby o objemu 1 300 ml. Nádoba se nechala ponořená ve vodě po dobu 24 hod. a poté se nádoby umístili do sušárny o teplotě 105 °C, tak zjistili schopnost zadržování vody ve struktuře SAP. Byly pozorovány 3 různé přídavky SAP – 0,5 hm. %, 1 hm. % a 2 hm. %. Při přídavku 2 hm. % SAP, půda obsahovala největší množství vody, a to i pod určitým tlakem. Dále byly pozorovány účinky hydrogelu na růst rostlin. Test byl proveden v růstové komoře při teplotě 25 °C po dobu 72 hodin. Semena ředkviček a okurků, vždy 15 semínek, byly vloženy do Petriho misky společně s hydrogelem nebo jako kontrolní vzorek s 10 ml vody. I pro rostlin měl přídavek SAP pozitivní vliv, rostliny dosáhli vyšších výšek. Závěrem tohoto experimentu tedy bylo, že dobře rozložitelné hydrogely jsou skvělým přínosem pro pěstování rostlin, ale důležitou otázkou zde hraje cena hydrogelů na bázi celulózy.

Ve studii [79] studovali vliv SAP na růst rostlin 9 různých druhů dřevin v různých typech půd – hlinitá, písčitohlinitá, jílovitá. Do půdy byl přidán SAP o dvou různých koncentracích – 0,2 hm. % a 0,4 hm. %. Koncentrace hydrogelu byly připraveny tak, že 2 a 4 kg SAP ve formě prášku bylo smícháno s 1 000 kg půdy v míchačce na beton. Půda smíchaná se SAP společně s dřevinami byly vloženy do květináče do skleníku. Květináče byly ze začátku zalévány 0,5 l třikrát týdně po dobu 8 týdnů. Vlhkost ve skleníku byla udržována v rozmezí 50–90 % a teplota na 25 °C. Po celou dobu vědci pozorovali růst větvíček a lístků. Po

výsledcích zjistili, že na zádrž vody v půdě má vliv typ půdy, ale také koncentrace SAP. Nejlépe dopadla půda hlinitá a písčitohlinitá s koncentrací 0,4 hm. %. Závěrem studie je také, že SAP napomáhají zadržovat vodu v půdě, a to i v různých druzích půd a samozřejmě napomáhají růstu rostlin.

4.2 REOLOGICKÉ VLASTNOSTI SAP

Jelikož budoucím cílem SAP je především aplikace v zemědělských půdách, jako zdroj živin a vody pro zemědělské plodiny, je nutné zjistit, jaké budou mít SAP reologické vlastnosti jak při vyšších teplotách, ale především i při bodech mrazu. Jedná se o zesíťované makromolekulární sítě, mající schopnost zadržet v sobě obrovské množství vody, a to i pod velkým tlakem. Ve studii [80] se zaměřili především na chitosanové hydrogelové systémy, které mají vynikající odolnost vůči poškození laseru, tedy vysoké teplotě. Chitosanové hydrogelové systémy, mají odolnost proti poškození laseru asi dvacetkrát, v některých případech až třicetkrát vyšší odolnost než křemen či běžné anorganické optické materiály. V této publikaci se také zaměřili na chování hydrogelů, jak je ovlivněna jejich vnitřní struktura sítě při změnách teploty. Změny v této struktuře jsou zkoumány porovnáním rozdílů reologických měření při teplotách nad a pod bodem mrazu. V experimentu porovnávali tři hydrogely s různým obsahem vody a zesíťováním. Obsah vody byl zjištěn pomocí tepelné gravimetrické analýzy (TGA). Celý experiment probíhal v rozsahu od + 20 °C do – 20 °C. Z výsledku vyplývá, že při snižování teploty dochází k viskoelastickým změnám u fázového přechodu vody. Viskoelastické změny tedy souvisí s celkovým obsahem vody v hydrogelu. Stejně tedy jako ke změně vlastností vody při různých teplotách, dochází i ke změnám vlastností hydrogelu s vyšším obsahem vody.

Z této rešerše je zřejmé, že inovace a zdokonalování hnojiv je aktuálním tématem jak pro zemědělství, tak i na ochranu životního prostředí.

5 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

5.1 POUŽITÉ CHEMIKÁLIE

- Kyselina Akrylová (AA), Sigma Aldrich
- Akrylamid (AM), Sigma Aldrich
- Metylen-bis-akrylamid (MBA), Sigma Aldrich
- Peroxydisulfát draselný (KPS)
- Lignohumát sodný (NaHK), Amagro s.r.o
- Hydroxid draselný (KOH)
- Chlornan sodný (NaClO)
- Destilovaná voda
- Kohoutková voda
- Kukuřice setá (semena)
- MQ voda
- Rašelina Agro
- Kaolin s minimálním obsahem 30 % kaolinitu
- Křemenný písek zrnitosti 0,4–0,8 mm, Aquasil Filtersand
- Uhličitan vápenatý (CaCO₃)

5.2 POUŽITÉ PŘÍSTROJE

- Analytické váhy, předvážky (Santorius CPA225D-0CE, Scaltec SBC 31, Scaltec SBC 42)
- Scanner (Epson Perfection 2480 Photo Scanner)
- Magnetická míchačka (Nicolet Impact 400)
- Sušárna (Venticell)
- Časovač (Solight)
- UV lampa
- Reometr (AR-G2, TA Instruments)
- Pěstební box



Obrázek 14: Pěstební box

5.3 PŘÍPRAVA SUPERABSORPČNÍCH POLYMERŮ

Superabsorpční polymery (SAP) neboli superabsorbenty řadíme do skupiny makromolekulárních látek. Jejich významnou vlastností, jak již bylo zmíněno v kapitole 3.5, je schopnost absorbovat kapaliny a tím zvětšovat svůj objem botnáním. Svůj objem mohou zvětšit až tisíckrát. Množství přijaté kapaliny je přitom závislé na obsahu iontů a na pH daného absorbovaného roztoku. SAP mají mnoho vynikajících vlastností a mohou být používány v různých oblastech, jako jsou hygienické pomůcky či zemědělství.

Celkem bylo připraveno 8 hydrogelů (A–G). Nejdříve byly připraveny potřebné roztoky AA, KOH. Roztok AA byl umístěn na míchačku a po kapkách byl pomalu přidáván připravený roztok KOH. K vzniklému roztoku bylo postupně přidáno NPK v práškové formě, dále MBA, NaHK, KPS či AM. Směs se dobře promíchala a zahřívala na polymerační teplotu, tedy na teplotu ± 90 °C. Vzniklý polymer se následně sušil po dobu pěti dnů v sušárně při teplotě 50 °C na síťce, umístěné na Petriho misce. Vysušený vzorek se nakonec rozdrtil na malé granulky. Složení všech SAP je v *Tabulka 4*.

Hydrogel A

Množství 14,25 g kyseliny akrylové bylo smícháno s 25 ml vody. Navážka 4,75 g neutralizačního činidla se rozpustila v 10 ml vody. Roztok neutralizačního činidla byl okamžitě za stálého míchání přikapáván k roztoku monomeru a byl pečlivě rozmíchán. Poté bylo přisypáno 0,6602 g NPK, 0,016 g síťovacího činidla a 0,5 g iniciátoru, tedy KPS. Směs se dobře promíchala a zahřívala na polymerační teploty, tedy asi k 90 °C. Vzniklý polymer se následně sušil po dobu pěti dní v sušárně při teplotě 50 °C. Vysušený vzorek se nakonec rozdrtil na malé granulky.

Hydrogel B

Množství 14,25 g kyseliny akrylové bylo smícháno s 25 ml vody. Navážka 4,75 g neutralizačního činidla se rozpustila v 10 ml vody. Roztok neutralizačního činidla byl okamžitě za stálého míchání přikapáván k roztoku monomeru a byl pečlivě rozmíchán. Poté bylo přisypáno 6,602 g NPK, 0,016 g síťovacího činidla a 0,5 g iniciátoru, tedy KPS. Směs se dobře promíchala a zahřívala na polymerační teploty, tedy asi k 90 °C. Vzniklý polymer se následně sušil po dobu pěti dní v sušárně při teplotě 50 °C. Vysušený vzorek se nakonec rozdrtil na malé granulky.

Hydrogel C

Množství 14,25 g kyseliny akrylové bylo smícháno s 25 ml vody. Navážka 4,75 g neutralizačního činidla se rozpustila v 10 ml vody. Roztok neutralizačního činidla byl okamžitě za stálého míchání přikapáván k roztoku monomeru a byl pečlivě rozmíchán. Poté bylo přisypáno 0,6602 g NPK, 1 g humátu, 0,016 g síťovacího činidla a 0,5 g iniciátoru, tedy KPS. Směs se dobře promíchala a zahřívala na polymerační teploty, tedy asi k 90 °C. Vzniklý polymer se následně sušil po dobu pěti dní v sušárně při teplotě 50 °C. Vysušený vzorek se nakonec rozdrtil na malé granulky.

Hydrogel D

Množství 14,25 g kyseliny akrylové bylo smícháno s 25 ml vody. Navážka 4,75 g neutralizačního činidla se rozpustila v 10 ml vody. Roztok neutralizačního činidla byl

okamžitě za stálého míchání přikapáván k roztoku monomeru a byl pečlivě rozmíchán. Poté bylo přisypáno 6,602 g NPK, 1 g humátu, 0,016 g síťovacího činidla a 0,5 g iniciátoru, tedy KPS. Směs se dobře promíchala a zahřívala na polymerační teploty, tedy asi k 90 °C. Vzniklý polymer se následně sušil po dobu pěti dní v sušárně při teplotě 50 °C. Vysušený vzorek se nakonec rozdrtil na malé granulky.

Hydrogel E

Množství 14,25 g kyseliny akrylové bylo smícháno s 25 ml vody. Navážka 4,75 g neutralizačního činidla se rozpustila v 10 ml vody. Roztok neutralizačního činidla byl okamžitě za stálého míchání přikapáván k roztoku monomeru a byl pečlivě rozmíchán. Dále byl přidán roztok 0,75 g AM rozpuštěného v 1,5 ml vody. Poté bylo přisypáno 0,6602 g NPK, 0,016 g síťovacího činidla, 1 g humát a 0,5 g iniciátoru, tedy KPS. Směs se dobře promíchala a zahřívala na polymerační teploty, tedy asi k 90 °C. Vzniklý polymer se následně sušil po dobu pěti dní v sušárně při teplotě 50 °C. Vysušený vzorek se nakonec rozdrtil na malé granulky.

Hydrogel F

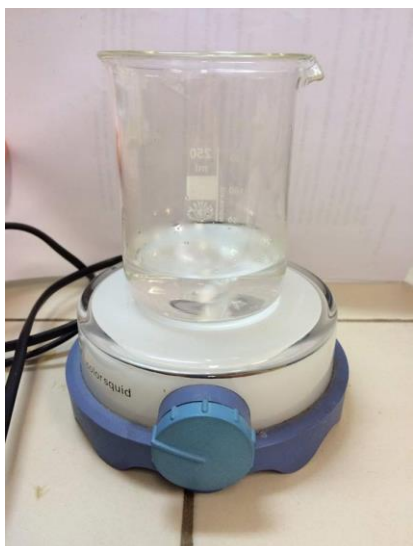
Množství 14,25 g kyseliny akrylové bylo smícháno s 25 ml vody. Navážka 4,75 g neutralizačního činidla se rozpustila v 10 ml vody. Roztok neutralizačního činidla byl okamžitě za stálého míchání přikapáván k roztoku monomeru a byl pečlivě rozmíchán. Dále byl přidán roztok 0,75 g AM rozpuštěného v 1,5 ml vody. Poté bylo přisypáno 6,602 g NPK, 0,016 g síťovacího činidla, 1 g humát a 0,5 g iniciátoru, tedy KPS. Směs se dobře promíchala a zahřívala na polymerační teploty, tedy asi k 90 °C. Vzniklý polymer se následně sušil po dobu pěti dní v sušárně při teplotě 50 °C. Vysušený vzorek se nakonec rozdrtil na malé granulky.

Hydrogel G

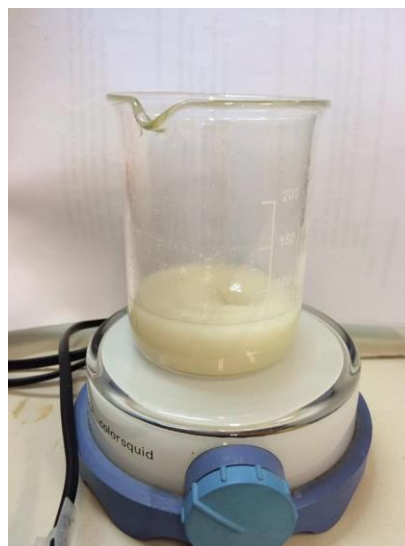
Množství 14,25 g kyseliny akrylové bylo smícháno s 25 ml vody. Navážka 4,75 g neutralizačního činidla se rozpustila v 10 ml vody. Roztok neutralizačního činidla byl okamžitě za stálého míchání přikapáván k roztoku monomeru a byl pečlivě rozmíchán. Dále byl přidán roztok 0,75 g AM rozpuštěného v 1,5 ml vody. Poté bylo přisypáno 0,016 g síťovacího činidla, 1 g humát a 0,5 g iniciátoru, tedy KPS. Směs se dobře promíchala a zahřívala na polymerační teploty, tedy asi k 90 °C. Vzniklý polymer se následně sušil po dobu pěti dní v sušárně při teplotě 50 °C. Vysušený vzorek se nakonec rozdrtil na malé granulky.

Hydrogel H

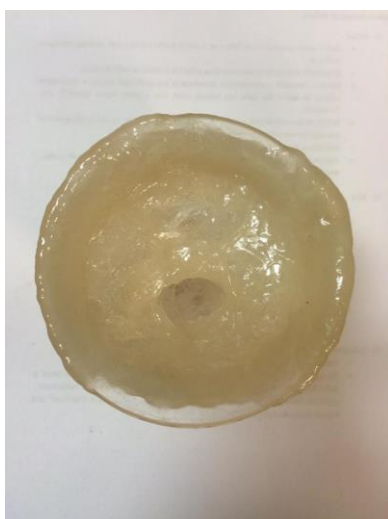
Množství 14,25 g kyseliny akrylové bylo smícháno s 25 ml vody. Navážka 4,75 g neutralizačního činidla se rozpustila v 10 ml vody. Roztok neutralizačního činidla byl okamžitě za stálého míchání přikapáván k roztoku monomeru a byl pečlivě rozmíchán. Poté bylo přisypáno, 0,016 g síťovacího činidla, 1 g humát a 0,5 g iniciátoru, tedy KPS. Směs se dobře promíchala a zahřívala na polymerační teploty, tedy asi k 90 °C. Vzniklý polymer se následně sušil po dobu pěti dní v sušárně při teplotě 50 °C. Vysušený vzorek se nakonec rozdrtil na malé granulky.



Obrázek 15: Roztok AA + KOH



Obrázek 16: Promíchávání směsi



Obrázek 17: Směs zahřátá na stupeň polymerizace



Obrázek 18: Připravený hydrogel



Obrázek 19: Vysušený hydrogel

Tabulka 4: Složení superabsorpčních polymerů

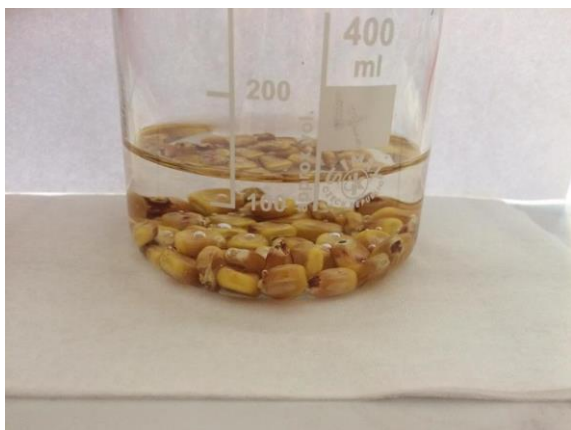
Hydrogel	AA (g)	KOH (g)	NPK (g)	MBK (g)	KPS (g)	NaHK (g)	AM (g)
A	14,25	4,75	0,6602	0,0160	0,500		
B	14,25	4,75	6,6020	0,0160	0,500		
C	14,25	4,75	0,6602	0,0160	0,500	1,00	
D	14,25	4,75	6,6020	0,0160	0,500	1,00	
E	14,25	4,75	0,6602	0,0160	0,500	1,00	0,75
F	14,25	4,75	6,6020	0,0160	0,500	1,00	0,75
G	14,25	4,75		0,0160	0,500	1,00	0,75
H	14,25	4,75		0,0160	0,500	1,00	

5.4 STUDIUM BIOLOGICKÉ AKTIVITY

Pro testování biologické aktivity SAP byla vybrána kukuřice setá díky svému širokému použití a univerzálnosti. Kukuřice setá je snadno dostupná, levná a poměrně kvalitní. Experiment týkající se biologické aktivity byl sestaven na základě článků, které jsou součástí *kapitoly 4 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY*.

5.4.1 Klíčení

Semena kukuřice seté byla nejdříve zbavena mořidla, po dobu 5 minut se semena kukuřice máčela v $0,05 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ roztoku chlornanu sodného (NaClO). Poté se důkladně promyla destilovanou vodou, v které zůstala semena ponechána po dobu 24 hodin. Tento krok je důležitý, aby úspěšně proběhlo klíčení semen. Takto připravená semena byla rozmístěna ve čtyřech řadách, kdy jednotlivá semena byla od sebe vzdálena přibližně 3 cm, na navlhčené papírové laboratorní ručníky – Thermo Fisher Scientific Ltd., Pardubice. Po smotání byla papírová role vložena do skleněné kádinky s 35 ml destilované vody na dně. Kádinka se semeny kukuřice byla uložena do pěstebního boxu, a zde se nechala klíčit po dobu 5 dní při teplotě $28 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$.



Obrázek 20: Kukuřice setá v roztoku chlornanu sodného



Obrázek 21: Semena rozložená na papírové roli

5.4.2 Příprava modelové půdy

Modelová půda byla připravena ze čtyř různých kompozit – rašelina, kaolin, křemenný písek a uhličitán vápenatý CaCO_3 . Ve větší nádobě bylo smícháno 200 g rašeliny, která byla jemné zrnitosti a bez viditelných zbytků rostlin. Dále bylo postupně přidáno 120 g kaolinu s minimálním obsahem kaolinitu 30 %, 1 660 g křemenného písku a 20 g CaCO_3 . Vše bylo důkladně promícháno, aby došlo k propojení všech čtyř kompozit dohromady. A takto připravená modelová půda, byla použita pro další měření.

5.4.3 Růst

Souměrné klíčky kukuřice seté byly vybírány o délce kořínků v rozmezí 1 až 4 cm. Každý použitý klíček byl pečlivě změřen a zvážen. Takto nachystaná semena byla následně vložena do plastových kelímků s 250 g modelové půdy. Do modelové půdy byl vmíchán 1 g rozdrceného SAP. Do každého kelímku byly zasazeny tři klíčky kukuřice ve stejné vzdálenosti od sebe. Také byl samozřejmě proveden srovnávací neboli tzv. kontrolní vzorek

bez přídavku SAP. Všechny experimenty byly provedeny ve třech opakováních. Celkem tedy bylo od každého vzorku SAP použito 9 sazenic kukuřice seté. Do takto připravených kelímků bylo nalito 50 ml kohoutkové vody. Kelímky byly následně vloženy do pěstebního boxu o teplotě $26 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ s režimem střídání 12 hodin světlo/tma. Světlo vytvářela UV zářivka umístěná 80 cm nad rostlinami. Automatické přepínání světla a tmy bylo řízeno časovačem. Jelikož jsme růst kukuřice seté chtěli sledovat delší dobu, byla nutná pravidelná zálivka. Doba růstu kukuřice seté v tomto simulovaném prostředí byla necelé 4 týdny.



Obrázek 22: Zasazení kukuřice seté do modelové půdy



Obrázek 23: Růst kukuřice seté

5.4.4 Vyhodnocení růstu

Vybrané klíčky byly pečlivě váženy a byla měřena délka jejich kořínků před sázením do půdy. V pravidelných týdenních intervalech byla následně zjišťována hmotnost celé rostlinky kukuřice, délka rostliny, délka kořínků a pomocí scanneru byly naskenovány proti černému pozadí. Výsledné snímky byly upraveny a vyhodnoceny v softwaru HarFa (Harmonic and Fractal Image Analyzer).

Pomocí fraktální analýzy v programu Harfa bylo ilustrováno rozvětvení kořínků, které je důležité právě pro růst, prospívání a někdy i přežití rostliny v nepříznivých podmínkách.



Obrázek 24: Zasazení kukuřice seté



Obrázek 25: 2. den růstu



Obrázek 26: 3. den růstu



Obrázek 27: 7.den růstu



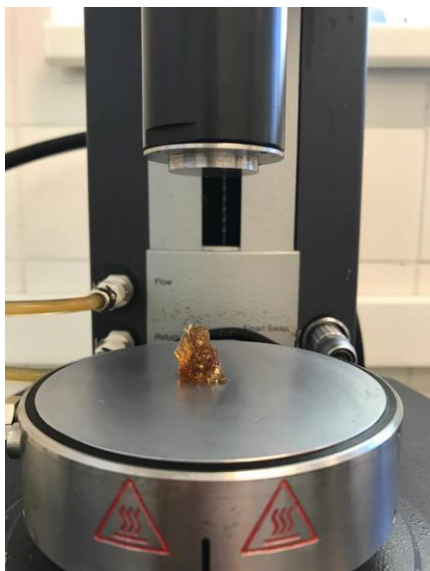
Obrázek 28: 9. den růstu



Obrázek 29: Koříněk po 7 dnech

5.5 REOLOGICKÉ VLASTNOSTI SUPERABSORPČNÍCH POLYMERŮ

Všechna měření byla realizována použitím reometru AR-G2, od firmy TA Instruments. Na následné vyhodnocení získaných dat byl použit program TA Data Analysis od stejné firmy. Na všechna měření byla použita měřící geometrie deska-deska o průměru 25 mm a šířka štěrbin je 500 μm .

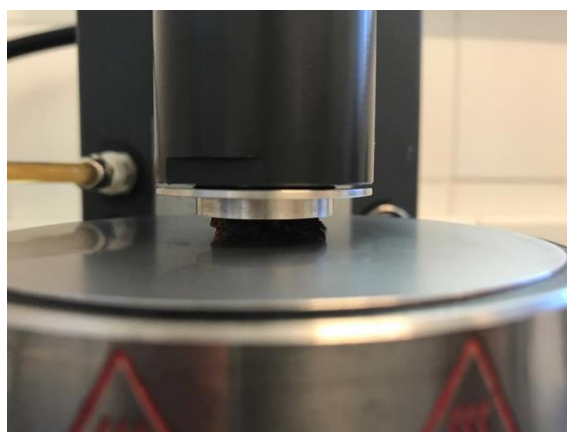


Obrázek 30: Reometr s hydrogelem D



Obrázek 31: Reometr s hydrogelem A

Před samotným měřením byla provedena kalibrace měřící geometrie. Měření probíhá při konstantní teplotě 25 $^{\circ}\text{C}$. Měřený vzorek byl nadávkován do středu statické desky. Vzorky byly nanášeny pomocí malé špachtličky. Rotující deska byla následně snížena do měřící polohy. Přebytek vzorku byl očištěn.



Obrázek 32: Stlačování hydrogelu pomocí hlavice

5.5.1 Příprava vzorků

Cílem bylo posoudit, zda se změní reologické vlastnosti i po zmrazení vzorků. Experiment má ověřit, zdali jsou zkoumané vzorky schopné odolávat teplotám pod bodem mrazu. V praxi to znamená běžné přečkání zimy aplikovaného SAP v klimatických podmínkách mírného podnebného pásu. Od každého hydrogelu A–H bylo část vzorku ponecháno 24 hodin v MQ

vodě, poté byl vzorek z vodního prostředí vyjmut, lehce osušen a dále byl ponechán 24 hodin v mrazáku, a nakonec se vzorky nechaly stát 24 hodin při pokojové teplotě. Další části vzorků A–H byly ponechány také 24 hodin v MQ vodě a poté byly vyjmuty z vody a ponechány 24 hodin při pokojové teplotě. Takto připravené měrné vzorky byly postupně nadávkovány do středu statické desky reometru. Vzorky byly nanášeny pomocí malé špachtlíčky a pinzety. Každý měrný vzorek byl několikrát proměřen a nadále vyhodnocen v programu TA Data Analyses.



Obrázek 33: *Nabotnaný hydrogel C*



Obrázek 34: *Zmrzlý hydrogel C*



Obrázek 35: *Nabotnaný hydrogel A*

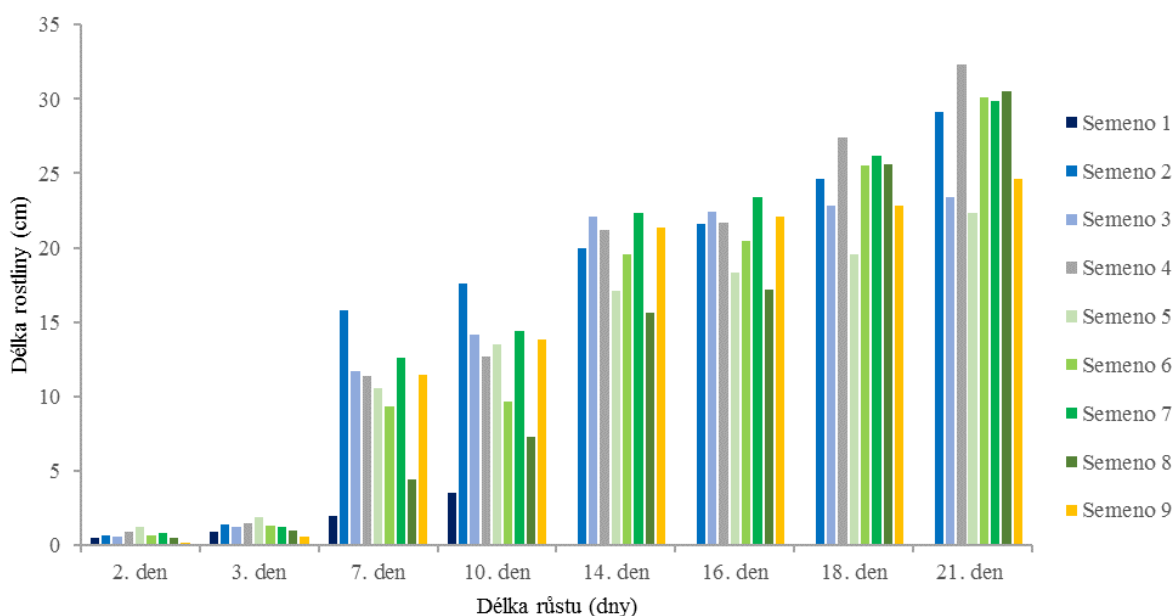


Obrázek 36: *Zmrzlý hydrogel A*

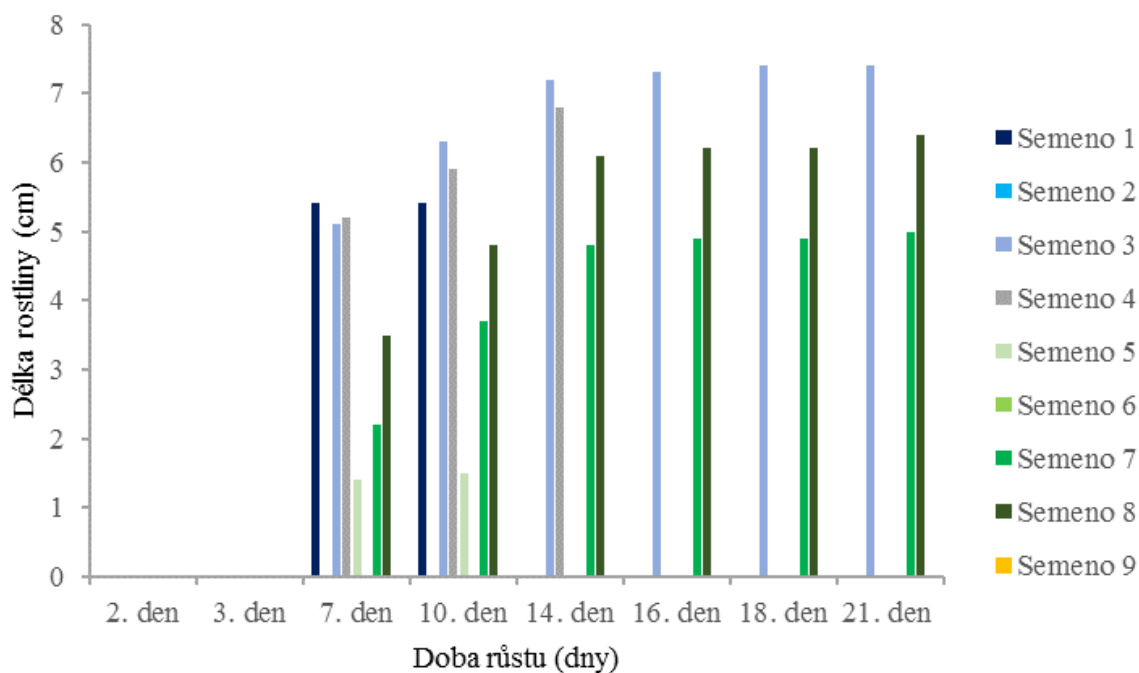
6 VÝSLEDKY A DISKUZE

6.1 STUDIUM BIOLOGICKÉ AKTIVITY

Studium biologické aktivity bylo provedeno na kukuřici seté v modelové půdě. Doba klíčení kukuřice seté trvala 5 dní, pro každý hydrogel bylo klíčení prováděno za stejných podmínek. Nejprve byly semena kukuřice zbavena mořidla pomocí $0,05 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ roztoku chlornanu sodného a následně ponechána 24 h v destilované vodě. Takto připravená semena se zamotala do navlhčené papírové role Thermo fisher a vložena do pěstebního boxu. Teplota klíčení byla v rozmezí $28 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$. Po 5 dnech klíčení byly klíčky dlouhé v rozmezí od 1 cm až po 6 cm. Bylo připraveno celkem 8 hydrogelů A–H o různém složení a byla pozorována jejich účinnost na růst kukuřice seté v modelové půdě, viz. **Tabulka 4**. Množství 50 ml vody bylo dávkováno do každého kelímku po zasazení všech klíčků kukuřice. Do kelímků bylo jednou týdně přidáváno 50 ml kohoutkové vody. Při růstu kukuřice byla sledována jak délka rostliny, délka kořenu a jeho větvení, tak i hmotnost celé rostliny. Zároveň byl sledován i růst kukuřice bez přídavku hydrogelu do půdy.



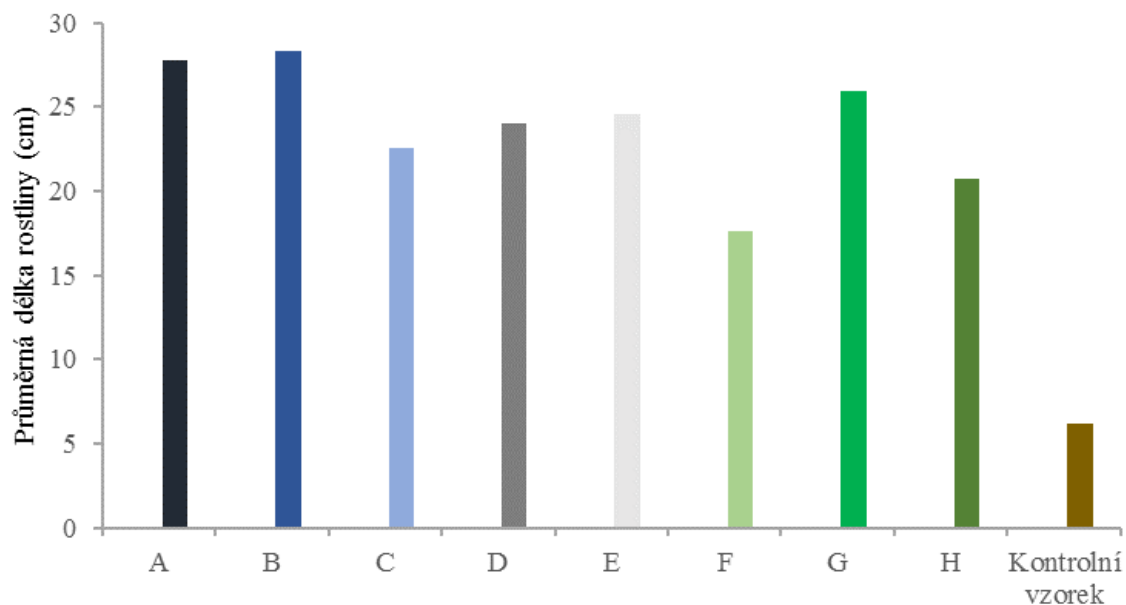
Obrázek 37: Růst kukuřice seté s přídavkem hydrogelu A



Obrázek 38: Růstu kukuřice seté bez přídavku hydrogelu

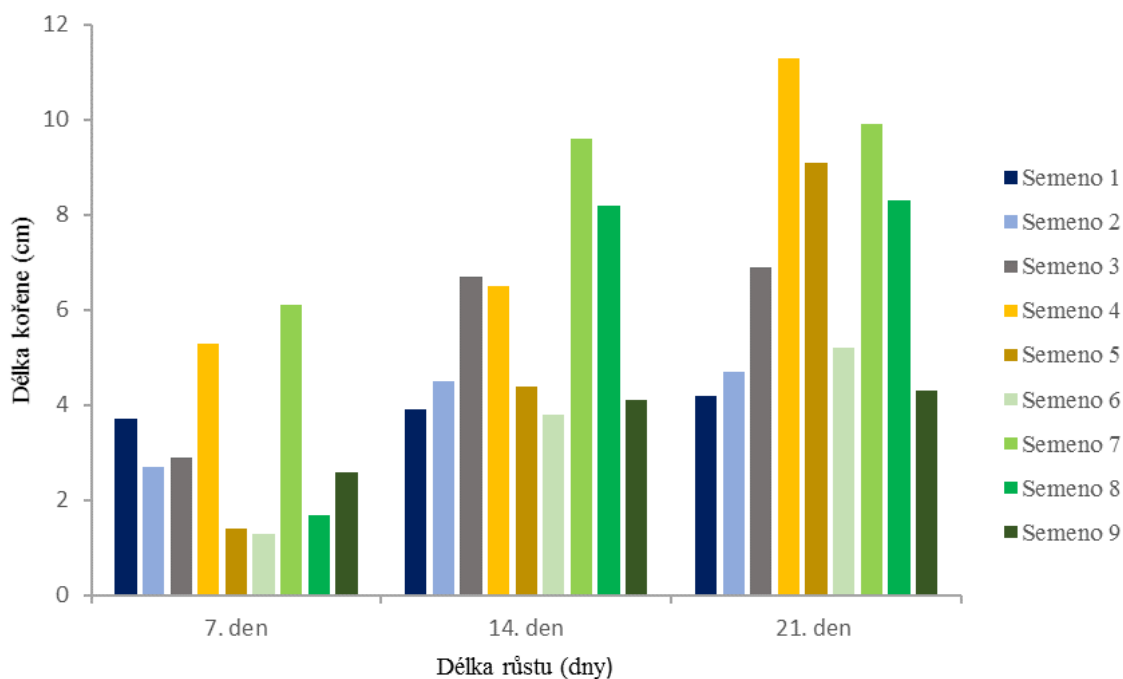
Na **Obrázek 37** je uveden příklad růstu kukuřice seté, která byla zasazena do modelové půdy společně s hydrogelem A, který byl rozdrcen na jemný prášek. Lze pozorovat, že hydrogel A má velmi pozitivní vliv na rychlost růstu kukuřice seté již od počátku experimentu. Doba růstu byla pozorována 21 dní, ke konci růstu začali rostliny kukuřice vadnout a usychat.

Na **Obrázek 38** je ukázán růst kukuřice seté, která byla zasazena taktéž do modelové půdy stejného složení, ale bez přídavku hydrogelu, aby mohl být porovnán růst kukuřice seté i bez působení hydrogelu. Když se mezi sebou porovnají výsledky uvedené na **Obrázek 337** a **Obrázek 348** je hned na první pohled vidět, že růst s hydrogelem je mnohem lepší. Rostliny rostou mnohem rychleji a hned od druhého dne po nasazení. Rostliny s hydrogelem dosahují délky až k 35 cm, zatímco délka rostlin bez hydrogelu dosahuje maximálně 9 cm, je tedy zjevné, že hydrogel má na růst kukuřice seté velmi pozitivní vliv a to nejen na rychlost, ale také na dosaženou délku rostlin. Obdobná je situace i v případě všech ostatních gelů. Nejlepší vliv na růst kukuřice seté vykazují hydrogely A, B a G a nejmenší vliv na růst vykazuje hydrogel F. Ostatní grafy zobrazující závislost růstu kukuřice seté na přidaném hydrogelu jsou uvedeny v **příloze 10**.

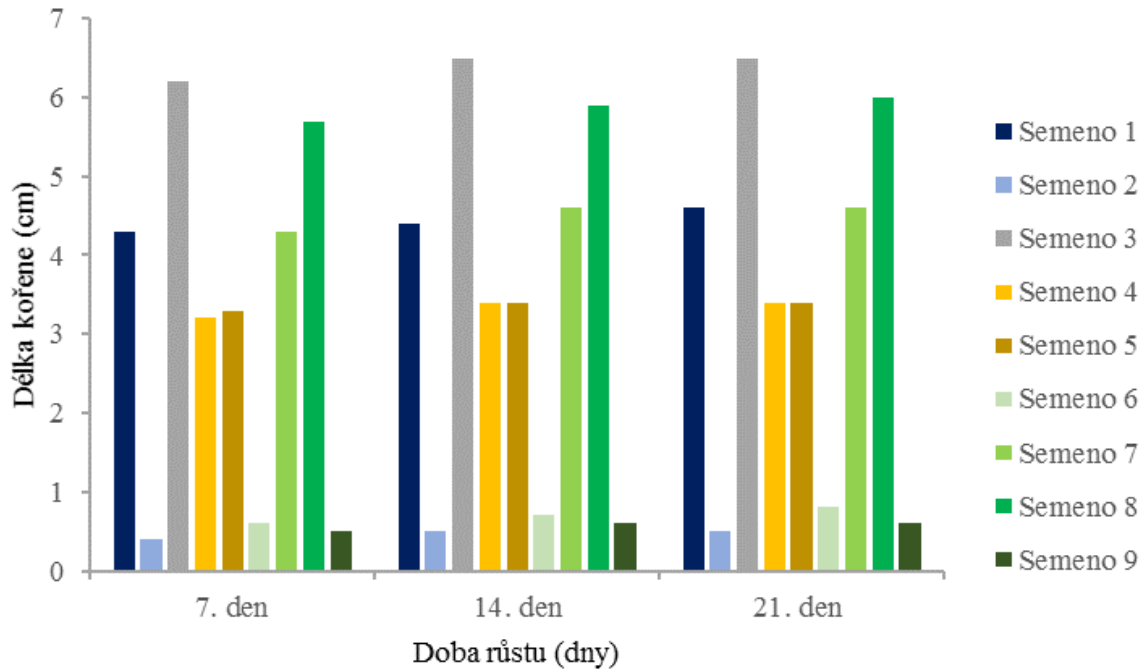


Obrázek 39: Porovnání vlivu růst kukuřice seté s přidavkem hydrogelu a růst kukuřice seté bez přidavku hydrogelu

Na **Obrázek 39** lze vidět vliv všech připravených superabsorpčních polymerů A–H na růst kukuřice seté. V grafu jsou zobrazeny průměrné výsledky získané k poslednímu dni růstu, tedy k 21. dni. Z výsledků je zřejmé, že nejlepší vliv na růst má hydrogel B a A, které ve svém složení neobsahují NaHK ani AM. A nejhůř dopadl hydrogel F, který na rozdíl od hydrogelů A i B obsahuje jak NaHK, tak AM. Při porovnání všech připravených SAP s kontrolním vzorkem, tedy s růstem kukuřice seté bez přidavku SAP, je zřejmé, že všechny SAP mají velmi pozitivní vliv na růst rostlin.

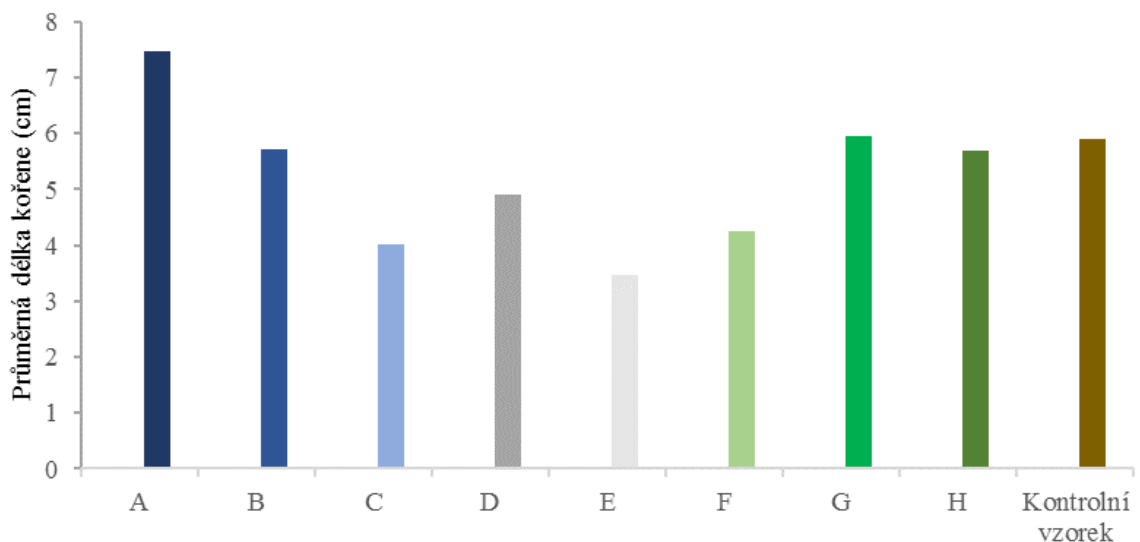


Obrázek 40: Růst kořenového systému s přidavkem hydrogelu A



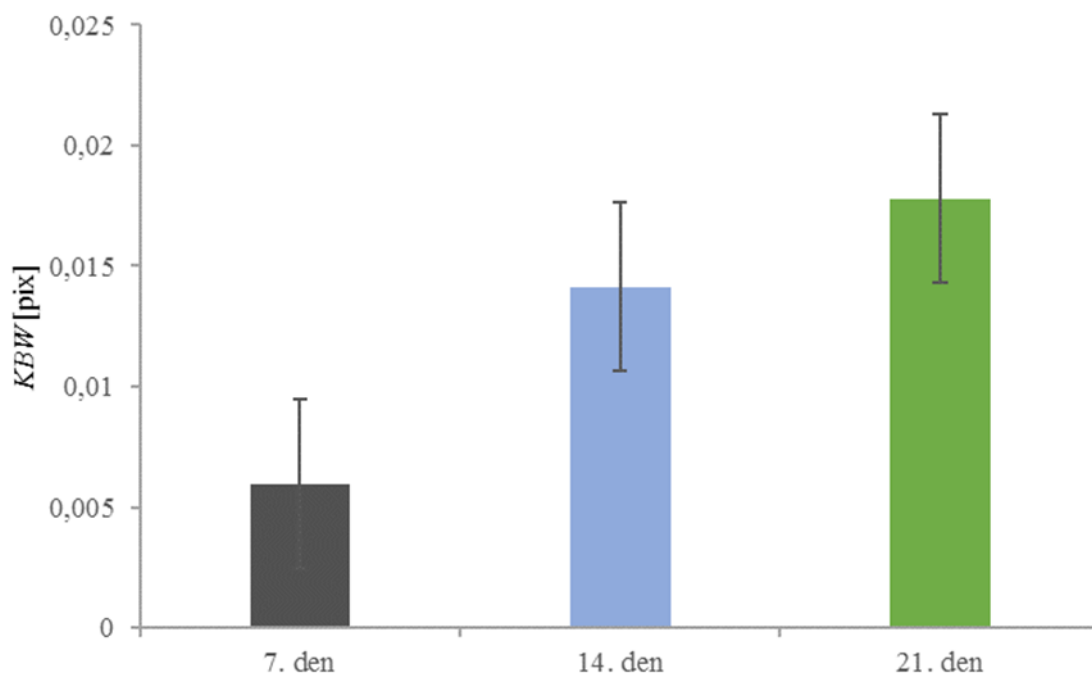
Obrázek 41: Růst kořenového systému bez přídavku hydrogelu

Na **Obrázek 40** je zobrazen růst kořenového systému s přídavkem hydrogelu A do modelové půdy. Lze vidět, že některé kořeny narostli až do délky 12 cm, ale některé mají jen okolo 6 cm. Na **Obrázek 41** je růst kořenového systému bez přídavku hydrogelu, přírůstek délky kořene byl naměřen v rozmezí od 0,5 cm až po 7 cm. I zde lze pozorovat, že SAP mají příznivý vliv nejen na růst rostliny, ale i na růst a větvení kořenového systému.

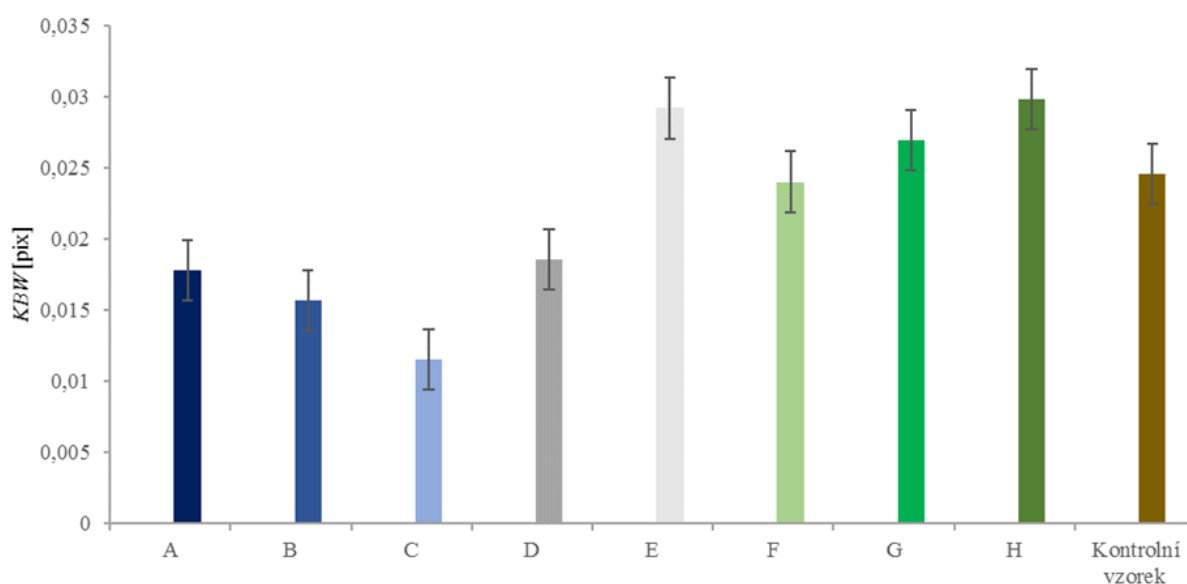


Obrázek 42: Porovnání růstu kořenového systému kukuřice seté s přídavkem hydrogelu a růst kukuřice seté bez přídavku hydrogelu

Na **Obrázek 42** lze vidět vliv všech připravených superabsorpčních polymerů A–H na růst a větvení kořenového systému u kukuřice seté. V grafu jsou zastoupeny průměrné hodnoty délek kořenů k poslednímu dni růstu. Z výsledků je zjevné, že SAP nemají až tak velký vliv na růst kořenového systému, jak na růst nadzemní části rostliny kukuřice seté. Při porovnání všech připravených 8 SAP a kontrolního vzorku, lze pozorovat, že nejlepší vliv na růst kořenového systému měl hydrogel A a B, stejně jako tomu bylo v případě délky rostliny. Nejhůře dopadl hydrogel E.



Obrázek 43: Počet pixelů na rozhraní mezi kořenovým systémem a pozadím u hydrogelu A



Obrázek 44: Počet pixelů na rozhraní mezi kořenovým systémem a pozadím

Na **Obrázek 43** jsou výsledky obrazové analýzy s použitím softwaru HarFa (Harmonic and Fractal Image Analyzer) u hydrogelu A, umožní realističtější hodnocení vlivu jednotlivých

SAP na kořenový systém kukuřice seté, protože umožňuje kvantifikovat větvení kořenového systému. Touto charakteristikou bylo ověřeno, který kořenový systém je vyvinutější a bude v půdě prosperovat díky většímu povrchu kořenového systému. Na rozdíl od měření délky kořene lépe ilustruje rozvoj kořenového systému. Na **Obrázek 44** lze pozorovat vliv jednotlivých SAP na rozvětvení kořenového systému. Hydrogel C dosáhl v tomto parametru nejhorších hodnot, to je v souladu i u předchozích výsledků – délka kořene. Naopak hydrogel E, který měl v předchozím případě nejhorší výsledek, tak nyní má společně s hydrogelem H nejlepší výsledek na větvení kořenového systému. Ve srovnání s kontrolním vzorkem, nemají SAP až tak pozitivní vliv na růst a větvení kořene, ale spíše jak rostlina rychle roste. Na několika případech kořenových systémů bylo pozorováno, že celkový povrch kořene stanovený obrazovou analýzou naskenovaných kořenů nekoresponduje stoprocentně s kvalitou větvení. Příčinou mohlo být to, že kořene byly skenovány každý týden, tudíž byly mokré, měli na sobě částičky půdy. Také při vytahování kořínků z půdy mohlo dojít k jejich poškození.



Obrázek 45: Naskenovaná rostlina s rozvinutými postranními kořeny



Obrázek 46: Naskenovaná rostlina s rozvinutým hlavním kořenem

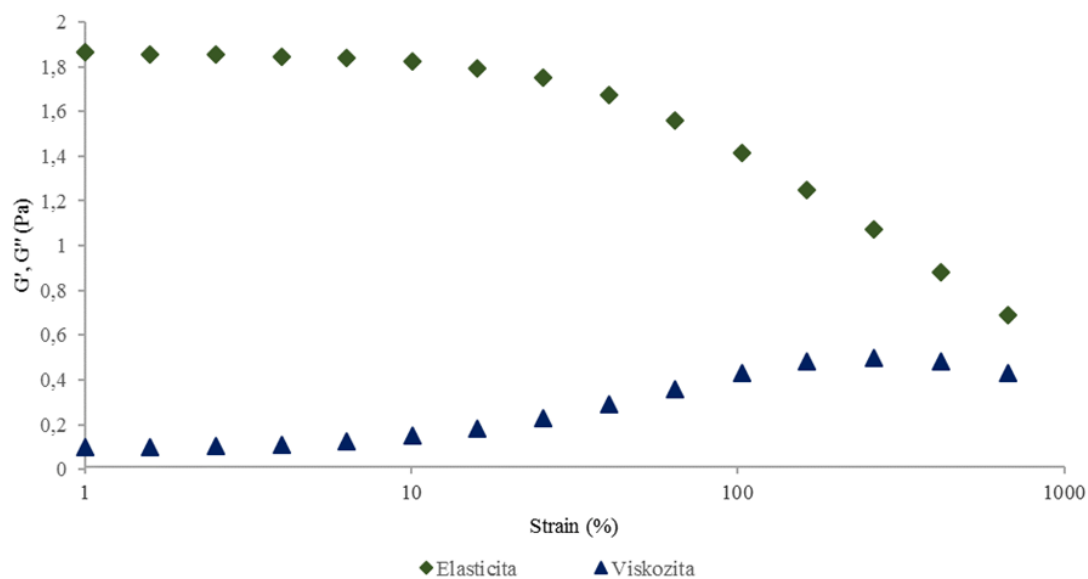
6.2 REOLOGIE

V této experimentální části byla studována změna viskoelastických vlastností SAP při různých teplotních podmínkách, protože SAP mají být aplikovány do zemědělské půdy, je nutné znát jejich reologické vlastnosti i při různých teplotních změnách, zejména pak po zmrznutí a následném rozmrznutí.

Před začátkem měření bylo nutné, aby došlo k „odpočínutí“ vzorku hydrogelu (conditioning step), jelikož již byl namáhán špachtlí při aplikaci vzorku na reometr. Při relaxaci, která probíhala 3 minuty, došlo zároveň k temperaci vzorku na 25 °C.

Jako první byl proveden tzv. Strain sweep test neboli deformační test, jehož úkolem bylo zjistit lineární viskoelastickou oblast (LVO), tedy jak velké napětí můžeme použít, aby nedošlo k deformaci hydrogelu, tedy kdy dochází ke ztrátám mechanických vlastností.

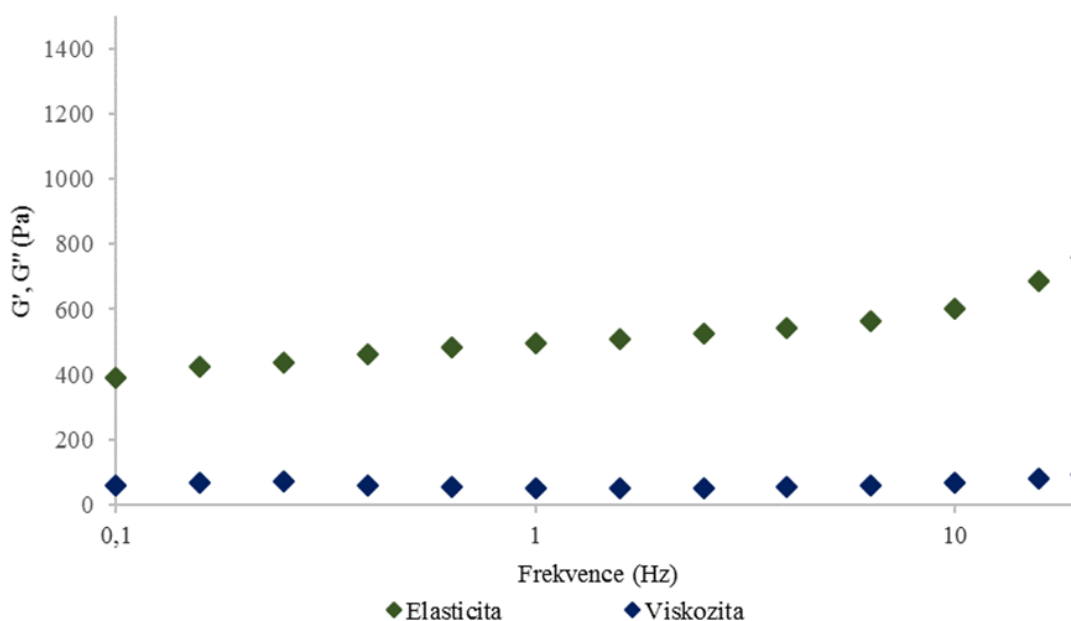
Deformační test probíhal za konstantní frekvence 1 Hz, ale s různou deformací od 0,1 % až do 1000 %.



Obrázek 47: Strain sweep test (deformační test)

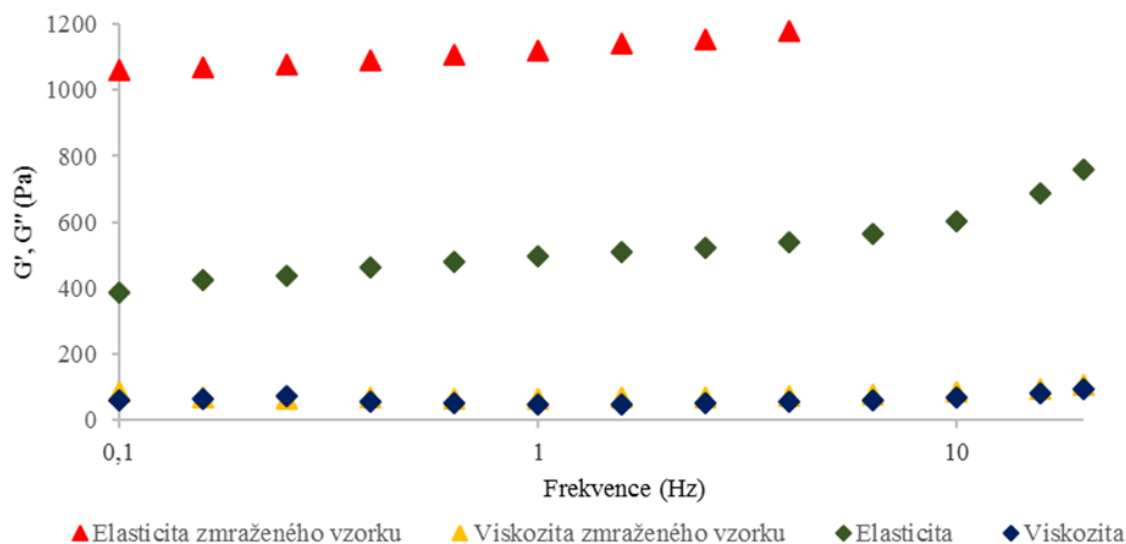
Na **Obrázek 477** lze vidět, že hydrogel dokáže odolávat napětí do 6 %, nad touto hodnotou dochází k výrazným změnám mechanických vlastností hydrogelu, jak u elastického modulu G' , tak i u viskózního modulu G'' . Proto v ostatních testech bude nastavena hodnota deformace 1 %.

Dalším testem, který byl proveden u všech připravených SAP, byl tzv. Frequency sweep test (frekvenční test), který na rozdíl od deformačního testu probíhá s konstantní amplitudou deformace 1 %, ale s různou oscilací, a to v rozsahu frekvencí od 0,1 do 20 Hz.



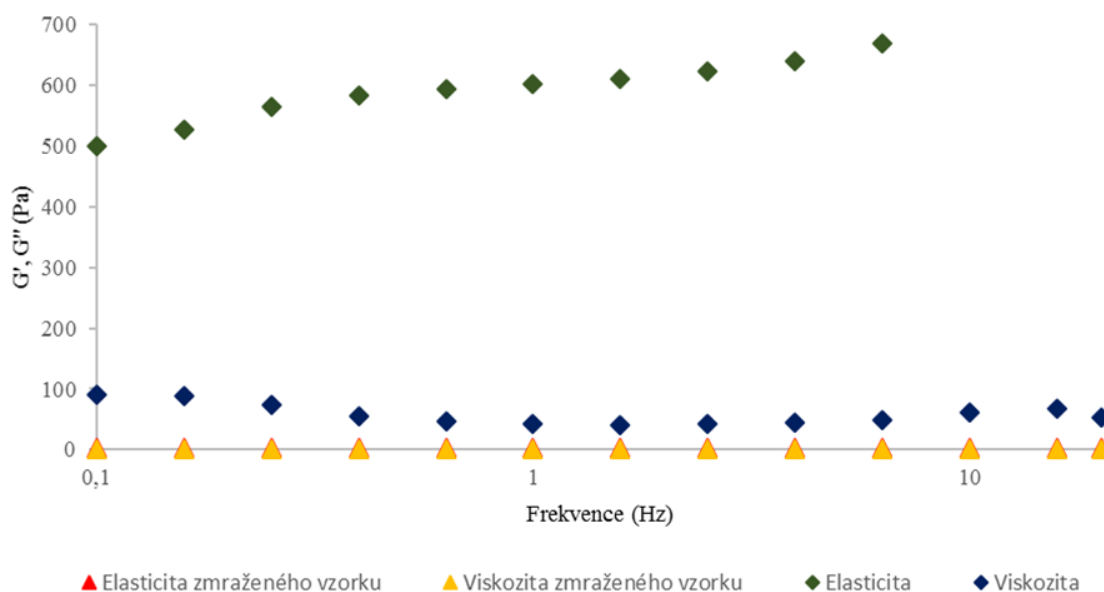
Obrázek 48: Frequency test nezmraženého hydrogelu A

Na **Obrázek 48** je vynesena závislost elastického modulu G' a viskózního modulu G'' na frekvenci. Deformace je 1 %. Elastická vlastnost hydrogelu A převládá nad viskózní vlastnosti. Tak je tomu i u všech ostatních hydrogelů, tedy $G' > G''$. Všechny připravené SAP jsou spíše tuhému charakteru. Závislosti všech ostatních hydrogelů B–H jsou součástí přílohy 6510, ale i u nich převládá elastický modul nad modulem viskózním.



Obrázek 49: Srovnání frequency testu u nezmraženého a zmraženého hydrogelu A

Na **Obrázek 499** je srovnán frequency test zmraženého a nezmraženého hydrogelu A. V tomto případě, zmrazení na vzorek nemá žádný velký vliv, nedochází ke změnám viskoelastických vlastností. Při zmražení nenastává deformace, dochází k rozrušení polymerové struktury, ale gel si zachovává svoji pevnost. Hydrogel dokáže odolávat napětí i při extrémních podmínkách.



Obrázek 50: Srovnání frequency testu u nezmraženého a zmraženého hydrogelu F

Na rozdíl od hydrogelu A má zmražení na hydrogel F velký vliv. Na *Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.* lze vidět, že viskoelastické vlastnosti zmraženého a nezmraženého vzorku se velmi liší. Dochází tedy k negativním změnám u mechanických vlastností hydrogelu, nastává jeho deformace.

Deformace neboli poškození mechanických vlastností hydrogelů nastává u vzorků B, E, F, G a H. Proti extrémním podmínkám jsou odolné vzorky A, C a D. Je zjevné, že viskoelastické vlastnosti SAP při extrémních podmínkách, jako je mráz, jsou závislé na složení samotných SAP. Složení všech SAP je zahrnuto v Tabulka 4. Pokud srovnáme složení odolných SAP vůči teplotám pod nulou, tedy A, C a D, vidíme, že tyto hydrogely neobsahují AM, na rozdíl od hydrogelů E, F a G, které AM obsahují. Příčinou deformace hydrogelů B a H, které neobsahují AM, ale i přesto u nich dochází ke změnám viskoelastických vlastností, může být u hydrogelu B větší obsah NPK a naopak u hydrogelu H nulová koncentrace NPK.

7 ZÁVĚR

Úkolem mé diplomové práce bylo připravit superabsorpční polymery s vysokou botnavostí a dále navrhnout a otestovat na základě literární rešerše jednoduchou metodu posouzení biologické aktivity. Další součástí mé závěrečné práce bylo zjistit, zda se změni viskoelastické vlastnosti SAP po zmrazení a následném rozmrazení gelové struktury. Jelikož vyvíjené SAP by měli být schopny v půdě přetrvat několik sezon.

V experimentální části byla věnována pozornost přípravě 8 různých typů SAP A–H, které se liší složením, byly obohaceny v různých kombinacích NPK, lignohumátu a u některých i o AM. SAP se jeví jako vhodný aplikační materiál pro podporu růstu rostlin v modelové půdě a především pro zadržování vláhy po co nejdelší dobu.

Testování biologické aktivity SAP na růstu rostlin bylo prováděno v podmínkách, které se snažili co nejvíce napodobit reálné podmínky v přírodě. Byly testovány všechny připravené hydrogely A–H a kontrolní vzorek bez přídavku hydrogelu. Mezi sledované parametry patřil přírůstek délky rostliny, délky kořene a dále hodnocení větvení kořenového systému, a to jak vizuálně, tak i metodou obrazové analýzy. Na několika příkladech kořenových systémů bylo pozorováno, že celkový povrch kořene stanovený obrazovou analýzou naskenovaných kořenů nekoresponduje stoprocentně s kvalitou větvení, protože dlouhé nevětvené kořeny také vykazují velký povrch, proto by v navazujících experimentech bylo vhodné navrhnout a otestovat jiný parametr pro objektivní hodnocení kvality kořenového systému. Na celkový povrch kořene stanovený obrazovou analýzou mohlo mít také velký vliv to, že kořeny byly skenovány jednou týdně a opět vráceny do půdy, tudíž kořeny byly mokré, měly na sobě částičky půdy (kamínky, rašelina a jiné) a při vytahování kořínků z půdy mohlo dojít k jejich poškození. Vhodnější parametr pro objektivní hodnocení kvality kořenového systému by mohl být například poměr mezi celkovým povrchem a celkovým objemem kořínků nebo také počet postranních kořínků.

Bylo zjištěno, že nejlépe napomáhají růstu kukuřici seté hydrogely A a B, v jejichž složení není přítomen NaHK a AM. S pomocí těchto hydrogelů dosáhla rostlina délky až 30 cm, na rozdíl od růstu rostliny bez přídavku hydrogelu, kde délka rostliny dosáhla k pouhým 12 cm. Nejhůře při pozorování růstu rostliny dopadl hydrogel F, který ve své struktuře obsahuje NaHK, ale i AM. Při pozorování délky kořenového systému rostlin, už SAP nemají tak velký vliv, jako na růst rostliny. Ale celkově docházelo k nabytí hmotnosti, prodlužování hlavního kořene a hlavně i v některých případech k rozvoji postranních kořínků, které zvětšují povrch kořenového systému a rostlina může dobře prosperovat díky příjmu vody a živin. Nejpriznivější vliv na větvení kořenového systému měl hydrogel E.

V rámci experimentální části byly sledovány změny viskoelastických vlastností gelových struktur po zmrazení a následném rozmrazení, tedy za různých teplotních podmínek. Naopak makromolekulární sítě neboli poškození mechanických vlastností hydrogelů nastává u vzorků B, E, F, G a H. Nepříznivým účinkům zmrazení nepodléhaly vzorky A, C a F, jejichž viskoelastické vlastnosti jsou srovnatelné v obou případech. Na viskoelastické vlastnosti, tedy odolnost SAP vůči deformaci za různých teplotách, má velký vliv složení samotných SAP.

Připravené SAP by mohly najít dobré uplatnění v agrochemii a navržená metoda testování biologické aktivity by v laboratorních podmínkách plně postačila k ověření účinnosti všech hydrogelů

8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Oficiální stránky společnosti Humatex, a.s [online], [cit. 2016-11-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.humatex.cz/huminove-latky.html>>.
- [2] [online]. [cit. 2016-11-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.incan.cz/index.php/huminove-latky.html>>
- [3] RAJU, M. PADMANABHA a K. MOHANA RAJU. Design and synthesis of superabsorbent polymers. *Journal of Applied Polymer Science*. 2001, vol. 80, issue 14, s. 2635-2639. DOI: 10.4016/5644.01.
- [4] SKOKANOVÁ, M.; DERCOVÁ, K. Humínové kyseliny. Pôvod a štruktúra. *Chemické listy* 102 [online]. 2008, s 262–268 [cit. 2016-11-21]. Dostupné z WWW: <http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2008_04_262-268.pdf>.
- [5] VESELÁ, Lenka, Martin KUBAL, Josef KOZLER a Petra INNEMANOVÁ. Struktura a vlastnosti přírodních huminových látek typu oxihumolitu. *Chemické listy* 99 [online]. 2005, s 711–717 [cit. 2016-11-21]. Dostupné z WWW: <http://www.chemickelisty.cz/docs/full/2005_10_711-717.pdf>.
- [6] WEBER, J.: Properties of humic substances [online], 2009 [cit. 2016-11-21]. Dostupný z WWW: <<http://www.ar.wroc.pl/~weber/kwasy2.htm>>.
- [7] LIANG, Rui, Mingzhu LIU a Lan WU. Controlled release NPK compound fertilizer with the function of water retention. *Reactive and Functional Polymers*. 2007, vol. 67, issue 9, s. 769-779. DOI: 10.1016/j.reactfunctpolym.2006.12.007.
- [8] MCDONALD, Suzanne, Andrea G. BISHOP, Paul D. PRENZLER a Kevin ROBARDS. Analytical chemistry of freshwater humic substances: Lecture Notes from the 2nd ERCOFTAC Summerschool held in Stockholm, 10-16 June, 1998. *Analytica Chimica Acta*. 2004, 527(2), 105-124. DOI: 10.1016/j.aca.2004.10.011. ISSN 00032670. Dostupné také z WWW: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0003267004013558_>
- [9] SAIZ-JIMENEZ, C. Humic Substances in Terrestrial Ecosystems [online]. Italy: A. Piccolo, 1996 [cit. 2016-11-26]. *Chemical Structure of Humic Substances: Recent Advances*, s. 1-44. Dostupné z WWW: <www.sciencedirect.com>. ISBN 978-0-44481516-3
- [10] STEVENSON, F., J. Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions. 2nd edition. New York: John Wiley and Sons, 1994. 497 s. ISBN 0-471-59474-1.
- [11] ŽÁČEK, L. Hydrochemie. Brno: VUTIUM, 1998, s. 51. ISBN 80-214.1167-8.
- [12] MCDONALD, S., et al. Analytical chemistry of freshwater humic substances. *Analytica Chimica Acta* [online]. 2004, 527, [cit. 2016-11-26]. Dostupný z WWW: <www.sciencedirect.com>.
- [13] SENESI, Nicola, et al. Characterization, Differentiation, and Classification of Humic Substances By Fluorescence Spectroscopy. *Soil Science*. 1991, 152, 4, s. 259–271. ISSN 0008-4271. 12

- [14] VESELÁ, L., KUBAL, M., KOZLER, J., INNEMANOVÁ, P.: Struktura a vlastnosti přírodních huminových látek typu oxihumolitu. *Chemické listy*, 2005, roč. 99, s. 711717 13
- [15] PICCOLO, A. The supramolecular structure of humic substances. *Soil Science*. 2001, 166, 11, s. 810–832. 14
- [16] PHOTON SCIENCE: HASYLAB. ARČON, I. The fate of ecotoxic hexavalent chromium in the environment [online]. 2009 [cit. 2016-12-06]. Dostupné z WWW: <http://wofcluster.desy.de/sites/site_hasylab/content/news__events/research_highlights/archive/the_fate_of_ecotoxic_hexavalent_chromium_in_the_environment/index_eng.html>.
- [17] JANDÁK, J.; PRAX, A.; POKORNÝ, E. *Půdoznalství*. Vyd. 1. Brno: Mendlova zemědělská a lesnická univerzita, 2001. 140 s. ISBN 80-7157-559-3. 16
- [18] NOVÁK, J.; CIBULKA, J. Humáty působí na rostliny příznivě. *Úroda* [online]. 2004, č. 7, [cit. 2016-12-06]. Dostupný z WWW: <<http://www.sdas.cz/showdoc.do?docid=517>>.
- [19] Pena-Mendez E.M., Havel J., Patočka J.: Humic substances – compounds of still unknown structure: application in agriculture, industry, environment, and biomedicine. *J Appl Biomed* 3(1): 13-24, 2005.
- [20] KUČERÍK, J. *Humic Substances - still a Terra Incognita*". Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2009. 25 s. ISBN 978-80-214-3880-4.
- [21] SD - Humatex, a.s. [online]. 2005 [cit. 2016-12-12]. Výzkum a vývoj humátů. Dostupné z WWW: <<http://www.sdas.cz/showdoc.do?docid=245>>
- [22] SÁŇKA, M., MATERNA, J. *Indikátory kvality zemědělských a lesních půd ČR: PLANETA*. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2004. 84 s. ISSN 1213-3393
- [23] Pena-Mendez E.M., Havel J., Patočka J.: Humic substances – compounds of still unknown structure: application in agriculture, industry, environment, and biomedicine. *J Appl Biomed* 3(1): 13-24, 2005
- [24] PEŇA- MÉNDEZ, E. M., HAVEL, J. a PATOČKA, J.: Humic substances – compounds of still unknown structure: applications in agriculture, industry, environment and biomedicine. *J. Appl. Biomed.* 3 (2005), s. 13-24.
- [25] HUMINTECH [online]. [cit. 2016-12-15]. Wastewater treatment-Environment. Dostupné z WWW: <http://humintech.com/001/environment/applications/wastewater_treatment.html>.
- [26] Bongiovanni, M. D., and J. C. Lobartini. 2006. Particulate organic matter, carbohydrate, humic acid contents in soil macro- and microaggregates as affected by cultivation. *Geoderma* 136: 660-665.
- [27] Waiser, M. J., and R. D. Robarts. 2000. Changes in composition and reactivity of allochthonous DOM in a prairie saline lake. *Limnology and Oceanography* 45: 763774.

- [28] Tan, K. H. 2003. Humic Matter in Soil and the Environment
- [29] Zavadská, L., and J. Lesný. in press. Recent development in lignite investigation.
- [30] PETRÁNEK, Jan; SYNEK, Jaroslav. Geologická encyklopedie on-line [online]. 1993 [cit. 2016-12-15]. Půda. Dostupné z WWW: <<http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl?puda>>.
- [31] VÁVROVÁ, Milada, Chemie životního prostředí - přednáška Pedosféra, VUT Brno, 2010.
- [32] Richter R.: Agrochemické vlastnosti půdy [online]. poslední revize 25. 1. 2004 [cit. 2016-12-15]. Dostupné z WWW: <http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/agrochemie_pudy/a_in_dex_agrochem.htm>.
- [33] Les a půda, studijní materiály EKOL, [cit. 2016-12-15]. Dostupné z WWW: <http://fle.czu.cz/~ulbrichova/Skripta_EKOL/lesapuda/lesapuda.htm>.
- [34] KEPÁK, František. Průmyslové odpady. Vyd. 2. Ústí nad Labem: Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, Fakulta životního prostředí, 1 CD-ROM. ISBN 978-80-7414-228-4.
- [35] VRBA, Vladimír, HULEŠ, Ludvík: Humus - půda - rostlina (2) Humus a půda. Dostupné z WWW: <<http://Biom.cz>> [online]. [cit. 2016-12-15].
- [36] MIROSLAV ŠIMEK. Základy nauky o půdě. 2., upr. a rozš. vyd. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Biologická fakulta, 158 s. ISBN 80-7040747-6
- [37] TOMÁŠEK, Milan. MIROSLAV ŠIMEK. Půdy České republiky. 2., dopl. vyd. Praha: Český geologický ústav, 2000, 67 s. ISBN 80-707-5403-6.
- [38] VALLA, Miloš. Pedologické praktikum. 2. vyd., 1. dotisk. Praha: ČZU FAPPZ, 2006, 151 s. ISBN 80-213-0914-8.
- [39] Hall, D. G.; Reeve, M. J.; Thomasson, A. J.; Wright, V. F. Water retention porosity and density of field soils. Technical Monograph - Soil Survey of England and Wales, 1977, vol. 9, p. 71–73. ISSN 0072-7210.
- [40] Petříček, V.; Cudlín, P. Máme bojovat proti povodním? In Životné prostredie. 2003, č. 4 Ústav krajinné ekologie SAV Bratislava. [cit. 2016-12-17]. Dostupné z WWW: <<http://www.seps.sk/zp/casopisy/zp/2003/zp4/index.htm>>
- [41] TROJAN, Miroslav. Vybrané kapitoly z anorganické technologie: (Kyselina fosforečná a její sole, průmyslová hnojiva, další průmyslově významnější anorganické sloučeniny). 1. vyd. Pardubice: VŠCHT, 1991, 177 s. ISBN 80-851-1338-4.
- [42] WICHTERLE, Kamil. Chemické technologie. Vyd. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2012, 1 CD-ROM. ISBN 978-80-248-2579-3.

- [43] LIU, Guodong, Lincoln ZOTARELLI, Yuncong LI, David DINKINS, Oingren WANG a Monica OZORES-HAMPTON. Controlled-Release and Slow-Release Fertilizers as Nutrient Management Tools. In: EDIS - Electronic Data Information Source - UF/IFAS Extension. University of Florida, 2014. [online]. [cit. 2015-09-05].
- [44] DAVIDSON, Drew, Frank X. GU a Richard M. WILKINS. 2012. Materials for Sustained and Controlled Release of Nutrients and Molecules To Support Plant Growth. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Vol. 6, issue 4, s.343-356.
- [45] DU, CW, Jm ZHOU a A SHAVIV. Release characteristics of nutrients from polymercoated compound controlled release fertilizers. *Journal of Polymers And The Environment*. SPRINGER/PLENUM PUBLISHERS, 2006, vol. 14, issue 3, s. 223-230.
- [46] NODA, Isao a Michael Matthew SATKOWSKI. THE PROCTER & GAMBLE COMPANY. Polyacetones; erosion control [patent]. US 10/309,997, US6903053 B2. Udeleno 7. cerven 2005
- [47] KVÍTEK, Libor a Aleš PANÁČEK. *Základy koloidní chemie*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2007. ISBN 978-80-244-1669-4.
- [48] POUCHLÝ, Julius. *Fyzikální chemie makromolekulárních a koloidních soustav*. Vyd. 3. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2008. ISBN 978-80-7080-674-6.
- [49] BARTOVSKÁ, Lidmila a Marie ŠIŠKOVÁ. *Fyzikální chemie povrchů a koloidních soustav*. Vyd. 6., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2010. ISBN 978-80-7080745-3.
- [50] MO, Chu, Zhu SHU-QUAN, Li HUA-MIN, Huang ZHAN-BIN a Li SHU-QIN. Synthesis of poly(acrylic acid)/sodium humate superabsorbent composite for agricultural use. *Journal of Applied Polymer Science*. 2006, vol. 102, issue 6, s. 5137-5143. DOI: 10.1002/app.24661.
- [51] LU, Shaojie, Menglin DUAN a Songbai LIN. Synthesis of superabsorbent starch-graft-poly(potassium acrylate-co-acrylamide) and its properties. *Journal of Applied Polymer Science*. 2003, vol. 88, issue 6, s. 1536-1542. DOI: 10.1002/app.12025.
- [52] MARANDI, G. Bagheri, N. SHARIFNIA a H. HOSSEINZADEH. Synthesis of an alginate–poly(sodium acrylate-co-acrylamide) superabsorbent hydrogel with low salt sensitivity and high pH sensitivity: ČSN EN ISO 3166 (97 1002). *Journal of Applied Polymer Science*. 2006-09-05, vol. 101, issue 5, s. 2927-2937. DOI: 10.1002/app.23373. [online]. [cit.2017-01-23]. Dostupné z WWW: <<http://doi.wiley.com/10.1002/app.2337>>.
- [53] History of Super Absorbent Polymer Chemistry. *Polymer technologies, Inc* [online]. [cit. 2017-01-24]. Dostupné z WWW: <http://www.m2polymer.com/html/history_of_superabsorbents.html>.
- [54] AKELAH, Ahmed. Functionalized polymeric materials in agriculture and the food industry. New York: Springer, 2013. ISBN 978-146-1470-601.

- [55] LI, Wei; ZOU, Lizhuang; ZHU, Shuquan. Synthesis and characterization of potassium humate-acrylic acid-acrylamide hydrogel. *Journal of Polymer Research*. [online]. [cit. 2017-01-24]. Dostupný z WWW: <www.sciencedirect.com>.
- [56] ZHANG, Junping; LI, An; WANG, Aiqin. Synthesis and characterization of multifunctional poly(acrylic acid-co-acrylamide)sodium humate superabsorbent composite. *Reactive & Functional Polymers* [online]. [2016-01-25]. Dostupný z WWW: <<http://www.sciencedirect.com>>.
- [57] Zahrada web. SALAŠ, Petr. Využití odpadní kůry ve školkařství [online]. 2003 [cit. 2017-01-24].
- [58] Balaji Green Gold associates Pvt. Ltd.: Agri Gel (Super Absorbent Polymer) USA Product [online]. [cit. 2017-02-01]. Dostupné z WWW: <<http://balajigreengold.com/sap.html>>.
- [59] Richter R.: Příjem živin rostlinami [online]. poslední revize 23. 1. 2004
- [60] [online]. [cit. 2016-02-01]. Dostupné z WWW: <http://www.af.mendelu.cz/ustav/221/multitext/html/prijem_zivin/transport_stredni.htm>
- [61] Krejčí P.: *Kořen* [online]. [cit. 2016-02-02]. Dostupné z WWW: <http://web2.mendelu.cz/af_211_multitext/obecna_botanika/index1.html>
- [62] VRBA, Vladimír, HULEŠ, Ludvík: Humus - půda - rostlina (2) Humus a půda. Dostupné z WWW: <<http://Biom.cz>> [online]. 2006-11-14 [cit. 2017-02-02].
- [63] MEZGER, Thomas G. The rheology handbook: for users of rotational and oscillatory rheometers. 3rd rev. ed. Hanover, Germany: Vincentz Network, 2011. ISBN 978-3866308-640.
- [64] HOLUBOVÁ, Renata. Základy reologie a reometrie kapalin [online]. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014 [cit. 2017-02-02]. ISBN 978-80-244-4178-8. Dostupné z WWW: <http://mofychem.upol.cz/KA6/Zaklady_reologie.pdf>.
- [65] ROSE, Michael T., Antonio F. PATTI, Karen R. LITTLE, Alicia L. BROWN, W. Roy JACKSON a Timothy R. CAVAGNARO. A Meta-Analysis and Review of Plant-Growth Response to Humic Substances-Chapter Two: Practical Implications for Agriculture. *Advances in Agronomy* [online]. 2014, 124: 37-89 [cit. 2016-10-30]. DOI: 10.1016/B978-0-12-800138-7.00002-4. ISBN 978-0-12-800138-7. ISSN 0065-2113
- [66] EYHERAGUIBEL, B., SILVESTRE, J. a MORARD, P. Effects of humic substances derived from organic waste enhancement on the growth and mineral nutrition of maize. *Bioresource Technology* [online]. 2007, 4206–4212 [cit. 2017-02-03]. Dostupné z WWW: <www.sciencedirect.com>.
- [67] TAHIR, M. M., M. KHURSHID, M. Z. KHAN, M. K. ABBASI a M. H. KAZMI. Lignite-Derived Humic Acid Effect on Growth of Wheat Plants in Different Soils. *Pedosphere* [online]. 2011, č. 21, 124–131 [cit. 2017-02-03]. ISSN 1002-0160/CN 32-1315/P. Dostupné z WWW: <www.sciencedirect.com>

- [68] ARANCON, N. Q., S. LEE, C. A. EDWARDS, a R. ATIYEH. Effects of humic acids derived from cattle, food and paper-waste vermicomposts on growth of greenhouse plants. *Pedobiologia* [online]. 2003, č. 47, 741–744 [cit. 2017-02-04]. Dostupné z WWW: <<http://www.urbanfischer.de/journals/pedo>>.
- [69] PATIL, R. B., S. S. MOKLE a S. S. WADJE. EFFECT OF POTASSIUM HUMATE ON SEED GERMINATION, SEEDLING GROWTH AND VEGETATIVE CHARACT. *International Journal of Pharma and Bio Science* [online]. 2010, č. 1 [cit. 2017-02-04]. Dostupné z WWW: <<http://www.ijpbs.net/47.pdf>>.
- [70] ATIYEH, R. M., S. LEE, C. A. EDWARDS, N. Q. ARANCON a J. D. METZGER. The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. *Bioresource Technology* [online]. 2002, č. 84, s. 7-14 [cit. 2017-02-04]. Dostupné z WWW: <www.sciencedirect.com>.
- [71] MORA, V., E. BACAICOA, A. ZAMARRENO, E. AGUIRRE, M. GARNICA, M. FUENTES a J. GARCÍA-MINA. Action of humic acid on promotion of cucumber shoot growth involves nitrate-related ganges associated with the root-to-shoot distribution of cytokinins, polyamines and mineral nutrients. *Journal of Plant Physiology* [online]. 2010, č. 4167, s. 633-642 [cit. 2017-02-05]. Dostupné z WWW: <www.sciencedirect.com>.
- [72] AYUSO, M., T. HERNFINDEZ, C. GARCIA a J. A. PASCUAL. STIMULATION OF BARLEY GROWTH AND NUTRIENT ABSORPTION BY HUMIC SUBSTANCES ORIGINATING FROM VARIOUS ORGANIC MATERIALS. *Bioresource Technology* [online]. 1996, č. 57, s. 251-257 [cit. 2017-02-05]. Dostupné z WWW: <www.sciencedirect.com>.
- [73] WU, Lan a Mingzhu LIU. Preparation and properties of chitosan-coated NPK compound fertilizer with controlled-release and water-retention. *Carbohydrate Polymers* [online]. 2008, 72(2): 240-247 [cit. 2017-02-05]. DOI: 10.1016/j.carbpol.2007.08.020. ISSN 0144-8617
- [74] EGRINYA ENEJI, A., Robiul ISLAM, P. AN a U.C. AMALU. Nitrate retention and physiological adjustment of maize to soil amendment with superabsorbent polymers. *Journal of Cleaner Production* [online]. 2013, 52: 474-480 [cit. 2017-02-05]. DOI: 10.1016/j.jclepro.2013.02.027. ISSN 0959-6526
- [75] YANG, Lixia, Yang YANG, Zhang CHEN, Chunxiao GUO a Shaocai LI. Influence of super absorbent polymer on soil water retention, seed germination and plant survivals for rocky slopes eco-engineering. *Ecological Engineering*[online]. 2013, 62: 27-32 [cit. 2017-02-05]. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2013.10.019. ISSN 0925-8574.
- [76] ISLAM, M Robiul, Yuegao HU, Sishuai MAO, Jinzhu MAO, A Egrinya ENEJI a Xuzhang XUE. Effectiveness of a water-saving super-absorbent polymer in soil water conservation for corn (*Zea mays* L.) based on eco-physiological parameters. *Journal of the science of food and agriculture* [online]. 2011, 91(11): 1998 [cit. 2017-02-06]. DOI: 10.1002/jsfa.4408.

- [77] LI, Xi, Ji-Zheng HE, Jane M. HUGHES, Yu-Rong LIU a Yuan-Ming ZHENG. Effects of super-absorbent polymers on a soil–wheat (*Triticum aestivum*L.) system in the field. *Applied Soil Ecology* [online]. 2013, 73: 58-63 [cit. 2017-02-06]. DOI: 10.1016/j.apsoil.2013.08.005. ISSN 0929-1393.
- [78] MONTESANO, Francesco F., Angelo PARENTE, Pietro SANTAMARIA, Alessandro SANNINO a Francesco SERIO. Biodegradable Superabsorbent Hydrogel Increases Water Retention Properties of Growing Media and Plant Growth. *Agriculture and Agricultural Science Procedia* [online]. Elsevier B.V, 2015, 4: 451-458 [cit. 2017-02-07]. DOI: 10.1016/j.aaspro.2015.03.052. ISSN 2210-7843
- [79] FARKISH, AIDA, and Mamadou FALL. "Rapid dewatering of oil sand mature fine tailings using super absorbent polymer (SAP)." *Minerals Engineering* 50 (2013): 38-47
- [80] JIANG a BUNNING. Rheology of highly swollen chitosan/polyacrylate hydrogels. DOI: 4602.

9 SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Význam zkratky
HL	humínové látky
SAP	superabsorbční polymery
FK	fulvínové kyseliny
HK	humínové kyseliny
HU	huminy
DOC	rozpuštěný organický uhlík (<i>dissolved organic carbon</i>)
DOM	rozpuštěná organická hmota (<i>dissolved organic matter</i>)
CRF	systém řízeného uvolňování hnojiva (<i>controlled release fertilizers</i>)
SAP	superabsorpční polymery
V	objem nabotnaného gelu
V^0	objem suchého gelu
φ_2	objemový zlomek polymeru v nabotnaném gelu
m_τ	hmotnost botnajícího gelu v čase od počátku botnání
m_0	počáteční hmotnost xerogelu
ρ	hustota kapaliny
ΔV	objem pohlčené kapaliny
AA	kyselina akrylová
AM	akrylamid
MBA	methylen-bis-akrylamid
KPS	peroxydisulfát draselný
NaHK	lignohumát sodný
KOH	hydroxid draselný
NaClO	chlornan sodný
CaCO ₃	uhličitan vápenatý
τ	smykové napětí
γ	smyková rychlost
η	dynamická viskozita
F	smyková síla

v	rychlost
A	jednotka plochy
h	výška tělesa
LVO	lineární viskoelastická oblast
G'	elastický modul
G''	viskózní modul

10 PŘÍLOHY



Příloha č. 1: Suchý superabsorbent A (vlevo) a suchý superabsorbent B (vpravo)



Příloha č. 2: Suchý superabsorbent C (vlevo) a suchý superabsorbent D (vpravo)



Příloha č. 3: Suchý superabsorbent F (vlevo) a suchý superabsorbent F (vpravo)



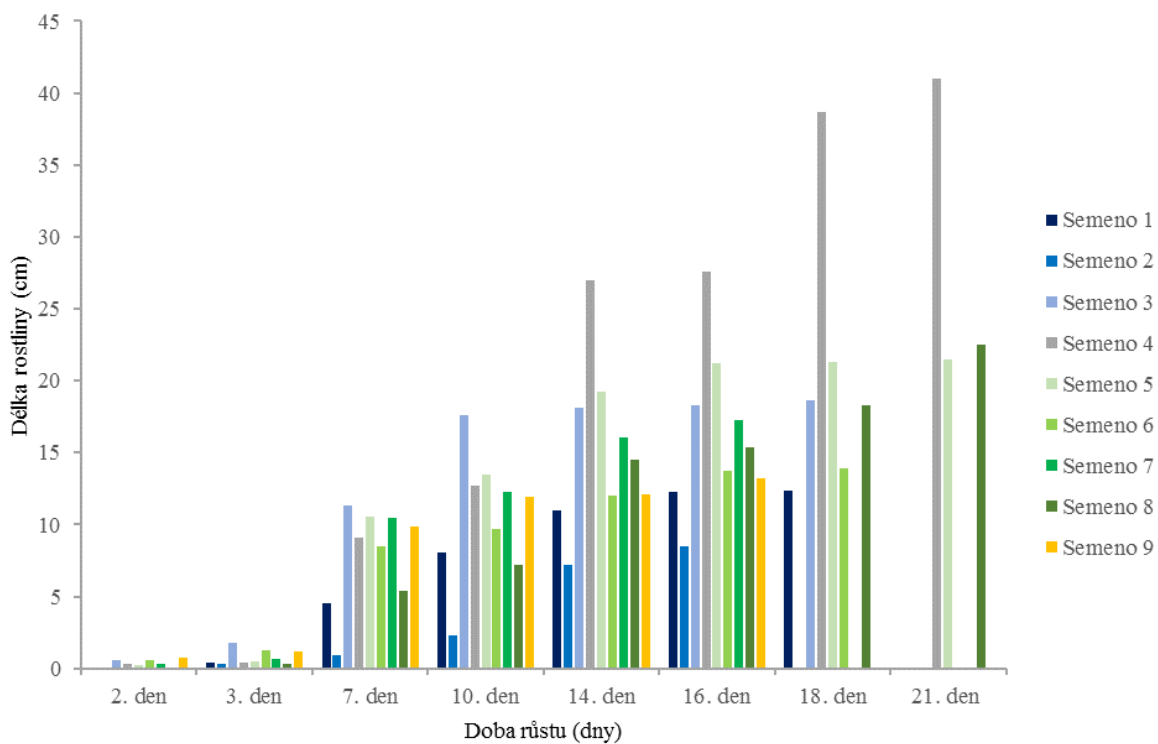
Příloha č. 4: Suchý superabsorbent G (vlevo) a suchý superabsorbent H (vpravo)



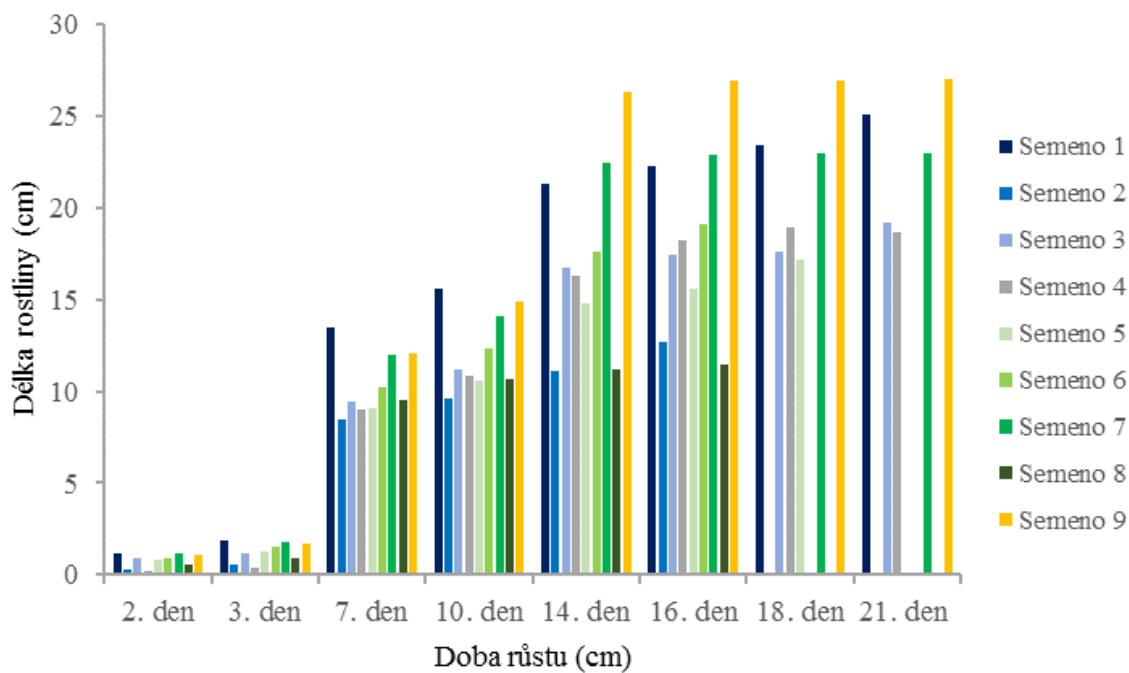
Příloha č. 5: Časovač



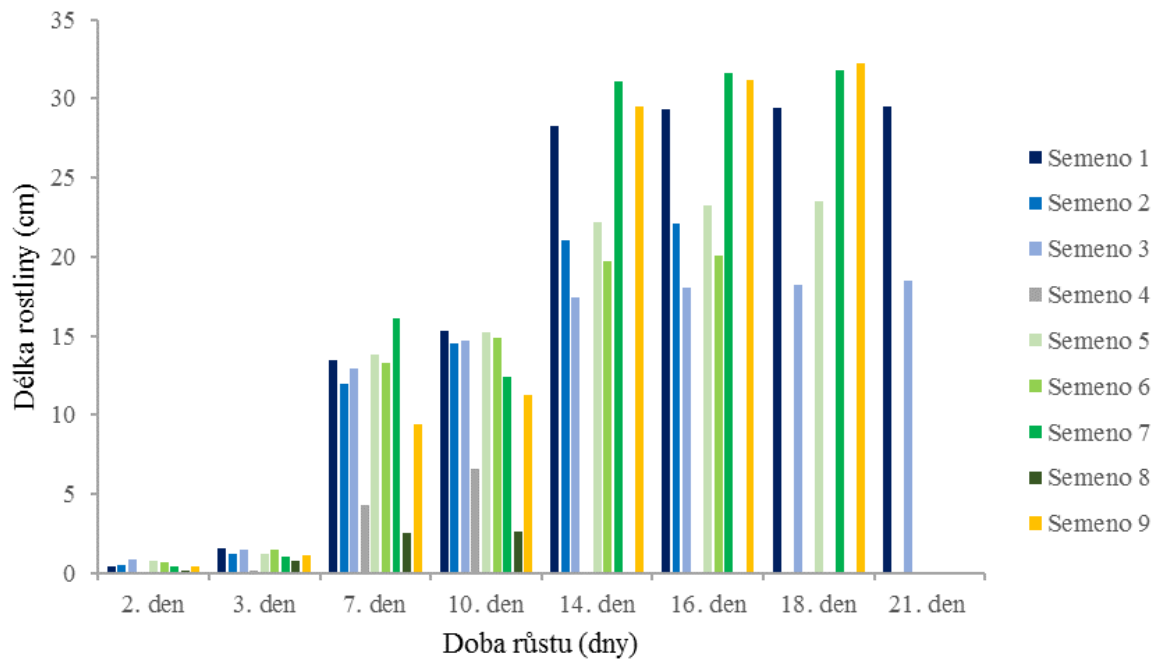
Příloha č. 6: UV lampa



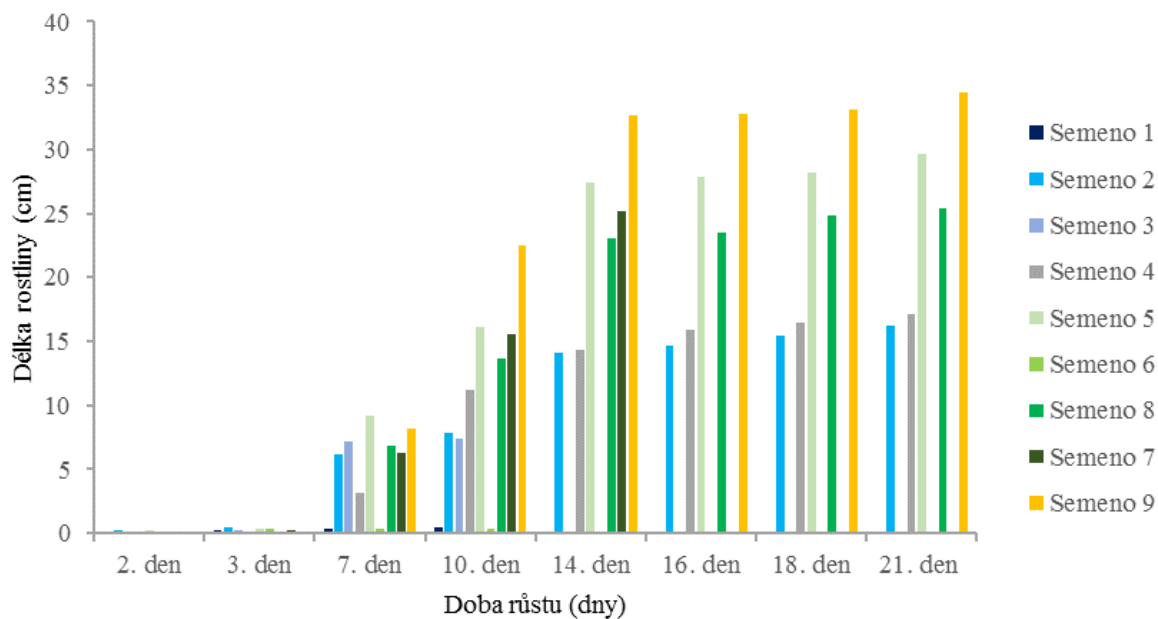
Příloha č. 7: Růst kukuřice seté s přidavkem hydrogelu B



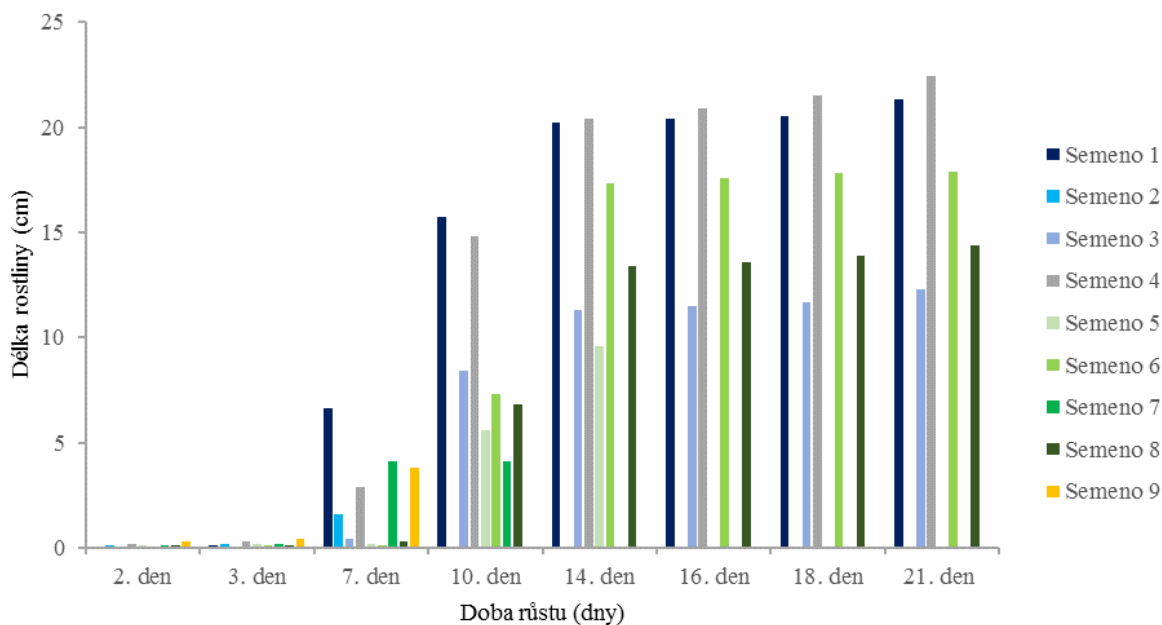
Příloha č. 8: Růst kukuřice seté s přidavkem hydrogelu C



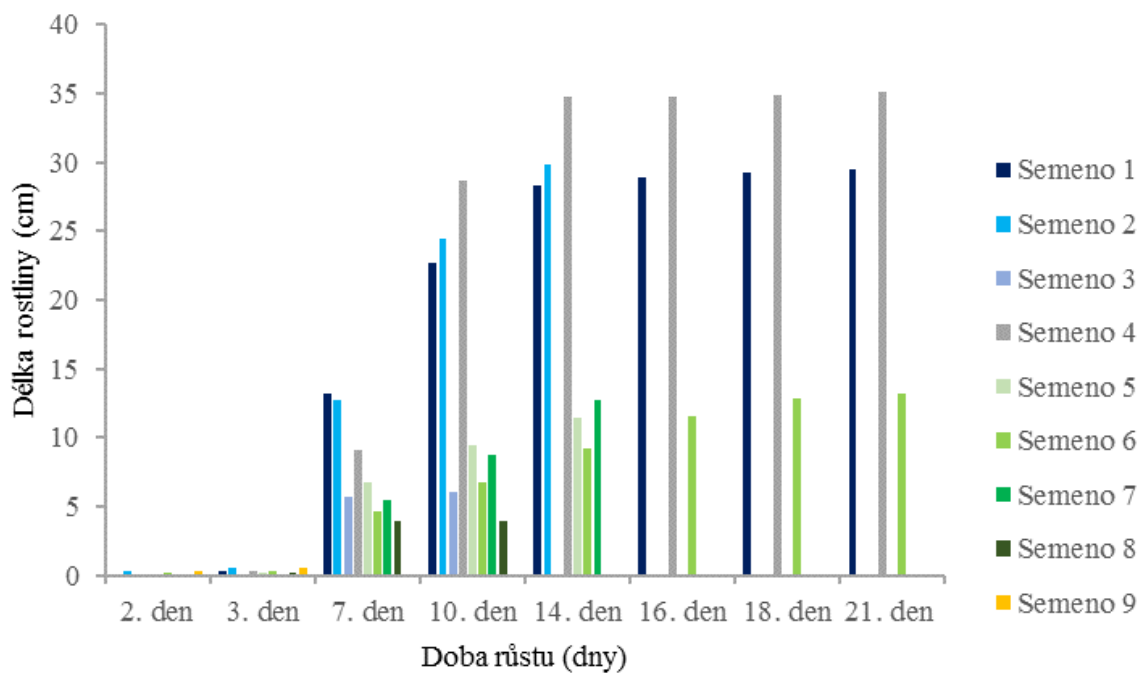
Příloha č. 9: Růst kukuřice seté s přidavkem hydrogelu D



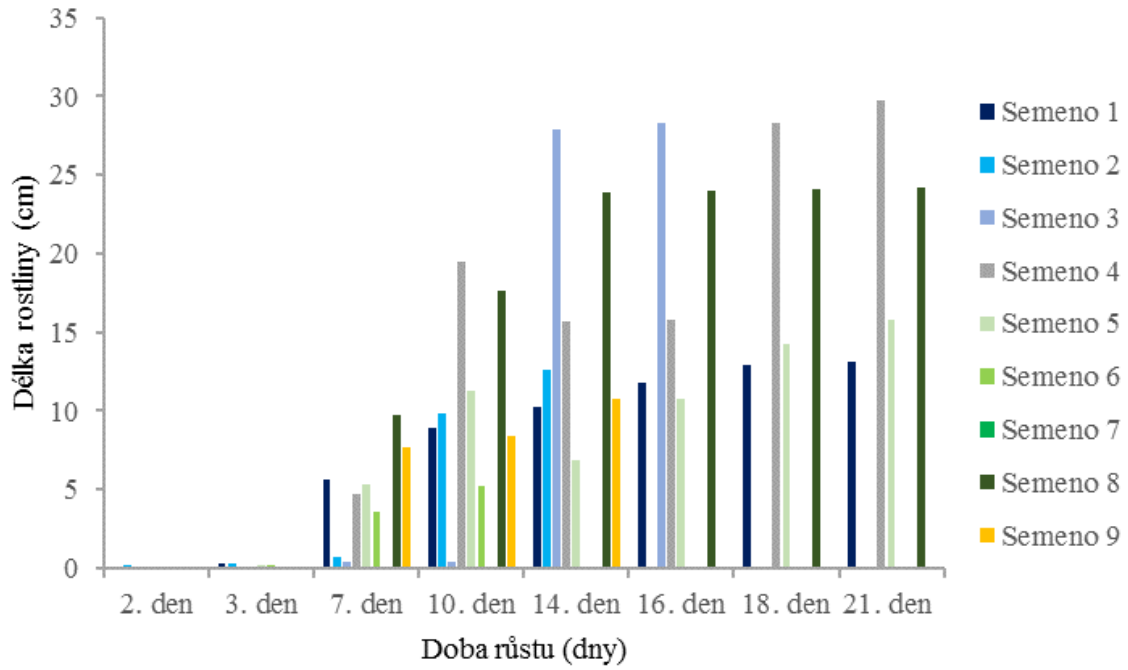
Příloha č. 10: Růst kukuřice seté s přidavkem hydrogelu E



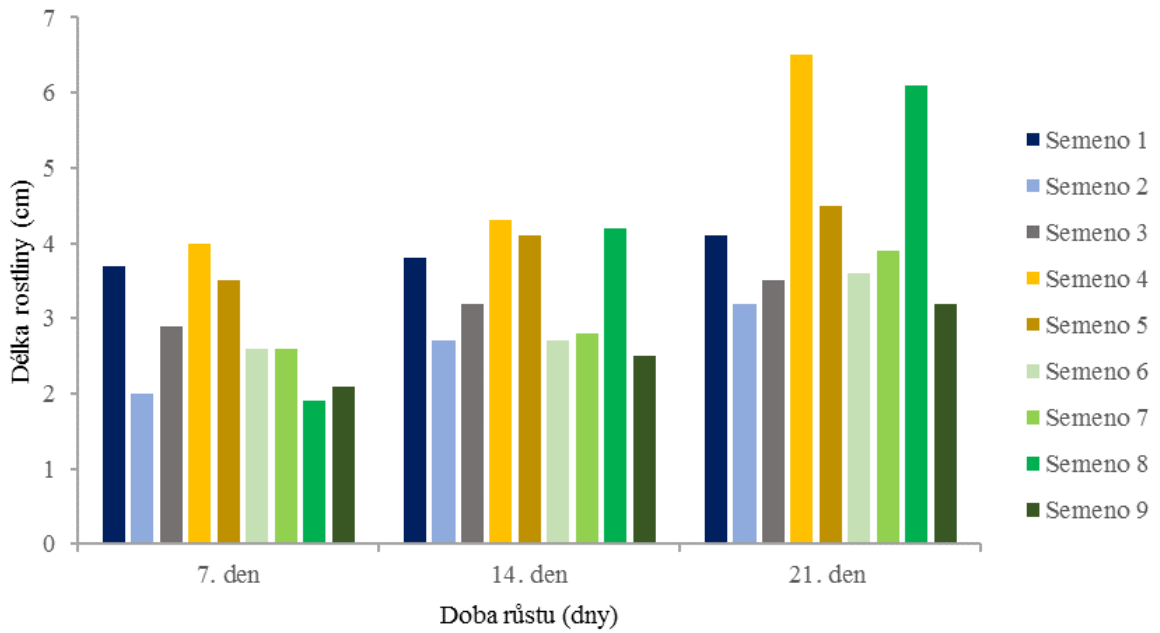
Příloha č. 11: Růst kukuřice seté s přidavkem hydrogelu F



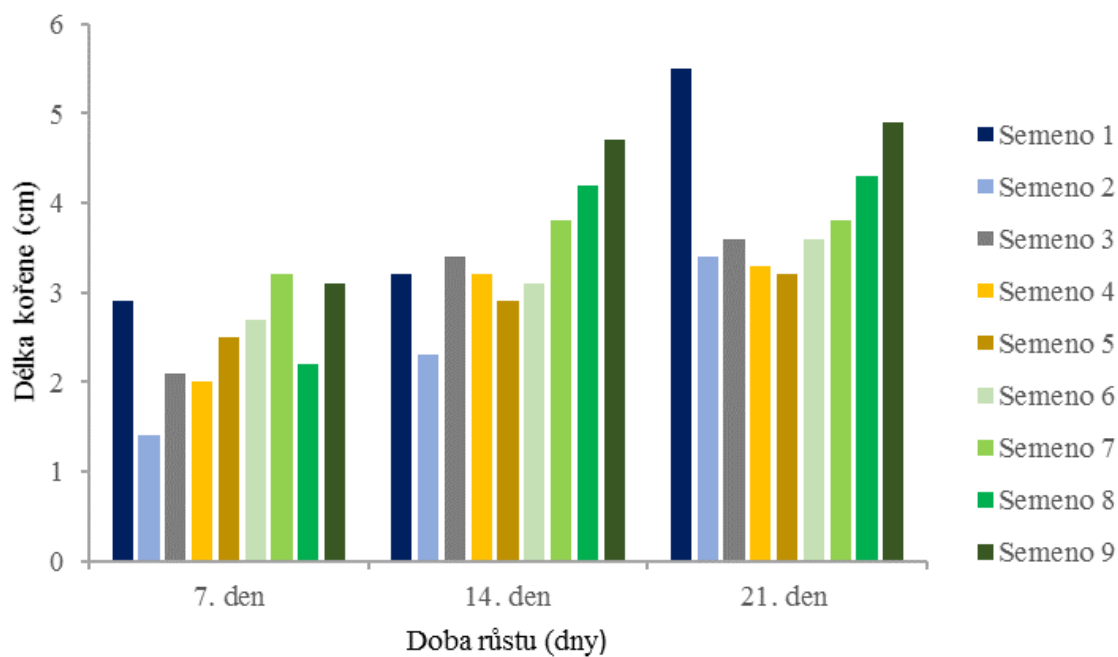
Příloha č. 12: Růst kukuřice seté s přidavkem hydrogelu G



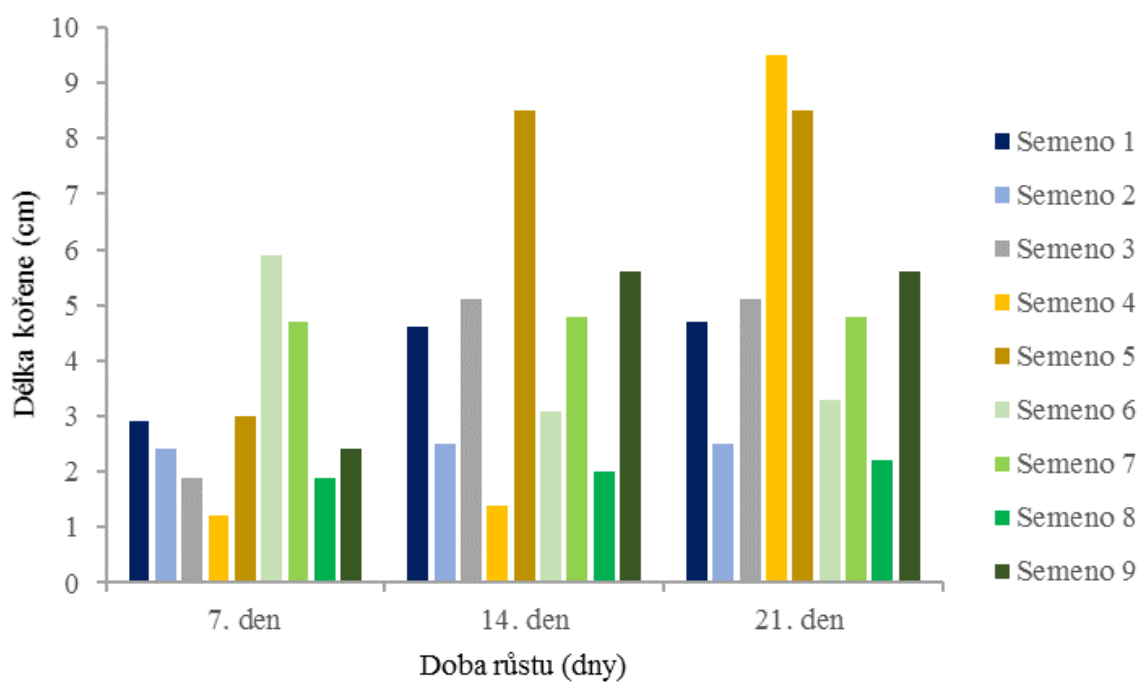
Příloha č. 13: Růst kukuřice seté s přidavkem hydrogelu H



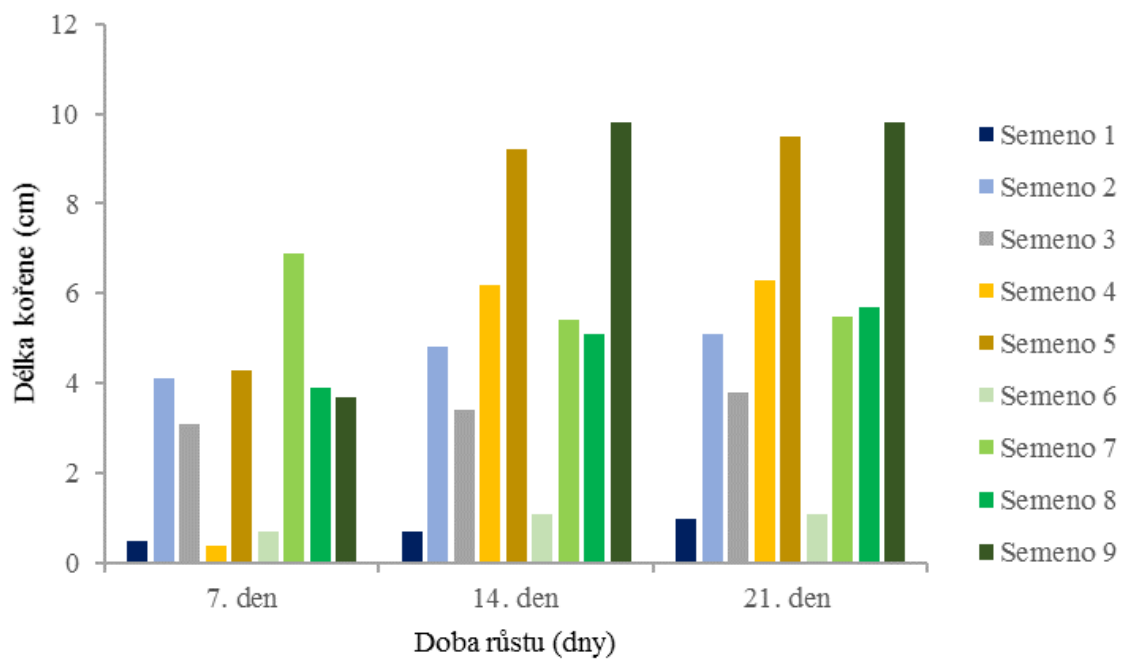
Příloha č. 14 Růst kořenového systému s přidavkem hydrogelu B



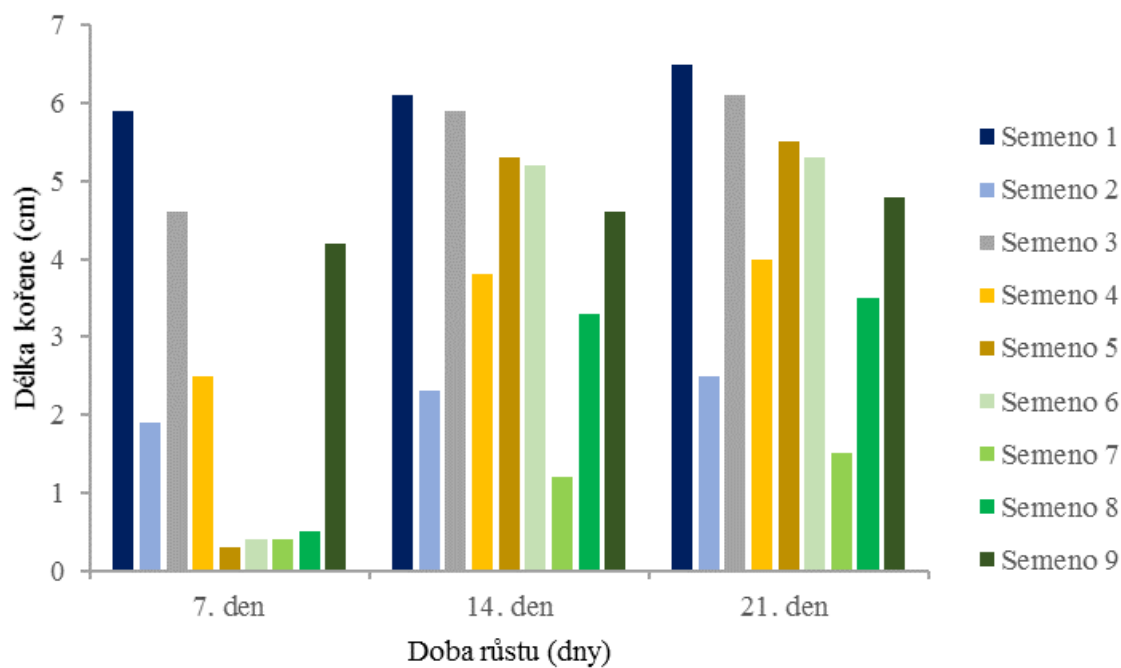
Příloha č. 15 Růst kořenového systému s přidavkem hydrogelu C



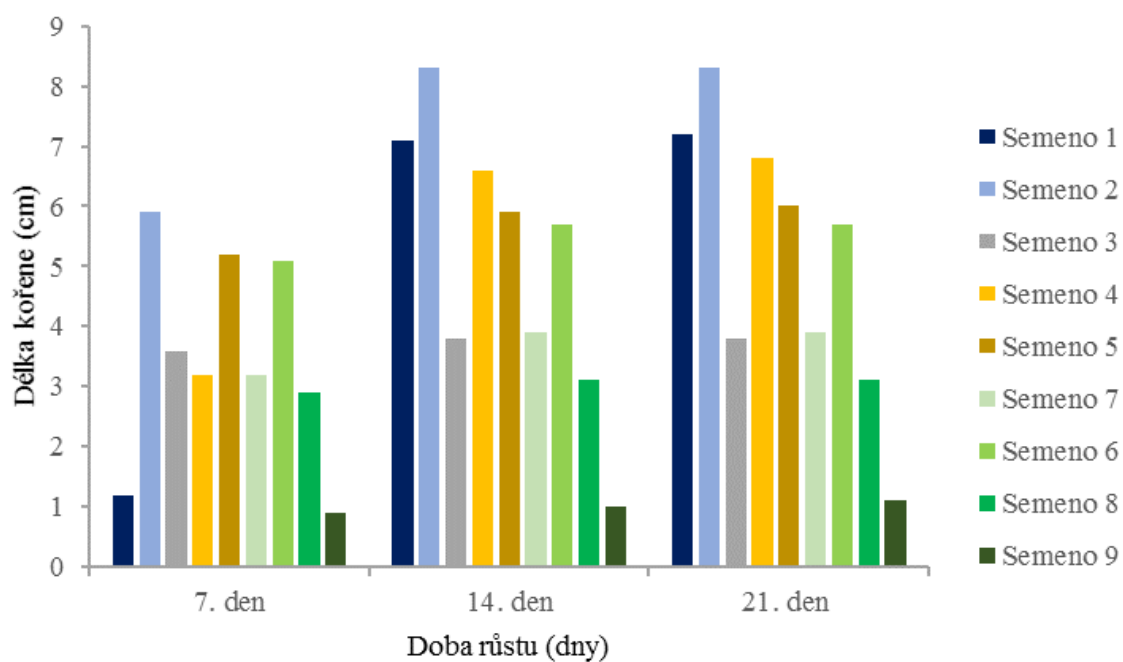
Příloha č. 16 Růst kořenového systému s přidavkem hydrogelu D



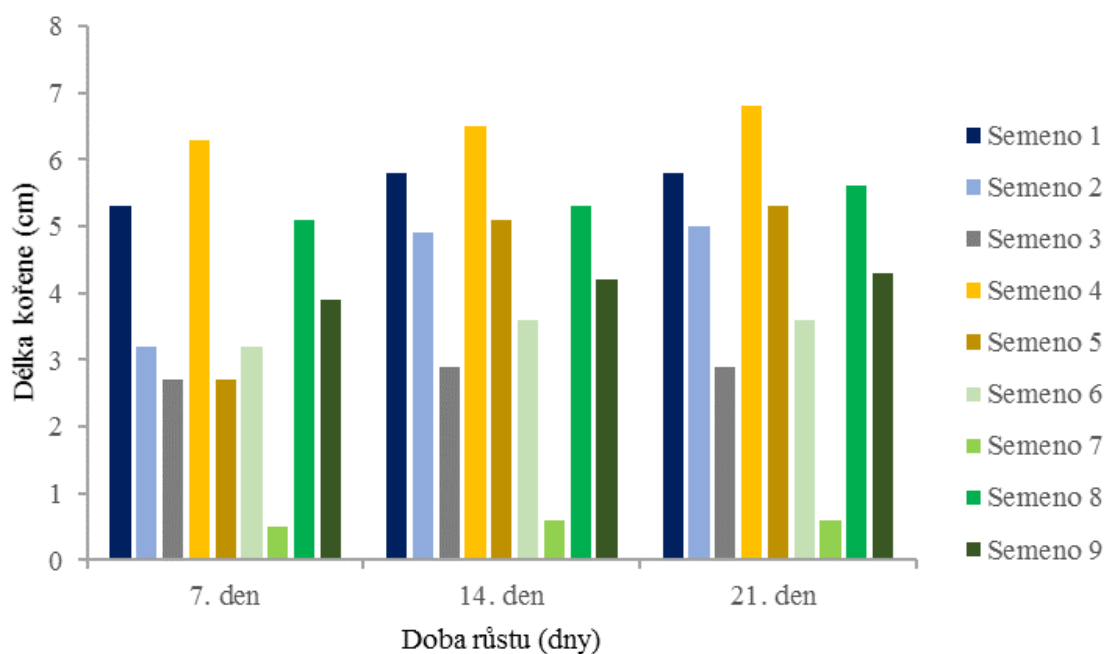
Příloha č. 17 Růst kořenového systému s přidavkem hydrogelu E



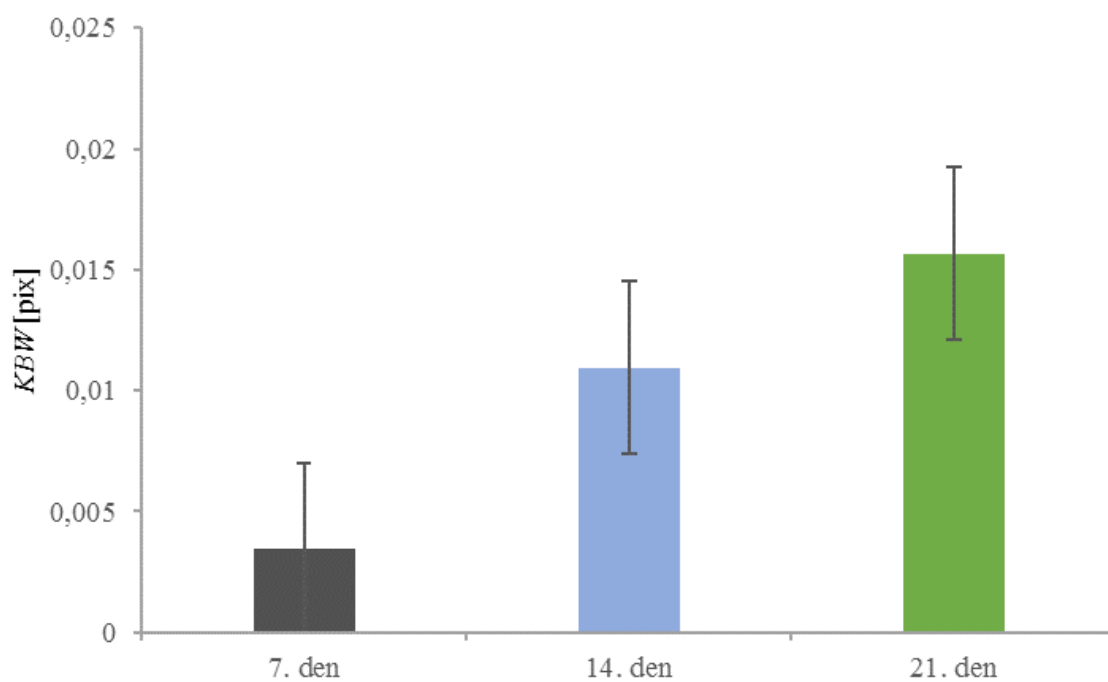
Příloha č. 18 Růst kořenového systému s přidavkem hydrogelu F



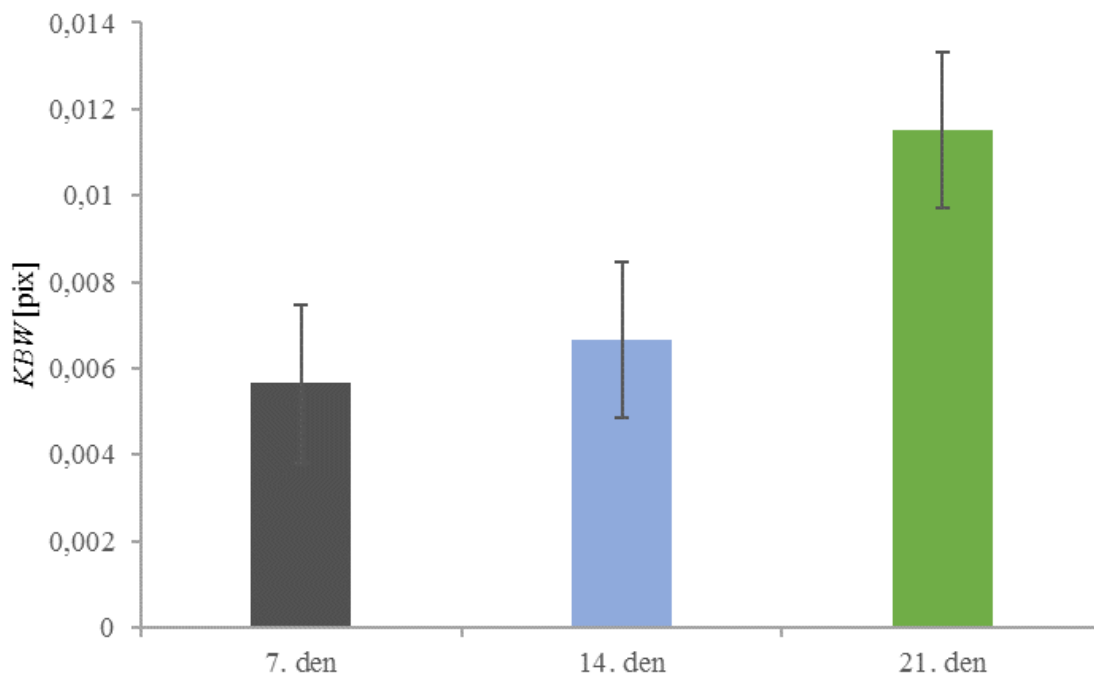
Příloha č. 19 Růst kořenového systému s přidavkem hydrogelu G



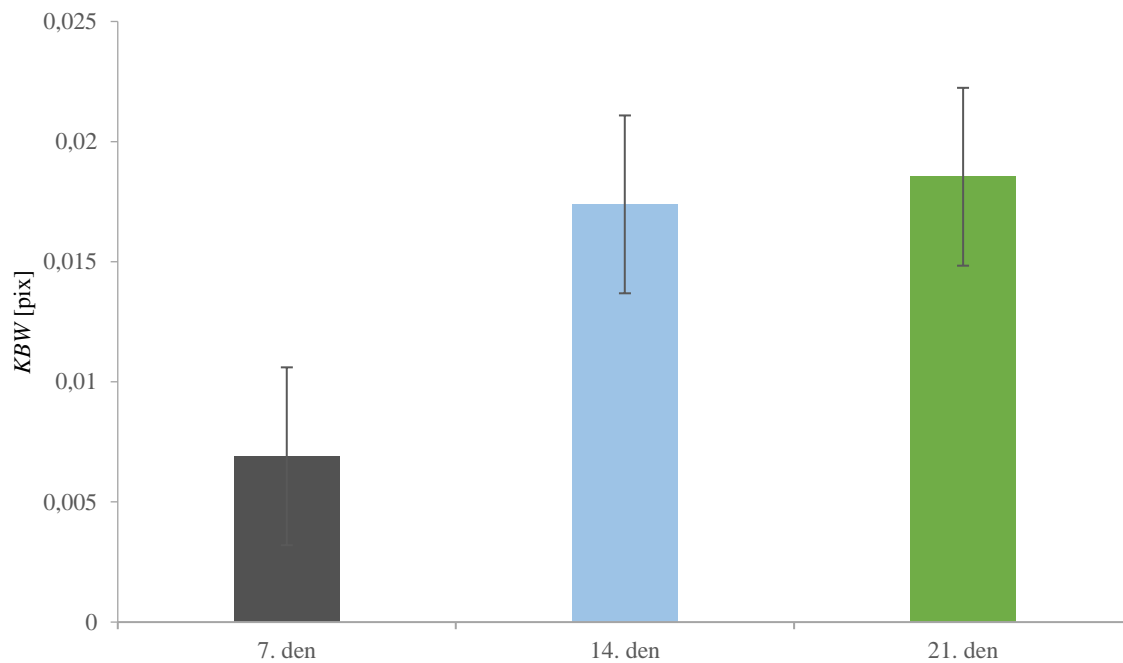
Příloha č. 20 Růst kořenového systému s přidavkem hydrogelu H



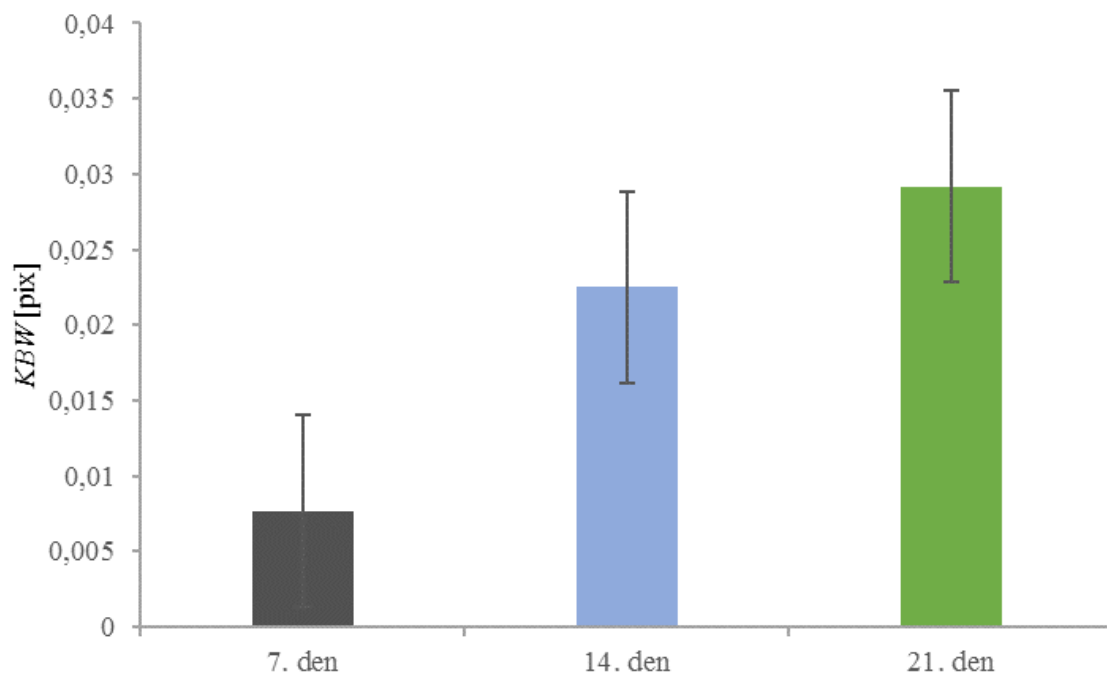
Příloha č. 21 Počet pixelů na rozhraní mezi kořenovým systémem a pozadím u hydrogelu B



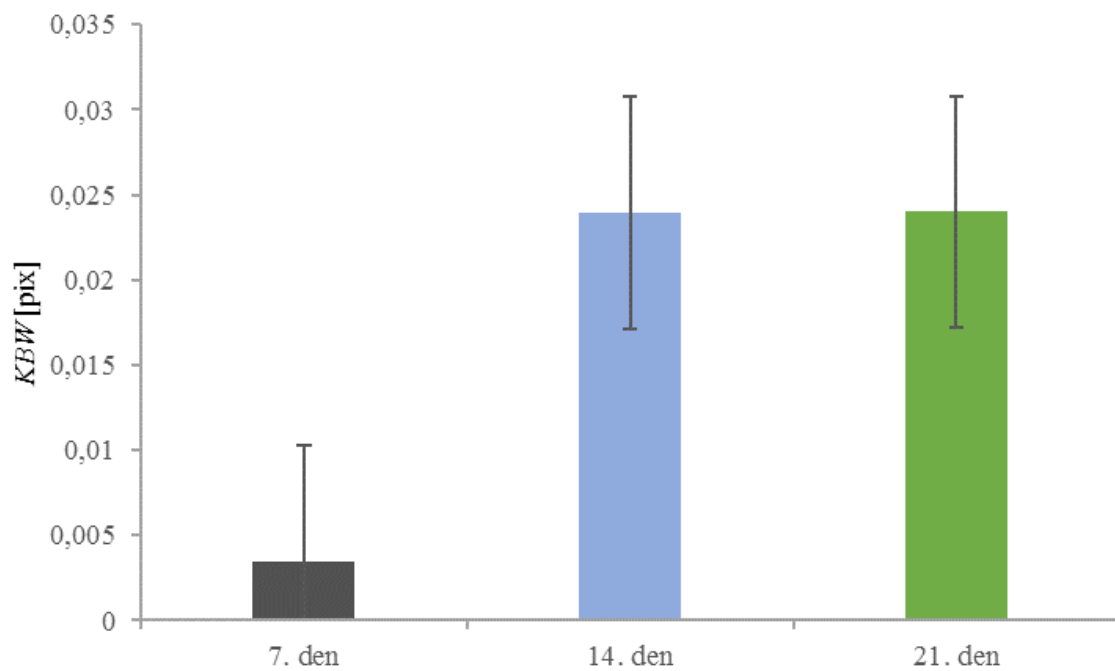
Příloha č. 22 Počet pixelů na rozhraní mezi kořenovým systémem a pozadím u hydrogelu C



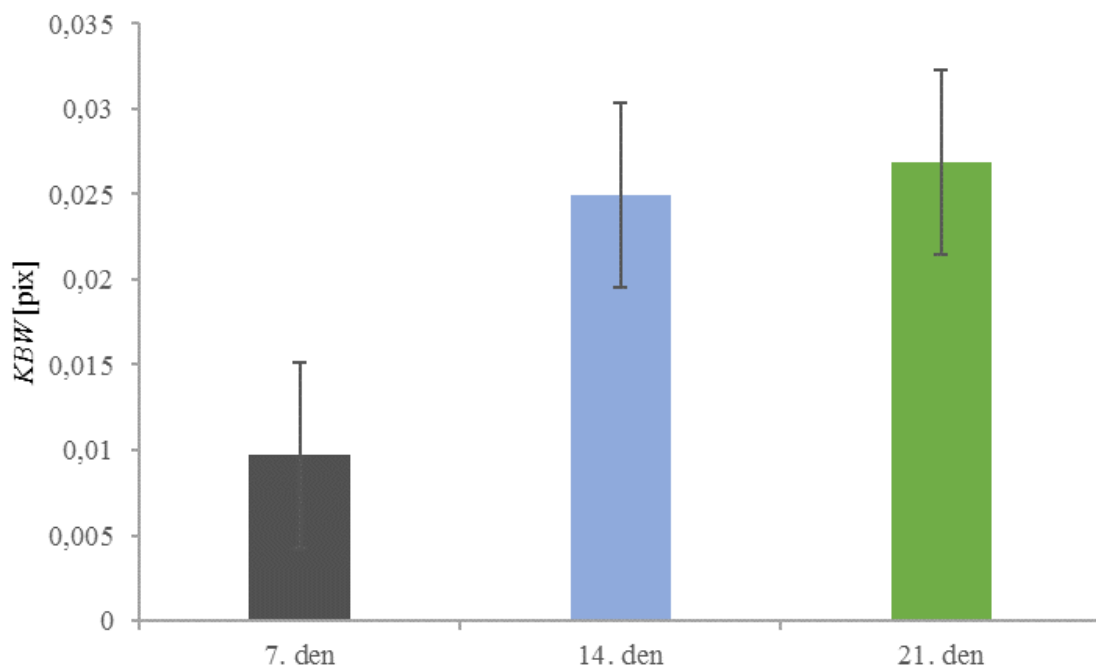
Příloha č. 23 Počet pixelů na rozhraní mezi kořenovým systémem a pozadím u hydrogelu D



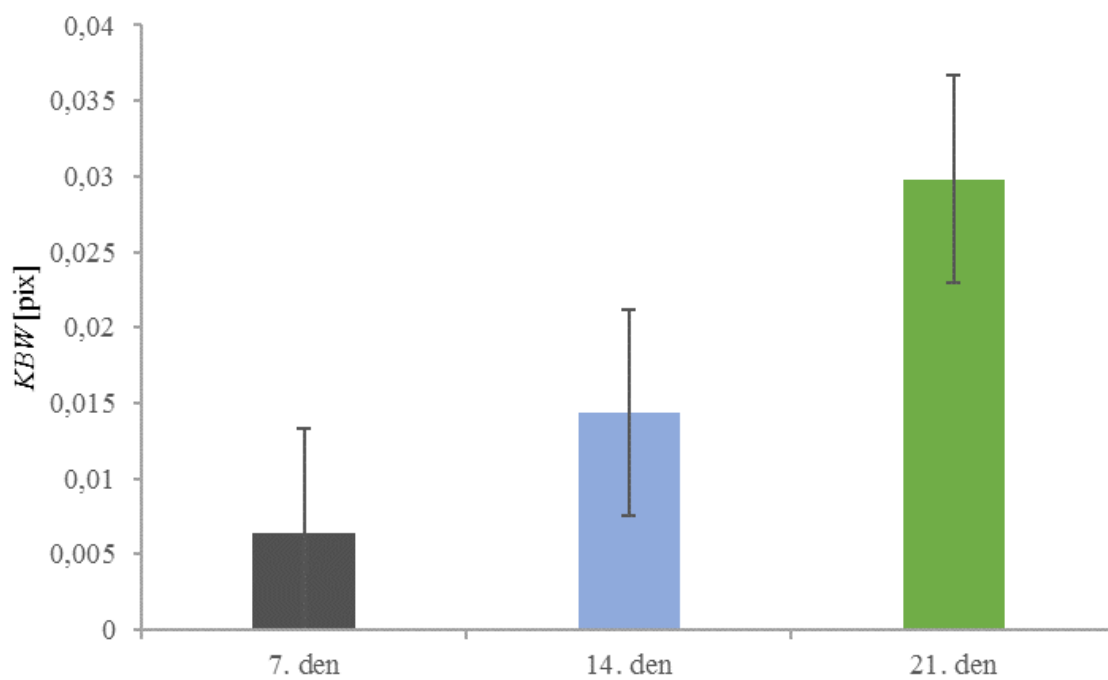
Příloha č. 24 Počet pixelů na rozhraní mezi kořenovým systémem a pozadím u hydrogelu E



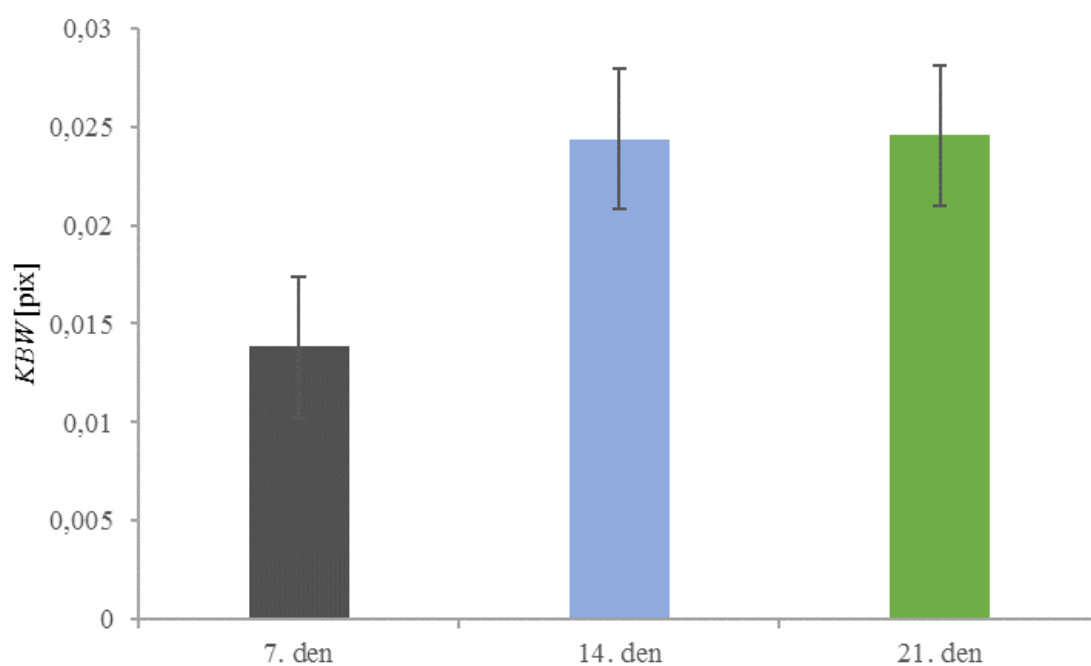
Příloha č. 25 Počet pixelů na rozhraní mezi kořenovým systémem a pozadím u hydrogelu F



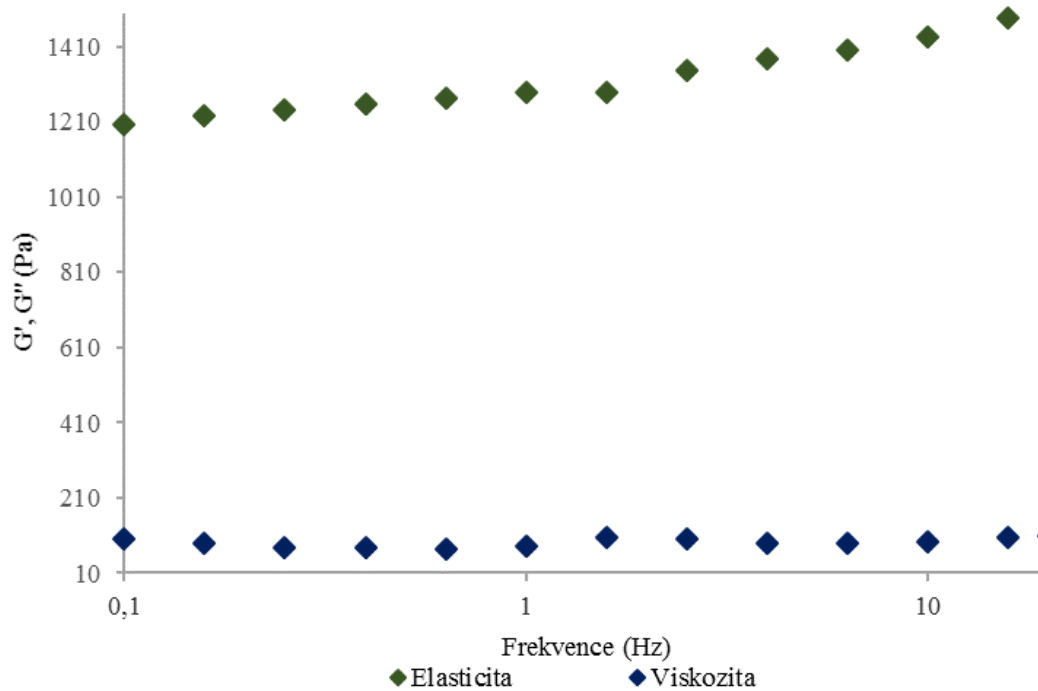
Příloha č. 26 Počet pixelů na rozhraní mezi kořenovým systémem a pozadím u hydrogelu G



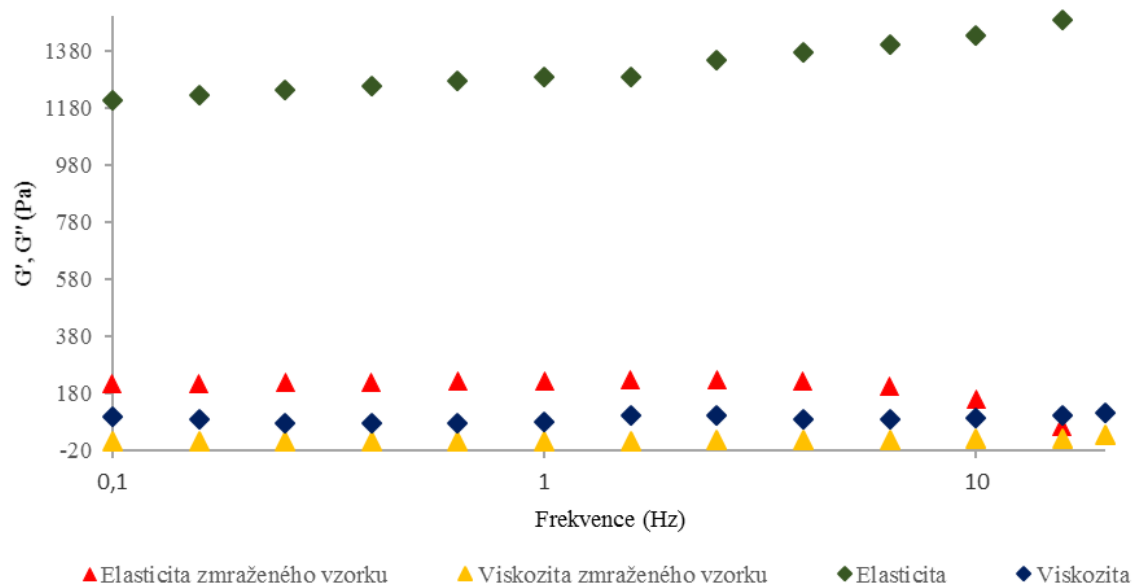
Příloha č. 27 Počet pixelů na rozhraní mezi kořenovým systémem a pozadím u hydrogelu H



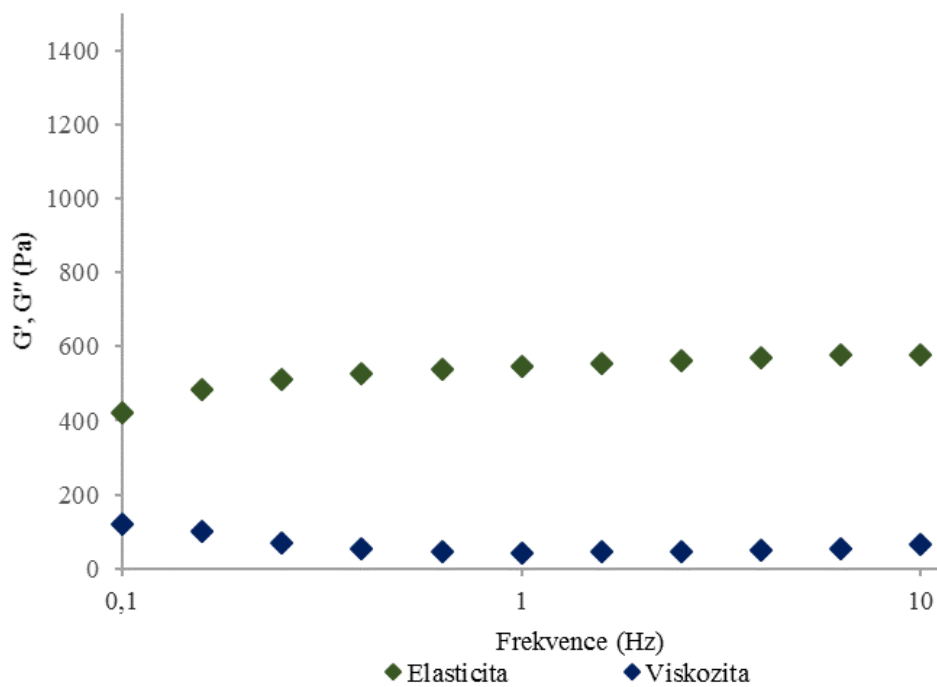
Příloha č. 28 Počet pixelů na rozhraní mezi kořenovým systémem a pozadím bez přidavku hydrogelu



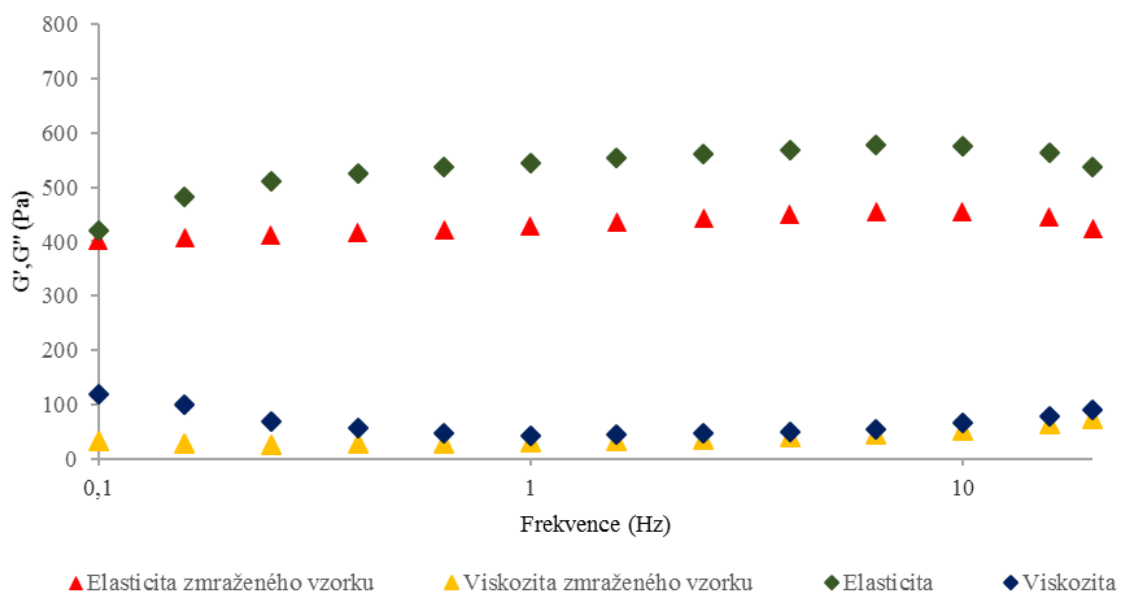
Příloha č. 29: Frequency test nezmraženého hydrogelu B



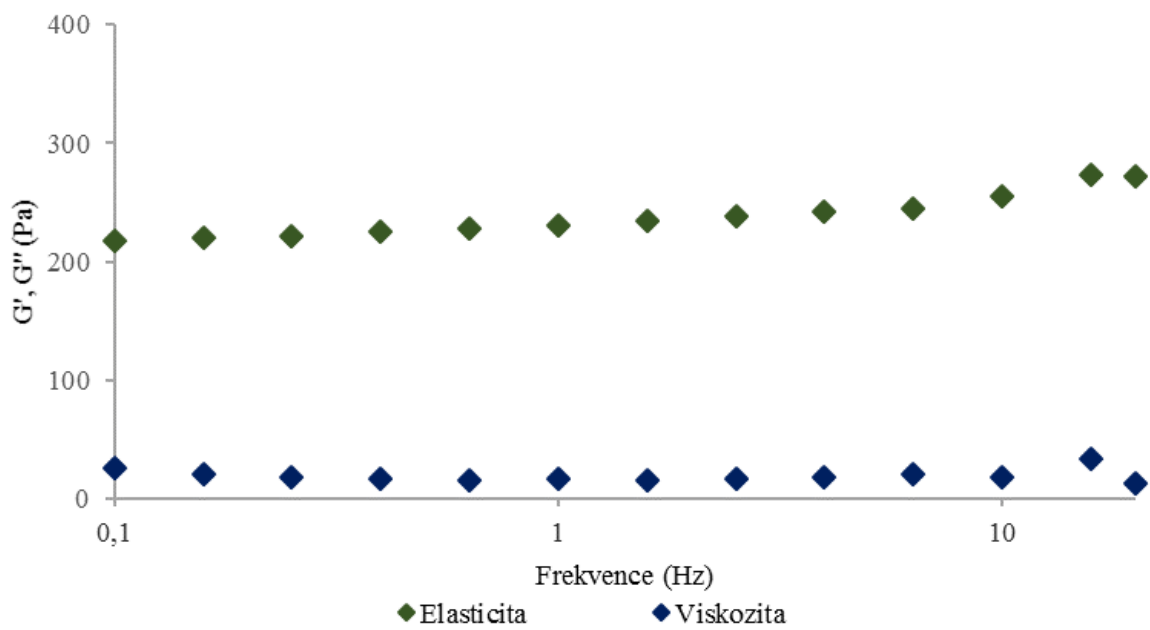
Příloha č. 30 Srovnání frequency testu u nezmraženého a zmraženého hydrogelu B



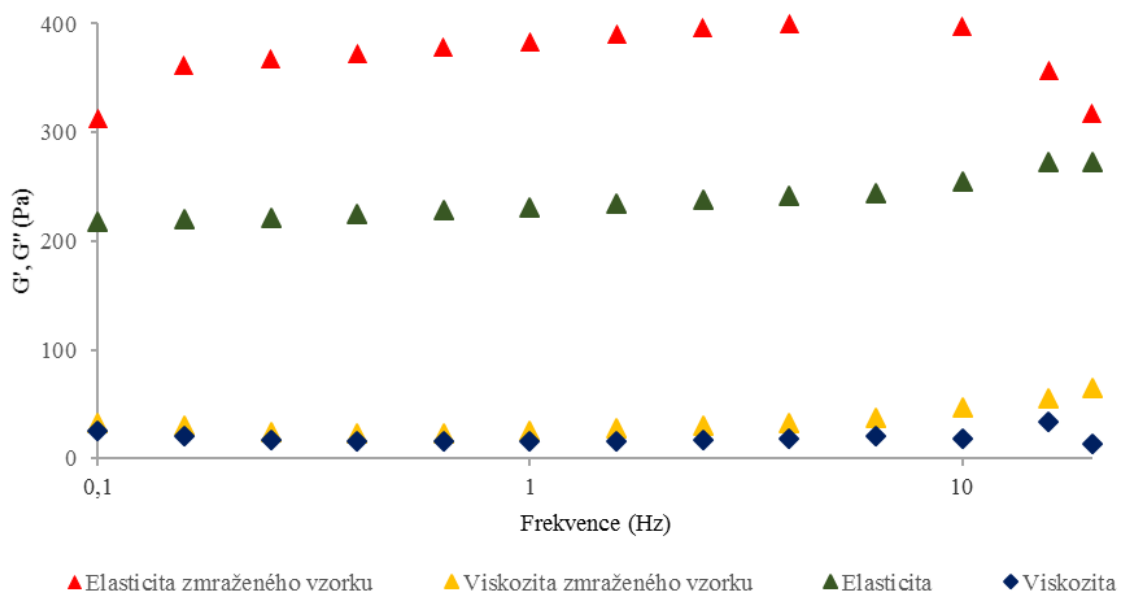
Příloha č. 31: Frequency test nezmraženého hydrogelu C



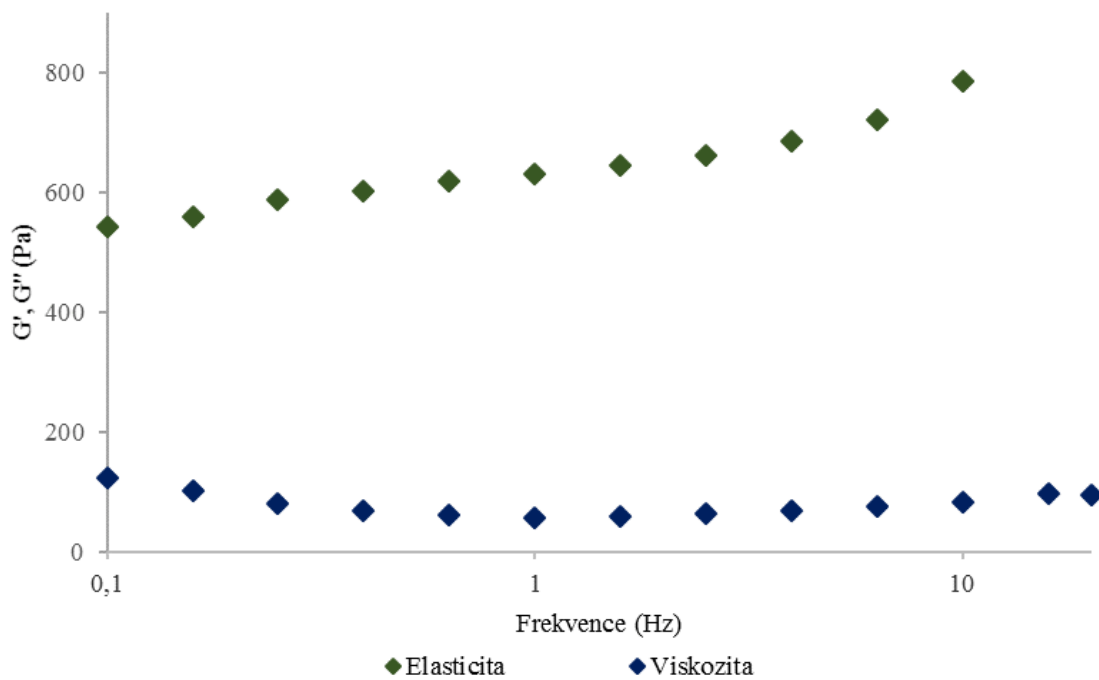
Příloha č. 32 Srovnání frequency testu u nezmraženého a zmraženého hydrogelu C



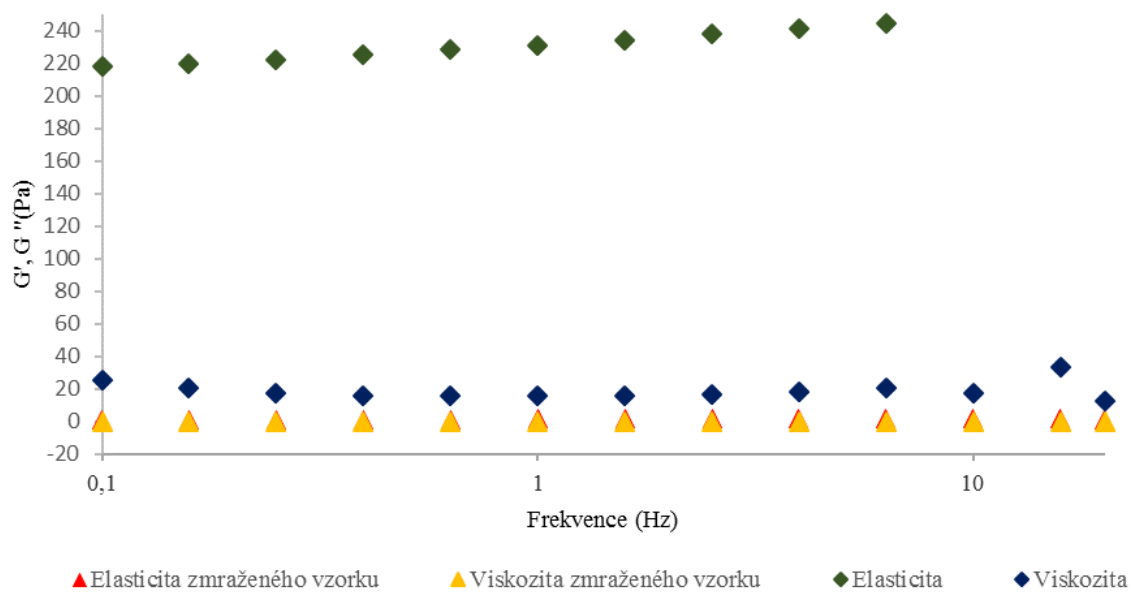
Příloha č. 33: Frequency test nezmraženého hydrogelu D



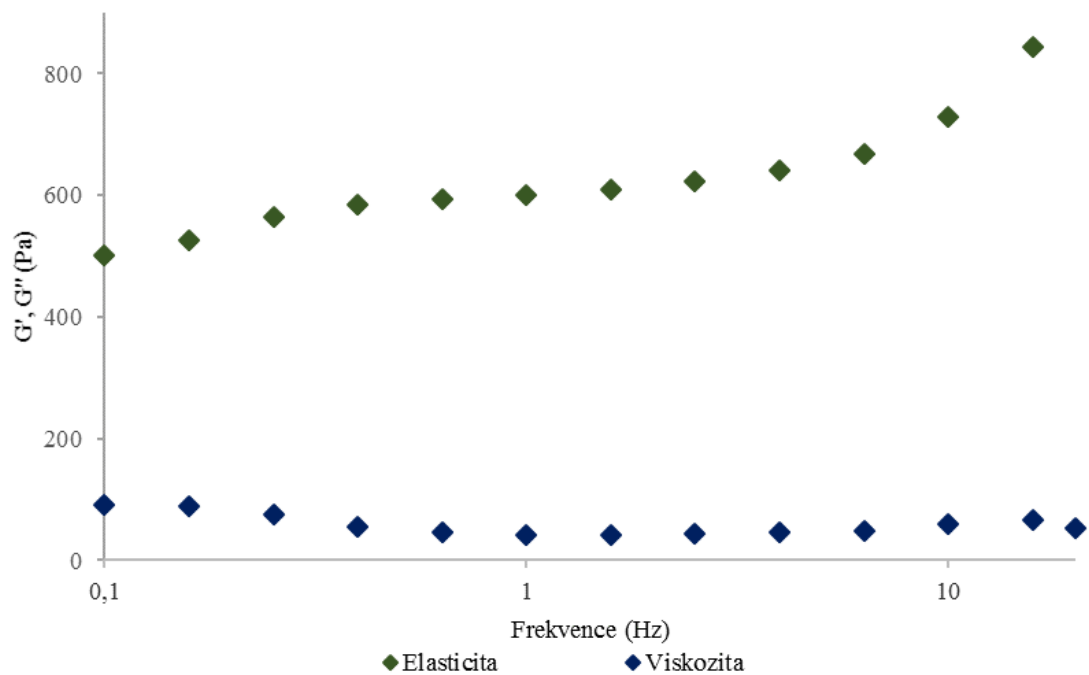
Příloha č. 34 Srovnání frequency testu u nezmraženého a zmraženého hydrogelu D



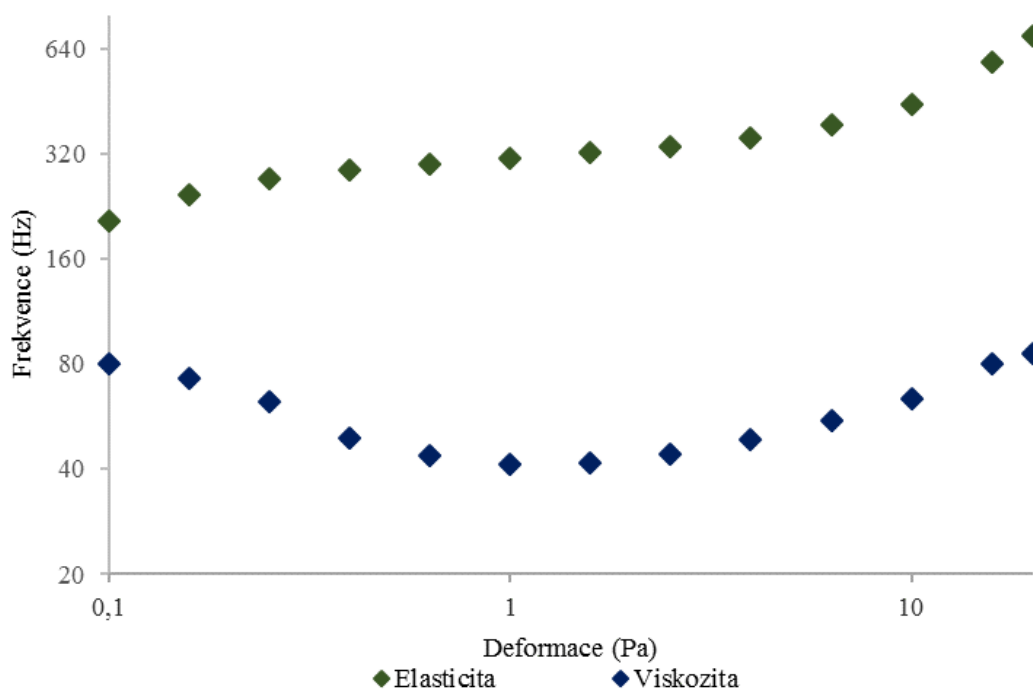
Příloha č. 35: Frequency test nezmraženého hydrogelu E



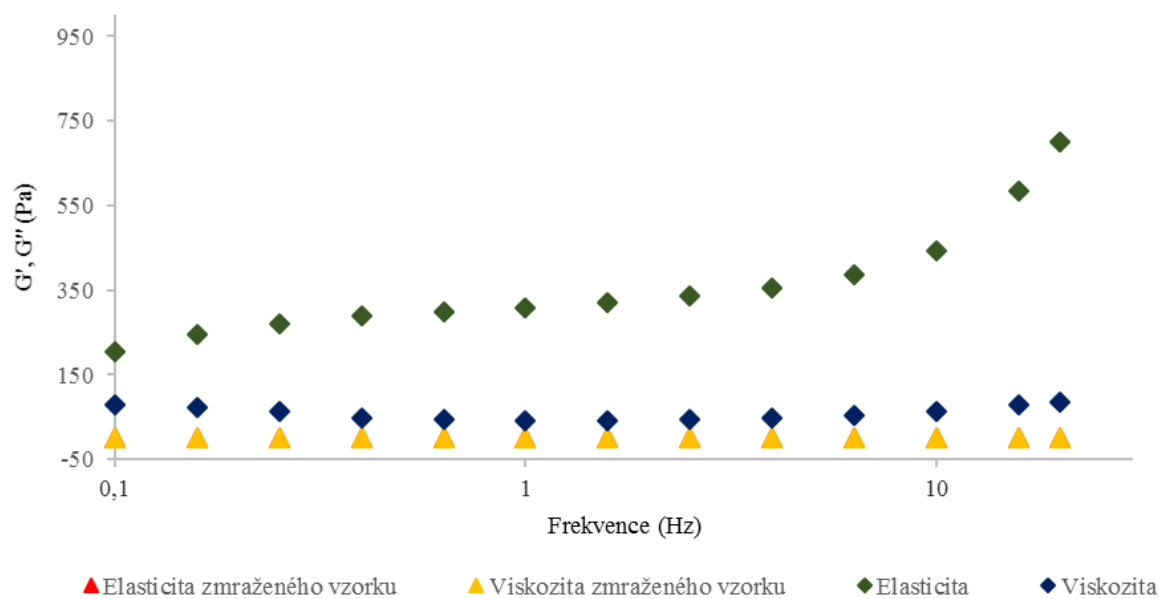
Příloha č. 36 Srovnání frequency testu u nezmraženého a zmraženého hydrogelu E



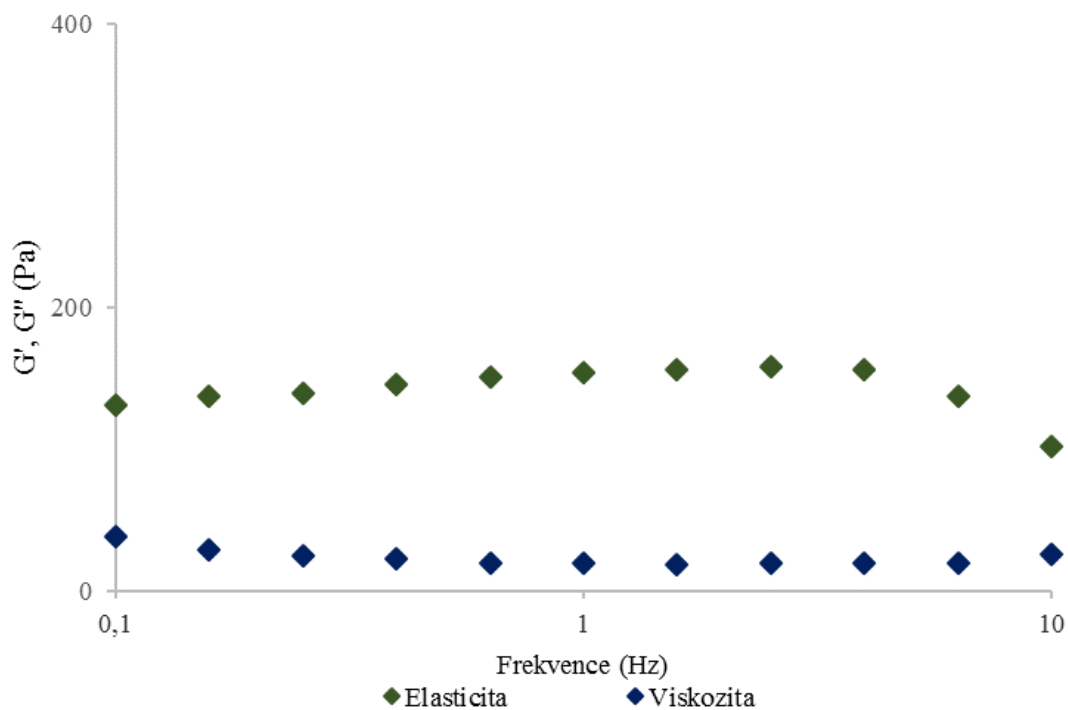
Příloha č. 37: Frequency test nezmraženého hydrogelu F



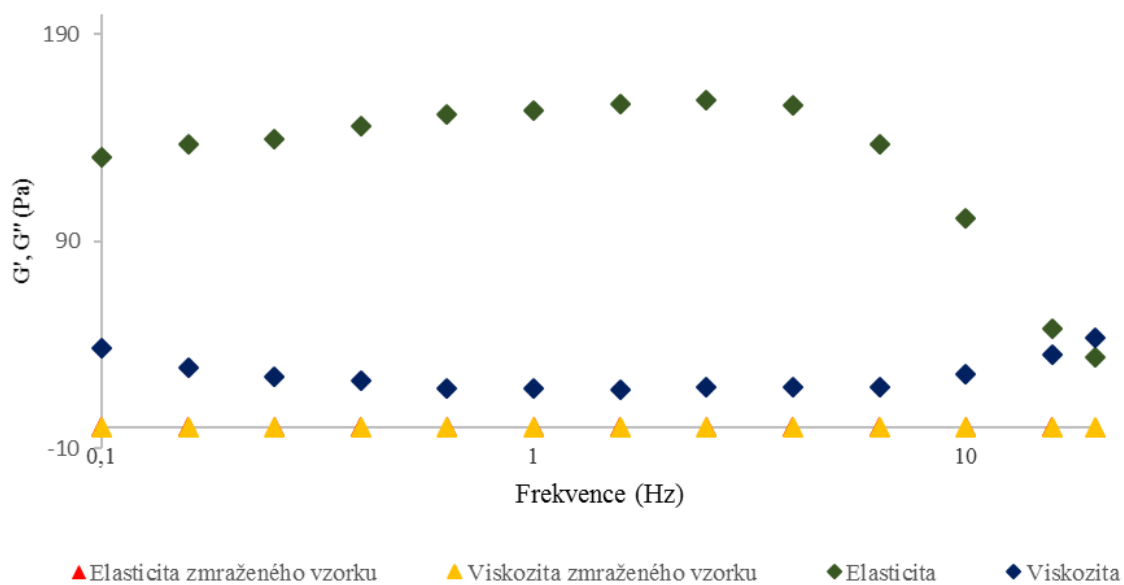
Příloha č. 38: Frequency test nezmraženého hydrogelu G



Příloha č. 39 Srovnání frekvency testu u nezmraženého a zmraženého hydrogelu G



Příloha č. 40: Frequency test nezmraženého hydrogelu H



Příloha č. 41 Srovnání frekvency testu u nezmraženého a zmraženého hydrogelu H



Příloha č. 42 Zasazení semen kukuřice seté



Příloha č. 43 Zasazená semena se zálivkou



Příloha č. 44 Připravená semena kukuřice seté na klíčení



Příloha č. 45 Naklíčená semena kukuřice seté



Příloha č. 46 Naklíčené semeno kukuřice seté

Příloha č. 47 Ukázka růstu kukuřice seté s přidavkem hydrogelu B



2. den růstu



3. den růstu



7. den růstu



9. den růstu



14. den růstu



21. den růstu

Příloha č. 48 Ukázka větvení kořenového systému s přidavkem hydrogelu A



*Naskenový kořenový systém
7. den růstu*



*Naskenový kořenový systém
14. den růstu*



*Naskenový kořenový systém
21. den růstu*

Veškerou fotodokumentaci mám uloženou v Pc a přístupové desce. A vytvořila jsem si zálohu na DVD.