

Dvojezična srednja šola Lendava / Kétnyelvű Középiskola, Lendva

Kolodvorska ulica 2e

9220 Lendava



Raziskovalna naloga

VPLIV KOAGULACIJE IN FLOKULACIJE NA VSEBNOST SUHE SNOVI V ODPADNEM MICELIJU

Tematsko področje: KEMIJA in KEMIJSKA TEHNOLOGIJA

Avtor: Žiga Tibaut

Mentorica: Natalija Pavošević Žoldoš

Somentor: dr. Bojan Kulčar

Lendava, februar 2021

Kazalo vsebine

POVZETEK.....	4
ABSTRACT.....	5
ZAHVALA	6
1 UVOD.....	7
1.1 Raziskovalni namen.....	7
1.2 Raziskovalni cilji	8
1.3 Hipoteze	8
1.4 Metode in potek dela	9
2 TEORETIČNI DEL.....	10
2.1 Odpadni micelij v proizvodnji	10
2.2 Koagulacija in flokulacija.....	12
2.2.1 Koagulacija	14
2.2.2 Flokulacija.....	15
2.2.3 Dejavniki koagulacije in flokulacije	16
2.3 Koagulantni in flokulanti.....	16
2.3.1 Koagulantni.....	17
2.3.1.1 Železove soli.....	18
2.3.1.2 Aluminijske soli	18
2.3.2 Flokulanti	19
2.3.2.1 Polielektroliti	20
3 RAZISKOVALNI DEL	22
3.1 Analiza odpadnega micelija	22
3.2 Priprava raztopin koagulantov	22
3.3 Postopek koagulacije in flokulacije.....	24
3.3.1 Delovna Raztopina Amagela in PACI.....	24
3.3.2 Delovna raztopina Amagela.....	25
3.3.3 Raztopina PACI	26
3.4 Vakuumska filtracija.....	26

3.5	Rezultati koagulacije in flokulacije v miceliju	29
3.6	Rezultati vakuumske filtracije.....	31
4	ZAKLJUČEK IN DISKUSIJA.....	32
4.1	Vpliv Amagela.....	33
4.2	Vpliv polialuminijevega klorida (PACl).....	33
5	VIRI IN LITERATURA	35

Kazalo slik

Slika 1:	Shema proizvodnje klavulanske kisline in nastajanja odpadnega micelija [16].....	10
Slika 2:	Odpadni micelij [2].....	11
Slika 3:	Shema koagulacije, flokulacije in usedanja delcev oz. sedimentacije [17]	12
Slika 4:	Koagulacija, flokulacija in sedimentacija (od leve proti desni) [18]	13
Slika 5:	Koagulacija in flokulacija pri biološkem čiščenju na čistilnih napravah [19]	13
Slika 6:	Shema koagulacije koloidnih delcev in nastanek kosma [20].....	14
Slika 7:	Vezava koloidnih delcev na polielektrolitske verige [8].....	15
Slika 8:	Shema poteka usedanja oziroma sedimentacije [21]	15
Slika 9:	Shema koagulacije in flokulacije ter sprememba nabojev [22]	16
Slika 10:	Rdeče obarvane flokule ob dodatku železovega koagulanta	18
Slika 11:	Svetlo obarvane flokule ob dodatku aluminijevega koagulanta	19
Slika 12:	Enostavna veriga polielektrolita s funkcionalnimi skupinami [23]	20
Slika 13:	Primerjava delovanja koagulantov in flokulantov ter Amagela [15].....	21
Slika 14:	Analiza vzorca odpadnega micelija s IR sušilnikom Kern.....	22
Slika 15:	Pripravljene raztopine Amagela in PACl	23
Slika 16:	Vzorec 0 – kontrolna skupina	24
Slika 17:	Shema aparature za vakuumsko filtracijo [24]	27
Slika 18:	Aparatura za vakuumsko filtracijo	27
Slika 19:	Vakuumska filtracija vzorca micelija	28
Slika 20:	Odmerjen volumen filtrata pri vzorcu 30	28
Slika 21:	Izračun volumna filtrirnega preostanka	28
Slika 22:	Formula za izračun deleža suhe snovi.....	29
Slika 23:	(od leve proti desni) filtrne pogače vzorcev 28, 29 in 30	31

Kazalo tabel in grafov

Tabela 1: Odmerki in količine raztopine Amagela in PACI v vzorcih 1–10	25
Tabela 2: Odmerki raztopine Amagela in količina Amagela v vzorcih 11–20	25
Tabela 3: Odmerki 18 % raztopine PACI in količine PACI v vzorcih 21-30.....	26
Tabela 4: Opis sprememb in uspešnost koagulacije in flokulacije z raztopino Amagela in PACI	29
Tabela 5: Opis sprememb in uspešnost koagulacije in flokulacije z Amagelom.....	30
Tabela 6: Opis sprememb in uspešnost koagulacije in flokulacije s PACI.....	30
Tabela 7: Rezultati vakuumske filtracije	31
Graf 1: Količina vseh odpadkov na tono proizvoda po lokacijah Lek d. d. [3].....	11
Graf 2: Količina odpadkov na tono proizvoda po lokacijah Lek d. d. - brez odpadnega micelija [3].....	12
Graf 3: Naraščanje volumna filtrata v odvisnosti od dodanega micelija	33

Povzetek

Odpadni micelij je stranski produkt proizvodnje zdravilnih učinkovin, ki v podjetju Lek d. d. nastaja v velikih količinah. V raziskovalni nalogi sem raziskal možnosti za zmanjšanje količine mokre snovi v odpadnem miceliju, kar bi v njem posledično povečalo vsebnost suhe snovi. Raziskovalni del naloge sem izvedel v podjetju, kjer sem na odpadnem miceliju testiral delovanje koagulanta polialuminijevega klorida (PACl) in flokulanta Amagela. Ugotavljal sem vpliv PACl in polielektrolita Amagela na potek koagulacije in flokulacije ter vsebnost suhe snovi v odpadnem miceliju. Po opravljeni koagulaciji in flokulaciji sem izvedel še vakuumsko filtracijo, ki je odstranila določeno količino mokre snovi. Ugotovil sem, da flokulacija z Amagelom na odpadnem miceliju ni bila učinkovita, saj ni prišlo do nastajanja flokul. Koagulant polialuminijev klorid pa se je izkazal za učinkovitega, saj se je z njim izboljšala filtrabilnost in izločanje mokre snovi iz odpadnega micelija. V enem od vzorcev se je izločilo kar 35 % mokre snovi, kar je zmanjšalo količino celotnega odpadnega micelija. Na tak način bi lahko podjetje zmanjšalo stroške odvoza in ogljični odtis.

Potek dela in vsi rezultati so zapisani v nalogi.

Ključne besede: odpadni micelij, koagulacija, flokulacija, polielektroliti, odpadki, vsebnost suhe snovi, vakuumaska filtracija

Abstract

Waste mycelium is a by-product of the production of pharmaceutical substances produced in large quantities by firm Lek in Lendava, Slovenia. In my research paper, I explored the possibilities of reducing the amount of wet matter in the waste mycelium, which would consequently increase the dry matter content. I carried out the experimental part of the research paper in the firm, where I tested the performance of coagulant polyaluminium chloride (PACl) and flocculant Amagel on waste mycelium. I determined the impact of PACl and polyelectrolyte Amagel on the coagulation and flocculation processes and the dry matter content of the waste mycelium. After testing coagulation and flocculation, I performed a vacuum filtration that removed a certain amount of wet matter. I found that flocculation with Amagel on the waste mycelium was not effective as there were no floccules formed. However, coagulant polyaluminium chloride has been shown to be effective as it improves the filtration and elimination of wet matter from the waste mycelium. As much as 35% of the wet matter was eliminated in one of the samples, which reduced the amount of total waste mycelium. In this way, the company could reduce the cost of the removal and the carbon footprint.

The workflow and all the results are presented in the following research paper.

Key words: waste mycelium, coagulation, flocculation, polyelectrolytes waste, dry matter content, vacuum filtration

Zahvala

Zahvaljujem se mentorici Nataliji Pavošević Žoldoš, profesorici kemije, za pomoč, usmerjanje in spodbude pri izdelavi raziskovalne naloge, somentorju, dr. Bojanu Kulčarju za pomoč in napotke pri izvedbi raziskovalnega dela naloge ter podjetju Lek v Lendavi za omogočanje izvedbe poskusov in dobavo vseh potrebnih pripomočkov in kemikalij za izvedbo eksperimenta. Zahvaljujem se tudi profesorici slovenščine mag. Gabrieli Zver za lektoriranje naloge in profesorici angleščine, Sandri Vida za pomoč pri prevajanju povzetka.

1 Uvod

S tematiko sem se seznanil preko somentorja v podjetju Lek. Ker me že od nekdaj zanima proizvodnja in delovanje zdravil, sem se želel v svoji raziskovalni nalogi ukvarjati s tematiko na tem področju. Zato sem navezal kontakt z lokalnim farmacevtskim podjetjem Lek d. d. in vprašal, če bi lahko kot zunanja oseba v sodelovanju s podjetjem raziskoval kako področje v zvezi s proizvodnjo zdravil. Glede na takratne razmere se je ponujala možnost, da bi testiral koagulante in flokulante na odpadnem miceliju, stranskem produktu proizvodnje klavulanske kisline.

Farmacevtska družba Lek d. d. proizvaja na lokaciji Lendava antibiotične učinkovine s pomočjo fermentacije mikroorganizmov. Fermentacija je kontroliran proces, kjer pod določenimi pogoji mikroorganizmi proizvedejo antibiotično učinkovino. Po zaključeni fermentaciji sledi izolacija farmacevtske učinkovine iz fermentacijske brozge. Pri proizvodnji nastajajo velike količine odpadnega micelija. Podjetje odpadni micelij odvaža na predelavo v bioplinarne, kjer iz njega pridobivajo bioplin. Odpadni micelij vsebuje približno 5 % suhe snovi, ki je pretežno organskega izvora, in približno 95 % vode. Podjetje želi optimizirati stroške predelave odpadnega micelija na račun zmanjšanja volumna, hkrati pa bi povečanje koncentracije suhe snovi omogočilo večji izkupiček bioplina na enak volumen micelija. Poleg ekonomskih učinkov na stroške predelave odpadnega micelija bi podjetje zmanjšalo tudi svoj ogljični odtis zaradi zmanjšanja števila prevozov odpadnega micelija na predelavo. [1] [2]

1.1 Raziskovalni namen

S svojo raziskovalno nalogo sem preveril, ali je možno v odpadnem miceliju, ki je sestavljen večinoma iz vode, ob dodatku polialuminijevega klorida in organskega polimera Amagela™ ter nato s filtracijo povečati koncentracijo suhe snovi. Ugotoviti sem želel tudi, kakšna količina in koncentracija polialuminijevega klorida in Amagela™ je potrebna za uspešen proces koagulacije, flokulacije in filtracije.

1.2 Raziskovalni cilji

Z to raziskovalno nalogo sem želel:

- preveriti uspešnost koagulacije in flokulacije raztopine polialuminijevega klorida in Amagela™ na odpadnem miceliju,
- določiti optimalno porabo polialuminijevega klorida in Amagela™ v odpadnem miceliju in
- predvideti ekonomske in ekološke učinke uporabe polialuminijevega klorida in Amagela™ v odpadnem miceliju.

1.3 Hipoteze

Pred začetkom izvedbe raziskovalnega dela naloge sem si postavil naslednje hipoteze:

- Po dodatku raztopine koagulanta polialuminijevega klorida v odpadni micelij bo prišlo do koagulacije in odpadni micelij se bo zgostil.
- Po dodatku raztopine flokulanta Amagela™ v odpadni micelij bo prišlo do flokulacije in v miceliju se bodo pojavile flokule.
- Po dodatku raztopine polialuminijevega klorida in polimera Amagela™ bo odpadni micelij postal filtrabilen.
- Po vakuumski filtraciji se bo iz vzorcev micelija izločila mokra snov, kar bo povečalo vsebnost suhe snovi.

1.4 Metode in potek dela

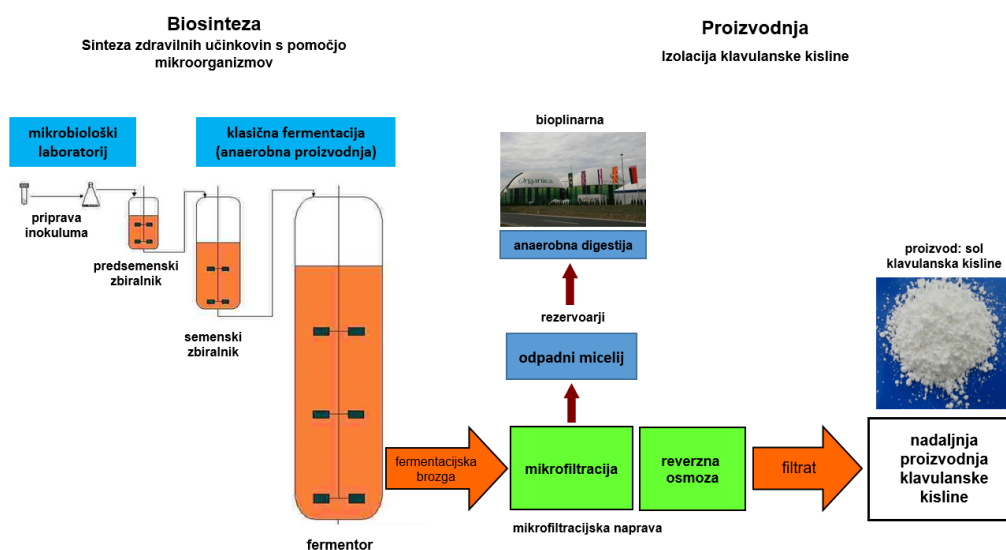
Podatke za teoretični del raziskovalne naloge sem zbiral v znanstvenih publikacijah, strokovnih člankih, diplomskih delih, na spletnem portalu podjetja Lek d. d. in na ostalih verodostojnih spletnih straneh. Eksperimentalni del raziskovalne naloge sem v celoti opravil v laboratoriju podjetja Lek d. d. v Lendavi. Preizkuse sem izvajal na v podjetju proizvedenem odpadnem miceliju. Za doseganje koagulacije in flokulacije sem uporabil kombinacijo anorganskega koagulanta in polielektrolita. Kot anorganski koagulant sem uporabil aluminijevo sol polialuminijev klorid (PACl) podjetja Kemira, kot organski flokulant pa sem uporabil polielektrolit Amagel™, ki je patent podjetja GC Solutions s sedežem v Koloradu v Združenih državah Amerike.

2 Teoretični del

2.1 Odpadni micelij v proizvodnji

Farmacevtska industrija proizvaja številne produkte, ki se uporabljajo kot zdravilne učinkovine za ljudi in živali. V podjetju Lek na lokaciji Lendava je eden izmed teh procesov tudi izdelava klavulanske kisline, ki se uporablja v kombinaciji z penicilinskimi antibiotiki kot so Amoksiklav, Betaklav, Augmentin in Amoksicilin. Ta zdravilna učinkovina se proizvaja v več zaporednih fazah. Prva faza je biosinteza, pri kateri gre za nastanek fermentacijske brozge s vsebnostjo klavulanske kisline. Proces poteka tako, da v laboratoriju vzgojijo glivo z latinskim imenom *Streptomyces clavuligerus*, ki nato v fermentacijski brozgi pod kontroliranimi pogoji proizvede klavulansko kislino. Fermentaciji sledi faza izolacije, in sicer po končani fermentaciji se brozga prefiltrira na mikrofiltracijski napravi, kjer se iz fermentacijske brozge odstranijo ostanki celic mikroorganizmov in drugih surovin. Tako se iz fermentacijske brozge izolira klavulanska kislina, ki se v nato v nadaljnji proizvodnji proizvede do soli klavulanske kisline. [1] [2] [5]

Stranski produkt proizvodnje klavulanske kisline je odpadni micelij, ki se z mikrofiltracijo odstrani iz procesa proizvodnje. Odpadni micelij se po mikrofiltraciji zbira v dveh rezervoarjih, od koder se ga s cisternami vozi na anaerobno predelavo v bioplinarno, kjer ga predelajo v bioplin. [1] [2] [5]



Slika 1: Shema proizvodnje klavulanske kisline in nastajanja odpadnega micelija [16]

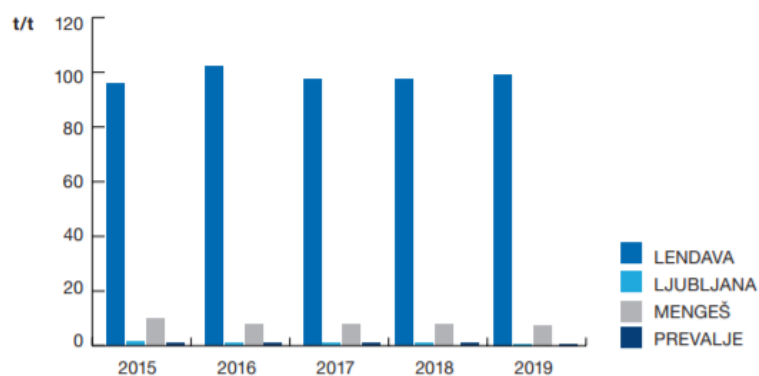
Odpadni micelij je nenevaren, biološko razgradljiv odpadek v obliki svetlo rjave tekočine rahlo kislega značaja (pH vrednost je 5,8), s približno 5 % suhe snovi in 95 % vode ter vonjem po plesni. Gre za zmes različnih odpadnih snovi, med njimi je največji delež organskih snovi, ki sestavlja 93 % suhe snovi. V miceliju so lahko prisotne naslednje snovi: dušik, fosfor, kalij, kalcij, amonij, razne kovine (cink, baker, kadmij, nikelj, krom, svinec, živo srebro), maščobne kisline in bakterije. [2]

Odpadni micelij predstavlja večinski delež vseh biološko razgradljivih odpadkov družbe Lek d. d., biološko razgradljivi odpadki pa predstavljajo kar 74 % vseh odpadkov. Največ micelija nastaja prav na lokaciji Lendava zaradi proizvodnje klavulanske kisline. [2] [4]



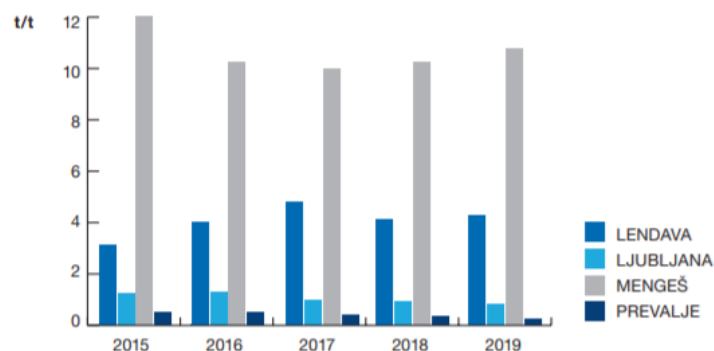
Slika 2: Odpadni micelij [2]

Na grafu 1 so prikazane količine vseh proizvedenih odpadkov na tono proizvoda po lokacijah Lek d. d. po Sloveniji med leti 2015 in 2019. Iz grafa je razvidno, da lokacija Lendava proizvede približno 100 ton odpadkov na tono proizvoda, kar je za približno 10-krat več kot na vseh drugih lokacijah Lek d. d. po Sloveniji skupaj.



Graf 1: Količina vseh odpadkov na tono proizvoda po lokacijah Lek d. d. [3]

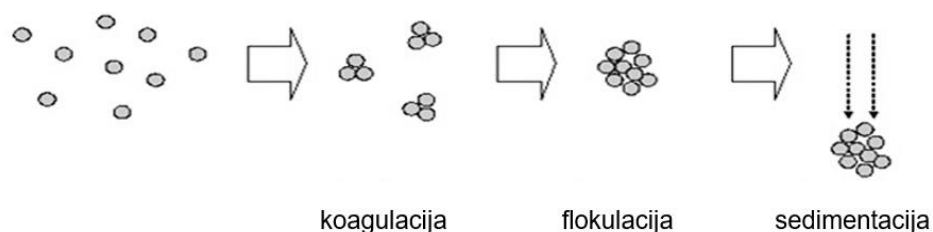
Na grafu 2 pa so prikazane količine proizvedenih odpadkov na tono proizvoda po lokacijah Lek d. d. po Sloveniji med leti 2015 in 2019, če ne upoštevamo micelija. Iz grafa je razvidno, da lokacija Lendava proizvede v povprečju 4 tone odpadkov na tono proizvoda, če ne upoštevamo odpadnega micelija. Če primerjamo grafa 1 in 2, opazimo, da odpadni micelij letno predstavlja približno 95 % vseh odpadkov, proizvedenih na lokaciji Lendava. Tako je zaradi nastajanja odpadnega micelija pri proizvodnji količina vseh proizvedenih odpadkov na tono proizvoda na lokaciji Lendava približno 24-krat večja.



Graf 2: Količina odpadkov na tono proizvoda po lokacijah Lek d. d. - brez odpadnega micelija [3]

2.2 Koagulacija in flokulacija

Koagulacija je proces, pri katerem se v vodi netopni trdni delci združijo v večje delce, ki jih imenujemo kosmi. Flokulacija pa je proces, pri katerem se kosmi združijo v še večje delce, imenovane flokule, ki se zaradi povečane mase usedajo in ločijo od vode, ko je vidno na sliki 4. [6] [7] [8]



Slika 3: Shema koagulacije, flokulacije in usedanja delcev oz. sedimentacije [17]



Slika 4: Koagulacija, flokulacija in sedimentacija (od leve proti desni) [18]

Koagulacija in flokulacija se običajno uporabljata za povečanje biološke razgradljivosti odpadne vode v biološkem čiščenju. Gre za pogosto uporabljena postopka, katerih cilj je izboljšati ločevanje netopnih trdnih delcev v vodi v procesih usedanja in filtracije. V vodi netopnim trdnim delcem, ki se težko in počasi usedajo, pravimo tudi koloidni delci oziroma koloidi. [6] [7] [8]



Slika 5: Koagulacija in flokulacija pri biološkem čiščenju na čistilnih napravah [19]

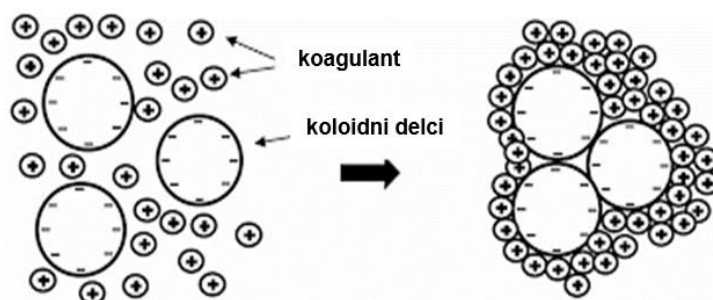
V začetku sta se koagulacija in flokulacija uporabljali zgolj za zmanjševanje motnosti pitne vode. V zadnjem času pa so prišli do ugotovitev, da sta postopka učinkovita tudi pri odstranjevanju kovin, toksičnih organskih snovi in virusov, ki se lahko vežejo na površino koloidnih delcev. Gre za metodi, s katerima se lahko iz vode odstranijo različna onesnaževala, s čimer je mogoče zadovoljiti kriterije o čistoči vode EPA (Environmental Protection Agency). [7]

2.2.1 Koagulacija

Koagulacija je proces, pri katerem se po raztopini enakomerno porazdeljeni koloidni delci premera 1–100 nm s pomočjo koagulanta združijo v večje delce, in sicer se ponavadi negativni nabiti koloidni delci (OH^-) nevtralizirajo s kovinskimi kationi (Al^{3+} , Fe^{3+}) iz koagulanta. Nevtralizacija povzroči združevanje koloidnih delcev v večje skupke oziroma kosme. [6] [8]

Postopek koagulacije lahko razdelimo na tri zaporedne korake:

1. hidroliza koagulanta,
2. destabilizacija delcev in
3. medsebojni trki delcev.

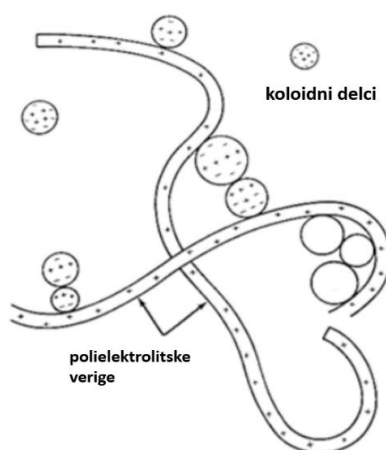


Slika 6: Shema koagulacije koloidnih delcev in nastanek kosma [20]

Prva dva koraka ponavadi potečeta hitro in med hitrim mešanjem. Medsebojni trki med delci pa potečejo počasi in so doseženi s počasnim mešanjem in pretokom raztopine. Pri hidrolizi koagulanta gre za raztapljanje koagulanta v vodni raztopini in njegov razpad na anione in katione. Destabilizacija koloidnih delcev je posledica nevtralizacije in povezovanja negativno nabitih koloidnih delcev s kovinskimi kationi iz koagulanta. Za tretji korak je potrebno zagotoviti premikanje delcev zato, da bi povzročili čim več srečanj oziroma trkov med njimi. Trki povzročijo združevanje koloidnih delcev v skupke, ki jim pravimo kosmi. [7] [8]

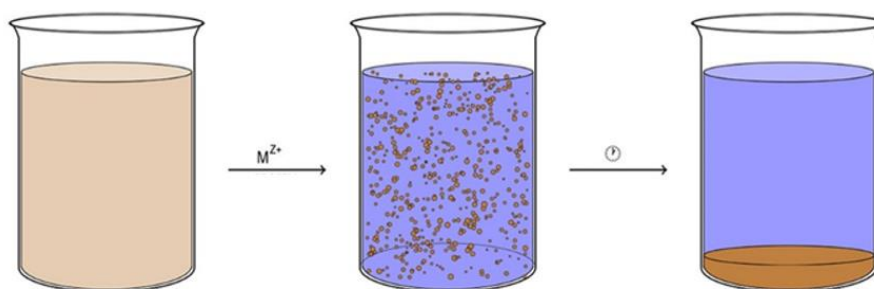
2.2.2 Flokulacija

Koagulaciji ponavadi sledi proces flokulacije. Pri flokulaciji se pri koagulaciji nastali koagulirani delci ali kosmi vežejo na dolgo verigo organskega polimera (flokulanta) in nastanejo še večji skupki oziroma flokule. Ločimo dve vrsti flokulacije, in sicer mikroflokulacijo in makroflokulacijo. Razlika med njima je v velikosti nastalih flokul. Flokulacija je reverzibilni proces, saj lahko flokule razpadejo zaradi velike mehanske strižne sile, ki lahko nastane ob preveč intenzivnem mešanju. [6] [7] [8]



Slika 7: Vezava koloidnih delcev na polielektrolitske verige [8]

Po koagulaciji in flokulaciji ponavadi poteka proces usedanja delcev oziroma sedimentacija. Usedanje koloidnih delcev v celinskih vodah ali v neobdelani vodi traja okoli 2 leti. Procesu koagulacije in flokulacije pa pospešita proces usedanja, saj se večji delci (kosmi, flokule) zaradi povečane mase hitreje usedajo. Tako koagulirani in flokulirani delci koloidni potrebujejo od nekaj ur do nekaj dni za usedanje. Trajanje usedanja je odvisno tudi od volumna suspenzije in od količine koloidnih delcev v suspenziji. Usedlina v obliki blata se nato s filtracijo odstrani iz suspenzije. [9]

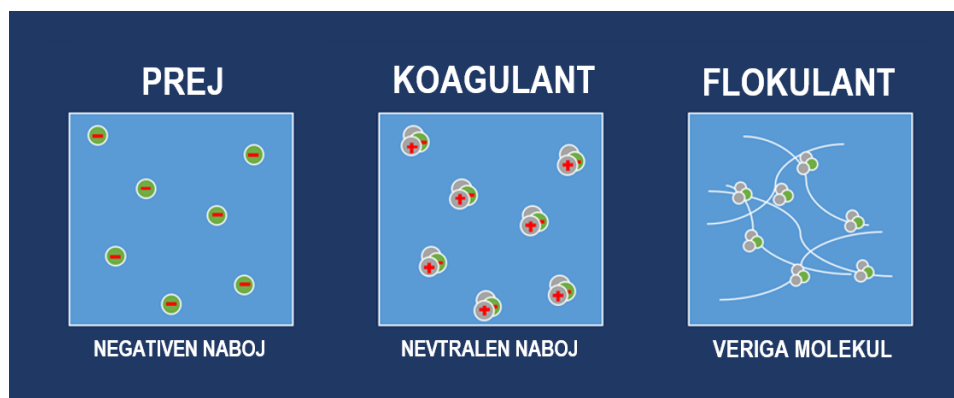


Slika 8: Shema poteka usedanja oziroma sedimentacije [21]

2.2.3 Dejavniki koagulacije in flokulacije

Uspešnost koagulacije in flokulacije je odvisna od pH vrednosti, temperature, ionske jakosti, narave in koncentracije snovi, velikosti in porazdelitve koloidnih delcev, količine in vrste koagulantov in flokulantov in številnih drugih dejavnikov, ki lahko vplivajo na potek koagulacije in flokulacije. Učinek koagulacije in flokulacije določimo glede na kemično potrebo po kisiku (KPK), ki je merilo onesnaženja vod z biološko razgradljivimi in nerazgradljivimi snovmi, skupni organski ogljik (TOC) in z meritvami motnosti v suspenziji. [6]

Veliko vlogo pri koagulaciji igra naboj koloidnih delcev, ki je lahko pozitiven ali negativen. Večina koloidnih delcev v odpadnih vodah ima negativen naboj. Koloidni delci v vodi imajo enake naboje, zato se med seboj odbijajo in ne pride do trkov med njimi. A kljub temu celotna zmes tekočine in netopnih delcev, ki ji pravimo tudi suspenzija, nima naboja, saj so naboji delcev uravnoteženi z naboji ionov v vodi, ki jih obdaja. To povzroči nastanek dvojne plasti okoli delcev, ki je sestavljena iz koloidnih delcev in nasprotno nabitih delcev iz okolice. Pri koagulaciji pa se negativno nabiti koloidni delci vežejo s pozitivno nabitim koagulantom in se nevtralizirajo. [7]



Slika 9: Shema koagulacije in flokulacije ter sprememba nabojev [22]

2.3 Koagulanti in flokulanti

Koagulacijo dosežemo z dodajanjem koagulantov, kot so aluminijeve in železove soli, flokulacijo pa z dodajanjem flokulantov. Koagulanti so kemijske spojine, ki povzročajo koagulacijo in pomagajo pri destabilizaciji in združevanju delcev, ki se počasi in težko usedajo. Flokulanti pa so organski polimeri, ki povzročajo flokulacijo v suspenziji. [7] [9]

Dandanes je na trgu več tisoč anionskih, kationskih in nevtralnih koagulantov in flokulantov v različnih oblikah, vsako leto pa na trg prihajajo novi produkti, ki se med seboj razlikujejo po molekularni zgradbi, lastnostih in naravi. Velika prednost polielektrolitov je, da vsebujejo med 80 % in 95 % aktivnega polimera, to je tisti polimer ki reagira v reakciji. [6] [9] [14]

Težko je predvideti, kateri koagulant in flokulant bi bil najbolj primeren na določenem vzorcu suspenzije, saj na izbiro primerne koagulantne in flokulante vpliva pH vrednost, temperatura, narava in koncentracija snovi, velikost, porazdelitev in naboj koloidnih delcev, količina in narava koagulantne ali flokulante ter številni drugi dejavniki. [6]

Na izbiro primerne koagulantne in flokulante še posebej vpliva pH vrednost, saj določa, ali naj pri suspenziji uporabimo kationski ali anionski koagulant in flokulant ter kako zelo nabit mora le-ta biti. Na nevtralne polimere pH vrednost nima posebnega vpliva, ampak ker je zaželeno, da se dodani koagulant/flokulant popolnoma raztopi, imajo anionski koagulantni/flokulantni prednost pri bazičnih koloidnih raztopinah, kationski koagulantni/flokulantni pa pri kislih raztopinah. Večina koagulantov in flokulantov najbolje deluje v pH območju med 5 in 11. [6]

2.3.1 Koagulantni

Koagulantni so pogosto anorganskega izvora. Kot anorganski koagulantni se najpogosteje uporabljajo anorganske soli. Te vrste koagulantni oblikujejo netopne kosme v vodi. Organske in anorganske snovi v vodi pa se potem vežejo na usedle kosme. Tako te snovi v vodi niso več topne in se lahko odstranijo iz vode. Anorganski koagulantni in flokulantni se uporabljajo predvsem za zbistritev suspenzije, ki vsebuje nizko koncentracijo snovi v obliki delcev. Pri obdelavi odpadne vode se anorganski koagulantni pogosto uporabljajo v kombinaciji z organskimi flokulantni, ki so najpogosteje polielektroliti. [6]

Med najpogosteje uporabljene anorganske koagulantne sodijo: aluminijeve soli ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, AlCl_3 , PACl), železove soli (FeCl_3 , $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, FeSO_4 , FeClSO_4), zmesi aluminijevih in železovih soli, alumosilikati, bentonit, jaolin in diatomejske zemlje. [6]

2.3.1.1 Železove soli

Železove soli, kot so železovi sulfati in železovi kloridi (FeCl_3 , $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, FeSO_4 in FeClSO_4), se pogosto uporabljajo kot anorganski koagulanti. Železove soli so v raztopini kisle in znižujejo pH raztopine. Železovi koagulanti so bolj primerni pri obdelavi določenih vod. Koagulacija z železovimi solmi je najučinkovitejša med pH vrednostmi 3,5 in 6,5 ter nad 8,5. Železovi koagulanti so učinkoviti pri odstranjevanju obarvanosti, vonja in okusa ter pri hitrem usedanju koloidnih delcev in kosmov. Za železove koagulante je značilno, da se ob njihovem dodatku v suspenzijo, po koagulaciji le-ta obarva bakreno rdeče. [7]



Slika 10: Rdeče obarvane flokule ob dodatku železovega koagulanta

2.3.1.2 Aluminijeve soli

Ali so bolj učinkovite železove ali aluminijeve soli, je odvisno od sestave in narave suspenzije. Z dodajanjem aluminija v vodne raztopine dosežemo nastanek velikih pozitivno nabitih netopnih skupkov delcev. Če se ob povečanju doziranja koagulanta preseže topnost aluminija v vodi, pride do prenasičenosti koagulanta, kar povzroči, da pH vrednost pade. Koagulacija z aluminijem je najbolj učinkovita v pH območju med 5 in 8. Pri koagulaciji s aluminijevim koagulantom se ob velikih doziranjih suspenzija običajno obarva blede rumeno ali belo.[7]



Slika 11: Svetlo obarvane flokule ob dodatku aluminijevega koagulanta

Polialuminijev klorid (PACl)

Polialuminijevi koagulanti (PACl ali PAX¹) s pozitivno nabitimi monomeri in polimeri poleg procesov koagulacije zmanjšujejo kislost suspenzije. V prvih začetkih uporabe je bila glavna funkcija polialuminijevih koagulantov zmanjšati motnost pitne vode. Kasneje, še posebej v zadnjih letih, pa se je začel uporabljati še za odstranjevanje koloidnih delcev, škodljivih delcev, organskega ogljika in za minimiziranje nastajanja blata. [10]

Polialuminijev klorid ali s kratico PACl je anorganski koagulant, ki se v zadnjem času pogosto uporablja za čiščenje odpadnih vod, čiščenje bazenov, pripravo tehnoloških vod, pripravo pitne vode, kot fiksirno sredstvo v papirni industriji in za zmanjšanje KPK in za odstranjevanje suspendiranih snovi. Gre za polialuminijev koagulant, ki je rahlo bazičnega značaja. Lahko se uporabi kot čista sol ali pa kot raztopina. [11] [12]

2.3.2 Flokulanti

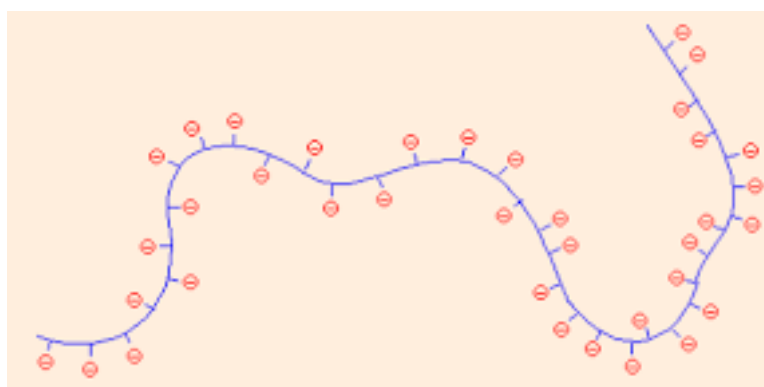
Kot flokulanti se najpogosteje uporabljajo vodotopni organski polimeri, ki so lahko naravni ali sintetični. Kemična sestava teh polimerov določa lastnosti flokulacije. Tovrstne polimere lahko delimo na neionske polimere (brez naboja) in na ionske polimere (z nabojem), ki jim pravimo polielektroliti. Polimeri se večinoma uporabljajo kot flokulanti, ker vežejo delce v vodi na svoje polimerske verige, kar povzroči nastanek flokul. [6] [9]

¹ X v formuli PAX označuje anion halogenega elementa, ki je element VII. skupine periodnega sistema.

2.3.2.1 Polielektroliti

Polielektroliti so organski polimeri, ki se uporabljajo pri čiščenju odpadne vode kot flokulanti že od leta 1950. Lahko so naravni ali sintetični. Naravni polielektroliti so običajno proizvedeni iz škroba, sintetični pa nastanejo s polimerizacijo organskih monomerov z nenasičenimi vezmi. [13] [14]

Najpogosteje uporabljeni naravni polielektroliti so pektin, alginata, karboksimetil celuloza in polipeptidi. Najpogosteje uporabljeni sintetični polielektroliti pa so poliakrilna kislina, polistiren sulfonat, polialilamin, karboksilna celuloza in njihove soli. Poznamo več vrst polielektrolitov, in sicer so lahko kationske, anionske in neionske vrste. Anionski polielektroliti imajo negativen naboj, kationski polielektroliti imajo pozitiven naboj, neionski polielektroliti pa nimajo naboja. Glavna značilnost polielektrolitov je, da imajo na polimerni verigi funkcionalne skupine, katerih disociacija jim omogoča, da dobijo pozitiven ali negativen naboj in da so topni v vodi. Kapaciteta disociacije je odvisna od strukture polielektrolita, pH raztopine in vsebnosti funkcionalnih skupin. [6] [9] [13] [14]

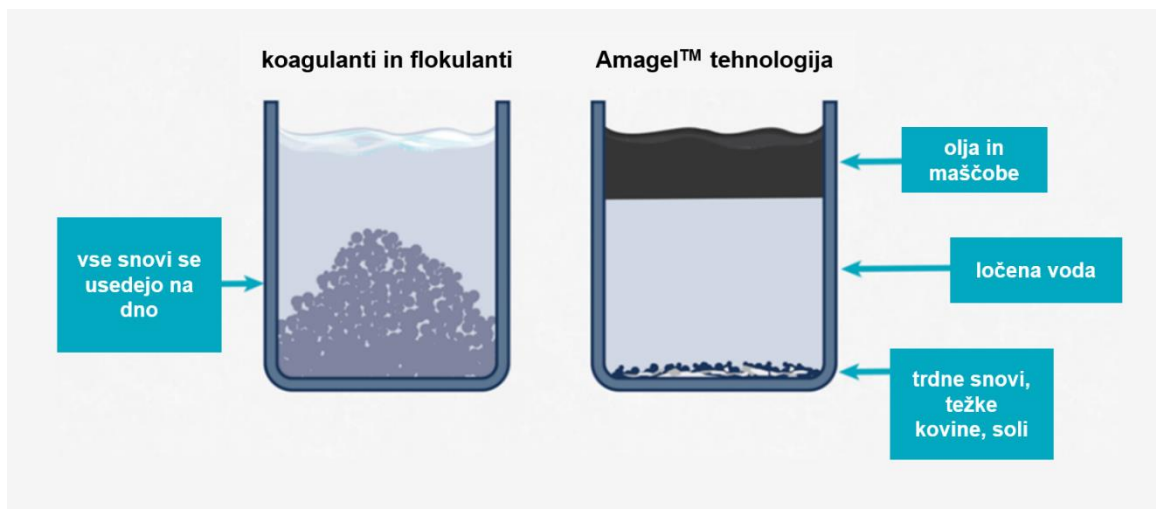


Slika 12: Enostavna veriga polielektrolita s funkcionalnimi skupinami [23]

Polielektroliti imajo mnogo funkcij, ki so povezane z izboljšanjem stabilnosti vodnih suspenzij, kot na primer za destabilizacijo raztopin s koloidnimi delci in flokulacijo. Polielektroliti se pogosto uporabljajo kot zgoščevalci, disperzijska sredstva, balzami, emulgatorji, izmenjevalci ionov in čistilna sredstva. Pri čiščenju odpadne vode so anionski in neionski polielektroliti najpogosteje uporabljeni kot flokulanti, kationski polielektroliti pa se uporabljajo za procese koagulacije. [6] [9] [13] [14]

Amagel™

Amagel™ je sintetični polielektrolit, ki ga je razvilo podjetje GC Solutions v zvezni državi Kolorado v Združenih državah Amerike. Uporablja se predvsem pri čiščenju odpadnih voda za ločevanje maščob in vode, njegova prednost pa je, da združi procesa koagulacije in flokulacije v en sam korak. Doziranje raztopine Amagela™ je odvisno od koncentracije suhe snovi v suspenziji. Običajno se pri uporabi polielektrolitov vse snovi po flokulaciji usedejo na dno. Pri Amagelu™ pa se olja ločijo od vode in plavajo na vodi, na dno pa se usedejo kovine in drugi trdni delci. Amagel™ se prav tako uporablja v mlečni in mesnopredelovalni industriji za odstranjevanje maščob in drugih snovi iz odpadne vode ter v pivovarstvu za odstranjevanje stranskih produktov iz odpadne vode. [15]



Slika 13: Primerjava delovanja koagulantov in flokulantov ter Amagela [15]

3 Raziskovalni del

3.1 Analiza odpadnega micelija

Na digitalni tehtnici sem stal 10 ml odpadnega micelija (v nadaljevanju tudi micelij). Masa 10 ml micelija je 10 g. Iz tega lahko sklepamo, da 1 ml micelija tehta 1 g, zato lahko v nadaljevanju enačimo maso micelija z volumnom micelija.

V vzorcu micelija sem na IR sušilniku Kern določil vsebnost suhe snovi. Na predhodno tariran pladenj sem odmeril 10 ml odpadnega micelija in zagnal odparevanje vode, ki je potekalo pri 120°C s sekvenco segrevanja in odparevanja. IR Sušilnik Kern ima integrirano tehtnico, ki omogoča avtomatski izračun količine odparele vode in/ali suhe snovi. Analiza vzorca poteka do konstantne teže. Odčitani delež suhe snovi v odpadnem miceliju je bil 5,3 %, kar ustreza masi 5,3 g/100 ml micelija. Odstotek vode v odpadnem miceliju je torej 94,7 %.



Slika 14: Analiza vzorca odpadnega micelija s IR sušilnikom Kern

3.2 Priprava raztopin koagulantov

Po predhodni konzultaciji s podjetjem GC Solutions na podlagi izmerjene koncentracije suhe snovi v miceliju (5,3 %) in njihovih izkušenj s podobnimi odpadnimi industrijskimi vodami sem pripravil raztopino koagulanta polialuminijevega klorida (v nadaljevanju PACl) in flokulanta Amagela™ (v nadaljevanju Amagel). Priprava raztopine po priporočilih GC Solutions je potekala v 2 fazah:

Faza 1:

V bučko sem odtehtal 2,5 g Amagela, dodal 5,55 g 18 % raztopine (PACl), kar predstavlja 1,0 g čistega polialuminijevega klorida v raztopini in raztopino dopolnil z destilirano vodo do 100 ml. Skupna količina aktivnih substanc v osnovni raztopini je bila 3,5 g/100 ml raztopine. V osnovno raztopino sem dodal magnetno mešalo in jo pustil počasi mešati 24 ur. Tako pripravljena raztopina Amagela in PACl je uporabna več mesecev. Raztopino, pripravljeno pri fazi 1, sem imenoval osnovna raztopina Amagela in PACl. Osnovna raztopina se uporablja zgolj kot baza za pripravo delovne raztopine.

Faza 2:

V drugo bučko sem odmeril 2,5 ml osnovne raztopine Amagela in PACl, ki sem jo pripravil v fazi 1 in ji dolil destilirano vodo do 100 ml. Raztopino, pripravljeno pri fazi 2, sem imenoval delovna raztopina Amagela in PACl. Delovna raztopina se pripravi tik pred izvedbo eksperimenta.

Na podoben način sem pripravil tudi delovno raztopino Amagela brez dodatka PACl. Pri eksperimentu sem uporabil tudi 18 % raztopino PACl. Na sliki 15 si od leve proti desni sledijo: delovna raztopina Amagela (brez dodanega PACl), delovna raztopina Amagela in PACl, osnovna raztopina Amagela, osnovna raztopina Amagela in PACl ter 18 % raztopina PACl.



Slika 15: Pripravljene raztopine Amagela in PACl

3.3 Postopek koagulacije in flokulacije

Ko so bile raztopine pripravljene, sem v erlenmajericah pripravil 31 vzorcev micelija. Vsak vzorec je vseboval 100 ml micelija. Vzorec 0 je bil micelij brez dodanih koagulantov ali flokulantov. Vzorec 0 sem nalil v čašo in ga uporabljal kot kontrolno skupino, ostalih 30 vzorcev pa sem razdelil v 3 testne skupine po 10 vzorcev. V vsako izmed treh testnih skupin vzorcev sem dodajal po eno raztopino, katerim sem povečeval doziranje.



Slika 16: Vzorec 0 – kontrolna skupina

3.3.1 Delovna Raztopina Amagela in PACI

V 1. testni skupini sem v vzorce micelija od 1 do 10 doziral delovno raztopino Amagela in PACI. Pri vzorcu 1 sem dodal 3,2 ml raztopine. Za odmerek 3,2 ml sem se odločil po priporočilu podjetja GC Solutions, saj naj bi bila na podlagi izkušenj ta količina določena za optimalen potek koagulacije in flokulacije. Vsakemu naslednjemu vzorcu sem povečeval odmerek za 3,2 ml, kar je prikazano v tabeli 1. Odmerek sem povečeval tako dolgo, dokler nisem dosegel desetkratne količine prvotnega odmerka, da porabe koagulantov in flokulantov ne bi bile prevelike. V tabeli so zapisane tudi količine dodanega Amagela in PACI ter skupne količine aktivnih substanc v vsakem vzorcu.

Vzorec	količina delovne raztopine /100 ml vzorca (ml)	Količina aktivnih substanc (g/l vzorca)	Količina Amagela (g/l vzorca)	Količina PACL (g/l vzorca)
0	0	0	0	0
1	3,2	0,028	0,020	0,008
2	6,4	0,056	0,040	0,016
3	9,6	0,084	0,060	0,024
4	12,8	0,112	0,080	0,032
5	16,0	0,140	0,100	0,040
6	19,2	0,168	0,120	0,048
7	22,4	0,196	0,140	0,056
8	25,6	0,224	0,160	0,064
9	28,8	0,252	0,180	0,072
10	32,0	0,280	0,200	0,080

Tabela 1: Odmerki in količine raztopine Amagela in PACI v vzorcih 1–10

3.3.2 Delovna raztopina Amagela

V 2. testni skupini sem v vzorce od 11 do 20 dodajal samo delovno raztopino Amagela. Pri tem sem ugotavljal vpliv Amagela na potek koagulacije in flokulacije v miceliju. Prav tako kot v 1. testni skupini sem v začetku z odmerkom 3,2 ml. Tako kot v 1. testni skupini sem tudi v 2. testni skupini odmerek povečeval do 10-kratnega povečanja začetnega odmerka. Odmerki raztopine Amagela in količina Amagela v vzorcih od 11 do 20 so prikazani v tabeli 2.

Vzorec	količina raztopine /100 ml vzorca (ml)	Amagela (g/l)
11	3,2	0,020
12	6,4	0,040
13	9,6	0,060
14	12,8	0,080
15	16,0	0,100
16	19,2	0,120
17	22,4	0,140
18	25,6	0,160
19	28,8	0,180
20	32,0	0,200

Tabela 2: Odmerki raztopine Amagela in količina Amagela v vzorcih 11–20

3.3.3 Raztopina PACI

V 3. testni skupini sem ugotavljal vpliv polialuminijevega klorida. V vzorce od 21 do 30 sem dodajal odmerke 18 % raztopine polialuminijevega klorida (PACI). Začel sem z odmerkom 0,1 ml in v vsakem naslednjem vzorcu sem odmerek povečal za 0,1 ml. Odmerki 18 % raztopine PACI in količine PACI v vzorcih od 21 do 30 so prikazani v tabeli 3.

Vzorec	količina PACI (18 %) /100 ml vzorca (ml)	Količina PACI (g/l)
21	0,1	0,18
22	0,2	0,36
23	0,3	0,54
24	0,4	0,72
25	0,5	0,9
26	0,6	1,08
27	0,7	1,26
28	0,8	1,44
29	0,9	1,62
30	1,0	1,8

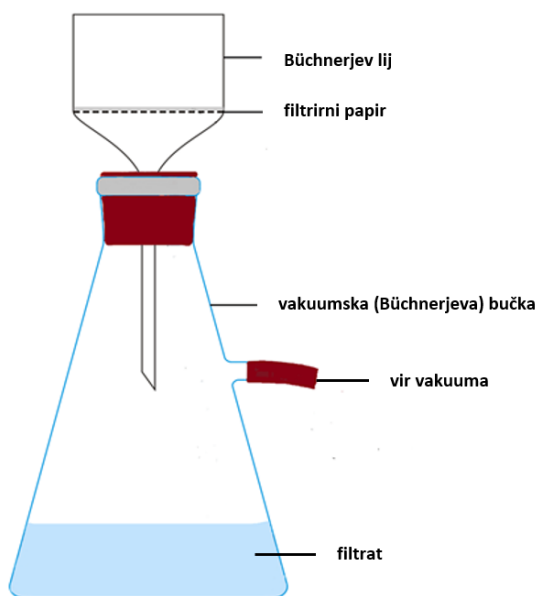
Tabela 3: Odmerki 18 % raztopine PACI in količine PACI v vzorcih 21-30

Po dodatku raztopine v vzorec micelija sem vsak vzorec rahlo premešal, da sta se koagulant in/ali flokulant enakomerno porazdelila v vzorcu. Po doziranju sem opazoval dogajanje v vzorcih in morebitne spremembe v strukturi micelija, ki bi pokazale, da je prišlo do koagulacije in flokulacije. Take spremembe so zgoščevanje, nabrekanje, kosmičenje, nastajanje flokul.

3.4 Vakuumska filtracija

Po opravljeni koagulaciji in flokulaciji v miceliju naj bi bil micelij filtrabilen, torej bi ga bilo mogoče filtrirati. Zato sem preveril filtrabilnost vzorcev micelija. Najbolj pogosti načini so s centrifugo, tlačno prešo, sušenjem in vakuumsko filtracijo. Pri raziskovalnem delu sem se odločil uporabiti vakuumsko filtracijo. Gre za hitro filtracijsko metodo, s katero lahko iz snovi odstranimo tekočino, v našem primeru

mokro snov iz micelija. Laboratorijska aparatura za vakuumsko filtracijo je vidna na shemi, na sliki 17. Sestavljena je iz treh glavnih komponent in sicer Büchnerjevega lija, filtrirnega papirja in vakuumske posode, ki jo imenujemo Büchnerjeva bučka. Büchnerjev lij je poseben pripomoček za filtracijo, ki ima obliko lija in v njem odprtine, skozi katere odteče filtrat. Büchnerjev lij sem z usnjenim mašilom namestil na vrh erlenmajerice z odprtino za vakuum. Na to odprtino sem pritrdil cev, ki je vodila do vira vakuuma. V Büchnerjev lij sem dodal z destilirano vodo navlažen filtrirni papir. Aparaturo, ki sem jo pripravil, je vidna na sliki 18. Tekočino, ki se prefiltrira in nabira v erlenmajerici, imenujemo filtrat. Preostanek micelija, ki se ne prefiltrira in ostane nakopičen na filtrirnem papirju, imenujemo filtrna pogača.

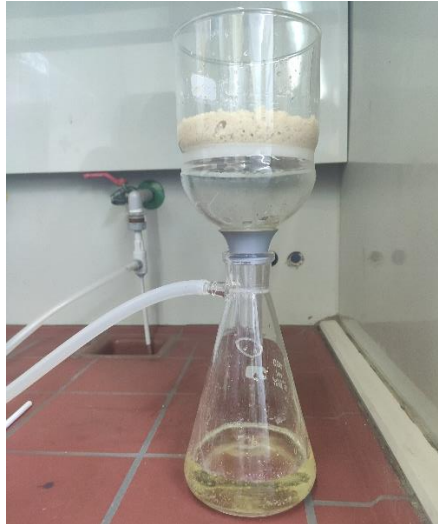


Slika 17: Shema aparature za vakuumsko filtracijo [24]



Slika 18: Aparatura za vakuumsko filtracijo

Filtracijo sem izvedel tako, da sem izbran vzorec prenesel v Büchnerjev lij in vklopil vakuum. S pomočjo sile vakuuma se je v erlenmajerico iz posameznega vzorca micelija prefiltrirala določena količina mokre snovi (v nadaljevanju tudi filtrat), ki se je nabiral na dnu erlenmajerice. Vakuumska filtracija je pri vsakem vzorcu trajala natanko 10 minut, da sem zagotovil primerne pogoje za primerjavo količin nastalega filtrata. Po opravljeni filtraciji sem filtrat prelil v merilni valj in odčital njegov volumen.



Slika 19: Vakuumna filtracija vzorca micelija



Slika 20: Odmerjen volumen filtrata pri vzorcu 30

Na podlagi pridobljenih rezultatov volumnov filtratov, ki so se izločili iz vzorca micelija, sem izračunal volumen filtrirnega preostanka, ki ga v nadaljevanju omenjam kot filtrna pogača. Za izračun volumna preostanka micelija sem uporabil formulo na sliki 21.

$$V_{\text{preostanka}} = V_{\text{micelija}} - V_{\text{filtrata}}$$

Slika 21: Izračun volumna filtrirnega preostanka

Nato sem izračunal delež suhe snovi v filtrirnem preostanku. Filtrno pogačo iz Büchnerjevega lija sem stal na digitalni tehtnici in dobil maso filtrne pogače, ki je bila približno enaka kot volumen. Ker se je iz micelija prefiltrirala samo mokra snov, je masa suhe snovi ostala enaka, in sicer 5,3 g. Delež suhe snovi v filtrni pogači sem izračunal s formulo na sliki 22.

$$\text{Delež suhe snovi (\%)} = \frac{m_{\text{suhe snovi}}}{V_{\text{preostanka}}} \times 100$$

Slika 22: Formula za izračun deleža suhe snovi

3.5 Rezultati koagulacije in flokulacije v miceliju

V 1. testni skupini, in sicer pri vzorcih z raztopino Amagela in PACI (1–10) ob povečevanju odmerka ni prišlo do sprememb v nobenem od vzorcev od 1 do 8. Pri vzorcih 9 in 10 pa je prišlo rahlega zgoščevanja. Rezultati 1. testne skupine so prikazani v tabeli 4.

Vzorec	količina delovne raztopine /100 ml vzorca (ml)	Opis sprememb	Koagulacija potekla (DA/NE/DELNO)	Flokulacija potekla (DA/NE/DELNO)
1	3,2	ni sprememb	NE	NE
2	6,4	ni sprememb	NE	NE
3	9,6	ni sprememb	NE	NE
4	12,8	ni sprememb	NE	NE
5	16,0	ni sprememb	NE	NE
6	19,2	ni sprememb	NE	NE
7	22,4	ni sprememb	NE	NE
8	25,6	ni sprememb	NE	NE
9	28,8	zelo rahlo zgoščevanje	DELNO	NE
10	32,0	zelo rahlo zgoščevanje	DELNO	NE

Tabela 4: Opis sprememb in uspešnost koagulacije in flokulacije z raztopino Amagela in PACI

V 2. testni skupini ni prišlo do sprememb v vzorcih micelija kljub desetkratnemu povečanju doziranja Amagela. Iz tega lahko sklepamo, da ob uporabi Amagela ni prišlo do koagulacije in flokulacije. Rezultati 2. testne skupine so prikazani v tabeli 5.

Vzorec	količina Amagela / 100 ml vzorca (ml)	Opis sprememb	Koagulacija potekla (DA/NE/DELNO)	Flokulacija potekla (DA/NE/DELNO)
11	3,2	ni sprememb	NE	NE
12	6,4	ni sprememb	NE	NE
13	9,6	ni sprememb	NE	NE
14	12,8	ni sprememb	NE	NE
15	16,0	ni sprememb	NE	NE
16	19,2	ni sprememb	NE	NE
17	22,4	ni sprememb	NE	NE
18	25,6	ni sprememb	NE	NE
19	28,8	ni sprememb	NE	NE
20	32,0	ni sprememb	NE	NE

Tabela 5: Opis sprememb in uspešnost koagulacije in flokulacije z Amagelom

Pri 3. testni skupini pa je že ob petkratnem povečanju odmerka PACI (vzorec 25) prišlo do sprememb. Rezultati pri 3. testni skupini so zapisani v tabeli 6.

Vzorec	količina PACI 18 % /100 ml vzorca (ml)	Opis sprememb	Koagulacija potekla (DA/NE/DELNO)	Flokulacija potekla (DA/NE/DELNO)
21	0,1	ni sprememb	NE	NE
22	0,2	ni sprememb	NE	NE
23	0,3	ni sprememb	NE	NE
24	0,4	ni sprememb	NE	NE
25	0,5	rahlo zgoščevanje	DELNO	NE
26	0,6	rahlo zgoščevanje	DELNO	NE
27	0,7	nabrekanje	DELNO	NE
28	0,8	rahlo zgoščevanje	DELNO	NE
29	0,9	rahlo zgoščevanje in kosmičenje	DA	NE
30	1,0	zgoščevanje in kosmičenje	DA	NE

Tabela 6: Opis sprememb in uspešnost koagulacije in flokulacije s PACI

Vzorec micelija z 0,5 ml dodanega PACI se je že rahlo zgoščeval. To je znak, da je koagulacija začela potekati. V vsakem naslednjem vzorcu je bila sprememba bolj vidna. V vzorcu z 0,9 ml dodanega PACI (vzorec 29), je že prišlo do kosmičenja oziroma nastajanja kosmov.

3.6 Rezultati vakuumske filtracije

Z vakuumsko filtracijo sem filtriral vse vzorce v 3. testni skupini, pri katerih je potekla koagulacija, vzorec 0 kot kontrolno skupino in po en vzorec iz 1. in 2. testne skupine, pri katerih ni potekla koagulacija/flokulacija. V tabeli 7 je vidno, ali je bil določen vzorec filtrabilen, koliko filtrata je bilo možno ločiti od micelija s filtracijo in za koliko se je povečala suha snov. Pri vakuumski filtraciji nastala filtrna pogača oziroma filtrni preostanek je imel strukturo mokre pogače. Primeri te mokre pogače oziroma filtrnega preostanka so vidni na sliki 23.

vzorec	filtrabilnost (DA/NE)	volumen filtrata (ml)	volumen filtrne pogače (ml)	delež suhe snovi v filtrni pogači (%)
0	NE	0	100	5,3
10	DA	2	98	5,4
20	NE	0	100	5,3
25	DA	3	97	5,5
26	DA	5	95	5,6
27	DA	11	89	6,0
28	DA	25	75	7,1
29	DA	32	68	7,8
30	DA	35	65	8,2

Tabela 7: Rezultati vakuumske filtracije



Slika 23: (od leve proti desni) filtrne pogače vzorcev 28, 29 in 30

4 Zaključek in diskusija

Na podlagi pridobljenih rezultatov sem prišel do številnih ugotovitev o vplivu koagulanta PACI in flokulanta Amagela na potek koagulacije in flokulacije, na filtrabilnost micelija ter na povečanje suhe snovi. Te ugotovitve so potrdile ali ovrgle moje hipoteze.

Prva hipoteza:

*Po dodatku raztopine koagulanta polialuminijevega klorida v micelij bo prišlo do koagulacije in micelij se bo zgostil – **potrjujem**.*

V vzorcih micelija, ki so vsebovali koagulant določeno količino polialuminijevega klorida, so bile opazne spremembe (zgoščevanje, nabrekanje, kosmičenje). V nekaterih vzorcih so bili opazni tudi kosmi

Druga hipoteza:

*Po dodatku raztopine flokulanta AmagelaTM v micelij bo prišlo do flokulacije in v miceliju se bodo pojavile flokule. – **ovržem**.*

V vzorcih micelija, ki so vsebovali flokulant Amagel, ni prišlo do nobenih sprememb. Flokule niso niti nastajale.

Tretja hipoteza:

*Po dodatku raztopine polialuminijevega klorida in polimera AmagelaTM bo odpadni micelij postal filtrabilen. – **delno potrjujem**.*

Vzorci, ki so vsebovali določeno količino polialuminijevega klorida, je bilo mogoče filtrirati. Vzorci s flokulantom Amagelom pa niso bili filtrabilni.

Četrta hipoteza:

*Po vakuumski filtraciji se bo iz vzorcev micelija izločila mokra snov, kar bo povečalo vsebnost suhe snovi. – **potrjujem***

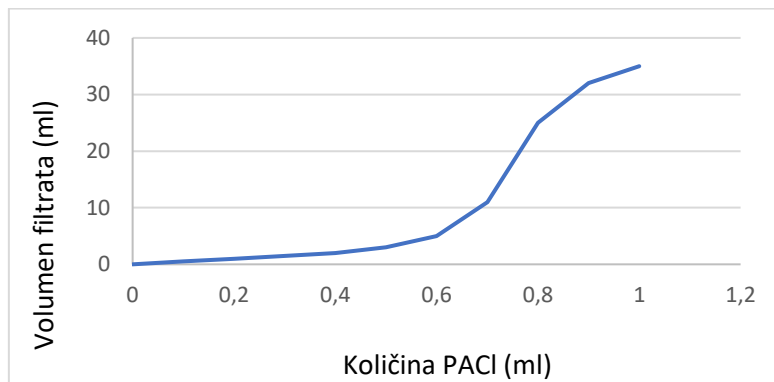
V vzorcih s koagulantom PACI se je izločila mokra snov oziroma filtrat. Količina filtrata pri posameznih vzorcih je vidna v tabeli 5 in na grafu 3.

4.1 Vpliv Amagela

Ugotovil sem, da flokulant Amagel ni učinkovit, ker ne vpliva niti na flokulacijo niti na filtrabilnost, saj ob večkratnem povečanju doziranja Amagela ni prišlo do sprememb v miceliju oziroma do nastanka flokul. Doziranje bi lahko povečeval še naprej, toda če bi morebiti ob povečanih odmerkih Amagel v miceliju začel tvoriti flokule, bi šlo za prevelike porabe flokulanta. Lahko pa bi ob prekomernih doziranjih prišlo do prenasičenosti z Amagelom, kar bi prav tako poslabšalo učinkovitost Amagela.

4.2 Vpliv polialuminijevega klorida (PACl)

Na podlagi pridobljenih rezultatov, ki so zapisani v tabeli 4, lahko vidimo, da je ob dodatku koagulanta polialuminijevega klorida (PACl) prišlo vsaj do delne koagulacije micelija. Iz tabele 5 pa je razvidno, da polialuminijev klorid vpliva na filtrabilnost micelija. Na grafu 3 so prikazani volumni filtrata glede na količino dodanega koagulanta. Volumen filtrata najbolj strmo narašča na območju med 0,6 ml in 1 ml dodanega koagulanta.



Graf 3: Naraščanje volumna filtrata v odvisnosti od dodanega micelija

Ugotavljam, da sta bili koagulacija in filtrabilnost najbolj uspešni v vzorcu z dodanim 1,0 ml polialuminijevega klorida (vzorec 30). Z vakuumsko filtracijo se je iz tega vzorca izločilo največ filtrata (mokre snovi), in sicer 35 ml filtrata, torej je volumen filtrne pogače 65 ml. Zaradi tega se je delež suhe snovi v vzorcu zaradi zmanjšanega volumna povečal iz 5,3 % na 8,2 %.

Če povzamem, se je Amagel torej izkazal kot neučinkovit flokulant za micelij, saj ni prišlo do flokulacije in nastanka flokul, polialuminijev klorid pa se je izkazal kot dokaj uspešen koagulant za micelij. Ob prisotnosti PACl se je v raztopini v veliki meri izboljšala filtrabilnost micelija, saj sem ob dodatku 1 ml koagulanta PACl uspel odvesti 35 ml mokre snovi, kar je povzročilo povečanje deleža suhe snovi s 5,3 % na 8,2 %, kar je 35 % sprememba. Odpadni micelij se je izkazal kot zelo trdovraten industrijski odpadek.

V prihodnje bi želel raziskati uporabo polialuminijevega klorida na večjih količinah micelija in ovrednotiti uporabo polialuminijevega klorida z vidika optimalne porabe PACl ter finančnega vidika. Prav tako se odpira možnost za nadaljnje raziskave in testiranja drugih flokulantov na odpadnem miceliju.

5 Viri in literatura

- [1] Kemijski inštitut; Odsek za anorgansko kemijo in tehnologijo. Anaerobna soobdelava farmacevtske brozge iz proizvodnje klavulanske kisline. [Dostopno: 15.2.2021]. Pridobljeno s: <https://www.ki.si/odseki/d09-odsek-za-anorgansko-kemijo-in-tehnologijo/laboratorij-za-okoljske-vede-in-inzenirstvo/farmacevtska-brozga-lek/>
- [2] Drame P. Poročilo o izvedeni nalogi; Ocene odpadkov – Lokacija Lendava. Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano, januar 2021. [Dostopno: 15.2.2021]
- [3] Bernik M. Poročilo o trajnostnem razvoju družbe Lek d. d. za leto 2019 [na spletu]. Lek d. d., 2020. [Dostopno: 15.2.2020]. Pridobljeno s: https://lek.si/media/dropbox/porocila/Lek_Trajnostno_porocilo_2019.pdf
- [4] Bernik M. Poročilo o trajnostnem razvoju družbe Lek d. d. za leto 2018 [na spletu]. Lek d. d., 2019. [Dostopno: 15.2.2020]. Pridobljeno s: https://lek.si/media/dropbox/porocila/Lek_Trajnostno%20porocilo_2018.pdf
- [5] Gasper M. (januar 2013). Klavulanska kislina. [Dostopno 15.2.2021]. Pridobljeno s: http://wiki.fkkt.uni-lj.si/index.php/Klavulanska_kislina
- [6] Knaus P. Fizikalno – kemijska obdelava odpadnih mineralnih oljnih gošč [na spletu]. Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Univerza v Mariboru, 2014. [Dostopno: 16.2.2021]. Pridobljeno s: <https://core.ac.uk/download/pdf/67582953.pdf>
- [7] Varga I. Primerjava učinkovitosti obdelave tekstilnih odpadnih voda s koagulacijo/flokulacijo in membranskim bioreaktorjem [na spletu]. Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Univerza v Mariboru, 2011. [Dostopno: 16.2.2021]. Pridobljeno s: <https://dk.um.si/Dokument.php?id=26301>
- [8] Zrilić N. Vpliv polielektrolitov na vsebnost suhe snovi v odpadnem aktivnem blatu [na spletu]. Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Univerza v Mariboru, 2015. [Dostopno: 17.2.2021]. Pridobljeno s: <https://core.ac.uk/download/pdf/67584932.pdf>

- [9] Bradley E. Wastewater coagulation. (december, 2019). DOBER Water treatment. [Dostopno: 20.3.2021] Pridobljeno s:
<https://www.dober.com/water-treatment/resources/wastewater-coagulation>
- [10] Edzwald J.K., Pernitsky D.J., Parmenter W.L. (2000) Polyaluminum Coagulants for Drinking Water Treatment: Chemistry and Selection. Department of Civil and Environmental Engineering, University of Massachusetts. In: Hahn H.H., Hoffmann E., Ødegaard H. (eds) Chemical Water and Wastewater Treatment VI. Springer, Berlin, Heidelberg.
https://doi.org/10.1007/978-3-642-59791-6_1
- [11] Poly Aluminium Chloride – PAC. (2016). Contec srl. [Dostopno: 17.2.2021] Pridobljeno s: <http://pac-contec.com/index.php/pac-poly-aluminium-chloride>
- [12] Kemiclar (PAC – polialuminijev klorid). (2016). Kemira – KTM. [Dostopno: 17.2.2021]. Pridobljeno s: <http://www.kemira-ktm.si/products.html>
- [13] Properties of polyelectrolytes. (2021). Polymer properties database. [Dostopno: 21.2.2021]. Pridobljeno s:
<https://polymerdatabase.com/polymer%20classes/Polyelectrolyte%20type.html>
- [14] Krupińska I. Impact of polyelectrolytes on the effectiveness of treatment of groundwater with increased natural organic matter content [na spletu]. Institute of Environmental Engineering, University of Zielona Góra, 2019. [Dostopno: 18.2.2021]. Pridobljeno s:
https://content.sciendo.com/view/journals/ceer/28/3/article-p17.xml?product=sciendo&tab_body=pdf-79694
- [15] Introducing Amagel™ game-changing water treatment technology. GC Solutions Inc. [Dostopno: 18.2.2021]. Pridobljeno s: <https://www.gc-solutions-inc.com/technology/>

Viri slik, tabel in grafov

- [16] Potassium claculanate production processes scheme. Lek d. d. – lokacija Lendava. (b.d.). [Dostopno: 24.3.2021]. (Shemo sem sam prevedel in preuredil)
- [17] Conventional Water Treatment: Coagulation and Filtration. (2017). Safe Drinking Water Foundation. [Dostopno: 27.3.2021]. Pridobljeno s: <https://www.safewater.org/fact-sheets-1/2017/1/23/conventional-water-treatment>
- [18] Chemical Coagulants Used In Water Treatment. (2016). SNF. [Dostopno: 27.3.2021]. Pridobljeno s: <https://www.snf.co.uk/chemical-coagulants-used-water-treatment/>
- [19] What is Coagulation in Water Treatment?. (2016). belmar technologies. [Dostopno: 27.3.2021]. Pridobljeno s: <https://www.belmartechologies.co.uk/What-is-Coagulation-in-Water-Treatment.html>
- [20] Yeek-Chia Ho, Siong-Chin Chua, Fai-Kait Chong. Coagulation-Flocculation Technology in Water and Wastewater Treatment [na spletu] Universiti Teknologi PETRONAS, Malaysia. [Dostopno: 29.3.2021]. Pridobljeno s: <https://www.igi-global.com/book/handbook-research-resource-management-pollution/228091>
- [21] Nyström F., Nordqvist K., Removal of metals and hydrocarbons from stormwater using coagulation and flocculation. Luleå University of Technology. (maj, 2020). [Dostopno: 27.3.2021] Pridobljeno s: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135420304565?via%3Dihub>
- [22] Excel L. Intern View: How Flocculation Helps Filtration. (julij, 2018) DOBER Water treatment: Haloklear Natural flocculants [Dostopno: 27.3.2021]. Pridobljeno s: <https://www.dober.com/haloklear/resources/intern-view-how-flocculation-helps-filtration>

- [23] Baumgartner S. Gradivo: Polimeri. (2018). Študentski.net. [Dostopno: 27.3.2021]. Pridobljeno s:
https://studentski.net/gradivo/ulj_ffa_kz1_ki1_sno_polimeri_01
- [24] Preliminary Results from Unsaturated Zone Studies in Unconfined Unconsolidated Coastal Aquifers. (julij, 2018). [Dostopno: 29.3.2021]. Pridobljeno s: https://www.researchgate.net/figure/Vacuum-filtration-apparatus_fig1_326740889