

# **Polymerní systémy pro zvýšení retence vody v půdním prostředí**

Bc. Tomáš Kameníček

---

Diplomová práce  
2018



**Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně**  
Fakulta logistiky a krizového řízení

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta logistiky a krizového řízení  
Ústav ochrany obyvatelstva  
akademický rok: 2017/2018

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Tomáš Kameníček**  
Osobní číslo: **L16368**  
Studijní program: **N3953 Bezpečnost společnosti**  
Studijní obor: **Bezpečnost společnosti**  
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Polymerní systémy pro zvýšení retence vody v půdním prostředí**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární rešerši k problematice degradace půdního fondu vlivem sucha.
2. Detailně se zaměřte na materiály a technologie zvyšující retenci vody v půdě.
3. Zmapujte relevantní legislativu.
4. Připravte a charakterizujte agrohydrogel a laboratorně otestujte jeho vliv na kvalitu půdy.
5. Získané poznatky přehledně zpracujte a diskutujte s dostupnými literárními zdroji.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

[1] Soil and Water Research. Praha: Institut zemědělských a potravinářských informací, 2006–, sv. ISSN 1801-5395. Dostupné také z: <http://agriculturejournals.cz/web/SWR.htm>.

[2] MARTINOVSKÝ, Petr. Environmentální bezpečnost v České republice. Brno: Masarykova univerzita, Fakulta sociálních studií, Mezinárodní politologický ústav, 2016, 215 s. Monografie. ISBN 978-80-210-8191-8.

[3] Knižní a časopisecké zdroje dostupné prostřednictvím Knihovny UTB ve Zlíně.

Další odborná literatura dle doporučení vedoucího diplomové práce.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Martina Hrabalíková, PhD.  
Centrum polymerních systémů

Datum zadání diplomové práce:

3. listopadu 2017

Termín odevzdání diplomové práce:

15. května 2018

V Uherském Hradišti dne 10. listopadu 2017



doc. RNDr. Jiří Dostál, CSc.  
děkan



L.S.



prof. Ing. Dušan Vižar, CSc.  
ředitel ústavu

## PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ / DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- odevzdáním bakalářské/diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby<sup>1)</sup>;
- bakalářská/diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou/diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3<sup>2)</sup>;
- podle § 60<sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60<sup>3)</sup> odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou/diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské/diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské/diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské/diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

### Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské/diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

V Uherském Hradišti 21.5.2018 .....

  
.....  
podpis studenta

1) zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47b Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydávalečně zveřejňuje bakalářské, diplomové, disertační a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy. Vysoká škola disertační práce nezveřejňuje, byla-li již zveřejněna jiným způsobem.

(2) Bakalářské, diplomové, disertační a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

(4) Vysoká škola může odložit zveřejnění bakalářské, diplomové, disertační a rigorózní práce nebo jejich částí, a to po dobu trvání překážky pro zveřejnění, nejdéle však na dobu 3 let. Informace o odložení zveřejnění musí být spolu s odůvodněním zveřejněna na stejném místě, kde jsou zveřejňovány bakalářské, diplomové, disertační a rigorózní práce, již se týká odklad zveřejnění podle věty první, jeden výstisk práce k uchování ministerstvu.

2) zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3;

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užíje-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní vnitřní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

3) zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělení svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdětku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynabýžily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídí k výši výdětku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Tato práce se zabývá problematikou přípravy a charakterizace polymerních systémů přírodního původu za účelem přípravy hydrogelů vhodných pro zvýšení retence vody v půdním prostředí. Teoretická část je věnována degradaci půdy vlivem sucha a dále technologiím a materiálům, které by mohly zvýšit retenci vody v půdě. Studovanými materiály byly polymery rostlinného původu tvořící ve vodném či syrovátkovém prostředí gely. Byla sledována vhodnost jednotlivých typů pro aplikaci v zemědělské půdě. Výsledky ukázaly, že některé z připravených hydrogelových vzorků jsou vhodné pro zpracování do půdy za účelem zvýšení její retenční schopnosti.

Klíčová slova: Hydrogely, retence vody, půda, degradace půdy

## **ABSTRACT**

This work deals with the preparation and characterization of polymer systems of natural origin for the preparation of hydrogels suitable for increasing the retention of water in the soil environment. The theoretical part is devoted to soil degradation due to drought and also to technologies and materials that could increase water retention in soil. The studied materials were polymers of plant origin that formed gels in aqueous or whey media. The suitability of each type for application in agricultural land was monitored. The results showed that some of the prepared hydrogel samples are suitable for soil incorporation to increase their retention capacity.

Keywords: Hydrogels, water retention, soil, soil degradation

## **Poděkování**

Velmi rád bych poděkoval vedoucí mé diplomové práce Ing. Martině Pummerové, Ph.D., za odborné vedení, cenné rady, trpělivost, čas a za pomoc při experimentech, které mi pomohly při tvorbě této práce. Další dík patří Centru polymerních systémů, kde mi bylo umožněno potřebné experimenty provést. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině za podporu, kterou mi poskytla během mého studia.

## **Motto**

„Národ, který ničí půdu, ničí sám sebe“.

Franklin D. Roosevelt

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 DEGRADACE PŮDNÍHO FONDU VLIVEM SUCHA</b> .....	<b>12</b>
1.1 SUCHO.....	12
1.2 DEGRADACE PŮDY .....	15
1.2.1 Eroze půdy .....	17
1.2.2 Zastavování území .....	18
1.2.3 Acidifikace půd .....	19
1.2.4 Dehumifikace .....	19
1.2.5 Utužení půd .....	20
1.2.6 Kontaminace půd .....	20
<b>2 RETENCE VODY V PŮDĚ</b> .....	<b>21</b>
2.1 RETENCE VODY V KRAJINĚ.....	23
2.2 RETENČNÍ SCHOPNOST ZEMĚDĚLSKÝCH PŮD V ČR.....	24
<b>3 MATERIÁLY ZVYŠUJÍCÍ RETENCI VODY V PŮDĚ</b> .....	<b>26</b>
3.1 HYDROGELY.....	26
3.1.1 Ideální hydrogel .....	27
3.1.2 Dělení hydrogelů .....	28
3.1.3 Vlastnosti hydrogelů .....	29
3.1.3.1 Botnání.....	29
3.1.3.2 Biodegradabilita.....	30
3.1.3.3 Mechanické vlastnosti.....	30
3.1.4 Příprava hydrogelů .....	31
3.2 GELOTVORNÉ MATERIÁLY PŘÍRODNÍHO PŮVODU .....	32
3.2.1 Celulóza.....	32
3.2.2 Guarová guma .....	33
3.2.3 Agar.....	33
<b>4 LEGISLATIVA</b> .....	<b>34</b>
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>37</b>
<b>5 CÍL PRÁCE</b> .....	<b>38</b>
<b>6 PŘÍPRAVA HYDROGELŮ</b> .....	<b>39</b>
6.1 POUŽITÉ MATERIÁLY .....	39
6.2 POUŽITÉ POMŮCKY A ZAŘÍZENÍ .....	40
6.3 POSTUP PŘÍPRAVY HYDROGELŮ.....	40
<b>7 ELEMENTÁRNÍ ANALÝZA</b> .....	<b>42</b>
<b>8 RETENCE VODY V PŮDĚ</b> .....	<b>45</b>
8.1 REVERZIBILNÍ SCHOPNOST XEROGELŮ .....	47
<b>9 HYDROLYTICKÁ GRADACE</b> .....	<b>50</b>



<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>53</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>55</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>62</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>63</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>64</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>65</b>

## ÚVOD

Ochrana a péče o zemědělskou a lesní půdu se čím dál více dostává do popředí veřejného zájmu. Důvodů je hned několik. Je to vytrácení se schopnosti zadržet vodu v krajině a s tím související problémy způsobené změnou klimatu a také stále výraznější projevy dvou extrémních situací - povodní a sucha. Na druhou stranu je to právě zvýšení retence vody v půdním prostředí, co by výraznou měrou mohlo pomoci minimalizovat povodně a dlouho trvající sucha, jako jedny z nejničivějších environmentálních rizik, které postihují Českou republiku. Sucho přitom není problém, který by sužoval pouze Českou republiku, nýbrž je to problém celosvětový a s ním jde ruku v ruce i problém s nedostatkem vody. Současně se moderní technologie užívané při hospodaření s půdou zaměřují většinou pouze na využívání a zvyšování funkce produkční. Ovlivňují však velkou měrou všechny ekologické funkce, které se mohou projevit jako degradace půdy a tím snížit její retenční schopnost. Při hospodaření na půdě a při všech způsobech využívání půdy by se proto měl najít vhodný kompromis zaměřený na zachování všech půdních funkcí a s ní spojené funkci retenční tak, aby byla zachována komplexní hodnota půdy i pro příští generace.

Zvýšení retence vody v půdním prostředí se dá realizovat hned několika způsoby. Existují různé technologické postupy, které napomáhají zadržovat vodu v krajině a tím zmírňovat již zmíněné povodně a sucha. Taktéž existují materiály, které díky svému složení dokáží zadržet velké množství vody a tu postupně uvolňovat do svého okolí. Tímto materiálem je myšlen hydrogel, který je předmětem zkoumání této práce. Hydrogel je materiál, který má obrovský potenciál a uplatnění jak v zemědělství, tak i například v potravinářství, kosmetice nebo medicíně. Nalezení vhodného hydrogelového materiálu, který by se aplikoval do zemědělské půdy, by tak mohlo pomoci s řešením již zmíněných problémů.

Společnost všeobecně podceňuje princip předcházení problémům. Následně ale musí vynaložit obrovské úsilí a prostředky na eliminaci následků těchto prohřešků. Aby byly v co největší míře maximalizovány retenční schopnosti krajiny a půd v České republice, je nutné především zvýšit povědomí o jejich dlouhodobých ekonomických a ekologických přínosech, jakož i zajistit dostatečnou podporu jejich realizace. Důsledným využíváním prevence se proto může pozitivně přispět k řešení současných problémů v zemědělství a v životním prostředí.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 DEGRADACE PŮDNÍHO FONDU VLIVEM SUCHA

Jako hlavní přírodní zdroj můžeme zcela jistě označit půdu. Půda není jen primárním výrobním prostředkem v zemědělství, ale je i nedílnou součástí životního prostředí, kde plní mnoho různorodých funkcí, jako je infiltrace vody do půdy, což napomáhá k doplňování zásob podzemních vod, je stanovištěm rostlin a živočichů, je velmi důležitá pro filtraci a akumulaci vody, dále má funkci transformační a asanační. Zpravidla se k nim přidává i funkce půdy jako genové rezervy a prostředí pro organizmy. Tyto funkce existují v různém rozsahu vedle funkce produkční a veškeré hospodaření na půdě by mělo udržovat tyto funkce ve vzájemné rovnováze. Půda je nestabilní systém, který se neustále vyvíjí. Velmi významnou roli hraje také fakt, že jsou půdní funkce vzájemně propojené, díky čemu jsou navzájem zranitelné různými formami degradace půd. [1]

Vliv sucha na degradaci půdy má poměrně široký negativní rozsah. Může se jednat o snížení produkčních schopností zemědělské půdy a snížení biodiverzity půdy. Dalšími důsledky sucha mohou být změny fyzikálních a chemických vlastností půdy či náchylnost půdy ke zhutňování a ztvrdnutí. Degradace půdního fondu vlivem sucha také vysoce zvyšuje náchylnost půdy k následné vodní či větrné erozi. Kvůli déle trvajícimu suchu v kombinaci s nevhodným obhospodařováním může být část zemědělské půdy vystavena zvýšené degradaci a projevům eroze, což se ve výsledku může projevit tvorbou profilových trhlin a také jako snížení produkčního potenciálu. [2]

V konečném důsledku může nedostatek vody vést k ohrožení zdraví a životů obyvatel, snížení hospodářské produkce, negativnímu ekonomickému efektu, zvýšení rizika vzniku a šíření požárů vegetace a způsobovat poškození lesních porostů a porostů zemědělských kultur.

### 1.1 Sucho

Sucho je nahodilý přírodní jev způsobený nedostatkem srážek, který následně vede k poklesu množství vody v různých částech hydrologického cyklu. Pokud množství dostupných vodních zdrojů není dostatečné pro uspokojení požadavků společnosti, hovoříme o nedostatku vody. Sucho i nedostatek vody mohou způsobit hospodářské ztráty v klíčových odvětvích využívajících vodu a zároveň mohou mít environmentální dopady

na biologickou rozmanitost, jakost vody, zhoršování stavu vodních útvarů, úbytek mokřadů, erozi půdy, degradaci a desertifikaci půdy. [3]

Sucho bývá velmi často doprovázeno nadnormálními teplotami vzduchu, nižší relativní vlhkostí vzduchu, zmenšenou oblačností a větším počtem hodin slunečního svitu. Důsledkem těchto faktorů je vyšší výpar neboli evapotranspirace a další prohlubování nedostatku vody. [3]

V souvislosti s tím, jaká část hydrologického cyklu je suchem postižena, lze rozlišovat

- meteorologické sucho,
- zemědělské (půdní) sucho,
- hydrologické sucho,
- sociálně ekonomické sucho.

**Meteorologické sucho** - Meteorologické sucho je přirozený jev, kdy pozorujeme negativní a výraznou odchylku od průměrné hodnoty srážek, která trvá značné časové období a postihuje velké oblasti. Meteorologické sucho může být prohloubeno spolupůsobením ostatních meteorologických prvků, zejména vyšší teplotou vzduchu, vyšším úhrnem slunečního záření, intenzivnějším prouděním vzduchu či jeho nízkou relativní vlhkostí. [4]

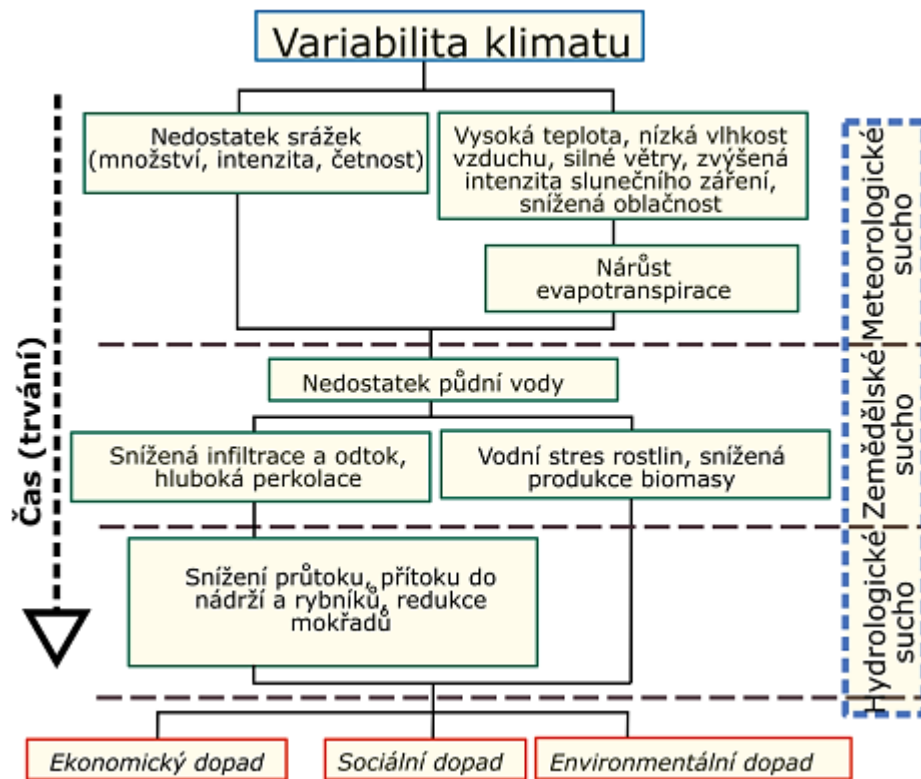
**Zemědělské (půdní) sucho** - Zemědělskému suchu obvykle předchází sucho meteorologické a je charakterizované dlouhodobým nedostatkem vody v půdě a její nedostupností pro růst a vývoj zemědělské produkce a lesních porostů. Faktory, které ovlivňují vznik a průběh zemědělského sucha jsou kromě atmosférických srážek také teplota vzduchu, rychlost větru, sluneční radiace, retenční a infiltrační vlastnosti půdy, terénní poměry, hladina podzemní vody a také vývojová fáze rostlin. [4]

**Hydrologické sucho** - Hydrologické sucho vzniká následkem nedostatku srážek a projevuje se jako nedostatek zdrojů povrchových a podzemních vod. Nedostatek srážek se v podzemní části hydrologického cyklu projevuje s určitým zpožděním. [4]

Vznik hydrologického sucha je ovlivněn i užíváním vody, proto je třeba na hydrologické sucho pohlížet jako na přírodní fenomén, který však může být prohlouben lidským působením. [4]

**Sociálně ekonomické sucho** - Sociálně ekonomické sucho značí nedostatek pitné vody pro obyvatele či užitkové vody pro průmysl. Vzniká následkem přírodních procesů, kdy dochází k výrazným dopadům na společnost, hospodářství a životní prostředí. [4]

Na obrázku 1. je znázorněn proces propagace sucha. S délkou trvání se sucho postupně projevuje v dalších částech hydrologického cyklu.



Obrázek 1. Propagace sucha do jednotlivých částí hydrologického cyklu. [3]

Dopady sucha na krajinu nejsou jen výsledkem průběhu meteorologických jevů, ale z velké části i způsobem hospodaření v krajině a negativních důsledků degradace a trvalého záboru půd. Stávajícím způsobem hospodaření na zemědělských půdách, ale také na historicky zatížených lesních půdách či v zastavěném území s významným podílem zpevněných ploch s rychlým odvodem vody, došlo ke snížení infiltračních schopností krajiny a tím byla významně snížena její retenční kapacita. Dochází tak ke změnám jednotlivých fází oběhu vody. Snížení retenční kapacity krajiny vede nejen k výskytům sucha, ale i k povodním a narušení tepelného režimu krajiny, v důsledku se tedy jedná o narušení celkového mikroklimatu v postižených oblastech. [1] [5]

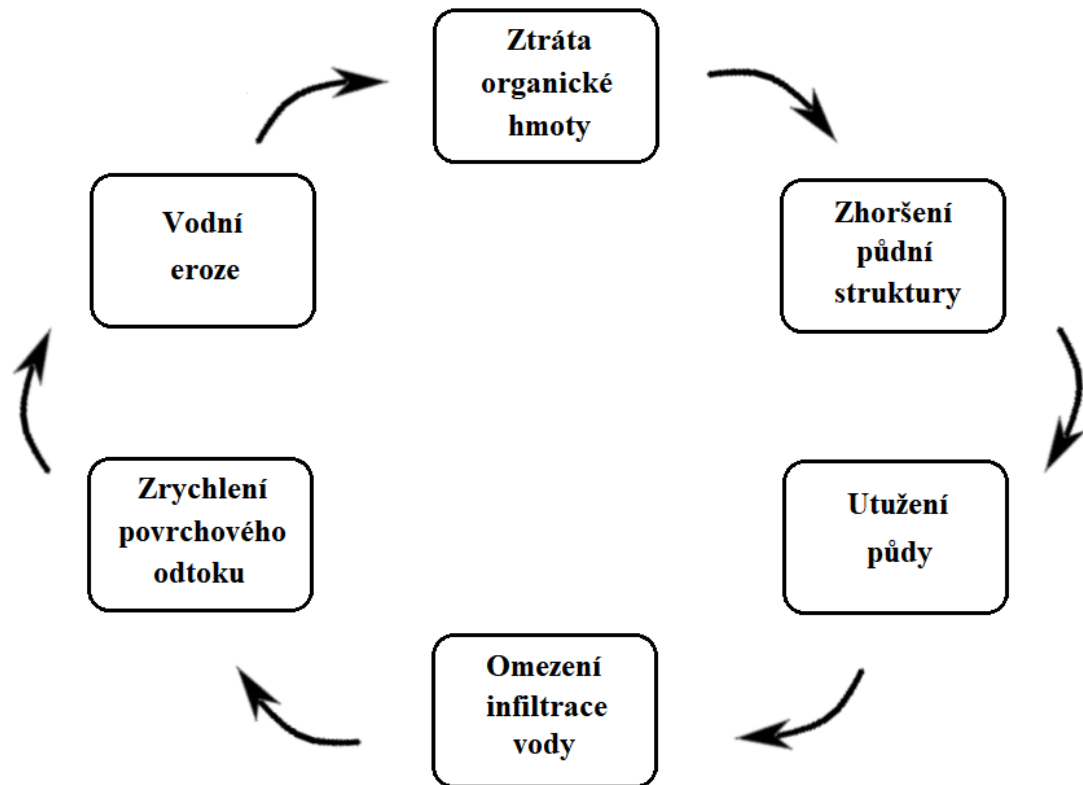
Zásadním problémem při výskytu dlouhodobého sucha je nedostatek vody ve zdrojích, které zajišťují potřeby obyvatelstva, prvků kritické infrastruktury, ekosystémů a s tím související omezení jejich schopnosti zajišťovat klíčové ekosystémové či společenské služby. V důsledku sucha dochází také k rozvoji zátěžových biologických procesů

v hydrosféře např. hnilobné procesy, rozvoj nežádoucích vodních mikroorganismů, nízký obsah kyslíku ve vodě a snížení kvality a dostupnosti pitné i užitkové vody ve zdrojích. [6]

## 1.2 Degradace půdy

V současné době dochází v České republice k velmi závažným degradacím půd, a tím k poškozování jejich funkcí. Degradace půd může být za určitých okolností velmi rychlá, přitom procesy jejího vytváření a regenerace jsou extrémně pomalé. V zásadě se ale jedná o proces pomalý, avšak jeho důsledky mohou vést k omezení nebo až úplnému zničení cenných funkcí půdy. [7]

Mezi hlavní faktory, které způsobují ztrátu půd nebo její degradaci, patří zejména vodní a větrná eroze, utužení půd, zastavování území, ztráta organické hmoty, acidifikace nebo kontaminace půd. Dále zde lze zařadit i negativní vlivy intenzivního a neustále rozšiřujícího se zemědělství. Problém degradace půd umocňuje skutečnost, že všechny tyto typy degradace spolu vzájemně souvisí, jak je možno vidět na obrázku 2. Převažující typ degradace tedy podmiňuje vznik dalších a vznikne tak řetězová reakce, kterou lze jen velmi obtížně zastavit a půdu navrátit do původního stavu. [1] [8]



Obrázek 2. Řetězová reakce degradačních procesů. [7]

Dalším faktorem, který napomáhá k degradaci půdy, je vysoký podíl pronajaté půdy v České republice. Z více než 80 % se hospodaří právě na půdě pronajaté, chybí zde vztah zemědělce k půdě. To může vést k menší motivaci ke kvalitní péči o půdu a o snahu k okamžitému zisku bez ohledu na budoucí stav půdy. [7]

Podle situační a výhledové zprávy o půdě Ministerstva zemědělství ČR patří mezi hlavní degradační procesy v České republice:

- eroze půdy,
- zastavování území,
- acidifikace půd,
- ztráta humusu (dehumifikace),
- utužení půd,
- kontaminace půd. [8]



### 1.2.1 Eroze půdy

Erozi lze definovat jako přirozený proces rozrušování a transportu objektů na zemském povrchu. Příčinou eroze je mechanické působení pohybujících se okolních látek, především větru a vody. Eroze je jedním z nejvýznamnějších přirozených jevů, který vede ke změnám krajiny. Z časového hlediska rozlišujeme dva druhy eroze: [9]

- erozi normální (geologickou)
- erozi zrychlenou (vzniká antropogenní činností).

Normální eroze neustále přetváří reliéf území, je přirozená a tyto procesy probíhají postupně a jsou z hlediska lidské generace prakticky nepozorovatelné. Lidská činnost však tento proces většinou velmi urychluje a dochází tak k tzv. zrychlené erozi půdy. Její intenzita je 10-1000x vyšší než normální eroze. Půdní částice se touto erozí smývají v takovém rozsahu, že nemohou být nahrazeny půdotvorným procesem z půdního podkladu. Zrychlená eroze je tak velmi vážným celosvětovým problémem, značně ohrožující produkční a mimoprodukční funkci půd. [8]

**Vodní eroze** půdy je přírodní proces, při kterém dochází k rozrušování půdního povrchu působením vody, transportu půdních částic na jiné místo a jejich následnému usazování.

Na vznik vodní eroze má největší vliv sklonitost a délka pozemku po spádnici, dále pak vegetační pokryv, vlastnosti půdy a její náchylnost k erozi, přítomnost protierozních opatření a četnost výskytu přívalových srážek. Díky intenzifikaci zemědělské výroby v minulosti, jsou v České republice největší půdní bloky v Evropě, což průběh vodní eroze jen podporuje. Navíc byly při scelování pozemků ve velkém rušeny hydrografické a další krajinné prvky (rozorání mezí, polních cest, likvidace rozptýlené zeleně apod.), které zrychlenou erozi účinně omezovaly. Pokud jsou tato fakta přehlížena při plánování osevních postupů, zpracování půdy a dalších operacích, zejména na svažitéch pozemcích, dochází k intenzivní vodní erozi. Nejkritičtější částí roku je v této souvislosti období červen až srpen, kdy se odehrává 80 % všech erozně nebezpečných dešťů. [10]

Hlavním důsledkem vodní eroze je zmenšení mocnosti půdního profilu a ochuzení zemědělské půdy o její nejurodnější část (ornici). Dále zhoršuje fyzikálně-chemické vlastnosti půd, zvyšuje šterkovitost, snižuje obsah živin a humusu, poškozují plodiny a kultury, znesnadňuje pohyb strojů po pozemcích a způsobuje ztráty osiv a sadby, hnojiv a přípravků na ochranu rostlin. Navíc transportované půdní částice a na nich vázané látky znečišťují vodní zdroje a zanášejí akumulací prostory nádrží, snižují průtočnou kapacitu

toků, vyvolávají zakalení povrchových vod, zhoršují prostředí pro vodní organismy, zvyšují náklady na úpravu vody a těžbu usazenin. V České republice je vodní eroze jedním z nejzávažnějších typů degradace půd a potenciálně ohrožuje více jak 50 % zemědělské půdy. [8]

**Větrná eroze** půdy je přírodní proces, při kterém dochází k odnosu půdních částic z povrchu půdy mechanickou silou větru, a následnému transportu těchto částic na jiné místo, kde se usazují. Větrnou erozi lze rozdělit na erozi saltací, při které přenáší vítr půdní částice jen po půdním povrchu a transport probíhá jen na malé vzdálenosti, dalším typem jsou prашné bouře, při kterých se půdní částice volně vznášejí ve vzduchu a vítr je transportuje na velké vzdálenosti. [1]

Příčiny vzniku větrné eroze jsou zejména nadměrná velikost půdních bloků s jedním druhem plodiny, chybějící větrolamy, aleje a remízky. Odnos půdy větrem je ovlivňován i dalšími faktory, které ovlivňují vazkost půdy a zvyšují odpor částic proti odnosu větrem, především se jedná o chybějící vegetační pokryv. Větrnou erozi může znásobit eroze způsobená suchem. [1]

Ačkoli se mechanismus působení větrné eroze odlišuje od eroze vodní, důsledky bývají téměř stejné. Jedná se o zmenšení mocnosti půdního profilu, hlavně ztrátou ornice. Dále je to poškození fyzikálních i chemických vlastností půd, a s tím související snížení úrodnosti půd. V případě větrné eroze dochází k zanášení komunikací, příkopů a výrazně se zvyšuje prašnost ovzduší. Jemné půdní částice obsahují různé zbytky agrochemikálií, které se pak dostávají do dýchacího ústrojí člověka i ostatních živočichů. [8]

### 1.2.2 Zastavování území

Zastavování území je definováno jako zakrytí půdy nepropustnými materiály, čímž půda ztrácí své přirozené vlastnosti a nemůže tedy zastávat své rozmanité významné funkce. Spolu s erozí je zastavování půdy největším problémem degradace zemědělských půd v současnosti. Mezi příčiny zastavování území patří relativně nízké ceny pozemků, kdy se více vyplatí stavět na zelené louce, než využít plochy v zastavěném území či opravovat starší budovy. [5]

Důsledkem zastavění území je permanentní ztráta půdy a tedy i zničení všech jejích ekologických i produkčních schopností. Dochází tak k úbytku kvalitních orných půd, což znamená také menší dostupnost kvalitních úrodných půd pro budoucí generace.

Snižuje se rovněž biodiverzita v daném území a mění se celkový vzhled krajiny. Dochází k omezení infiltrace a retence, dešťové srážky v zastavěném území tak způsobují lokální povodně. Rovněž není v dostatečné míře doplňována hladina podzemních vod. [8] [5]

### 1.2.3 Acidifikace půd

Acidifikace neboli okyselování je jedním ze závažných typů degradace půd. Acidifikace je přírodní degradační proces, který je možné definovat jako snížení pufrčních schopností půdy. Obecně je to důsledek tvorby kyselin v půdě nebo jejich přísunu zvenčí. Zhoršení kvality půd vlivem acidifikace se může projevit ve snížení sorpčních vlastností půdy. Činnost člověka se negativně projevuje používáním kyselých půdopráškových hnojiv, kyselých dešťů, intenzivními závlahami, ale i monokulturami. [8]

Acidifikace půd má za následek pokles hodnoty pH. Nižší pH půdy pak může mít negativní vliv na výnos pěstovaných plodin. Při poklesu pH hrozí nedostatek některých živin potřebných pro růst rostlin, rovněž se výrazně zvyšuje rozpustnost většiny rizikových prvků, které se následně uvolňují do půdního roztoku, kde mohou být přijímány rostlinami a vstupovat tak do potravního řetězce. S poklesem pH půdy souvisí i destrukce půdní struktury a zvýšení náchylnosti půdy k erozi. [8]

### 1.2.4 Dehumifikace

Dehumifikace je charakteristická tím, že dochází k úbytkům organické hmoty v půdě a to díky působení vodní a větrné eroze, zvýšenou mineralizací po odvodnění, zvýšenou aerací po rozorání luk a pastvin anebo nedodáváním organické hmoty do půdy při intenzivní produkci. Zásadní vliv na obsah humusu má využití půdy, kdy vyšší obsah humusu vykazují půdy zatravněné než půdy pravidelně procházející orbou. Udržování příznivého obsahu humusu závisí na způsobu hospodaření, kdy největším nebezpečím je nedostatečné doplňování kvalitní organické hmoty do půdy. [8]

Důsledky úbytku půdní organické hmoty se projevují především jako zvýšená náchylnost k vodní a větrné erozi, fyzikální degradace, snížení pufrční schopnosti půdy a zvýšení zranitelnosti acidifikací, snížení filtračních schopností a retenční kapacity půdy, negativní vliv na výživu rostlin a v neposlední řadě snížení produkční schopnosti půdy v důsledku všech předchozích bodů. [8]

### 1.2.5 Utužení půd

Utužení půd, též pedokompakce, je způsobováno především utužováním půd těžkými mechanismy obzvláště za nevhodných vlhkostních podmínek, vysokou závlahou půdy, pěstováním monokultur, vysokým hnojením draselnými hnojivami, acidifikací půdy a úbytkem půdní organické hmoty. Vyznačuje se degradací půdní struktury, mající za následek změny pórovitosti. Snížení pórovitosti zmenšuje retenční vodní kapacitu a také snižuje infiltraci a propustnost půdy. Tím, že je omezena infiltrace, se urychluje povrchový odtok a dochází k zvýšené náchylnosti k erozi. [8]

Utužení půd degraduje fyzikální vlastnosti půdy, rozpadá se její struktura a na povrchu se vytváří krusty, což napomáhá dalším degradačním procesům. Pedokompakce tedy negativně ovlivňuje produkční a mimoprodukční funkce půdy a zhoršuje podmínky pro vývoj rostlin. [8]

### 1.2.6 Kontaminace půd

Kontaminace půd je velmi významným degradačním procesem v celosvětovém měřítku. Nejvíce je půda kontaminována vlivem průmyslové činnosti a dopravy, kdy do sebe půda absorbuje chemikálie a těžké kovy. Další příčinou kontaminace jsou odpadní vody, skládky nebo přímé vypouštění průmyslových odpadů do půdy. Významnou roli může mít i nadměrné používání agrochemikálií a pesticidů, včetně jejich poddruhů v zemědělství. [8]

Závažným problémem kontaminace půd je přestup kontaminantů do dalších složek prostředí, například do povrchové a podzemní vody a také do potravního řetězce. Dále dochází k narušení základních funkcí půdy a tím může být ohrožena jak kvalitativně, tak kvantitativně rostlinná produkce. Jedná-li se o výrazné zvýšení obsahu kontaminantů v půdě, pak se dá hovořit o přímém ohrožení lidského zdraví a to zejména u osob, které se dlouhodobě na takové půdě pohybují. Ve většině případů se ale nejedná o tak markantní zvýšení kontaminace, které by mělo přinést významnější riziko. [8]

## 2 RETENCE VODY V PŮDĚ

Zhoršující se stav půdy a pokles půdní úrodnosti jsou v zemědělství aktuální problém. Eroze půdy, technogenní zhutňování půdy a narušení půdní struktury mají za následek změny vláhového režimu se sníženou retencí vody v krajině. Povodně a extrémní sucho se v posledním desetiletí pravidelně opakují. Za hlavní negativní faktory, které působí na kvalitu půdy a vodní režim v krajině lze oprávněně považovat velkoplošný způsob hospodaření na zemědělské půdě a to nejen pěstování hlavních zemědělských komodit, ale i velkoplošné pěstování „energetických“ plodin.

Jako technologie, které zvyšují retenci vody v půdě, lze chápat řadu činností a přístupů, jež zlepšují a znovu navracejí přirozenou schopnost krajiny zadržovat vodu v době nadbytku a postupně ji uvolňovat v době nízkých srážkových úhrnů.

Pro lepší přehled je uvedeno následující schéma (obr. 3) komplexní podpory retence vody v krajině.



Obrázek 3. Komplexní podpora retence vody v krajině. [11]

Podle tohoto schématu mohou být technologie zvyšující retenci vody v půdě rozděleny do tří hlavních skupin. Opatření na tocích a nivách, v ploše povodí a v sídlech. Vzhledem k očekávanému častějšímu výskytu sucha je nutné podporovat opatření přispívající k zadržení vody v krajině a optimalizaci zavlažovacích systémů, a zároveň minimalizovat negativní vliv odvodňovacích zařízení na zrychlený odtok vody z krajiny - viz obrázek 4.



Obrázek 4. Nevhodné odvodnění zemědělské půdy, lesů a sídel. [11]

Proto je důležité zpomalit povrchový odtok vody a převádět jej na podpovrchový, zadržet vodu v místě dopadu, vrátit prostor vodním tokům a lépe hospodařit s vodou nejen v krajině ale i v sídlech. Dále je žádoucí chránit a zlepšovat vlastnosti lesních a zemědělských půd, a v neposlední řadě zlepšit přístup ke krajině a jejímu využívání jako takové.

To může mimo jiné obsahovat odvodnění zemědělských pozemků odvodňovacími systémy s přirozenou nebo řízenou regulací odtoku se současnou kompenzací změny vodního režimu. Což zahrnuje např. obnovou mokřadů a rašelinišť, zatravnování, výstavbu malých vodních nádrží či poldrů, a nové odvodnění provádět pouze se současnou kompenzací změny vodního režimu. Z hlediska zvýšení retence vody v půdě a zemědělské krajině je také žádoucí podporovat revitalizaci drobných vodních toků, obnovu přirozeného rozlivu v nivách a zároveň rušit odvodňovací zařízení, která již ztratila opodstatnění.

Pro zvýšení retence vody v půdě je také vhodné zakládání tzv. povodňových průlehub, jakožto protierozních opatření. [11] [12]

Kromě retence vody v půdě, se všechny tyto prvky podílejí také na zachování biodiverzity, plní významnou protierozní funkci, jsou nedílnou součástí zemědělské krajiny a spoluvytvářejí její ráz.

Další významnou otázkou v oblasti technologií zvyšujících retenci vody v půdě je urbanizace krajiny neboli její zastavování. Opatření vedoucí ke zvýšení retence vody v zastavěném území jsou zejména minimalizace povrchového odtoku dešťových vod a celkově šetrné hospodaření s vodou. To lze zajistit celou řadou dílčích opatření jako je zachování vodních ploch a obnova přírodě blízkých vodních ploch, zvyšování podílu ploch s propustným povrchem a realizace těchto povrchů na nových zpevněných plochách. Dále pak realizace retenčních objektů na vhodných místech, výstavba infiltračních systémů v rámci stávajících a budoucích ploch městské zeleně, konstrukce vegetačních střech a stěn, jakož i retence dešťové vody s možností jejího přímého využití. [5]

Sídelní zeleň a vodní plochy společně se zelenými střechami a udržitelným odvodňovacím systémem nabízí potenciál k adaptaci měst na klimatickou změnu a zároveň možnost zvýšení retence vody v urbanizované krajině.

V kontextu změny klimatu jsou uvedené problémy a potřebná opatření velmi aktuální. Národním strategickým materiálem, který tuto problematiku uceleně řeší, je Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR. Strategie vznikla v široké meziresortní spolupráci na základě podkladových studií Českého hydrometeorologického ústavu, byla revidována Centrem pro otázky životního prostředí Univerzity Karlovy v Praze a konzultována s Centrem výzkumu globální změny akademie věd ČR. Schválena byla usnesením vlády ČR č. 861 ze dne 26. 10. 2015. [13]

## 2.1 Retence vody v krajině

Schopnost zadržet v krajině vodu, je jednou z její nejdůležitějších vlastností. Retenční schopnost krajiny lze definovat jako schopnost půdy zadržovat vodu a tím zpomalit odtok srážkových vod. Tímto dochází k vyrovnanějšímu hydrologickému cyklu, menšímu výskytu povodní či sucha, ale také k menšímu odplavování živin z půdy. Retence je současně spojena s dalšími procesy, jako je evapotranspirace a vsak vody do podloží. Je nutno zdůraznit, že retence vody znamená pouze dočasné zadržení vody v krajině. [14]

Zadržování vody v krajině se děje buď umělou, nebo přirozenou formou.

**Přirozená retence vody** v krajině se omezuje pouze na nezastavěná místa. Tato voda může být dočasně zadržena například na povrchu lesního stromoví, travního porostu, křovin, na povrchu půdy, v půdním profilu, v korytě toku nebo ve vodní nádrži. [14]

**Umělé zadržování vody** v krajině se realizuje prostřednictvím antropogenních činností, jako je stavba vodních děl, přehradních nádrží, nahrazování orné půdy loukami a pastvinami nebo výsadba rychle rostoucích dřevin. [14]

Význam retence spočívá také v tom, že se voda v krajině udrží i do mimosrážkového období a tím se sníží její deficit v období sucha. Kromě zmenšení následků povodní a sucha má vyšší retence vody v krajině i množství dalších pozitivních dopadů. Pomáhá např. snižovat teplotní extrémy a zlepšuje místní mikroklima. Krajina je díky tomu rozmanitější, což se příznivě odráží v biodiverzitě. [15] [16]

Udržování a zvyšování schopnosti půdy vázat vodu je rovněž jednou ze základních podmínek adaptace zemědělství na sucha. Jednou z možností, jak tuto schopnost zvýšit, je vývoj a podpora úpravy a použití upravených kalů z ČOV na zemědělské půdě. Významná bude také výstavba nových a modernizace stávajících zavlažovacích systémů, které přispívají k efektivnímu využití závlahové vody a umožňují zachovat rostlinnou produkci i v případě výskytu delších period zemědělského sucha. Závlahové systémy by měly být založeny na principu úsporných a efektivních závlah, které pouze doplňují vláhový deficit, aniž by ničily půdní strukturu a nepříznivě ovlivňovaly dalších produkční podmínky. Otázkou však kromě nákladů na budování, renovaci či samotný provoz zůstává dostupnost vody v době sucha, neboť právě v době nejvyššího tlaku na potřebu vody lze očekávat nejnižší průtoky ve vodních tocích. [13]

## 2.2 Retenční schopnost zemědělských půd v ČR

Podle aktuálních výzkumů se oproti stavu před rokem 1950 snížila retenční kapacita půdy v České republice přibližně o 40 %. Vodní erozi je ohroženo téměř 60 % půdy a větrnou dalších 14 % z celkové půdní výměry ČR. [17]

Celková možná kapacita, respektive retenční schopnost zemědělských půd v ČR, je 8,4 mld. m<sup>3</sup> vody. Skutečný stav vzhledem k poškození erozí, utužení půd, dehumifikaci a ztrátě biologické aktivity je však o více než třetinu menší. Přesněji se tedy jedná o 5,04 mld. m<sup>3</sup> vody, kterou je zemědělská půda v ČR schopna pojmout. [7]



Hlavní podmínkou pro zadržení dešťové vody na orné půdě je její struktura spolu s dostatkem organických látek, které jsou zdrojem energie pro půdní edafon a její biologickou aktivitu. Organismy v půdě vytvářejí optimální poměr velikostí pórů pro pěstované plodiny a zvyšují tak úrodnost půdy. Zlepšování půdní struktury zapravováním organických látek má trvalý charakter, ale pozitivní a dlouhodobější vliv na infiltraci vody do půdy lze očekávat až po víceleté pravidelné aplikaci. [18]

Významnou roli zde tedy hraje živočišná produkce a s tím související osevnické postupy. Navýšením stavu skotu by se významně zvýšila dodávka organické hmoty do půdy, což by mělo pozitivní vliv na její retenční schopnost a protierozní vlastnosti. Je odhadováno, že při dodávání organické hmoty do půdy dle doporučených pokynů a po aplikaci půdoochranných technologií, jako je podpora víceletých pícnin apod., lze očekávat zlepšení stavu z původních 5,04 mld. m<sup>3</sup> vody na 6,5 mld. m<sup>3</sup> vody do jednoho roku, na 6,8 mld. m<sup>3</sup> vody do tří let a na 7,1 mld. m<sup>3</sup> vody do deseti let. Z čehož vyplývá, že nejvyššího efektu je možno dosáhnout hned po aplikaci zlepšujícího opatření v prvním roce. [19] [7]

### 3 MATERIÁLY ZVYŠUJÍCÍ RETENCI VODY V PŮDĚ

Existují různé materiály mající schopnost zadržovat vodu v krajině. Nejrozšířenějším materiálem zadržujícím vodu v krajině je bezesporu půda. Půda má zároveň největší potenciál v retenci vody, avšak s její degradací se tato schopnost snižuje. Jedním z materiálů, které retenci vody v půdě zvyšují, je tzv. hydrogel. Následující řádky se budou věnovat právě hydrogelům a jejich obecné charakterizaci, neboť jsou předmětem zkoumání v praktické části diplomové práce.

#### 3.1 Hydrogely

Gely jsou látky, které mají schopnost želatinovat. Proces vzniku gelu se nazývá gelace. Samotná gelace probíhá v několika etapách, kdy se nejprve vytvoří sol, který přechází přes viskózní a polotuhá stádia vlivem vnějších faktorů, z nichž nejvýznamnějším je teplota, až na gel. Takto vzniklý gel je definován jako trojrozměrný makromolekulární systém, který má schopnost botnat do rovnovážného stavu, aniž by došlo k jeho rozpuštění. Právě botnání je charakteristickou vlastností polymerních sítí, kdy rozpouštědlo prostupuje do této sítě a následkem toho narůstá její objem. Síť zůstává tuhou látkou i po mnohonásobném zvětšení objemu a zachovává si určité mechanické vlastnosti, zejména elasticitu. [20] [21]

Polymerní síť může vzniknout pouze tehdy, pokud se vytvoří dostatečně velký počet intermolekulárních spojů, tzv. uzlů sítě. Tato spojení mohou mít charakter buď chemický, nebo fyzikální. Jestliže uzly sítě vzniknou chemickou reakcí, označují se jako kovalentně síťované gely. V případě, že uzly vznikají prostřednictvím mezimolekulových interakcí, které nejsou spjaty se vznikem chemických vazeb, jedná se o fyzikálně síťované gely. [22]

Polymerní gely jsou v podstatě disperzní systémy, které se skládají z disperzního prostředí a disperzního podílu. Pokud tento systém obsahuje jak disperzní podíl, tak i disperzní prostředí, hovoříme o lyogelu. Dále se pak lyogely mohou dělit podle povahy disperzního prostředí na hydrogely, kde je tímto disperzním prostředím voda, a na organogely, kde je jím organická látka. Systém, který naopak disperzní prostředí neobsahuje, se nazývá xerogel a vlastně se jedná o vysušený lyogel. [23] [24]

Gely, u kterých se vysušením a následným botnáním nemění jejich vlastnosti, se označují jako reverzibilní tedy vratné. Na druhou stranu ty gely, které se vysuší a následné botnání

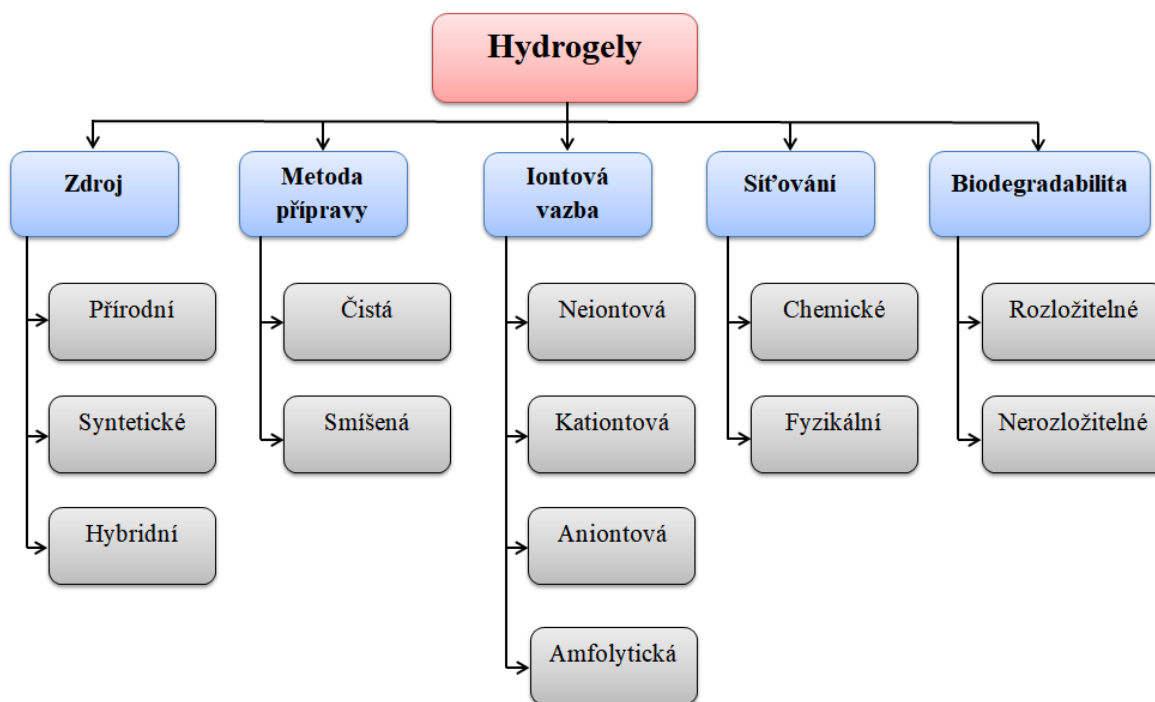
způsobí změnu ve strukturních či mechanických vlastnostech, se označují jako ireverzibilní, tedy nevratné gely. [24]

### 3.1.1 Ideální hydrogel

Funkční vlastnosti ideálního hydrogelového materiálu v teoretické rovině jsou následující. Nejvyšší absorpční kapacita, tedy maximální nabotnutí až do rovnovážného stavu v daném rozpouštědle. Požadovaná míra absorpce se může lišit v závislosti na požadavku aplikace. Udržitelná absorpční schopnost i při různých typech zatížení. Nejvyšší trvanlivost a stabilita v prostředí bobtnání a během skladování. Nejvyšší biologická odbouratelnost bez tvorby toxických látek a zbytkových polutantů po degradaci. Neutrální pH po nabotnutí, pH se může lišit v závislosti na požadavku aplikace. Hydrogel by měl být bezbarvý, bez zápachu a absolutně netoxický. Důležitou vlastností hydrogelu v oblasti používání v zemědělství je reverzibilní schopnost, tedy možnost opětovného nabotnutí po vysušení. Prioritou v dnešní době je co nejnižší cena a náklady na výrobu. [20]

### 3.1.2 Dělení hydrogelů

Hydrogely se dají rozdělit do několika skupin a lze je klasifikovat podle řady hledisek. Některé způsoby rozdělení na sebe mohou navazovat a souviset spolu. Mezi hlavní způsoby klasifikace patří dělení podle zdroje, připravované metody, vazby iontů, druhu síťování a dle biodegradability. Dělení hydrogelů je přehledně uvedeno na obrázku 5.



Obrázek 5. Schéma dělení hydrogelů. [25]

V případě rozdělení hydrogelů podle původu jejich složek je možné jmenovat tři skupiny. První jsou hydrogely přírodní, jejichž složkami jsou přírodní polymery jako například chitosan nebo celulóza. Druhou skupinu tvoří polymery syntetické, mezi které patří například polyethylenglykol, též známý jako PEG. Poslední skupinu uzavírají hydrogely hybridní, které vznikají kombinací přírodních a syntetických polymerů. [20]

Podle připravované metody pak rozdělujeme hydrogely na systémy tvořené homopolymery nebo kopolymery. Homopolymerní hydrogely jsou složeny jen z jednoho druhu hydrofilního monomeru, který je základní strukturální jednotkou této polymerní sítě. Kopolymerní hydrogely jsou složeny ze dvou nebo více různých monomerů, kde je alespoň jedna složka hydrofilní. Smíšené hydrogely složeny z interpenetrujících polymerních sítí vznikají ze dvou či více polymerních jednotek, které se navzájem prolínají. [20] [26]

Dále lze dělit hydrogely podle druhu síťování, kdy rozlišujeme hydrogely síťované fyzikálně, chemicky či jejich kombinací. Chemické sítě jsou tvořeny kovalentními vazbami vznikajícími v průběhu polymerační reakce. Ke vzniku takových sítí může docházet například polyadicií či polykondenzační reakcí prostřednictvím vícefunkčních reaktantů. Další vznik chemické sítě probíhá prostřednictvím řetězové reakce za přítomnosti komonomeru, který je schopen vytvořit příčné intermolekulární spojení. Druhým typem síťové struktury je vzájemné propletení řetězců a vznik sítě fyzikální. Fyzikální sítě jsou poměrně slabší než sítě chemické a jejich základ je na mezimolekulárních interakcích a kohezní energii řetězců polymeru, přičemž tato energie představuje energii potřebnou k rozrušení mezimolekulárních sil. Nejsilnější mezimolekulární síly jsou tvořeny vodíkovými můstky, slabší se označují jako Van der Waalsovy síly nebo hydrofobní vazby. Pevnost fyzikálních sítí je přímo závislá na vzájemné vzdálenosti jednotlivých řetězců. [21] [22]

Poslední způsob klasifikace hydrogelů je na základě biodegradability, zde dělíme hydrogely na rozložitelné a nerozložitelné. Zda se hydrogel rozloží či nerozloží, závisí na typu látky, která byla použita při přípravě. Látky, které se samy rozloží, bývají ve většině případů přírodního původu. Na druhé straně látky, které se samy nerozloží, bývají převážně syntetického původu. Schopnost hydrogelu rozložit se, nahrává postupnému uvolňování vody v půdě, kterou nekontaminuje, ale právě naopak do ní může transportovat další obohacující látky a zvýšit tak například její biodiverzitu nebo produkční schopnosti. [27]

### **3.1.3 Vlastnosti hydrogelů**

Hydrogel je materiál, který dokáže ve svojí struktuře zadržet až 99% vody. Hydrogely se pohybují na hranici mezi kapalinami a pevnými látkami. Hmotností a objemem se totiž podobají kapalinám, kdežto jejich soudržnost je posunuje spíše směrem k pevným látkám. Mezi základní vlastnosti hydrogelů patří botnací vlastnosti, mechanické vlastnosti a v některých případech biodegradabilita.

#### **3.1.3.1 Botnání**

Jednou z největších výhod hydrogelu je jeho schopnost botnat neboli schopnost absorbovat do své struktury kapalinu. Pro lepší představu lze botnání charakterizovat jako volné místo uvnitř polymerních sítí v xerogelu, do kterého proniká rozpouštědlo a toto místo vyplní.

Obecně se uvádí dva typy botnání, a to omezené a neomezené. V případě omezeného botnání přijímá xerogel kapalinu pouze do určité maximální hranice, kdy se proces zastaví ve stádiu lyogelu. Tento stav se nazývá rovnovážný. Omezené botnání funguje díky chemickému síťování, kde existují příčné kovalentní vazby, které zabraňují úplnému oddělení lineárních částí řetězců a ty se mohou oddálit pouze tak, aby nedošlo k přerušení vazebné sítě. Neomezené botnání je pohlcování kapaliny hydrogelem, které se nezastavuje a za přítomnosti dostatečného množství rozpouštědla dochází k takovému stupni nabotnání, kdy se makromolekuly polymeru uvolňují do prostředí. Tento druh botnání je typický pro xerogely s fyzikálními spoji. [23] [28]

### **3.1.3.2 Biodegradabilita**

Biodegradace neboli biologický rozklad je speciálním případem degradace, při níž dochází k rozkladu polymerů působením biologických činitelů. Biodegradace probíhá za aerobních či anaerobních podmínek. U aerobních podmínek jsou koncovými produkty oxid uhličitý, voda a přírůstek biomasy. U anaerobních podmínek vzniká mimo jiné i methan. Rozklad se může projevovat buď úbytkem hmotnosti či ztrátou funkčnosti materiálu. [27]

Skupinu rozložitelných materiálů tvoří jak látky syntetické, tak i látky přírodní, které však převažují. Přírodní látky se nazývají biopolymery a za stanovených podmínek jsou zcela rozložitelné. Výhodou je tedy právě biologická degradabilita, kompostovatelnost, a také že po sobě nezanechávají žádné potenciálně škodlivé polutanty. [27]

Jedním z nejdůležitějších faktorů biodegradace je její rychlost, respektive doba, za kterou se materiál rozloží. Rychlost biodegradace ovlivňuje řada činitelů. Jedná se například o strukturu polymerního řetězce, typ síťování nebo druh materiálu, z kterého je hydrogel vyroben. Dále je biodegradace ovlivňována prostředím, v němž se polymer nachází. Prostředím je myšlena zejména jeho teplota a stupeň pH, ale také například množství mikroorganismů, které se na rozkladu podílejí. [27] [29]

### **3.1.3.3 Mechanické vlastnosti**

Mechanickými vlastnostmi rozumíme komplex vlastností, které vykazují polymery vlivem působení vnějších (mechanických) sil. Tyto vlastnosti závisí především na fázovém stavu polymerů, na teplotě, na čase, na velikosti a směru působení vnější síly. Studium tvarových změn látek, vzniklých působením vnějších sil, se zabývá vědní disciplína nazývaná reologie. U hydrogelů se reologie věnuje zejména stanovení jejich elastických a viskózních

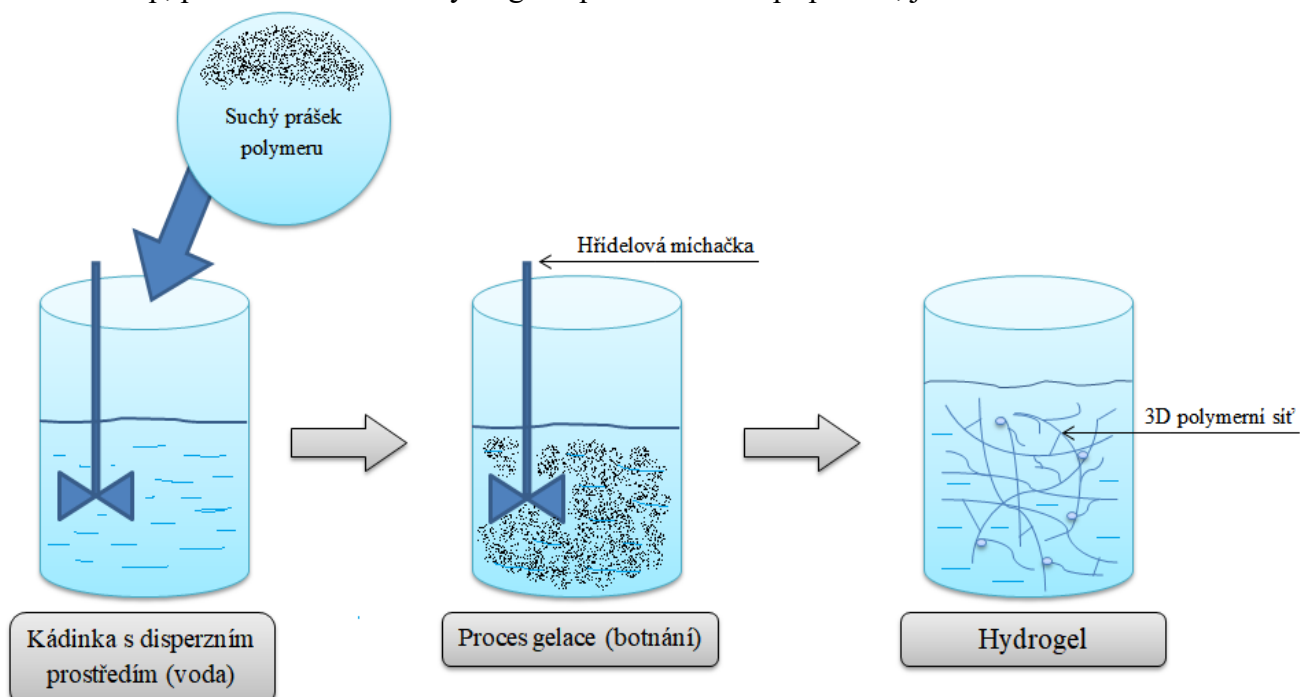
projevů. Takové chování se označuje jako viskoelasticita. Poměr elastické a viskózní složky má u hydrogelů za následek různé mechanické vlastnosti, kterými může být například pružnost či její ztráta. Mechanické vlastnosti jsou odpovědné i za velikost ztráty nabotnalé kapaliny z hydrogelu. To znamená, že čím méně je hydrogel mechanicky stabilní, tím rychleji se z něj kapalina uvolňuje do okolí. Mechanické vlastnosti však nejsou jedinými činiteli, které ovlivňují uvolňování kapaliny z hydrogelu. Dalšími vlivy jsou vnější podmínky, jako například teplota, vlhkost prostředí, porosita či tlak. [22] [30]

### 3.1.4 Příprava hydrogelů

Gelace, tedy vznik gelu je způsoben buď změnou fyzikálního stavu, chemickou reakcí nebo botnáním daného xerogelu. Ke vzniku sítě může dojít pod podmínkou, že se vytvoří dostatečné množství spojů. Vznik gelu ovlivňuje řada faktorů, kterými mohou být např. teplota, pH, koncentrace nebo mechanické působení. [20]

Chemické síťování dává možnost vzniku stabilnějším hydrogelům s lepšími mechanickými vlastnostmi, avšak často mají horší biodegradační vlastnosti, než gely síťované fyzikálně. Fyzikální sítě bývají slabší než chemické, rozlišujeme je podle intenzity a struktury sítě na silné a slabé gely. Silné gely jsou pevně spojeny v uzlových bodech, jsou pružné a jejich chování je podobné gelům síťovaným chemicky. Slabé gely vykazují elastické chování pouze při menších hodnotách mechanického napětí a při jejich překročení se začnou deformovat. [22]

Postup, podle kterého bude hydrogel v praktické části připraven, je uveden na obrázku 6.



Obrázek 6. Postup přípravy hydrogelu. [31]

## 3.2 Gelotvorné materiály přírodního původu

Gelotvorné materiály se mohou dělit podle původu přírodní složky na živočišné a rostlinné. Živočišné gelotvorné materiály jsou tvořeny přírodními polymery na bázi proteinů, kam lze zařadit např. želatinu nebo kolagen. Rostlinné gelotvorné materiály se skládají z polysacharidů, mezi které se zahrnuje celulóza, agar nebo guarová guma. [23]

### 3.2.1 Celulóza

Celulóza je polysacharid nerozpustný ve vodě, je to základní stavební jednotka rostlinných buněčných stěn. V práškové formě se jedná o bílou látku bez zápachu. Dělí se na mikrokrytalickou celulózu a na práškovou celulózu. [32]

**Mikrokrytalická celulóza** může figurovat v potravě jako plnidlo nízkoenergetických potravin, pro člověka je však nestravitelná. Dále je využívána jako nosič olejů a aromatických látek, emulgátor a jako zahušťovadlo. Používá se např. jako náplň do žvýkaček a cukrovinek, stabilizátor pěn, protispékavá látka nebo součást tablet. Spolupůsobí při tvorbě gelů v různých výrobcích na bázi cukru, v polevách a pekařských náplních, kde částečně nahrazuje zahušťovací funkci škrobu. [33]

**Prášková celulóza** účinkuje jako protispékavá látka, nosič, zahušťovadlo a přísada napomáhající soudržnosti potravin, jako jsou žvýkačky nebo cukrovinky. [33]

Celulóza však figuruje i v jiných průmyslových odvětvích, např. v textilním nebo papírenském průmyslu. Pro komerční účely se celulóza izoluje ze dřeva odstraněním jeho ostatních součástí. Mikrokrytalická celulóza je vyráběna z běžné celulózy působením kyseliny chlorovodíkové, prášková celulóza se vyrábí mechanickým narušením a přečištěním celulózy z rostlinných vláken. [33]

**Hydroxyethylcelulóza** je polymer rozpustný ve vodě, který má stabilizační, emulgační, zahušťovací a retenční schopnosti. Je široce používána v kosmetice a čisticích prostředcích, ale také ve stavebnictví, zemědělství nebo ve farmaceutickém průmyslu. [34]

**Hydroxypropylmethylcelulóza** je pevná látka ve formě prášku nebo zrněk béžovo-bílé barvy. Při rozpuštění ve vodě vytváří koloid. Je to polysyntetický, viskoelastický polymer připravovaný chemicky z celulózy. [35]

Tato substance je využívána jako stabilizátor, emulgátor a zahušťovadlo v pekařství a při výrobě cukrovinek, může také sloužit jako alternativa živočišné želatiny.



Mimo potravinářský průmysl se látka přidává do lepidel, barev, kosmetiky či očních kapek. [33]

### 3.2.2 Guarová guma

Guarová guma je rozpustná vláknina vytvářející s vodou husté roztoky. Vyskytuje se v semenech rostliny druhu *Cyamopsis tetragonolobus*, která se pěstuje hlavně v Indii. Guarová guma má pětikrát až osmkrát větší zahušťovací schopnost než škrob, čehož se využívá v potravinářském průmyslu, kde se využívá především jako stabilizátor, zahušťovadlo a emulgátor. Uplatňuje se ale také v kosmetickém průmyslu, např. pro zubní pasty, pleťová mléka nebo krémy, a taktéž v textilním a papírenském průmyslu. [33]

### 3.2.3 Agar

Též agar-agar je přírodní polysacharid vyskytující se v červených mořských řasách, které se nacházejí v oblastech Japonska, Nového Zélandu a Indie. Je průhledný, bez chuti a bez zápachu, rozpustný v horké vodě. Agar se používá především jako želatinový prostředek, který je oproti želatině stálý i za vyšších teplot. Díky této vlastnosti je agar velmi vhodný jako zahušťovadlo vytvářející s dalšími hydrokoloidními gely stálé gelovité produkty. Dále se používá jako stabilizátor, emulgátor a želírující látka, hojně se tedy využívá v potravinářském průmyslu. Také se používá jako živné médium pro kultivaci mikroorganismů a rostlin. Celulóza, guarová guma i agar jsou považovány za bezpečné látky. [33] [36]

## 4 LEGISLATIVA

Problematika degradace půdy, vodního hospodářství a environmentální bezpečnosti je přímo i nepřímo zaštitěna následující legislativou.

### **Zákon č. 334/1992 Sb., o ochraně zemědělského půdního fondu, ve znění pozdějších předpisů.**

Zemědělský půdní fond je základním přírodním bohatstvím naší země, nenahraditelným výrobním prostředkem umožňujícím zemědělskou výrobu a je jednou z hlavních složek životního prostředí. Ochrana zemědělského půdního fondu, jeho zvelebování a racionální využívání jsou činnosti, kterými je také zajišťována ochrana a zlepšování životního prostředí.

Zemědělský půdní fond tvoří pozemky zemědělsky obhospodařované, to je orná půda, chmelnice, vinice, zahrady, ovocné sady, trvalé travní porosty a půda, která byla a má být nadále zemědělsky obhospodařována, ale dočasně obdělávána není.

Do zemědělského půdního fondu náležejí též rybníky s chovem ryb nebo vodní drůbeže a nezemědělská půda potřebná k zajišťování zemědělské výroby, jako polní cesty, pozemky se zařízením důležitým pro polní závlahy, závlahové vodní nádrže, odvodňovací příkopy, hráze sloužící k ochraně před zamokřením nebo zátopou, technická protierozní opatření apod. [37]

### **Zákon č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny, ve znění pozdějších předpisů.**

Účelem zákona je za účasti příslušných krajů, obcí, vlastníků a správců pozemků přispět k udržení a obnově přírodní rovnováhy v krajině, k ochraně rozmanitostí forem života, přírodních hodnot a krás, k šetrnému hospodaření s přírodními zdroji a vytvořit v souladu s právem Evropských společenství v České republice soustavu Natura 2000. Přitom je nutno zohlednit hospodářské, sociální a kulturní potřeby obyvatel a regionální a místní poměry. [38]

### **Zákon č. 17/1992 Sb., o životním prostředí, ve znění pozdějších předpisů.**

Zákon vymezuje základní pojmy a stanoví základní zásady ochrany životního prostředí a povinnosti právnických a fyzických osob při ochraně a zlepšování stavu životního prostředí a při využívání přírodních zdrojů; vychází přitom z principu trvale udržitelného rozvoje. [39]

**Zákon č. 254/2001 Sb. Zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon).**

Účel vodního zákona je chránit povrchové a podzemní vody, stanovit podmínky pro hospodárné využívání vodních zdrojů a pro zachování i zlepšení jakosti povrchových a podzemních vod, vytvořit podmínky pro snižování nepříznivých účinků povodní a sucha a zajistit bezpečnost vodních děl v souladu s právem Evropských společenství. Účelem tohoto zákona je též přispívat k zajištění zásobování obyvatelstva pitnou vodou a k ochraně vodních ekosystémů a na nich přímo závislých suchozemských ekosystémů.

Zákon upravuje právní vztahy k povrchovým a podzemním vodám, vztahy fyzických a právnických osob k využívání povrchových a podzemních vod, jakož i vztahy k pozemkům a stavbám, s nimiž výskyt těchto vod přímo souvisí, a to v zájmu zajištění trvale udržitelného užívání těchto vod, bezpečnosti vodních děl a ochrany před účinky povodní a sucha. [40]

**Zákon č. 156/1998 Sb. Zákon o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd (zákon o hnojivech)**

Tento zákon zpracovává příslušné předpisy Evropské unie, zároveň navazuje na přímo použitelný předpis Evropské unie a upravuje:

- a) podmínky uvádění do oběhu, skladování a používání hnojiv, pomocných půdních látek, pomocných rostlinných přípravků a substrátů,
- b) podmínky agrochemického zkoušení zemědělských půd,
- c) podmínky zjišťování půdních vlastností lesních pozemků a některé podmínky používání upravených kalů,
- d) podmínky uvádění do oběhu, skladování a používání sedimentů,
- e) působnost orgánů odborného dozoru nad dodržováním povinností stanovených tímto zákonem, včetně pravomoci ukládat správní tresty. [41]

**Vyhláška č. 153/2016 Sb.**

Vyhláška o stanovení podrobností ochrany kvality zemědělské půdy a o změně vyhlášky č. 13/1994 Sb., kterou se upravují některé podrobnosti ochrany zemědělského půdního fondu. [42]

**Vyhláška č. 257/2009 Sb. - Vyhláška o používání sedimentů na zemědělské půdě**

Tato vyhláška stanoví podmínky a způsob používání sedimentů na zemědělské půdě, způsob vedení evidence o použití sedimentů, limitní hodnoty rizikových prvků a rizikových látek v sedimentu a v půdě, na kterou má být použit, požadavky na další fyzikálně-chemické a biologické vlastnosti sedimentu a postupy rozboru sedimentů a půdy, včetně metod odběru vzorků. [43]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 CÍL PRÁCE

Cílem práce bylo připravit a charakterizovat polymerní systém - hydrogel, který by se dal použít ke zvýšení retence vody v půdním prostředí. Dále bylo úkolem laboratorně otestovat jeho vliv na kvalitu půdy.

Pro dosažení základního cíle byly stanoveny následující dílčí úkoly:

- Příprava dvou sad hydrogelů na bázi rostlinných gelotvorných složek (vodné a syrovátkové hydrogely);
- Stanovení prvkového složení a základních charakteristik hydrogelů;
- Experimentální ověření retenčních a reverzibilních schopností vzorků;
- Hydrolytická gradace stanovující rozložitelnost připravených hydrogelů.

## 6 PŘÍPRAVA HYDROGELŮ

V této kapitole jsou uvedeny materiály a pomůcky, které byly použity v praktické části práce, a také je zde popsán postup přípravy hydrogelů.

### 6.1 Použité materiály

Jako výchozí materiály pro přípravu hydrogelů byly použity polymery, jejichž řetězce jsou složeny z dlouhých řetězců spojených monomerů. Na výrobu hydrogelů bylo použito 6 různých materiálů, převážně se jedná o celulózu o různých vlastnostech popsaných v kapitole 3. Pro lepší přehlednost jsou použité materiály uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1. Materiály použité při výrobě hydrogelů. [vlastní]

A	Natrosol Pharm 250 HHX (Hydroxyethylcellulose)
B	Polysurf 67cs (Cetyl Hydroxyethylcellulose)
C	Blanose 7H4F (Sodium Carboxymethylcellulose)
D	Benecel K200M (Hydroxypropyl Methylcellulose)
E	Guar gum ( $C_{10}H_{14}N_5Na_2O_{12}P_3$ )
F	Agar ( $C_{14}H_{24}O_9$ – agar agar)

Jako disperzní prostředí bylo použito vodné médium - demineralizovaná voda (Millipore Simplicity® UV systém) a roztok demineralizované vody s kyselou syrovátkou (Kromilk, a.s., Kroměříž) v poměru 1:1 pro zvýšení minerálních látek, které by se mohly postupně uvolňovat do půdy.

Dalším použitým materiálem byl zahradnický substrát od výrobce Agro CS, který sloužil k simulaci zemědělské půdy.

Pro stanovení degradace byl připraven neutrální pufr o pH 7,4 o objemu 1 l rozpuštěním 8 g chloridu sodného (NaCl), 0,4 g chloridu draselného (KCl), 1,805 g dihydrátu hydrogenufosforečnanu sodného ( $\text{NaH}_2\text{PO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ), 0,24 g dihydrogenufosforečnanu draselného ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) a 2 g azidu sodného ( $\text{NaN}_3$ ) v demineralizované vodě.

Pro přípravu hydrogelů byly vybrány materiály, které jsou netoxické a běžně se užívají např. v potravinářském nebo ve farmaceutickém průmyslu. [44] [45]

## 6.2 Použité pomůcky a zařízení

Mezi použité pomůcky patří: kádinky 250 ml, odměrný válec 100 ml a 1000 ml, plastové vzorkovnice, skleněné a automatické pipety, zkumavky, analytické nálevky, parafilm (BEMIS), filtrační papíry KA1-M (PAPÍRNA PERNŠTEJN), alobalová fólie, stojan a exikátor.

Používanými přístroji pak byly: hřídelová míchačka IKA (Thermo Fisher Scientific) FLASH 2000 Organic Elemental Analyzer (Thermo Fisher Scientific), pH metr včetně elektrody (senso direct pH 110, LOVIBOND), ultrazvuková lázeň (Elmasonic S 10H, ELMA), inkubátor a inkubátor s orbitálním pohybem (Memmert), analyzátor celkového uhlíku (TOC-L, Shimadzu) a analytická váha (Radwag).

## 6.3 Postup přípravy hydrogelů

Hydrogely byly připravovány z gelotvorných složek vzorků A-F uvedených v tab. 1, kde bylo disperzním prostředím demineralizovaná voda. Vzorky, kde byl jako disperzní prostředí použit roztok demineralizované vody se syrovátkou v poměru 1:1, jsou označeny jako As-Fs. Hydrogely byly připravovány jako 5% hm. roztok.

Do odměrného válce bylo nalito co nejpřesněji 95 g demineralizované vody a toto množství kvantitativně převedeno do plastového kelímku se šroubovacím víkem. Dále bylo naváženo 5 g gelotvorné složky a převedeno do vzorkovnice s disperzním prostředím. Vzniklý roztok byl promícháván hřídelovou míchačkou při cca 500 otáčkách za minutu, doba míchání byla u každého vzorku jiná a to v závislosti na co nejdokonalejším nabotnutí vzorku ve vodě. Pro zvýšení účinku botnání, a pro odstranění vzduchových bublinek, byly následně vzorkovnice s hydrogely umístěny do ultrazvukové lázně na 30 minut. Pro vzorky As-Fs byl postup přípravy také stejný, pouze s rozdílem disperzního prostředí zmiňovaným výše. Druh síťování hydrogelů je tedy fyzikální.



Vzniklé hydrogely byly následně uloženy do ledničky po dobu 18 hodin, kde proces botnání dosáhnul maximálního stavu, kterého byly konkrétní hydrogely schopny. pH hodnota všech vzorků byla měřena při laboratorní teplotě (22 °C). Výsledné hodnoty ukazuje následující tabulka (tabulka 2).

Tabulka 2. pH hydrogelů. [vlastní]

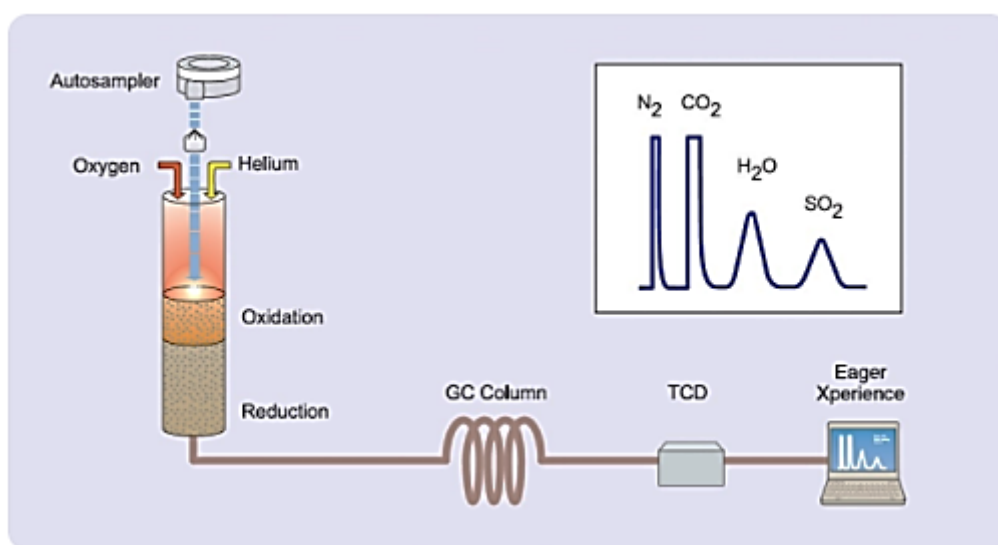
pH	A	B	C	D	E	F	H <sub>2</sub> O : Syrovátka 1 : 1
Voda	6,30	6,32	7,14	6,23	5,98	5,99	4,32
Voda + Syrovátka	4,43	5,5	5,22	4,5	4,6	4,85	

Z tabulky 2 vyplývá, že hydrogely, které byly připraveny v roztoku demineralizované vody a syrovátky jsou u vzorků As, Bs, Es a Fs zhruba o 1 jednotku kyselější než u hydrogelů vzniklých pouze z demineralizované vody. U hydrogelů Cs a Ds je téměř o 2 jednotky nižší než u hydrogelů C a D, tedy s demineralizovanou vodou.

Následně byly hydrogely sušeny v inkubátoru 68 hodin při 50° C, do konstantní hmotnosti, aby se z hydrogelů vypařila veškerá voda a dala tak možnost vzniknout xerogelům. Xerogel byl zároveň výchozím materiálem pro další experimenty.

## 7 ELEMENTÁRNÍ ANALÝZA

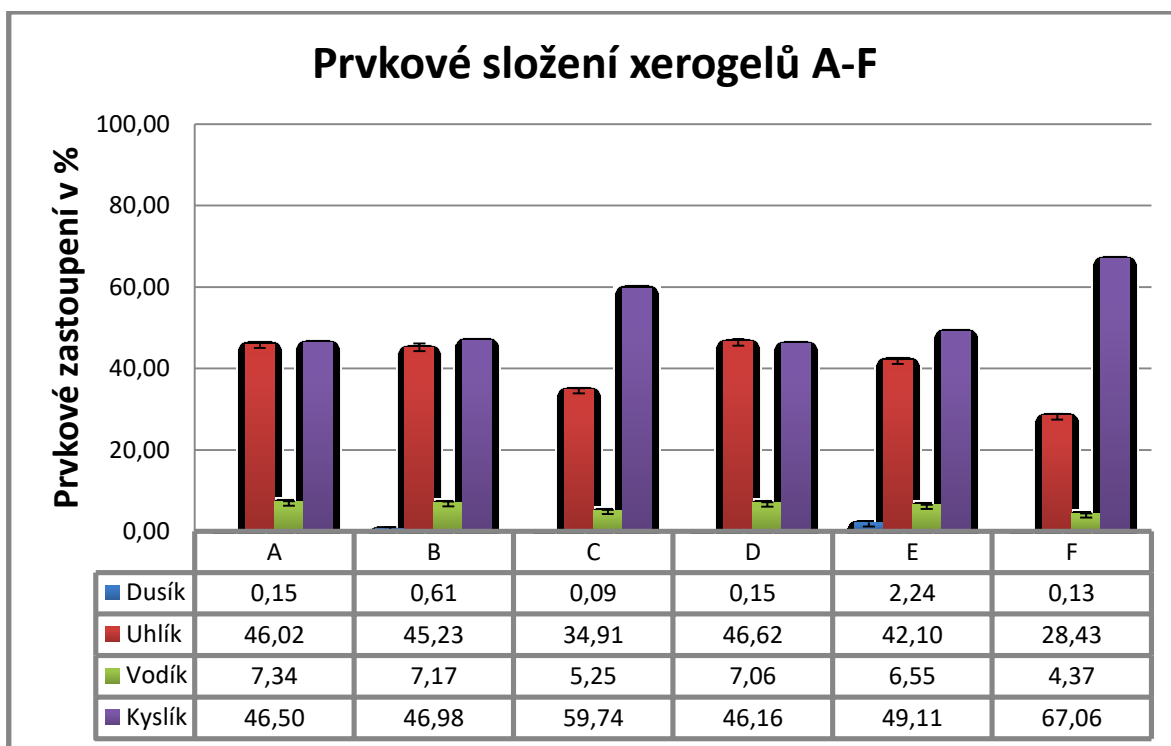
Spalovací Dumasova metoda slouží řadu let ke zjištění informací o prvkovém složení daného vzorku. Analyzátor organického elementárního složení FLASH 2000 stanovuje procentuální zastoupení C, H, N, S a O v biologickém vzorku či v matici životního prostředí, elementární zastoupení v čistých chemikáliích a aktivních farmaceutických ingrediencích, obsah uhlíku a dusíku v uhlí, ropě a petrochemických produktech a též obsah dusíku a celkových proteinů v potravinách. Elementární analýza poskytuje užitečnou informaci pro charakterizaci materiálů rozličných původů, i ke kontrole kvality produktů ve výrobním procesu. Nejdostupnější analyzátoři pracují na principu dynamického bleskového spálení vzorku umístěného v cínové či stříbrné kapsli. Produkty katalytické reakce  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  a  $\text{SO}_2$  jsou nesený buď v proudu helia nebo argonu přes separační plynově chromatografickou kolonu a následně na tepelně vodivostní detektor, kde jsou jednotlivé oddělené složky detekovány. [46]



Obrázek 7. Schematicky znázorněný princip katalytického spálení vzorku, separece a detekce produktů a následného vyhodnocení elementárního složení. [46]

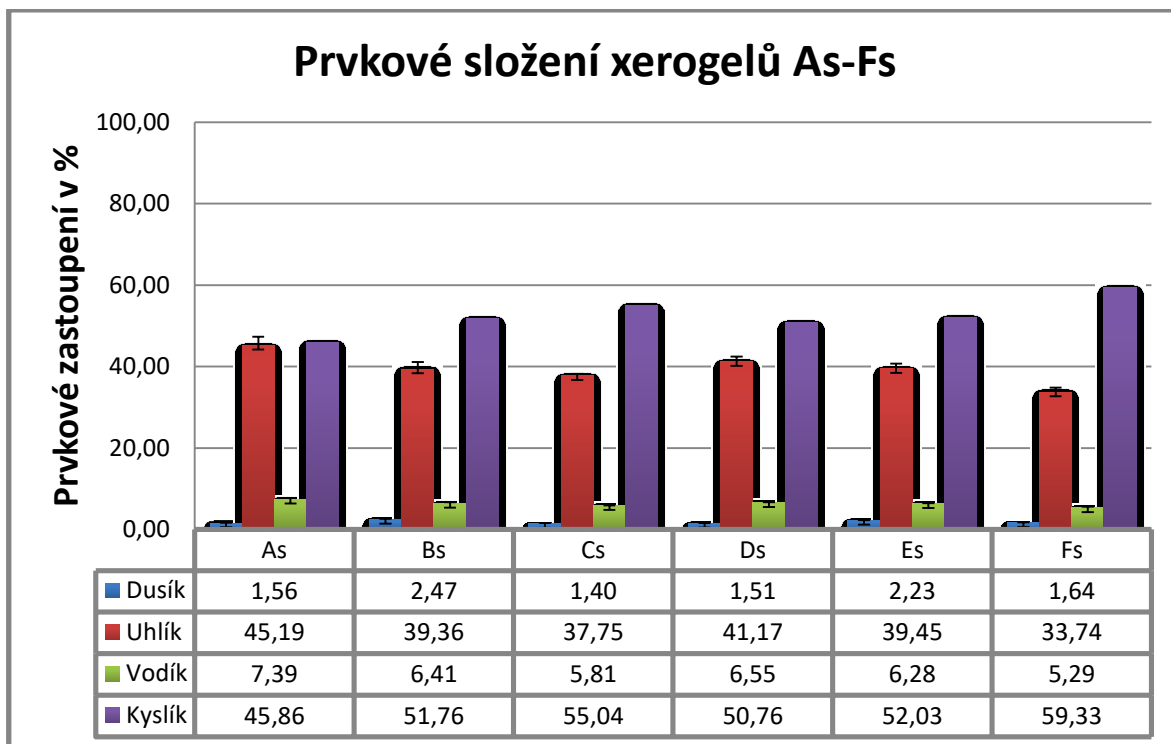
Pomocí analyzátoru organického elementárního složení FLASH 2000 bylo měřeno procentuální zastoupení C, H, N, S v xerogelech A-F a As-Fs. Nejprve byl 3x navážen standard methioninu, který slouží pro automatické vytvoření kalibrační křivky a následně vyhodnocení množství jednotlivých prvků. Každý vzorek A-Fs byl navážen 3x, aby se výsledné hodnoty mohly zprůměrovat a vypočítat směrodatná odchylka. Poté byly jednotlivé vzorky A-Fs, všechny s navázkou kolem 2 mg, vloženy společně se standardy do autosampleru, jenž postupně dávkoval a následně vyhodnocoval naměřená data.

U všech tří standardů s navázkou 1,053 mg, 1,643 mg a 2,657 mg naměřil přístroj úplně totožné hodnoty C, H, N, S, což znamená správně nastavenou kalibraci a tudíž i správné měření xerogelových vzorků. Bylo zjištěno, že žádný z analyzovaných vzorků neobsahoval síru. Prvkové zastoupení v procentech u xerogelů A-F a As-Fs znázorňují následující grafy (obrázek 8 a 9).



Obrázek 8. Prvkové zastoupení v xerogelech A-F. [vlastní]

Graf v obr. 8 uvádí procentuální zastoupení N, C, H, a O u xerogelových vzorků A-F. Nejvyšší zastoupení v xerogelech A-F patří kyslíku a uhlíku, přičemž nejvyšší podíl kyslíku se nachází ve vzorku F, tedy v xerogelu vyrobeném z agaru, kde je obsažen z 67,06 %. Nejmenší zastoupení v xerogelech pak připadá na dusík s vodíkem. Z grafu též vyplývá, že největší zastoupení dusíku je ve vzorku E a to 2,24 %, což je zhruba o 2 % více než u ostatních vzorků. Relativně vysoký obsah dusíku u vzorku E, který byl vyroben z guarové gumy, lze přičíst právě výrobnímu materiálu, neboť je dusík obsažen v jeho chemické struktuře.



Obrázek 9. Prvkové zastoupení v xerogelech As-Fs. [vlastní]

Obdobné prvkové zastoupení u syrovátkových vzorků je v obr. 9, kdy nejvyšší zastoupení v xerogelech opět připadá na kyslík a uhlík. Rozdíl však nastává u dusíku, kdy xerogely As-Fs mají oproti xerogelům A-F obsah dusíku vyšší. To je důsledek rozdílného disperzního prostředí použitého při výrobě, vyšší obsah dusíku tedy lze připsat syrovátkám obsaženým ve vodě. [47]

Při porovnání výsledků v obrázku 8 a 9 je především zřetelný nárůst obsahu u všech syrovátkových hydrogelů potvrzující inkorporaci syrovátky ve struktuře. [48]

U obou grafů jsou pak důležité zejména hodnoty uhlíku, které se dále využijí při měření biodegradace jednotlivých xerogelů.

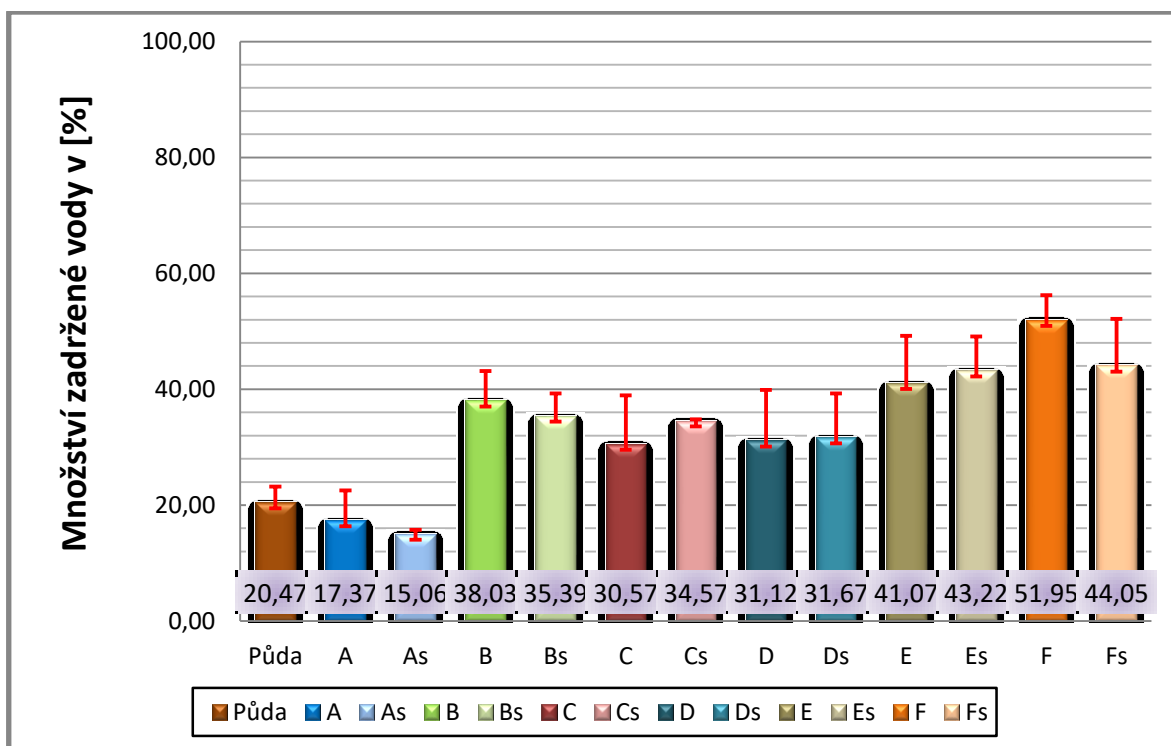
## 8 RETENCE VODY V PŮDĚ

Následující experiment byl uskutečněn na základě již provedeného obdobného experimentu. [49]

Experiment byl proveden za účelem zjištění retence vody v půdě a pro zjištění retence vody v „obohacené půdě“ (půda + xerogel).

Nejprve bylo do tří kádinek naváženo 50 g půdy, do dalších kádinek bylo naváženo 48 g půdy a k nim přidány 2 g jednotlivých xerogelů A-Fs. Jako reference bylo použito 50 g půdy. Následně byly kádinky s půdou a kádinky s obohacenou půdou zality 50 g vody. Poté byly kádinky uloženy do inkubátoru na 72 hodin při konstantní teplotě 40° C. Po uplynutí doby byly vytaženy a schlazeny v exikátoru, aby se následně mohla zvážit jejich hmotnost a po odečtu vypočítat zůstatek vody po sušení. Veškerá stanovení proběhla třikrát vedle sebe.

Následující graf (obr. 10) uvádí procentuální zadržení vody v půdě a v půdě obohacené jednotlivými xerogelovými vzorky.



Obrázek 10. Procentuální zadržení vody kompozitními materiály po vysušení. [vlastní]

Z provedeného měření vyplývá, že v samotné půdě zůstalo po vysušení 20,47 % vody, přitom v půdě obohacené o xerogely A a As zůstalo po vysušení pouze 17,37 % a 15,06 % vody. To znamená, že v obohacené půdě vzorky A a As sice nabotnaly, ale zachycenou vodu nedokázaly efektivně zadržet po delší dobu a tudíž byl výpar vody větší než u samotné půdy. Větší retenci vodného média vykazovaly půdy obohacené o vzorky B-Ds, kde xerogely dokázaly zadržet o cca 15 % více vody než půda. Respektive, u půdy obohacené vzorkem C je to o 10,10 % více zadržené vody než v čisté půdě a u půdy obohacené vzorkem B, Fs a Es je to dokonce o 17,56 %, 23,58 % a 22,75 % více zadržené vody. Nejvyšší schopnost pak vykazovala půda obohacená xerogelem F (agar), která dokázala zadržet o 31,48 % více vody než samotná půda. [50]

Z tohoto měření je patrné, že ne všechny připravené xerogely jsou vhodné pro retenci vody v půdě. Zejména pak xerogelové vzorky A a As, které vykazaly ještě nižší procento zadržetí vody než samotná půda. Ostatní xerogelové vzorky však svoji roli, jakožto materiály zvyšující retenci vody v půdě, splnily a jeví se tak vhodné právě pro účely zadržování vody v půdním prostředí.

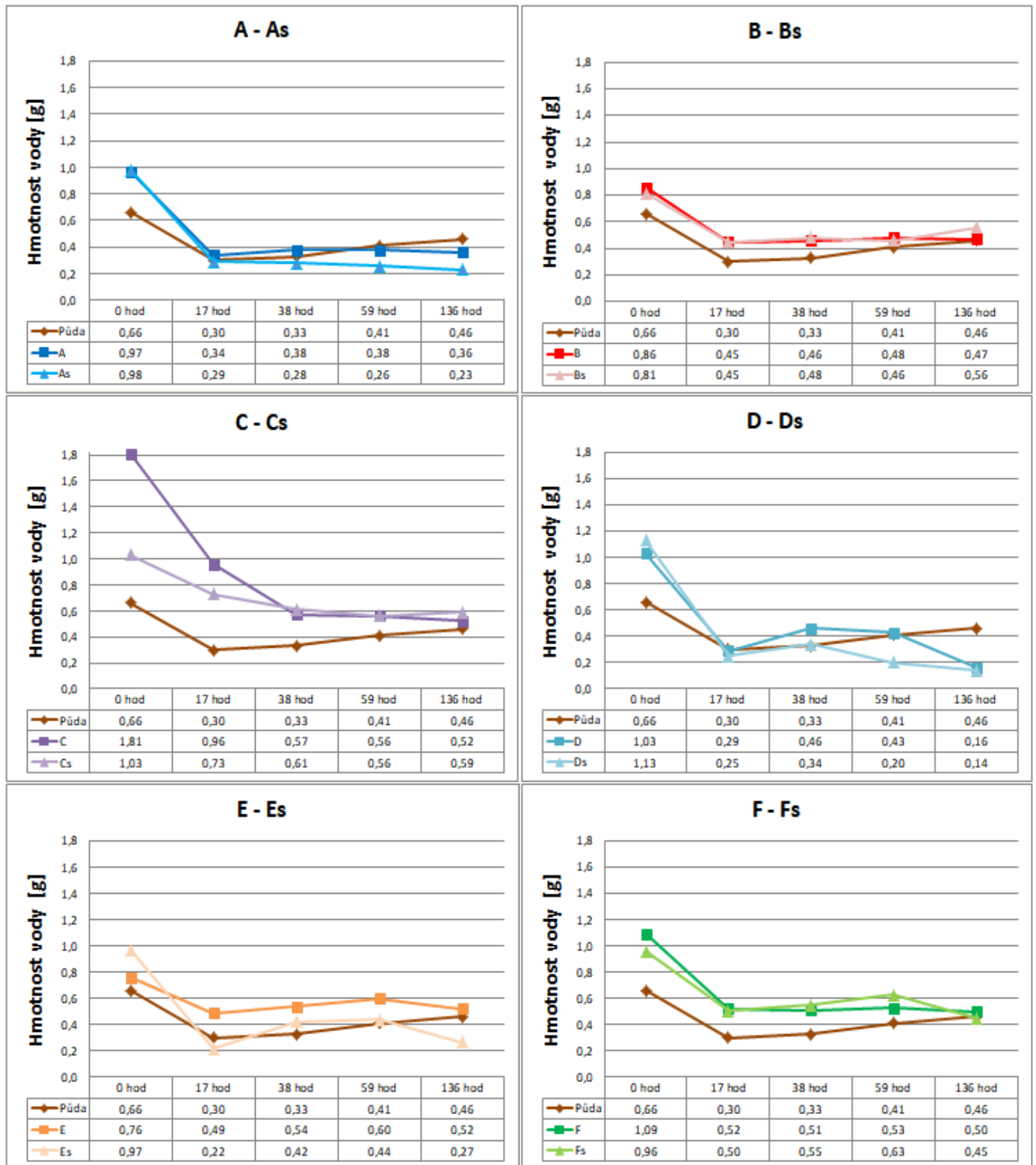
Jak již bylo zmíněno výše, experiment byl uskutečněn na základě obdobného experimentu. V něm bylo zjištěno, že hydrogely na bázi dimethyl akrylamidu (DMAA) zadrží o cca 25 % více vody než pouhá půda. To se v podstatě shoduje s naměřenými daty v této práci, kdy se retence vody v půdě pohybuje taktéž kolem 25 %. [49]

Olad s kolektivem zkoumal přírodní hydrogelové kompozity, které v prvních hodinách experimentu zadržely 100 - 200 % vody, což koresponduje s výsledky zadržené vody u všech vzorků na počátku experimentu (obr. 11), kde je vidět, že tyto gely zadržely minimálně jedenkrát více vody, než byla jejich navážka v experimentu. [51] Oproti tomu hydrogely na bázi akrylamidu s akrylovou kyselinou byly schopny zadržet maximálně 30 % vodného média. [52]

## 8.1 Reverzibilní schopnost xerogelů

Jestliže má být retence vody v půdě efektivní, je třeba, aby měly xerogely reverzibilní schopnost, tedy možnost opětovného nabotnění po vysušení. Důležité je, aby si xerogely tuto schopnost udržely po určitou dobu, tato doba by neměla být ani příliš krátká, ani příliš dlouhá, a to v závislosti na biodegradaci daného xerogelu. Řádově pak několik měsíců, a to v souladu s osevními postupy zemědělců. [53]

Do nálevky s filtračním papírem bylo naváženo cca 1 g půdy, pro jednotlivé vzorky byla navážka cca 0,8 g půdy + cca 0,2 g xerogelu. Takto připravené vzorky byly následně prokapávány 5 g vody po dobu cca 1 minutu. Toto prokapávání zajistilo postupné, ale i úplné prostoupení vody do půdy a do xerogelu. Poté byly vzorky zváženy, aby mohl být určen zůstatek vody po prokapání. Následně byly vzorky dány do inkubátoru na 17 hodin při teplotě 40° C, kde byly vysušeny a celý proces se tak mohl opakovat. Vysušené vzorky tak byly znovu prokapávány po 38, 59 a 136 hodinách, tento časový úsek simuluje nahodilé dešťové srážky v letních měsících. Průměrné hodnoty reverzibilní schopnosti xerogelů ze třech stanovení v týdenním časovém úseku zobrazují následující grafy v obrázku 11.



Obrázek 11. Reverzibilní schopnost xerogelů v čase. [vlastní]



Z důvodu přehlednosti byly naměřené hodnoty rozděleny do šesti grafů, každý graf pak obsahuje křivku vzorku s xerogelem vyrobeným ze stejného materiálu, pouze s rozdílem disperzního prostředí (A-As, B-Bs, apod.). Grafy uvádějí hmotnost zadržené vody po prokapání v definovaném čase. V každém grafu se taktéž nachází křivka se samotnou půdou, která slouží k porovnání s ostatními vzorky. Z grafů je vidět, že každá obohacená půda má na začátku měření vyšší retenční schopnost než půda samotná. Například obohacená půda o xerogel C zadržuje na začátku měření o 1,15 g vody více než pouhá půda, to se ale v průběhu měření mění. U obohacené půdy o vzorky B, Bs, C, Cs a F, Fs, postupně klesá v průběhu času hodnota zadržené vody. To může naznačovat, že po čase inkubace při 40° C již nejsou tyto vzorky schopny opětovného nabotnění do původního stavu<sup>1</sup>. To se dá přičíst relativně vysoké teplotě, která napomáhala u daných vzorků jejich degradaci. Zároveň však mají tyto vzorky v průběhu měření vyšší retenční schopnost než čistá půda a až při 136 hodinách inkubace se jejich hodnoty přibližují<sup>2</sup>. U obohacené půdy o vzorky D, Ds a Es, klesá hodnota zadržené vody již po prvních 17 hodinách pod hodnotu zadržené vody v samotné půdě. Tato odchylka byla způsobena pomalejší adaptací xerogelu na rychlé změny sucha a vlhka. Po 38 hodinách se však tato hodnota zvyšuje a dostává se tak nad hodnotu zadržené vody v půdě samotné. U vzorků D a Es lze pozorovat mezi 17 a 38 hodinami zvýšení zadržené vody o cca 0,2 g, nicméně poté lze sledovat klesající trend zadržené vody, a to dokonce pod hodnotu zadržené vody v čisté půdě. Naměřená hodnota zadržené vody u vzorků A a As klesá hned po prvních 17 hodinách inkubace zhruba na hodnotu samotné půdy a tento stav si bez větších rozdílů drží i po 136 hodinách. Dobrá reverzibilní schopnost byla pozorována u vzorku E, i když vykazuje nejmenší hodnotu zadržené vody oproti ostatním vzorkům, tuto hodnotu si dokázal konstantně udržet po celou dobu měření. Obecně lze říct, že gely připravené v syrovátkovém prostředí vykazovaly nižší reverzibilní schopnost, zapříčiněnou obsahem nebotnajících a nesorbujících látek, doprovázenou poklesem jejich hmotnosti. Tento hmotnostní úbytek byl způsoben ztrátou složek syrovátky.

---

<sup>1</sup> U vzorků lze v průběhu měření pozorovat mírné navýšení zadržené vody, avšak klesající trend oproti prvnímu měření setrvává.

<sup>2</sup> U vzorku B-Bs se tyto hodnoty přibližují už i při 59 hodinách.

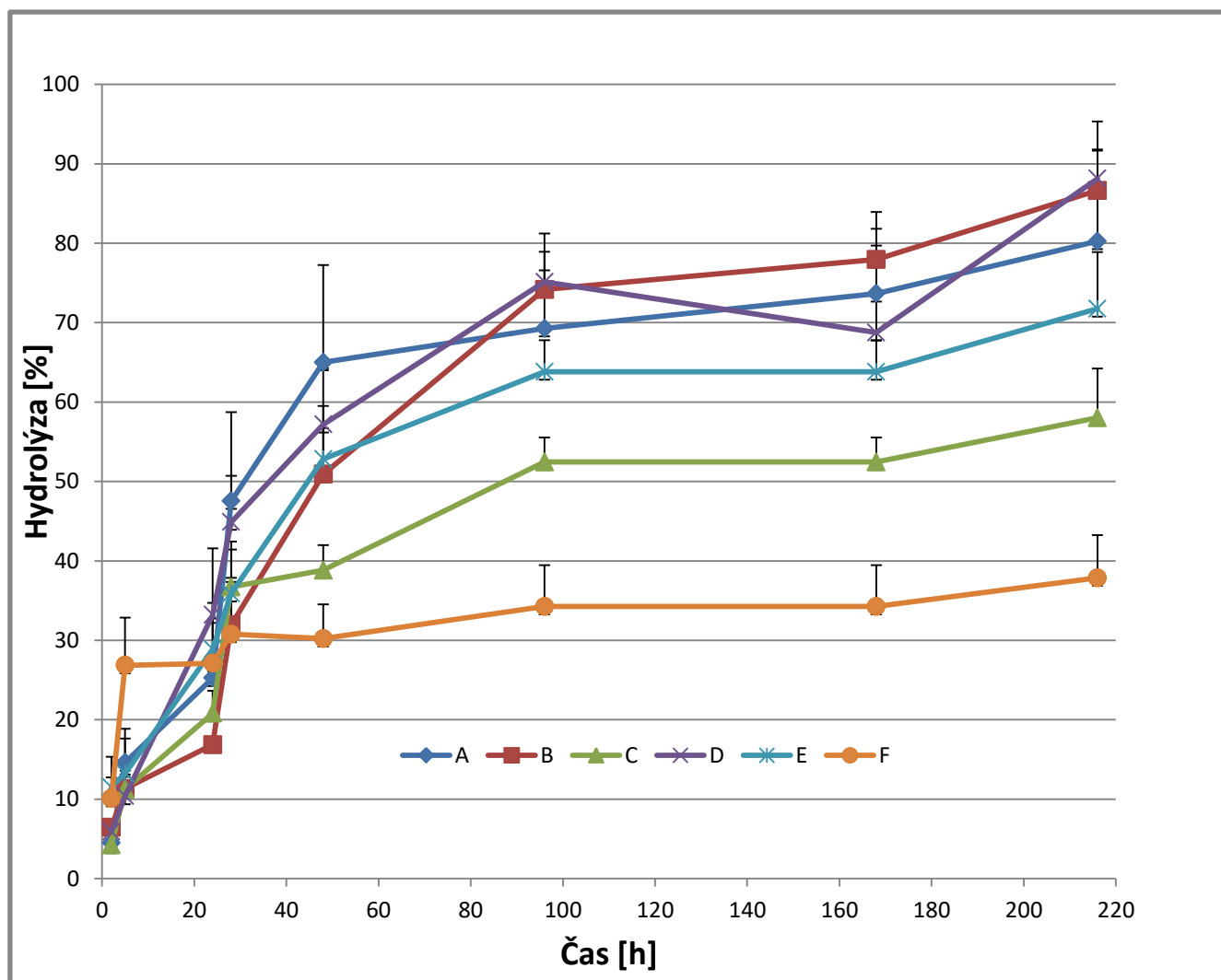
## 9 HYDROLYTICKÁ GRADACE

Přístroj, na kterém byl experiment prováděn, je jeden ze série analyzátorů celkového uhlíku TOC-L (Shimadzu). Ty využívají metodu spalovací katalytické oxidace 680° C, která je používána po celém světě. Jedná se o nejvyšší úroveň citlivosti detekce, která je k dispozici při metodě spalovací katalytické oxidace. Kromě toho metoda spalovací katalytické oxidace umožňuje účinně oxidovat nejen snadno rozložené organické sloučeniny s nízkou molekulovou hmotností, ale také těžko rozložitelné nerozpustné a makromolekulární organické sloučeniny. [54]

Provedený experiment byl uskutečněn na základě české technické normy ČSN EN 14046 [55] a slouží ke zjištění jak jednotlivé xerogelové vzorky A-Fs postupem času degradují. Nejdříve byl analyzátor celkového uhlíku nakalibrován pomocí hydrogen ftalátu draselného, jehož koncentrace byla zredukována demineralizovanou vodou na 1%, 10% a 50% roztok. Do lékovek bylo naváženo cca 20 mg příslušných xerogelů A-Fs a 20 ml fosfátového pufru. Následně byly lékovky se vzorky uloženy na 2 hodiny do inkubátoru s orbitálním pohybem, který byl nastaven na konstantní teplotu 25° C při 72 otáčkách za minutu. Orbitální pohyb v inkubátoru zajišťoval neusazení se xerogelu na dně lékovky a tím bylo dosaženo rovnoměrné degradace v pufru. Po uplynutí předem definovaných časů byly lékovky vytaženy a byl z nich odebrán 1 ml vodného média<sup>3</sup>, který byl kvantitativně převeden do připravených zkumavek, ty byly následně doplněny o 8 ml demineralizované vody. Zkumavky připravené pro stanovení uvolněného uhlíku byly překryty parafilmem, který sloužil k zamezení výparu vzorků. Takto připravené zkumavky byly vloženy do autosampleru, kde byl vzorek nastříknut pomocí integrovaného dávkovače do vysokoteplotního reaktoru. V reaktoru byl při vysoké teplotě veškerý organický uhlík oxidován na oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>), který byl nesen v proudu kyslíku do infračerveného detektoru, kde byl postupně stanoven celkový organický uhlík. [54] Mezitím byly lékovky vloženy zpět do inkubátoru s orbitálním pohybem, aby se celý proces mohl opakovat. Stanovení hydrolyzy xerogelů, respektive stanovení celkového uvolněného uhlíku ze vzorků bylo detekováno po 2, 5, 24, 28, 48, 96, 168 a 216 hodinách. Stanovení proběhlo třikrát. Naměřená data jsou uvedena v obrázku 12 (vodné gely) a 13 (syrovátkové gely).

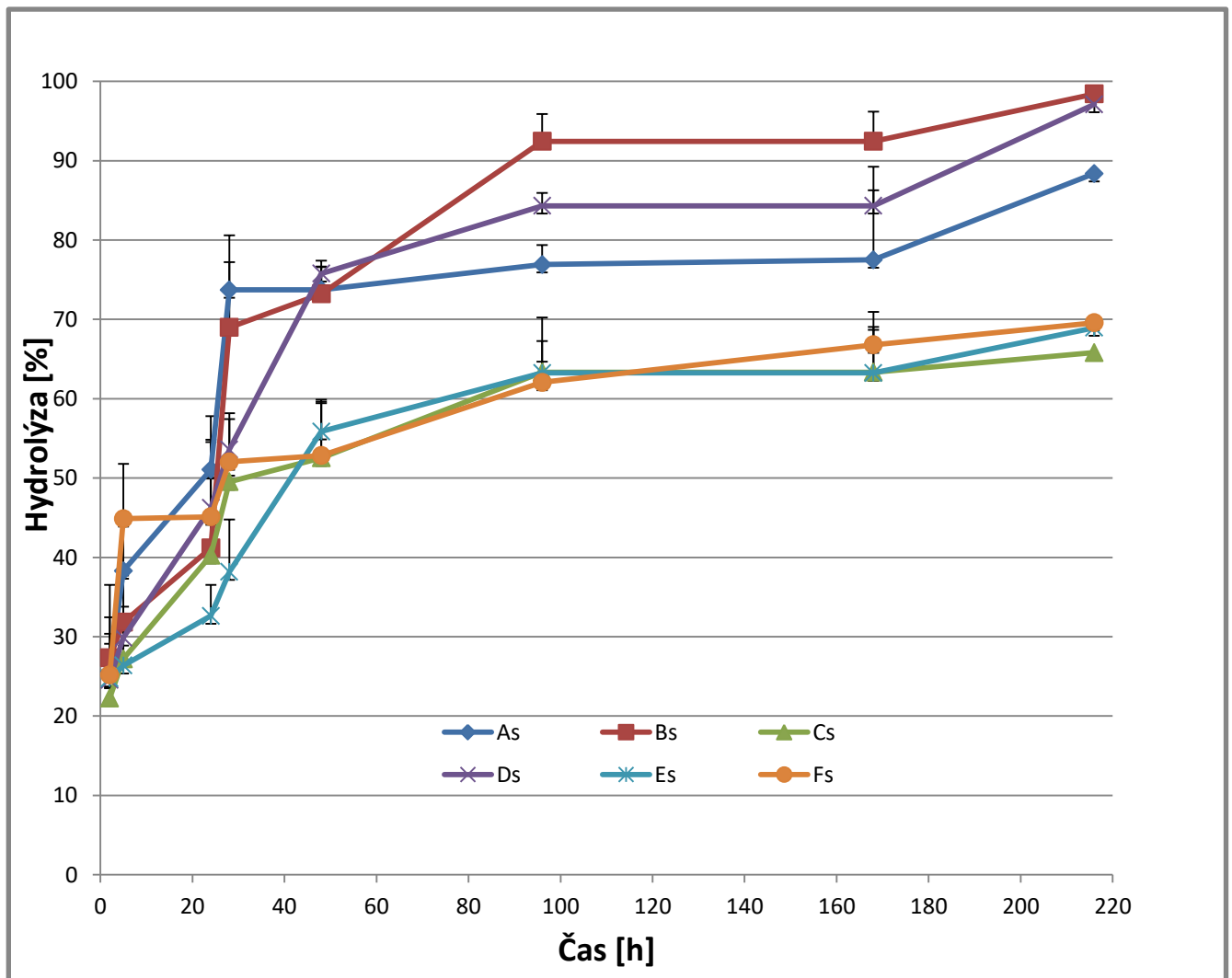
---

<sup>3</sup> Lékovky pak byly znovu doplněny o 1ml pufru.



Obrázek 12. Hydrolytická degradace xerogelových vzorků připravených ve vodě v čase. [vlastní]

Graf uvádí srovnání degradace jednotlivých vzorků A-F podle produkce  $\text{CO}_2$  v závislosti na čase. Největší hydrolytickou degradaci vykazuje vzorek D, ze kterého se již po 216 hodinách uvolnilo 88,1 % celkového organického uhlíku, za ním následuje vzorek B, z jehož struktury se uhlík po 216 hodinách uvolnil z 86,6 %. Dalšími xerogely, ze kterých se uhlík uvolňoval nejvíce, jsou A (80,3 %) a E (71,7 %). Z xerogelového vzorku C se uhlík uvolňoval o něco pomaleji, po 216 hodinách to bylo 58 %. Zajímavé vlastnosti má xerogelový vzorek F, který sice po 5 hodinách vykazoval největší procento uvolněného uhlíku (26,9 %), avšak při ukončení experimentu byla celková hydrolyza nejnižší (37,9 %). Zatímco se po 9 dnech některé xerogely (A, B, D) v pufru téměř zcela zdegradovaly, jiné vykazují delší možnost udržení např. v půdě, a to zejména vzorek F následovaný vzorkem C.



Obrázek 13. Hydrolytická gradace syrovátkových xerogelů v čase. [vlastní]

U syrovátkových xerogelů lze pozorovat hned na začátku měření vyšší procento uvolněného uhlíku než u xerogelů vodných, to se odráží i na konečných hodnotách měření. Tento trend je způsoben nižší soudržností gelové struktury vzorků kvůli obsahu minerálních látek; draslík, vápník, sodík, hořčík, zinek, a kyselin; citronová, mléčná, propionová, octová a mravenčí, pocházejících ze syrovátky. [47] Zvýšené uvolňování uhlíku může být pravděpodobně také důsledek tohoto rozdílného disperzního prostředí, kde syrovátka napomáhá degradaci xerogelů. Hodnota u vzorku Bs a Ds dosáhla po 216 hodinách 98,4 % a 97,1 %, což znamená, že se tyto dva vzorky po 9 dnech v podstatě zcela rozložily. Podobně je tomu i u xerogelu As, ze kterého se po 216 hodinách uvolnilo 88,4 % uhlíku. Xerogelové vzorky Fs (69,6 %), Es (69 %) a Cs (65,8 %) byly po 9 dnech zdegradované ve vodném prostředí z cca 70 %.

## ZÁVĚR

Sucho spolu s nedostatkem vody jsou velmi aktuální problémy, jež sužují nejen Českou republiku. Půda, která nemá dostatek vody, nemůže efektivně zastávat své základní funkce a odborné předpovědi pro nedostatek vody mají katastrofální dopady. V budoucnu lze tedy očekávat zvýšený tlak na hospodaření s vodou. Již v současné době se lze setkat s opatřeními, která hospodaření s vodou omezují. Zejména pak na lokální úrovni, kdy je v některých obcích například zákaz napouštění bazénů nebo zalévání pitnou vodou. Proto je ve vlastním zájmu všech, aby se v co největší míře dosáhlo zvýšení retence vody v půdním prostředí a krajině.

Jednou z možných odpovědí na nedostatek vody, sucho i na zlepšení půdních vlastností, mohou být technologie a materiály zvyšující retenci vody v půdě. Hydrogely, materiály s velkým potenciálem nejen v zemědělství, mohou mít pozitivní vliv jak na retenci vody v krajině, tak i na zlepšení půdních vlastností. Toho se dá dosáhnout různými modifikacemi a postupy při výrobě hydrogelu. Z této práce vyplývá, že zkoumané hydrogely, s výjimkou vzorků A a As, úspěšně zadržují vyšší procento vody než samotná půda. Velmi dobré vlastnosti pak vykazují hydrogely, které byly vyrobeny z agaru (F, Fs). Dokázaly v půdě zadržet o 31,48 % (F) a 23,58 % (Fs) více vody než pouhá půda, poté co byly vystaveny 40° C po dobu 72 hodin. Dále si dokázaly oproti půdě udržet dobré reverzibilní vlastnosti a taktéž se z nich při hydrolýze po dobu 9 dnů uvolnilo poměrně malé množství uhlíku 37,9% (F) a 69,6 % (Fs). To tedy znamená, že mají relativně velký potenciál, aby se v půdě udržely po delší dobu a dokázaly v ní efektivně zadržovat větší množství vody. To by se pak příznivě odráželo nejen v retenci, ale i v biodiverzitě a ve zlepšení půdních vlastností. Otázkou však zůstává jak zlepšit vlastnosti hydrogelu Fs, kde bylo jako disperzní prostředí použito roztok syrovátky s demineralizovanou vodou. Lze si totiž všimnout, že má oproti hydrogelu F menší retenční schopnost a rychleji degraduje. Jeho výhodou je právě syrovátka použitá při výrobě, neboť díky tomuto obohacení receptury lze do půdy postupně uvolňovat minerální látky, což by se příznivě odráželo v půdních vlastnostech.

Na hydrogely však nelze nahlížet, jako na komplexní řešení problému se suchem a nedostatkem vody. Zde by měla být důležitá hlavně prevence a celkově by se měl změnit přístup k využívání půdy a krajiny jako takové.

Aplikací správného hydrogelu do půdy by se ovšem mohlo přispět ke zlepšení současné situace a pomoci tak problematice retence vody v půdním prostředí.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] ŠARAPATKA, Bořivoj a Zoltán BEDRNA. *Kvalita a degradace půdy*. Olomouc: Univerzita Palackého, 2002. ISBN 80-244-0584-9.
- [2] MARTINOVSKÝ, Petr. *Environmentální bezpečnost v České republice*. Brno: Masarykova univerzita, Fakulta sociálních studií, Mezinárodní politologický ústav, 2016. ISBN 978-80-210-8191-8.
- [3] *Koncepce ochrany před následky sucha pro území České republiky: MŽP* [online]. 2015 [cit. 2017-12-17]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/news\\_170724\\_sucho/\\$FILE/koncepce\\_sucho\\_material.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/news_170724_sucho/$FILE/koncepce_sucho_material.pdf)
- [4] Sucho. *Český hydrometeorologický ústav* [online]. [cit. 2017-12-17]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/aktualni-situace/sucho#>
- [5] HLAVÍNEK, Petr, Petr PRAX a Jiří KUBÍK. *Hospodaření s dešťovými vodami v urbanizovaném území*. Brno: ARDEC, 2007. ISBN 978-80-86020-55-6.
- [6] *Národní akční plán adaptace na změnu klimatu: MŽP* [online]. 2015 [cit. 2017-12-17]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/narodni\\_akcni\\_plan\\_zmena\\_klimatu/\\$FILE/OEOK-NAP\\_text\\_20170127.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/narodni_akcni_plan_zmena_klimatu/$FILE/OEOK-NAP_text_20170127.pdf)
- [7] VOPRAVIL, Jan. *Půda a nové nástroje* [online]. 2016 [cit. 2017-12-19]. Dostupné z: [http://aa.ecn.cz/img\\_upload/5c056690afe4c19cfc7c7c1869565537/jan-vopravil\\_slunakov\\_1.-12.-2016.pdf](http://aa.ecn.cz/img_upload/5c056690afe4c19cfc7c7c1869565537/jan-vopravil_slunakov_1.-12.-2016.pdf)
- [8] *Situační a výhledová zpráva Půda* [online]. In: Praha: Ministerstvo zemědělství, 2015 [cit. 2017-12-19]. ISBN 978-80-7434-252-3. ISSN 1211-7692. Dostupné z: [http://eagri.cz/public/web/file/442693/SVZ\\_Puda\\_2015.pdf](http://eagri.cz/public/web/file/442693/SVZ_Puda_2015.pdf)
- [9] ŠARAPATKA, Bořivoj. *Pedologie a ochrana půdy*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014. ISBN 978-80-244-3736-1.
- [10] POSPÍŠILOVÁ, Lubica. *Charakteristika přírodních a půdních poměrů na vybraných lokalitách, které jsou součástí projektu NAZV QJ 1210263 "Agrochemická opatření ke snížení vodní eroze na orné půdě s využitím zapravení organické hmoty"*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2013. ISBN 978-80-7375-900-1.

- [11] DOLEJSKÝ, Vladimír. *Voda v krajině: Voda v krajině v kontextu změny klimatu* [online]. Praha: MŽP, 2016 [cit. 2018-03-24]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/news\\_160414\\_konference\\_voda\\_krajina/\\$FILE/Voda%20v%20krajine%202014\\_4\\_2016\\_DOLEJSKY.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/news_160414_konference_voda_krajina/$FILE/Voda%20v%20krajine%202014_4_2016_DOLEJSKY.pdf)
- [12] HŮLA, Josef. *Dopad netradičních technologií zpracování půdy na půdní prostředí: uplatněná certifikovaná metodika*. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2010. ISBN 978-80-86884-53-0.
- [13] *Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR* [online]. Praha: MŽP, 2015 [cit. 2018-03-24]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/zmena\\_klimatu\\_adaptacni\\_strategie/\\$FILE/OEOK-Adaptacni\\_strategie-20151029.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/zmena_klimatu_adaptacni_strategie/$FILE/OEOK-Adaptacni_strategie-20151029.pdf)
- [14] Šantrůčková, H., Malý, S., Cienciala, E. (2014): Půdní organická hmota a vodní retenční kapacita půd. Sborník Povodně a sucho: krajina jako základ řešení. Vydal Botanický ústav AVČR. ISBN 978-80-86188-44-7
- [15] ABEL, Stefan; PETERS, Andre; TRINKS, Steffen; SCHONSKY, Horst; FACKLAM, Michael; WESSOLEK, Gerd. Impact of Biochar and Hydrochar Addition on Water Retention and Water Repellency of Sandy Soil. *Geoderma*. 2013, vol. 202-203 s. 183-191. ISSN:0016-7061.
- [16] Pamukcu, P., Erdem, N., Serengil, Y., Randhir, T. O. (2016): Ecohydrologic modelling of water resources and land use for watershed conservation. *Ecological Informatics*
- [17] *Zpravodaj ministerstva životního prostředí: Největší rezerva v retenci vody je v samotné půdě* [online]. 2017 [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/news\\_171024\\_zpravodaj/\\$FILE/Zpravodaj\\_10-2017\\_F.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/news_171024_zpravodaj/$FILE/Zpravodaj_10-2017_F.pdf)
- [18] VOPRAVIL, Jan, a kol. *Půda a její hodnocení v ČR – Díl I. VÚMOP*, Praha, 2010, 147 s, ISBN 978 -80-87361-05-4.
- [19] KUBÁT, Jaromír. *Metodika hodnocení množství a kvality půdní organické hmoty v orných půdách* [online]. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, 2008 [cit. 2018-03-25]. ISBN 978-80-87011-65-2.



- [20] AHMED, E. M. Hydrogel: Preparation, characterization, and applications. *Journal of Advanced Research* [online]. InTech, 2013, s. - [cit. 2018-02-22]. DOI: 10.1016/j.jare.2013.07.006.
- [21] BARTOVSKÁ, Lidmila; ŠIŠKOVÁ, Marie. Fyzikální chemie povrchů a koloidních soustav. Vyd. 6. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2010. 262 s. ISBN 978-80-7080-745-3
- [22] MEISSNER, B.; ZILVAR, V. Fyzika polymerů: struktura a vlastnosti polymerních materiálů. 1. Vyd. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1987
- [23] H. GULREZ, Syed K., Saphwan AL-ASSAF a Glyn O. Hydrogels: Methods of Preparation, Characterisation and Applications. *Progress in Molecular and Environmental Bioengineering - From Analysis and Modeling to Technology Applications* [online]. InTech, 2011, 2011-08-01 [cit. 2018-03-27]. DOI: 10.5772/24553. ISBN 978-953-307-268-5. Dostupné z: <http://www.intechopen.com/books/progress-in-molecular-and-environmental-bioengineering-from-analysis-and-modeling-to-technology-applications/hydrogels-methods-of-preparation-characterisation-and-applications>
- [24] SEDLAŘÍK, V. Studijní opory k přednáškám z předmětu: Polymery a životní prostředí. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2011. 99 s.
- [25] SAARAI, A.. Hydrogels for biomedical applications: Hydrogely pro použití v biomedicíně: doctoral thesis summary[online]. 1. vyd. Zlín: Tomas Bata University in Zlín, 2012, 55 s. [cit. 2014-02-11]. Dostupné z: [http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/23006/saarai\\_2012\\_dp.pdf?sequence=1](http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/23006/saarai_2012_dp.pdf?sequence=1)
- [26] KAZANSKII, K. S. a S. A. DUBROVSKII. Chemistry and physics of “agricultural” hydrogels. *Polyelectrolytes Hydrogels Chromatographic Materials* [online]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1992, 1992-5-27, s. 97-133 [cit. 2018-04-30]. *Advances in Polymer Science*. DOI: 10.1007/3-540-55109-3\_3. ISBN 978-3-540-55109-6. Dostupné z: [http://link.springer.com/10.1007/3-540-55109-3\\_3](http://link.springer.com/10.1007/3-540-55109-3_3)

- [27] GHANBARZADEH, Babak a Hadi ALMASI. *Biodegradable Polymers* [online]. 2013-06-14 [cit. 2018-03-27]. DOI: 10.5772/56230. ISBN 10.5772/56230. Dostupné z: <http://www.intechopen.com/books/biodegradation-life-of-science/biodegradable-polymers>
- [28] ROY, Niladri, Nabanita SAHA, Takeshi KITANO a Petr SAHA. Novel hydrogels of PVP-CMC and their swelling effect on viscoelastic properties. *Journal of Applied Polymer Science* [online]. 2010, NA-NA [cit. 2018-04-30]. DOI: 10.1002/app.32056. ISSN 00218995. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/app.32056>
- [29] GARCÍA, Luis, María Rosa AGUILAR a Julio San ROMÁN. Biodegradable Hydrogels for Controlled Drug Release. OTTENBRITE, Raphael M., Kinam PARK a Teruo OKANO, ed. *Biomedical Applications of Hydrogels Handbook* [online]. New York, NY: Springer New York, 2010, 2010-5-17, s. 147-155 [cit. 2018-04-30]. DOI: 10.1007/978-1-4419-5919-5\_8. ISBN 978-1-4419-5918-8. Dostupné z: [http://link.springer.com/10.1007/978-1-4419-5919-5\\_8](http://link.springer.com/10.1007/978-1-4419-5919-5_8)
- [30] OKAY, O. General Properties of Hydrogels. GERLACH, Gerald a Karl-Friedrich ARNDT, ed. *Hydrogel Sensors and Actuators* [online]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010, 2009-8-11, s. 1-14 [cit. 2018-04-30]. Springer Series on Chemical Sensors and Biosensors. DOI: 10.1007/978-3-540-75645-3\_1. ISBN 978-3-540-75644-6. Dostupné z: [http://link.springer.com/10.1007/978-3-540-75645-3\\_1](http://link.springer.com/10.1007/978-3-540-75645-3_1)
- [31] *Pluronic Lecithin Organogel* [online]. 2018 [cit. 2018-04-28]. Dostupné z: <http://www.plo-gel.com/Main/plo-gel.php>
- [32] KIM, Jaehwan, Sungryul YUN a Zoubeida OUNAIES. Discovery of Cellulose as a Smart Material. *Macromolecules* [online]. 2006, 4202-4206 [cit. 2018-05-03]. DOI: 10.1021/ma060261e. ISSN 0024-9297. Dostupné z: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ma060261e>
- [33] SKURRAY, Geoffrey. *Decoding food additives: a comprehensive guide to food additive codes and food labelling*. South Melbourne: Lothian Books, 2006. ISBN 0734409222.

- [34] *Hydroxyethyl Cellulose: Dow Chemical Company* [online]. USA, 2005 [cit. 2018-05-03]. Dostupné z: [https://www.dow.com/assets/attachments/industry/building\\_construction/cellose\\_brochure.pdf](https://www.dow.com/assets/attachments/industry/building_construction/cellose_brochure.pdf)
- [35] WILLIAMS, Robert O., Matthew A. SYKORA a Vorapann MAHAGUNA. Method to recover a lipophilic drug from hydroxypropyl methylcellulose matrix tablets. *AAPS PharmSciTech* [online]. 2001, **2**(2), 29-37 [cit. 2018-05-03]. DOI: 10.1208/pt020208. ISSN 1530-9932. Dostupné z: <http://www.springerlink.com/index/10.1208/pt020208>
- [36] *Ottův slovník naučný: illustrovaná encyklopedie obecných vědomostí, První díl. Praha: J. Otto, 1888. S. 424–425.*
- [37] ČESKO. Zákon č. 334/1992 Sb. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2018 [cit. 8. 4. 2018]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1992-334>
- [38] ČESKO. Zákon č. 114/1992 Sb. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2018 [cit. 8. 4. 2018]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1992-114>
- [39] ČESKO. Zákon č. 17/1992 Sb. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2018 [cit. 8. 4. 2018]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1992-17>
- [40] ČESKO. Zákon č. 254/2001 Sb. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2018 [cit. 8. 4. 2018]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-254>
- [41] ČESKO. Zákon č. 156/1998 Sb. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2018 [cit. 8. 4. 2018]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1998-156>
- [42] ČESKO. Vyhláška č. 153/2016 Sb. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2018 [cit. 8. 4. 2018]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-153>
- [43] ČESKO. Vyhláška č. 257/2009 Sb. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2018 [cit. 14. 4. 2018]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2009-257>
- [44] KAPUTSKII, F. N., E. V. GERT, V. I. TORGASHOV a O. V. ZUBETS. Hydrogels for medical applications fabricated by oxidative-hydrolytic modification of cellulose. *Fibre Chemistry* [online]. 2005, **37**(6), 485-489 [cit. 2018-04-14]. DOI: 10.1007/s10692-006-0026-z. ISSN 0015-0541. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s10692-006-0026-z>

- [45] MUDGIL, Deepak, Sheweta BARAK a Bhupendar Singh KHATKAR. Guar gum: processing, properties and food applications—A Review. *Journal of Food Science and Technology* [online]. 2014, **51**(3), 409-418 [cit. 2018-04-14]. DOI: 10.1007/s13197-011-0522-x. ISSN 0022-1155. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s13197-011-0522-x>
- [46] *Pragolab: Charakterizace materiálů pomocí analyzátoru organického elementárního složení* [online]. 2016 [cit. 2018-04-18]. Dostupné z: <https://www.pragolab.cz/charakterizace-materialu-pomoci-analyzatoru-organickeho--elementarniho-slozeni>
- [47] SUKOVÁ, Irena. *Syrovátka v potravinářství* [online]. Praha, 2006 [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: [http://www.agronavigator.cz/attachments/Sukova\\_Syrovatka.pdf](http://www.agronavigator.cz/attachments/Sukova_Syrovatka.pdf)
- [48] BEACH, Eliot F., Samuel S. BERNSTEIN, Olive D. HOFFMAN, D. Maxwell TEAGUE a Icie G. MACY. *Distribution of nitrogen and protein amino acids in human and in cow's milk* [online]. Detroit, 1941 [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <http://www.jbc.org/content/139/1/57.full.pdf>
- [49] KABIR, M. Hasnat, Kumkum AHMED a Hidemitsu FURUKAWA. A Low Cost Sensor Based Agriculture Monitoring System Using Polymeric Hydrogel. *Journal of The Electrochemical Society* [online]. 2017, 164(5), B3107-B3112 [cit. 2018-04-20]. DOI: 10.1149/2.0171705jes. ISSN 0013-4651. Dostupné z: <http://jes.ecsdl.org/lookup/doi/10.1149/2.0171705jes>
- [50] SCHLEIBINGER, M. a J.J. SCHMITT. Easy Measurement of Different Forces of Water Retention by Hydrocolloids through Water Loss at Same Viscosity. *Advance Journal of Food Science and Technology*[online]. 2014, 1033-1035 [cit. 2018-05-17]. DOI: 10.19026/ajfst.6.154. ISSN 20424868. Dostupné z: <http://maxwellsci.com/jp/mspabstract.php?jid=AJFST&doi=ajfst.6.154>
- [51] OLAD, Ali, Hamid ZEBHI, Dariush SALARI, Abdolreza MIRMOHSENI a Adel REYHANITABAR. A promising porous polymer-nanoclay hydrogel nanocomposite as water reservoir material: synthesis and kinetic study. *Journal of Porous Materials* [online]. 2018, **25**(3), 665-675 [cit. 2018-05-17]. DOI: 10.1007/s10934-017-0479-x. ISSN 1380-2224. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s10934-017-0479-x>

- [52] SHIRSATH, Nandkishor, Devendra RAGHUVANSHI, Chandrashekhar PATIL, Vikas GITE a Jyotsna MESHRAM. Biocomposite formation using  $\beta$ -cyclodextrin as a biomaterial in poly(acrylamide-co-acrylic acid): preparation, characterization, and salinity profile. *Iranian Polymer Journal* [online]. 2018, 27(4), 217-224 [cit. 2018-05-17]. DOI: 10.1007/s13726-018-0602-0. ISSN 1026-1265. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s13726-018-0602-0>
- [53] PASSAUER, Lars, Till HALLAS, Ernst BÄUCKER, Gisela CIESIELSKI, Sascha LEBIODA a Ute HAMER. Biodegradation of Hydrogels from Oxyethylated Lignins in Model Soils. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering* [online]. 2015, 1955-1964 [cit. 2018-04-26]. DOI: 10.1021/acssuschemeng.5b00139. ISSN 2168-0485. Dostupné z: <http://pubs.acs.org/doi/10.1021/acssuschemeng.5b00139>
- [54] SHIMADZU: *TOC-L Series* [online]. 2018 [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <https://www.shimadzu.eu/toc-l-series-combustion>
- [55] ČSN EN 14046. *Obaly - Hodnocení úplné aerobní biodegradace obalových materiálů při řízených podmínkách kompostování - Metoda analytického stanovení uvolněného oxidu uhličitého*. Český normalizační institut, 2003.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

apod.	a podobně
cca	přibližně
č.	číslo
ČOV	čistička odpadních vod
ČR	Česká republika
h	hodina
např.	například
obr.	obrázek
PEG	polyethylenglykol
sb.	sbírka
tab.	tabulka
tzv.	takzvaně
TOC	celkový organický uhlík
obr.	obrázek

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1. Propagace sucha do jednotlivých částí hydrologického cyklu. [3] .....	14
Obrázek 2. Řetězová reakce degradačních procesů. [7] .....	16
Obrázek 3. Komplexní podpora retence vody v krajině. [11] .....	21
Obrázek 4. Nevhodné odvodnění zemědělské půdy, lesů a sídel. [11] .....	22
Obrázek 5. Schéma dělení hydrogelů. [25].....	28
Obrázek 6. Postup přípravy hydrogelu. [31].....	31
Obrázek 7. Schematicky znázorněný princip katalytického spálení vzorku, separace a detekce produktů a následného vyhodnocení elementárního složení. [46] .....	42
Obrázek 8. Prvkové zastoupení v xerogelech A-F. [vlastní] .....	43
Obrázek 9. Prvkové zastoupení v xerogelech As-Fs. [vlastní] .....	44
Obrázek 10. Procentuální zadržení vody kompozitními materiály po vysušení. [vlastní].....	45
Obrázek 11. Reverzibilní schopnost xerogelů v čase. [vlastní].....	48
Obrázek 12. Hydrolytická degradace xerogelových vzorků připravených ve vodě v čase. [vlastní].....	51
Obrázek 13. Hydrolytická gradace syrovátkových xerogelů v čase. [vlastní].....	52
Obrázek 14 Hydrogel na bázi hydroxyethylcelulózy připravený ve vodě (vlevo) a v syrovátkovém roztoku (vpravo).....	66
Obrázek 15 Hydrogel na bázi cetyl hydroxyethylcelulózy připravený ve vodě (vlevo) a v syrovátkovém roztoku (vpravo).....	66
Obrázek 16 Hydrogel na bázi sodné karboxymethylcelulózy připravený ve vodě (vlevo) a v syrovátkovém roztoku (vpravo).....	67
Obrázek 17 Hydrogel na bázi hydroxypropyl methylcelulózy připravený ve vodě (vlevo) a v syrovátkovém roztoku (vpravo).....	67
Obrázek 18 Hydrogel na bázi guarové gummy připravený ve vodě (vlevo) a v syrovátkovém roztoku (vpravo).....	68
Obrázek 19 Hydrogel na bázi agaru připravený ve vodě (vlevo) a v syrovátkovém roztoku (vpravo).....	68

**SEZNAM TABULEK**

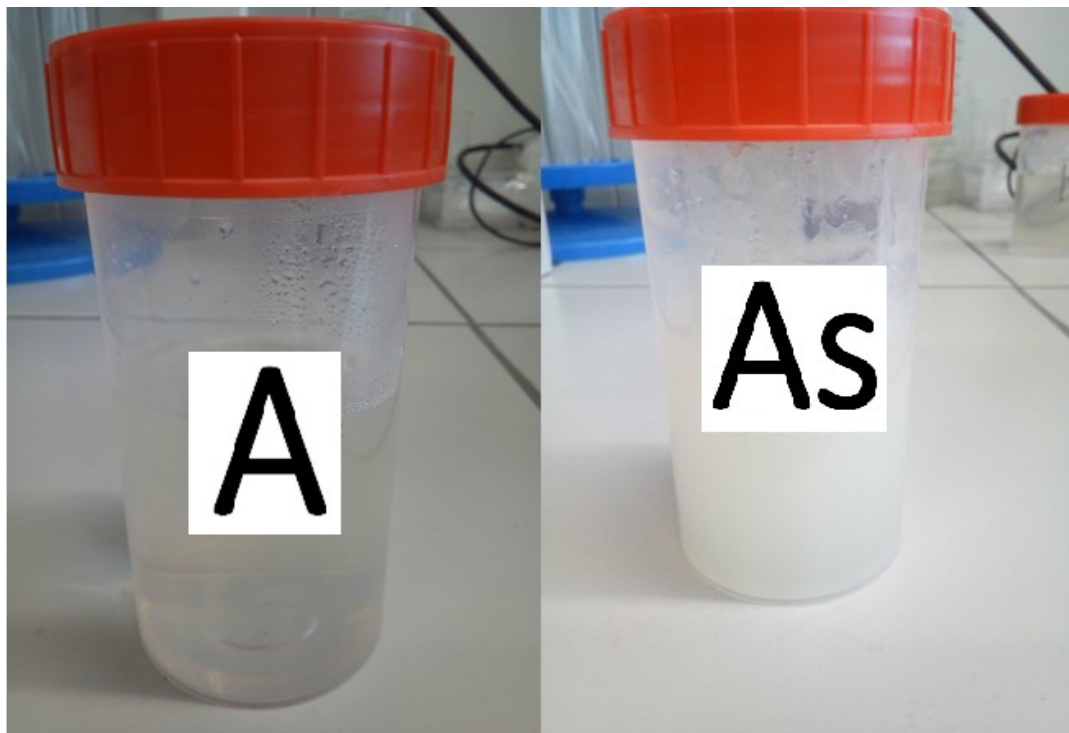
Tabulka 1. Materiály použité při výrobě hydrogelů. [vlastní] .....	39
Tabulka 2. pH hydrogelů. [vlastní] .....	41



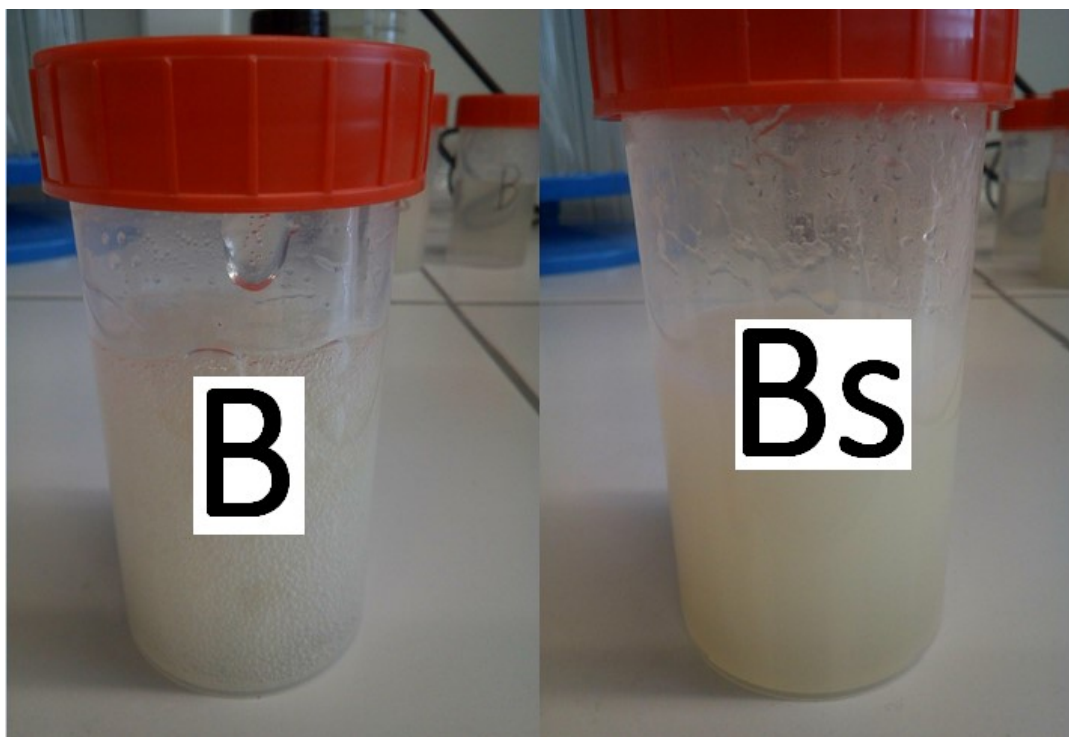
## SEZNAM PŘÍLOH

P1: Hydrogely

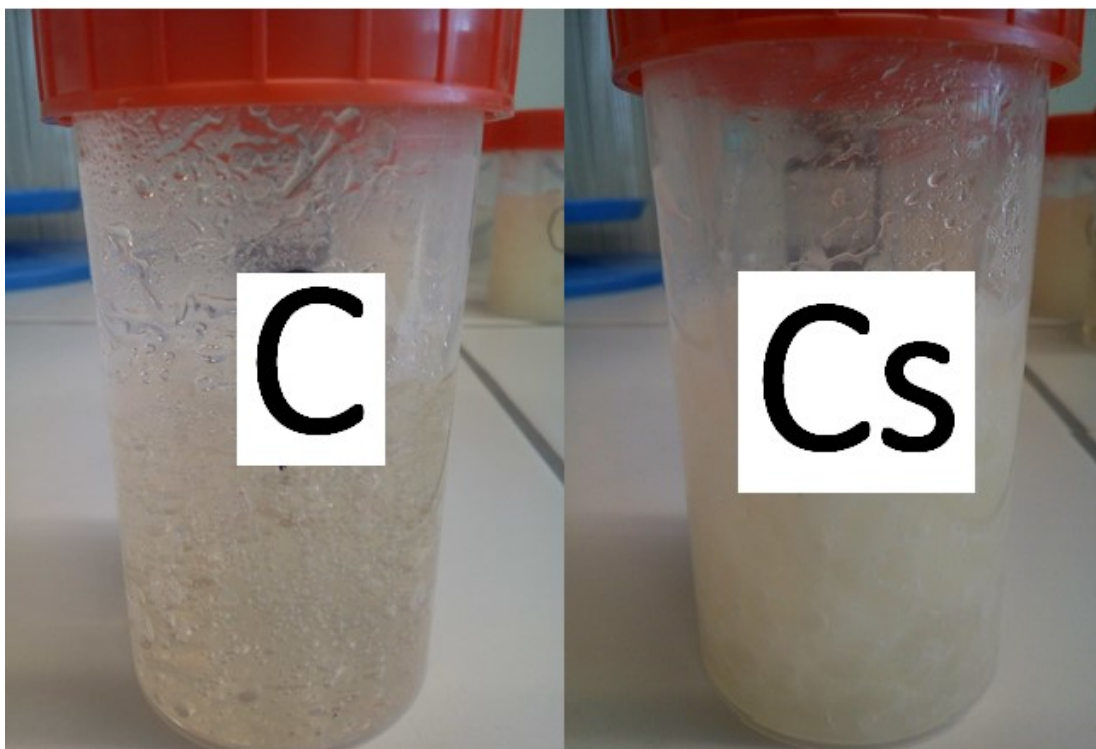
## PŘÍLOHA P I: HYDROGELY



Obrázek 14 Hydrogel na bázi hydroxyethylcelulózy připravený ve vodě (vlevo) a v syrovátkovém roztoku (vpravo). [vlastní]



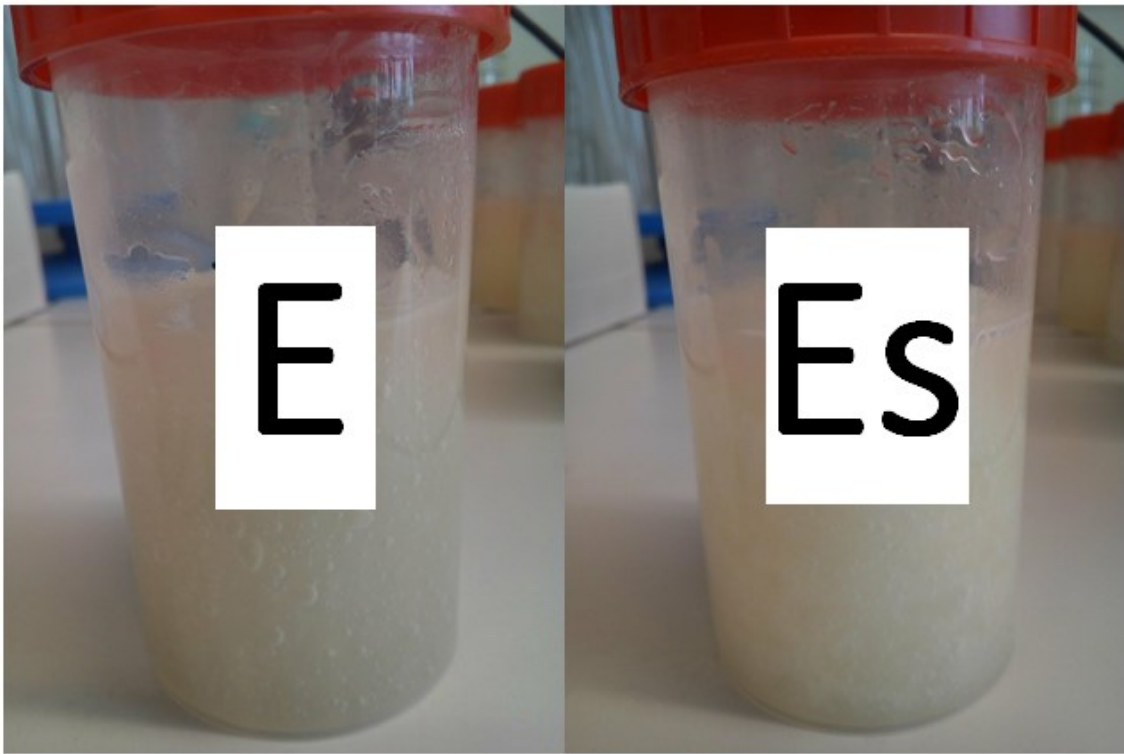
Obrázek 15 Hydrogel na bázi cetyl hydroxyethylcelulózy připravený ve vodě (vlevo) a v syrovátkovém roztoku (vpravo). [vlastní]



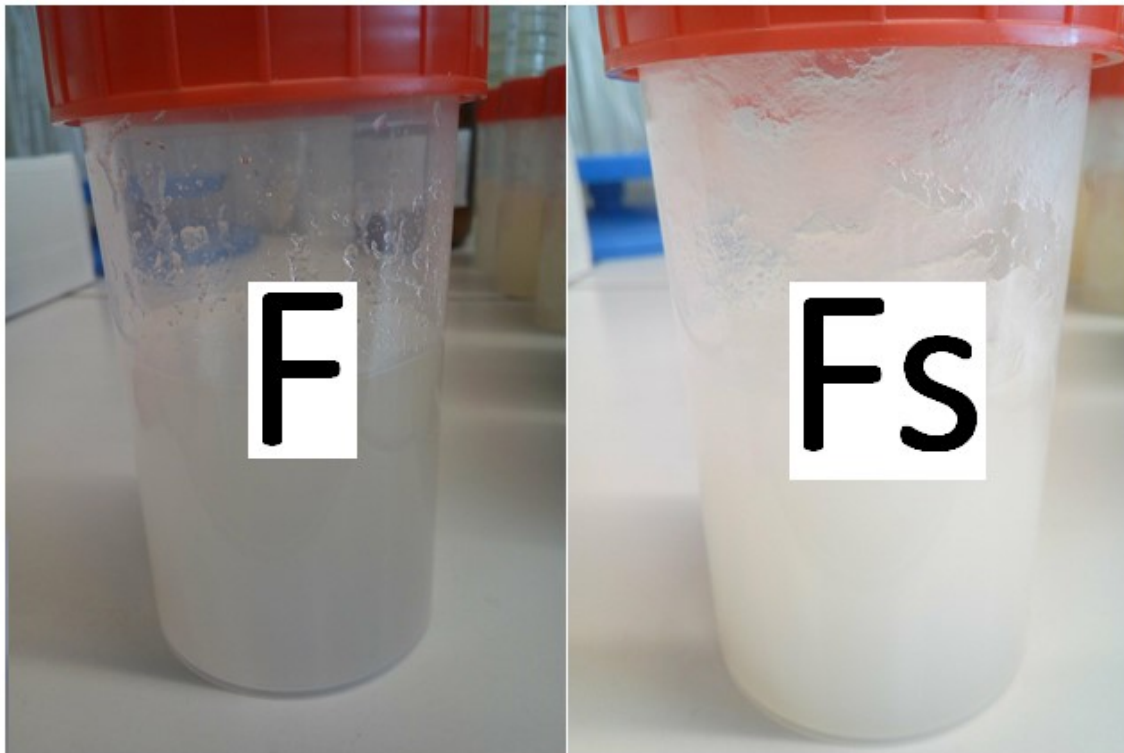
Obrázek 16 Hydrogel na bázi sodné karboxymethylcelulózy připravený ve vodě (vlevo) a v syrovátkovém roztoku (vpravo). [vlastní]



Obrázek 17 Hydrogel na bázi hydroxypropyl methylcelulózy připravený ve vodě (vlevo) a v syrovátkovém roztoku (vpravo). [vlastní]



Obrázek 18 Hydrogel na bázi guarové gummy připravený ve vodě (vlevo) a v syrovátkovém roztoku (vpravo). [vlastní]



Obrázek 19 Hydrogel na bázi agaru připravený ve vodě (vlevo) a v syrovátkovém roztoku (vpravo). [vlastní]