



Mikroplastika v kapsulah za pranje perila in vpliv temperature na njihovo raztapljanje

Raziskovalna naloga iz področja Ekologije z varstvom okolja

Avtorica: Huber Z.

Soavtorica: Karas N.

Mentorica: mag. Žuman N. prof

Šola: Gimnazija Franca Miklošiča Ljutomer

Povzetek

Kapsule in lističi za pranje perila so razširjen in praktičen izdelek, ki se v gospodinjstvih uporablja vsak dan. Kljub veliki razširjenosti pa njihov vpliv na okolje ni temeljito raziskan.

Z najino raziskovalno nalogo sva žeeli raziskati ali se plastični ovoj kapsul in lističi res v celoti razgradijo, ali lahko na to vpliva temperatura pri kateri se raztplljajo in ali se pri raztpljanju pri enakih pogojih pojavi razlika med različnimi znamkami kapsul. Žanimalo naju je tudi, kako okolju prijazna je uporaba kapsul in lističev, zato sva pregledali in povzeli raziskave in ugotovitve zanesljivih spletnih virov o tej temi. Poskuse sva izvedli pri dveh temperaturah, 60 °C in 90 °C, prav tako pa sva izvedli tudi kontrolni poskus z detergentom brez plastičnega ovoja in poskus z 10-krat povečano količino topila oziroma vode.

Abstract

Laundry capsules and sheets are a widespread and practical product that is used in households every day. Despite their wide distribution, their impact on the environment has not been thoroughly studied.

With our research project, we wanted to investigate whether the plastic casing of the capsules and laundry sheets really completely decompose, whether the temperature at which they are dissolved can affect this, and whether there is a difference between different brands of capsules when dissolving under the same conditions. We were also interested in how environmentally friendly the use of capsules and laundry sheets is, so we reviewed and summarized the research and findings of reliable online sources on the subject. The experiments were carried out at two temperatures, 60 °C and 90 °C, and we also carried out a control test with detergent without plastic casing and an experiment with a 10-fold increased amount of solvent or water.

Zahvala

Za pomoč, predloge in smernice pri izdelavi raziskovalne naloge ter za vložen trud in čas se zahvaljujeva mentorici mag. Nini Žuman. Velika zahvala gre tudi laborantki Sonji Koroša, ki nama je pomagala pri izvedbi praktičnega dela v šolskem laboratoriju. Prav tako se zahvaljujeva Gimnaziji Franca Miklošiča Ljutomer za nabavo potrebnega materiala.

Kazalo

Kazalo	5
Kazalo slik	6
1. Uvod	8
2. Pregled literature	9
2.1 Mikroplastika	9
2.1.1 Definicija in izvor	9
2.1.2 Lastnosti mikroplastike	10
2.2 Vpliv mikroplastike na zdravje in okolje	11
2.2.1 Stik mikroplastike z okoljem in človekom	11
2.2.2 Vpliv mikroplastike na okolje	12
2.2.3 Vpliv mikroplastike na zdravje	13
2.3 Kapsule in lističi za pranje perila	13
2.2.2 Lastnosti in uporaba PVA	13
2.2.3 Biodegradacija PVA.....	14
2.2.4 Proces nastanka PVA	14
3. Metode dela	16
3.1 Metoda za raztpljanje kapsul	16
3.2 Metoda za merjenje temperature vode.....	17
3.3 Metoda za analizo vzorcev	17
4. Rezultati in diskusija	19
4.1 Merilo	21
4.2 Primerjava slik vzorcev in slik mikroplastike	23
4.3 Detergent	25
4.4 Poskus v 5 litrih topila	25
5. Sklepi	27
6. Zaključek	28
7. Uporabljeni viri in literatura	29

Kazalo slik

Slika 1: Viri mikroplastike in delitev na sekundarno in primarno mikroplastiko.....	9
Slika 2: Pot mikroplastike od nastanka do živilih bitij	12
Slika 3: Vinilna polimerizacija s prostimi radikali pri kateri iz monomera vinil acetat nastane polimer polivinil acetat	15
Slika 4: Hidroliza polivinil acetata v polivinil alkohol	15
Slika 5: Rotamix 560 MMH	16
Slika 6: Raztpljanje kapsule	16
Slika 7: Segrevanje vode.....	17
Slika 8: GREISINGER GTH 175/Pt DIGITALTHERMOMETER	17
Slika 9: Mikroskop Olympus CH20	18
Slika 10: Embalaža lističev.....	22
Slika 11: Primer mikroplastike, Slika 12: Primer delca 1	23
Slika 13: Primer mikroplastike 2, Slika 14: Primer delca 2	23
Slika 15: Primer mikroplastike 3, Slika 16: Primer delca 3	23
Slika 17: Primer mikroplastike 4, Slika 18: Primer delca 4	24
Slika 19: Primer mikroplastike 5, Slika 20: Primer delca 5	24
Slika 21: Primer mikroplastike 6, Slika 22: Primer delca 6	24
Slika 23: Primer mikroplastike 7, Slika 24: Primer delca 7	24
Slika 25: Merjenje temperature, Slika 26: Mešanje zmesi s stekleno palčko	26
Slika 27: Rezultati mikroskopiranja v petih litrih vode	26

Kazalo tabel

Tabela 1: Lastnosti polivinil alkohola.....	14
Tabela 2: Rezultati mikroskopiranja pri temperaturi 60 °C	20
Tabela 3: Rezultati mikroskopiranja pri temperaturi 90 °C	21
Tabela 4: povprečna velikost v µm pri temperaturi 60 °C.....	22
Tabela 5: Povprečna velikost v µm pri temperaturi 90 °C.....	22
Tabela 6: Rezultati mikroskopiranja pri temperaturi 60 °C in 90 °C.....	25

1. Uvod

Kapsule za pranje perila so izdelek, ki se zaradi svoje praktičnosti in učinkovitosti uporablja v večini modernih gospodinjstev. Kljub razširjenosti pa je bilo narejenih le malo raziskav o njihovi morebitni škodljivosti za okolje, zato sva si zadali cilj, da ugotoviva, ali se kapsule za pranje perila res povsem razgradijo med pranjem in kako se nivo razgradljivosti razlikuje med različnimi znamkami in glede na temperaturo vode. Poskuse sva izvedli s kapsulami petih različnih znamk, preizkusili pa sva tudi lističe za pranje, kar je novost na trgu, ter detergent, alternativi brez plastičnega ovoja, ki ju uporabljamo po enakem principu kot kapsule.

Pri raziskovanju sva se osredotočili predvsem na eksperimentalno delo v laboratoriju, katerega rezultate sva analizirali in ugotovitve dopolnili s pomočjo teoretičnega gradiva iz različnih virov.

Ta raziskovalni problem sva si izbrali, saj se zavedava perečega svetovnega problema mikroplastike in sva zato hoteli preveriti, ali k le-temu nehote prispevamo tudi s vsakdanjim opravilom pranja perila.

Preden sva pričeli raziskovati sva si zadali naslednje cilje in hipoteze:

Cilji:

- Ugotoviti, ali kapsule za pranje perila puščajo sledi mikroplastike.
- Ugotoviti, kako temperatura vpliva na raztpljanje kapsul.
- Ugotoviti, ali se pojavi razlika v sposobnosti raztpljanja glede na znamko kapsul.

Hipoteze:

H1: Kapsule bodo po testiranju za sabo pustile sledove mikroplastike, torej se ne bodo v celoti razgradile.

H2: Na višji temperaturi bodo delci mikroplastike manjši kot pri nižjih temperaturah.

H3: Med različnimi znamkami kapsul ne bo večjih razlik v velikosti mikroplastičnih delcev.

H4: Pri poskusu z detergentom ne bo sledi mikroplastike.

H5: Pri poskusu z lističem ne bo sledi mikroplastike.

2. Pregled literature

2.1 Mikroplastika

2.1.1 Definicija in izvor

Mikroplastiko definiramo kot izredno majhne delce plastike (manjše od 5 mm). Izraz je bil populariziran leta 2004, uporablja pa se tudi izraz nanoplastika za delce velike od 1 do 1000 nm (Bayo idr., 2022). Delci so zelo kompleksni in jih lahko najdemo v več različnih oblikah kot so: vlakna, kroglice, filmi, pene in drobci nepravilnih oblik. Najpogostejsa oblika, ki jo v okolju najdemo predvsem v vodi, so mikroplastična vlakna. (Singh idr., 2021). Razlikujejo se tudi po barvi in lahko jih uvrstimo v sedem barvnih kategorij po padajoči pogostosti: prozorna, črna, modra, vijoličasta, rozana, rdeča in rjava.

Mikroplastika spada v skupino sintetičnih organskih materialov, narejenih iz naravnih surovin kot so zemeljski plin, nafta in celuloza. Sintetični polimeri so izdelani v procesu kemijske polimerizacije, sestavljajo pa jih iz ogljikovodikov pridobljeni monomeri (Kovač, 2023). Njihova uporaba seže čez več področij kot so avtomobilska industrija, računalniška industrija, izdelava embalaže ...

Po izvoru mikroplastiko delimo na primarno in sekundarno.

Primarna mikroplastika oziroma t. i. mikrokroglice so delci, ki so namerno izdelana v takšni velikosti in se uporabljajo v različnih vejah industrije s polimeri (Bayo idr., 2022). Največji viri primarne mikroplastike so kozmetična industrija (mikrokroglice kot dodatek v izdelkih za osebno nego), mikrovlekna oblačil iz sintetičnih materialov kot npr. najlon ter pnevmatike avtomobilov in drugih vozil (Rogers, 2024).

Druga skupina, ki pa je bolj nevarna in povzroči tudi več okoljske škode, pa je sekundarna mikroplastika. To so delci plastike, ki nastajajo pri razgradnji večjih delcev npr. ribiške mreže, plastične vrečke, plostenke (makroplastika). Ta razpad je posledica zunanjih virov, kot so UV-svetloba sonca, valovanje morja in vetrna abrazija (Rogers, 2024).



Slika 1: Viri mikroplastike in delitev na sekundarno in primarno mikroplastiko

2.1.2 Lastnosti mikroplastike

2.1.2.1 Fizikalne lastnosti

Mikroplastika nima poenotene velikosti ali oblike. Vključuje raznolike velikosti in dimenzijs, ki se razlikujejo glede na izvor in namen njihove uporabe ter so večinoma nepravilnih ali sferičnih oblik (Chamkha idr., 2023)

V okolju so raziskovalci zasledili številne oblike mikroplastike, kot so na primer vlakna, katerih izvor so oblačila. Takšna vlakna lebijo v zraku, kar neposredno prispeva k kopiranju mikroplastike v pljučih. Fragmenti, ki nastanejo z nedokončno razgradnjo večje plastike so npr. kroglice, pene, granule, peleti in še kaj (Acharya, 2022). Prav zaradi te veriabilnosti v oblikah in lastnostih se raziskovalci soočajo z izzivom pri usklajenem raziskovanju in prepoznavanju.

S tem se tudi pojavi problem pri samem odstranjevanju, saj vsaka oblika zahteva različno metodo eliminiranja. Glede na vzdržljivosti plastike na visoke temperature se lahko med predelavo izvaja kemično raztpljanje ali mehansko drobljenje.

2.1.2.2 Kemične lastnosti

Kemične lastnosti mikroplastike se razlikujejo glede na vrsto polimera, iz katerega izvira. Neglede na to pa imajo vse mikroplastike določene skupne in temeljne značilnosti oz. lastnosti.

Večina jih je kemično inertnih, kar pomeni, da z drugimi materiali in kemikalijami težko reagirajo. Hkrati je material tudi odporen na razkroj, zaradi česar je mikroplastika neobičajno stabilna in ohranja svojo celovitost v okolju (Balcer, 2022).

Mikroplastika je najdena in oblikovana z neizmernim razmerjem med površino in prostornino, kar ji omogoča in zagotavlja neizmerno veliko uspešnih in efektivnih interakcij z drugimi kemikalijami. Prav zaradi te lastnosti, deluje kot optimalen sorbent za škodljive in strupene spojine, kot so težke kovine, organske kemikalije skupaj s perističnimi organskimi onesnaževalci, ki se sčasoma nalagajo na njeno površino (Guo idr., 2019). Njena vloga kot prenašalec teh kontaminantov je izrazito poudarjena, saj dopušča prenašanje toksičnih snovi med različnimi ekosistemih in organizmi ter s tem negativno vpliva nanj (Chamkha idr., 2023).

Večina mikroplastike ima nizko topnost v vodi, kar pomeni, da se zelo slabo razaplja in s tem tudi dolgo ostane v svoji prvotni strukturi. Tako prispeva k poslabšanju kakovosti vode (Guo idr., 2019).

Topni polimeri vključujejo polietilenglikol (PEG), poliakrilna kislina (PAA), poliakrilamid (PAM), polivinil alkohol (PVA) ...

Ostali netopni polimeri pa so polistiren (PS), polietilen (PE), polipropilen (PPE), polimetil metakrilat (PMMA), polivinilklorid (PVC), poliizobutilen (PIB) ...

Električne lastnosti mikroplastike so tudi odvisne od njene vrste oz. izvora saj polimere delimo v dva razreda. Prva velika skupina so elektroprevodni polimeri, ki zaradi njihove strukture prevajajo električni tok (Balcer, 2022). Primeri teh so Polianilin (PANI), polipirol (PPy), polietilen dioksitolulen (PEDOT), politetrafluoroeten (PTFE), polimetilmetakrilat (PMMA) ...

Ostali, ki jih je bistveno več, pa so izolativni (Balcer, 2022). Ti vključujejo polimerne materiale kot so silikon, polietilen (PE), polistiren (PS), polipropilen (PP), polivinilklorid (PVC), polietilentereftalat (PET) ...

Polimeri so razdeljeni tudi glede na moč njihovih molekularnih sil, ki so odgovorne za skupno vezanje polimernih verig. Te skupine so sledeče: termoplasti, duroplasti in elastomerni.

Za termoplaste je značilno, da je recikliranje enostavno izvedljivo, saj vezi znotraj verige ne razpadajo, za razliko od šibkejših polimernih verigah, ki se zlahka prekinejo. To pri segrevanju omogoča formiranje novih oblik iz zmehčane plastike, ki se po ohladitvi nazaj strdi, zato je ta skupina

polimerov ustreznega za recikliranje (Thermosetting Plastics. Adreco plastics). Primeri termoplastov vključujejo polipropilen, polietilen, polivinilklorid, poliamid, polistiren, polikarbonat (What is a thermoplastic? (definition and examples)).

Duroplasti, ki so polimeri sestavljeni iz veriga in povezani z kovalentnimi vezmi, tvorijo mrežasto strukturo z odličnimi mehanskimi značilnostmi. Primerne so za oblikovanje v kompleksne oblike s metodo brizganja plastike. Ponujajo širok nabor barv, vzorcev in oblik, zato pogosta uporaba duroplastnih polimerov vključuje izdelovanje avtomobilskih delov, vodovodov in plinovodov, medicinske opreme, električnih vtičnic in ohišij, kuhijske opreme in igrač. Vseeno pa obstajajo nekatere vrste, ki so zaradi strukture trše in odpornejše na visoke temperature od prej omenjenih in so prav zaradi teh lastnosti neprimerne za ponovno oblikovanje. To so na primer epoksi, fenolne in poliestrne smole (Polymer types, UNSW).

Elastomeri označujejo kategorijo gumijastih materialov. Ti so sestavljeni iz šibko povezanih molekul, ki ohranljajo prožnost pri sobni temperaturi. Že samo ime nakazuje na njeno glavno značilnost, to je visoka elastičnost, ki se po spremembji stanja vrne nazaj v prvotno obliko. Eden izmed najbolj znanih predstavnikov elastomerov je poliizopren, ki je polimerna sestavina kavčuka. Drugi materiali vključujejo stiren-butadienski kavčuk in butadienski kavčuk, ki sta stranski produkt nafte in zemeljskega plina (Gent, 2024).

2.2 Vpliv mikroplastike na zdravje in okolje

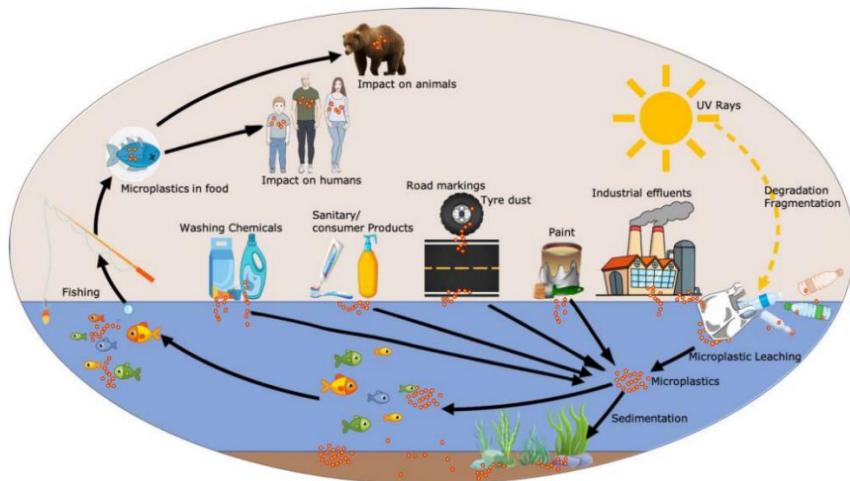
2.2.1 Stik mikroplastike z okoljem in človekom

Svetovna proizvodnja plastike se iz leta v leto veča, s tem pa narašča tudi količina odpadne plastike, ki se je velikokrat ne znebimo pravilno. Ena glavnih poti, po katerih se mikroplastika širi po okolju in po kateri jo zaužijejo tudi živi organizmi, je voda. Mikroplastika se v vodi pojavlja po celi svetu in najdemo jo v širokem naboru vodnih virov kot so morja, reke, podzemna voda, voda iz pipe, ustekleničena voda ... (Gosh idr., 2023).

Plastični delci v vodo vstopajo večinoma na dva načina:

Prvi način: Pri uporabi izdelkov, ki vsebujejo primarno mikroplastiko v domačih gospodinjstvih, se delci skupaj z odpadno vodo spirajo in potujejo po odtoku do čistilnih naprav. Čistilne naprave, ki čistijo odpadno vodo iz gospodinjstev, nimajo učinkovitosti in natančnosti, ki je potrebna za dokončno odstranitev mikroplastike iz vode, zato se ob mešanju vode iz čistilnih naprav s sladkovodnimi vodotoki mikroplastika začne raznašati iz kraja v kraj in postane tudi del sistema oskrbe s pitno vodo. Primarna mikroplastika, ki je uporabljena v surovinah, pa lahko v okolje pride tudi med prevozom ali kot odtok iz industrijskih obratov (Kovač, 2023).

Drugi način: Ko se plastični odpad (plastenke, ribiške mreže, vrečke...) znajde na odlagališčih ali v morjih, rekah ter jezerih, se zaradi abiotskih dejavnikov začne počasen razpad plastike s katerim nastane sekundarna mikroplastika. Le-to skupaj z vodo zaužijejo morske in kopenske živali. Po trofični verigi se zaradi procesa bioakumulacije mikroplastika kopči in na koncu jo z hrano živalskega izvora zaužijemo tudi ljudje (Kovač, 2023).



Slika 2: Pot mikroplastike od nastanka do živih bitij

2.2.2 Vpliv mikroplastike na okolje

Mikroplastika predstavlja veliko nevarnost za vodne in tudi druge ekosisteme.

Ko vodne živali zaužijejo delčke plastike, misleč, da so hrana, lahko le-ti povzročijo blokade v prebavilih, prav tako pa tudi poškodbe tkiva, saj mikroplastika nima nobene energijske vrednosti in tako povzroča podhranjenost organizmov. Negativno vpliva tudi na reproduktivno sposobnost in tako zmanjša število osebkov v populacijah (Gosh idr., 2023).

Pomemben je tudi problem onesnaževanja bioma samega. Najbolj intenzivno je onesnaževanje tal. Blato, ki ga čistilne naprave izločijo v vodotoke, kot tudi izločena voda, vsebuje mikroplastične delce. Prav to blato se pogosto uporablja pri gnojenju obdelovalnih površin in tako zastruplja prst in favno (npr. deževniki), ki živi v njej. Plastika v prst pride tudi s procesom mulčenja s plastično folijo, poceni načinom zavarovanja rastlin pred mrazom (Yu idr., 2022). Delci v prsti zmanjšajo njeno sposobnost zadrževanja vode in zmotijo kroženje hranil v njej (Gosh idr., 2023). Poleg tega spremenijo strukturo prsti, njeno vsebnost fosforja, dušika in ogljika ter vplivajo na pH (Yu idr., 2022).

Zaradi lastnosti plastičnih delcev, da lahko na svoji površini prenašajo patogene mikroorganizme, pa so tudi potencialni prenašalci bolezni. Poleg teh mikroorganizmov pa se lahko navzame tudi škodljivih kemikalij, ki jih sprošča v okolje (Gosh idr., 2023).

Pomembno je omeniti, da mikroplastika ob razgradnji pridobi nove kemijske in fizikalne lastnosti, ki lahko imajo potencialno toksične učinke na okolje, v katerem se razgrajujejo. Z vsem naštetim zaskrbljujoče hitro zmanjšuje biodiverzitet v posameznih ekosistemih (Sajjad, 2022). Ker se plastika razgraja izredno počasi in za popoln razkroj lahko potrebuje tudi več stoletij, se v okolju začne hitro kopičiti.

V Evropi se večino plastičnega odpada znebimo s sežigom, nekaj pa z recikliranjem, vendar pa se pri reciklirajujočih pojavi problemi, saj so različne vrste plastike potrebne različnih procesov predelave npr. kemijsko in mehansko recikliranje. Težava pa se pojavi tudi pri čiščenju plastike v tovarnah, preden gre v naslednji korak predelave. Voda, ki jo v ta namen uporabljajo namreč spere z umazanjem tudi veliko mikroplastičnih delcev. Z odpadno vodo se tako v okolje sproščajo tudi ti delci (Kovač, 2023).

Onesnaženost z mikroplastiko ima posledice tudi v gospodarstvu. Ker ima mikroplastika izreden vpliv na zdravje morskih organizmov in morskih ekosistemov, posledično ogroža tudi ribištvo, gospodarsko panogo tesno vezano na morje. Delci plastike, ki se zaradi bioakumulacije kopičijo v ribah in školjkah, zmanjšujejo njihovo kakovost in povpraševanje na trgu, saj se vse več potrošnikov zaveda onesnaženosti morij in tveganja pri zauživanju morske hrane (Ghosh idr., 2023).

Ključnega pomena za odpravljanje problema mikroplastike je zmanjšanje količine odpada iz plastike ter iskanje načinov za okolju-prijazne načine predelave ali sonaravnih materialov, ki bi v prihodnosti lahko zamenjali plastiko.

2.2.3 Vpliv mikroplastike na zdravje

Zaradi njene velikosti na mikro in nanoravnini, mikroplastika zlahka vstopi v naš sistem z uživanjem, pitjem, stikom s kožo ali celo vdihovanjem lebdečih vlaken. Velikost ter neodpornost na biorazgradnjo naredi njeni odstranjevanje skoraj nemogoče, zato imajo ti delci, čeprav tako majhni, velik vpliv na zdravje človeka in drugih živih organizmov (Gošnjak, 2022).

Poleg samega polimera mikroplastiko pogosto sestavljajo tudi različni dodatki, kot so barvila, mikrobi in drugi aditivi. Našteti dodatki še dodatno prispevajo k zastrupitvi, saj se prav ti delci lahko kopičijo v raznih organih (Abbasi idr., 2022). Najdeni so bili v vseh predelih pljuč (tudi spodnji del, kateri preide skozi filtracijo), tako v tankem kot tudi v debelem črevesju, jetrih, vranici ter celo v placentni pregradi, kjer njihova prisotnost neposredno vpliva na osebkov reproduktivni, imunski, dihalni in prebavni sistem (Acharya idr., 2023).

Tako povzročajo hude zdravstvene težave, med drugim tudi karcinogenost (poškodba DNK), citotoksičnost, nevrotoksičnost, genotoksične vedenjske spremembe, številne kronične bolezni vključno z rakom, sladkorno boleznijo, bolezni srca in ožilja, različna vnetja, fibrozo, hormonske motnje (Bhuyan, 2022) ... Vrsta zdravstvenega obolenja je odvisna od načina vstopa snovi v telo ter seveda od posameznika.

Mikroplastika je poleg v tkivih bila najdena tudi v blatu, iz česar lahko sklepamo, da se prenaša in izloča preko gastrointestinalnega trakta (Janžič, 2022). Raziskovalci so jo zasledili tudi v krvnem obtoku, kar kaže na to, da ima mikroplastika negativen vpliv na telesno odpornost. To je posledica hitrejšega prehoda snovi po krvi, ki bistveno prehititi telesno sposobnost učinkovitega izločanja (Chamkha idr., 2023).

2.3 Kapsule in lističi za pranje perila

Kapsule in lističi za pranje perila postajajo vse bolj razširjeni. Potrošnike privlači predvsem njihova praktičnost v primerjavi z tekočim detergentom, res pa je tudi, da manjši odmerki detergenta v kapsulah potrebujejo manj prostora za skladiščenje in omogočajo lažji prevoz, kar prihrani veliko količino energije. Z širjenjem njihove uporabe, pa so se pojavila tudi vprašanja o njihovem okoljskem vplivu. Ovoji kapsul in lističi so namreč narejeni iz sintetičnega polimera polivinil alkohol (PVA ali PVOH), katerega učinki pa na področju takšne uporabe niso še dodobra raziskani (Henderson, 2022).

2.2.2 Lastnosti in uporaba PVA

Polivinil alkohol, znan tudi kot PVA ali PVOH, je brezbarven termoplastičen polimer, ki nima vonja in je dobro topen v vodi, zato je večinoma izkoriščen kot plastični ovoj pri kapsulah za pranje perila in posode (McDaniel, 2023). Lastnosti polimera vključujejo izjemno moč shranjevanja naboja, biorazgradljivost, adhezivnost, bioinertnost, netoksičnost, visoko intrinzično hidrofilnost, topotno in kemično odpornost, nekancerogenost, visoko kristaliničnost, itd. Ima tudi

druge prednosti, kot njegovo trdnost, termostabilnost, prosojnost in lahke teže (Acharya idr., 2022).

Prav te značilnosti so omogočile razširjeno uporabo v večih industrijskih panogah. Služijo kot dodatki v papirni, lesni, barvni, petrokemični in kmetijski industriji, poleg tega pa se uporablja tudi v drugih predmetih kot so kontaktne leče, listi mila, medicinske kapsule, embalaže za hrano, absorbcijske vode in zraka, lepilo za les itd. (McDaniel, 2023).

Omenjeni polimer ima dobre pregradne lastnosti in je neobčutljiv na maščobo in druga topila (Polyvinyl alcohol chemical compound, 2024). Njegova vodotopna značilnost pa ne pomeni, da PVA izgine v vodi. Ta se v njej raztopi in tako nastane mikroplastika, ki se zadržuje v odpadni vodi. Voda se nato naprej transportira do kanalizacijskega sistema in nato skozi številne čistilne naprave, katere pa so nezmožne odstraniti tako majhne delce. Tako ti delci preidejo in ostanejo v okolju. Tako so raziskave pokazale, da v ZDA kar 61% PVA ostane v zemlji in 15,7% v vodi. Po celotnem svetu se tako letno sproducira do 650.000 ton PVA. To število pa bi se naj vsako leto povečalo (Kelkar, Rolsky, 2021).

Lastnosti	Razpon
Gostota	1,19 g/cm ³
Tališče	473 K
Lomni količnik	1,47 pri 630 nm
Plamenišče	352,59 K

Tabela 1: Lastnosti polivinil alkohola

2.2.3 Biodegradacija PVA

Biodegradacija je proces biokemičnega razkroja kompleksnih organskih spojin na enostavnnejše.

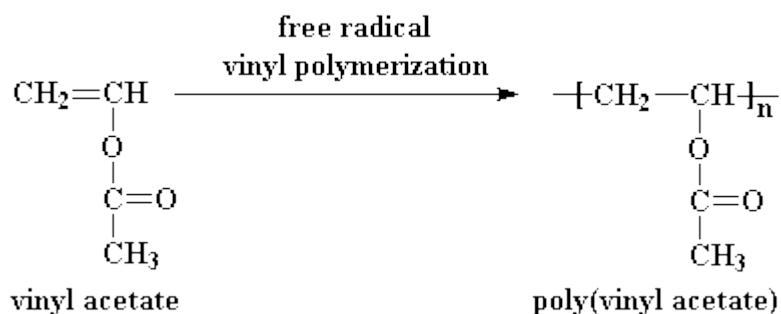
PVA je topen v vodi in se sicer razgradi, vendar le pod specifičnimi pogoji. Odkrito je bilo, da se PVA dokončno razgradi le v prisotnosti določenih vrst mikroorganizmov in sicer organizmi bakterijskega seva *Pseudomonas O-3*, ki pomagajo razgradi plastične delce, saj za njih predstavljajo vir energije in ogljika (Rolsky idr., 2021). Poleg tega se morajo ti mikroorganizmi prilagoditi na PVA, kar lahko traja tudi več tednov, sama razgradnja delcev pa traja vsaj en dan (Henderson, 2022).

Ker v večini čistilnih naprav ti mikroorganizmi niso prisotni ali pa čas čiščenja vode ni zadosten, da bi dovolil bakterijam dokončno razgradnjo plastičnih delcev, kar 75 % PVA iz pralnih kapsul in lističev konča v okolju (Henderson, 2022).

2.2.4 Proces nastanka PVA

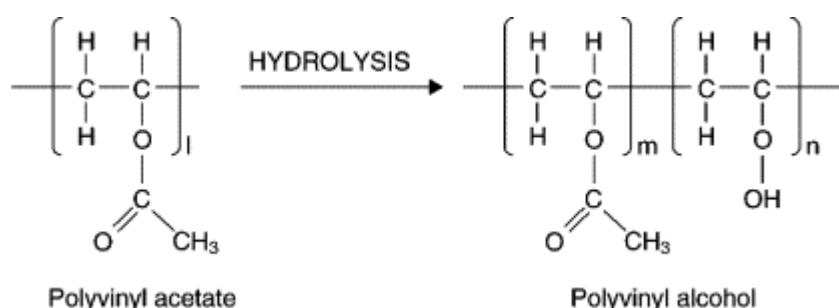
Globalno se vsako leto proizvede ogromno PVA, prav tako se proizvodnja povečuje. Proses izdelave PVA je sestavljen iz dveh ključnih korakov: Polimerizacija in hidroliza.

Z vinilno polimerizacijo najprej iz monomera vinil acetata nastane polimer polivinil acetat. Poteka s pomočjo prostih radikalov in večinoma v alkoholni raztopini metanola ali etanola (Chiellini idr., 2003).



Slika 3: Vinilna polimerizacija s prostimi radikali pri kateri iz monomera vinil acetat nastane polimer polivinil acetat

Ko s polimerizacijo nastane polivinil acetat, pa ga s procesom hidrolize predelajo v polivinil alkohol oziroma PVA. Stopnja in pogoji hidrolize vplivajo na končne lastnosti PVA, ki je proizveden, in sicer nižja kot je stopnja hidrolize, manjša je topnost v vodi ter kristaliničnost polimera. Glede na stopnjo hidroliziranosti lahko PVA delimo na hidrolizirane (84,2 % – 89,0 %), zmersno hidrolizirane (92,5 % - 96,5 %) in popolnoma hidrolizirane (98,0 % - 99,0 %). Količina hidroksilnih skupin, ki ostanejo po hidrolizi, določa mehanske, kemijske in fizikalne značilnosti določenega polimera PVA (Singh idr., 2017).



Slika 4: Hidroliza polivinil acetata v polivinil alkohol

Uporaba PVA na vseh področjih, kjer se uporablja danes, pa ne bi bila mogoča brez procesa plastifikacije, s katerim v verigo polimera vgradimo plastifikatorje. Plastifikatorji so molekule z majhno molekulsko maso, ki amplicirajo gibljivost verige polimera in posledično je material bolj fleksibilen (Chiellini idr., 2003).

Proizvajanje plastičnih PVA filmov je v preteklosti večinoma temeljilo na stari tehniki litja, ki se uporablja še danes. V zadnjem desetletju so zaradi večje potrebe in razširjenosti ustvarili novo tehnologijo obdelave taline. Pri tem pa se pojavi problem, saj je med tališčem PVA in njegovo temperaturo razpada majhna razlika. Ta problem je rešljiv z dodajanjem različnih mehčalcev (glicerol, etilen, glikol...), saj le-ti povečajo topotno stabilnost PVA (Chiellini idr., 2003).

3. Metode dela

3.1 Metoda za raztpljanje kapsul

Princip:

Raztpljanje kapsul pri konstantni temperaturi in konstantnem mešanju.

Aparatura in pribor:

Poleg standardne laboratorijske opreme sva uporabili tudi napravo Rotamix 560 MMH in magnet. Navedena naprava vsebino čaše segreva na določeno temperaturo in s pomočjo magneta meša vsebino čaše.



Slika 5:Rotamix 560 MMH

Priprava vzorcev:

V čašo nalijemo 500 mL destilirane vode in vanjo damo magnet. Čašo postavimo na aparaturo Rotamix in jo segrejemo do želene temperature. Hitrost mešanja naj znaša 200 RPM (vrtljajev na minuto). Ko se voda segreje, vanjo damo kapsulo in pustimo da se raztplja eno uro. Čašo odstavimo od aparature in počakamo, da se vsebina ohladi.



Slika 6: Raztpljanje kapsule



Slika 7: Segrevanje vode

3.2 Metoda za merjenje temperature vode

Princip:

Nadziranje konstantnosti temperature vode med raztpljanjem kapsule.

Aparatura:

GREISINGER GTH 175/Pt DIGITALTHERMOMETER



Slika 8: GREISINGER GTH 175/Pt DIGITALTHERMOMETER

Delo z aparaturo:

Kovinski del termometra med segrevanjem vstavimo v čašo z vodo in preverjamo, kdaj le ta doseže želeno temperaturo in šele nato dodamo kapsulo. Tudi med samim raztpljanjem s termometrom nadzorujemo temperaturo in glede na izmerjene vrednosti reguliramo stopnjo moči segrevanja na napravi Rotamix 560 MMH. Temperaturna napaka znaša 10 °C.

3.3 Metoda za analizo vzorcev

Princip:

Analiza vzorcev zmesi

Aparatura in pribor:

Mikroskop Olympus CH20, kapalka ter objektino in pokrovno stekelce.



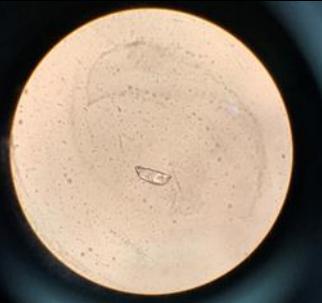
Slika 9: Mikroskop Olympus CH20

Delo z aparaturom:

S kapalko po eni uri raztpljanja in ohlajanja odvzamemo vzorec vsebine čaše in ga damo na objektno stekelce ter ga pokrijemo s pokrovnim stekelcem. Vzorec opazujemo na 400x povečavi. Vidno polje fotografiramo z kamero mobilnega telefona.

4. Rezultati in diskusija

Slike vzorcev pod mikroskopom so prikazane v spodnji tabeli. Poskus sva izvedli pri dveh temperaturah in sicer pri 60 °C in 90 °C. Vzorce sva opazovali pod 400x povečavo.

	Rezultati mikroskopiranja pri 60 °C		Slika kapsule
Kapsula A			
Kapsula B			
Kapsula C			
Kapsula D			

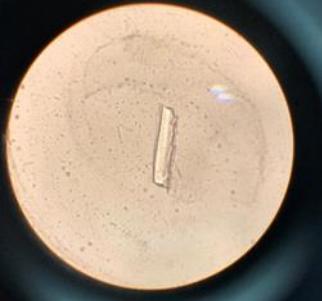
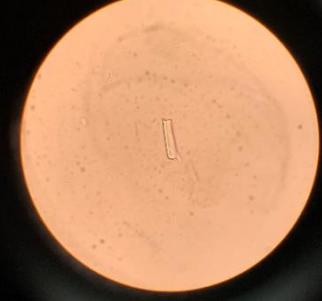
Kapsula E		
Listič F		

Tabela 2: Rezultati mikroskopiranja pri temperaturi 60 °C

	Rezultati mikroskopiranja pri 90 °C	Slika kapsule
Kapsula A		
Kapsula B		
Kapsula C		

Kapsula D		
Kapsula E		
Listič F		

Tabela 3: Rezultati mikroskopiranja pri temperaturi 90 °C

4.1 Merilo

Premer vidnega polja pri 40x povečavi meri 4500 µm. S sledečo formulo sva izračunali, da premer pri 400x povečavi znaša 450 µm:

$$\frac{\text{velika povečava}}{\text{mala povečava}} = \frac{\text{premer vidnega polja pri manjši povečavi}}{\text{premer vidnega polja pri večji povečavi}}$$

$$\frac{400}{40} = \frac{4500 \mu\text{m}}{x}$$

$$x = 450 \mu\text{m}$$

Nato sva ocenili, koliko delcev posameznega vzorca lahko vidimo v premeru vidnega polja. Ta proces sva ponovili za 5 različnih delcev najdenih v posameznem vzorcu in izračunali povprečno velikost delcev. Proses izračuna je sledeč:

$$\frac{450 \mu m}{n} = x$$

n = ocena števila delcev v premeru

x = velikost delca [μm]

Izračunana povprečja velikosti za posamezne kapsule so navedena v tabeli:

	Kapsula A	Kapsula B	Kapsula C	Kapsula D	Kapsula E	Listič F
Delec 1	33,3	55,5	56,3	36,6	135,1	27,1
Delec 2	38,1	40,7	53,3	40,7	55,8	26,8
Delec 3	56,7	42,2	45,6	42,3	48,9	31,3
Delec 4	33,9	49,2	39,9	37,9	89,1	28,0
Delec 5	40,5	50,0	51,2	34,5	90,5	33,5
Povprečna velikost [μm]	40,5	47,5	49,3	38,4	83,9	29,3

Tabela 4: povprečna velikost v μm pri temperaturi 60 °C

	Kapsula A	Kapsula B	Kapsula C	Kapsula D	Kapsula E	Listič F
Delec 1	32,7	61,4	64,3	70,8	60,0	75,0
Delec 2	53,8	51,1	60,4	79,5	58,8	32,1
Delec 3	60,2	36,5	57,7	30,0	34,6	52,0
Delec 4	32,2	35,5	32,8	34,5	55,6	25,7
Delec 5	39,7	40,9	49,9	32,8	63,7	26,5
Povprečna velikost [μm]	43,7	45,1	53,0	49,5	54,6	42,3

Tabela 5: Povprečna velikost v μm pri temperaturi 90 °C

Kot je razvidno iz podatkov v tabelah, se velikost delcev v vzorcih posameznih kapsul bistveno ne razlikuje. Edina izstopajoča podatka se pojavita pri 60 °C in sicer pri kapsuli E in lističu. Velikost pri kapsuli E je nadpovprečna, pri lističu pa podpovprečna. Tudi pri temperaturi 90 °C je povprečna velikost delcev kapsule E največja, pri lističu pa najmanjša izmed zbranih vzorcev. Rezultati pokusa z lističem, torej manjša velikost delcev, so bili pričakovani, saj naj bi izdelek zagotavljal 0 % mikroplastike.

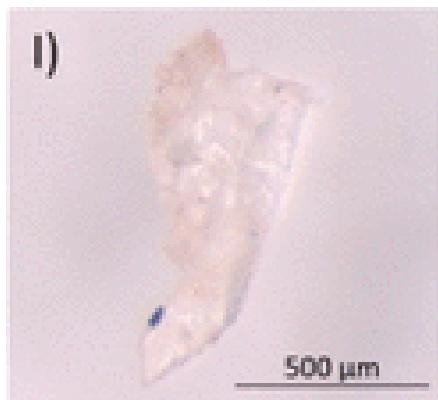


Slika 10: Embalaža lističev

Opazimo lahko tudi, da temperatura vode nima bistvenega vpliva na razgradnjo kapsul, saj so velikosti delcev pri obeh temperaturah dokaj podobne.

4.2 Primerjava slik vzorcev in slik mikroplastike

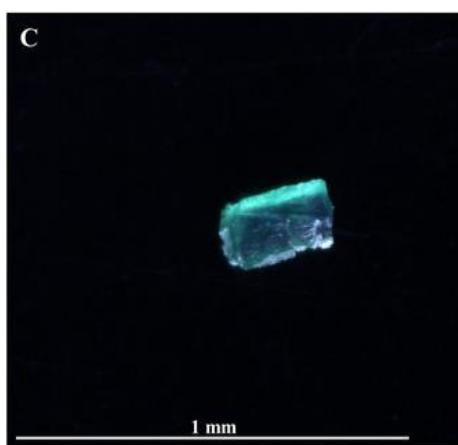
Slike mikroskopiranih vzorcev sva primerjali s slikami mikroplastike iz različnih spletnih virov. Na podlagi velike podobnosti pri primerjavi sklepava, da so delci, ki sva jih mikroskopirali, mikroplastika. Spodaj so najbolj nazorni primeri podobnosti:



Slika 11: Primer mikroplastike 1



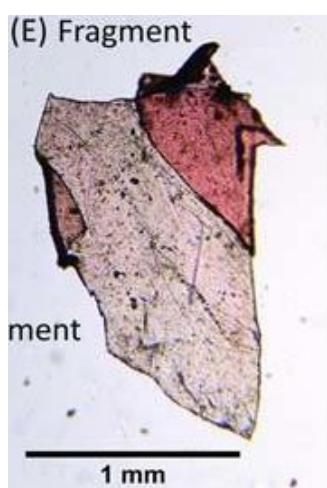
Slika 12: Primer delca 1



Slika 13: Primer mikroplastike 2



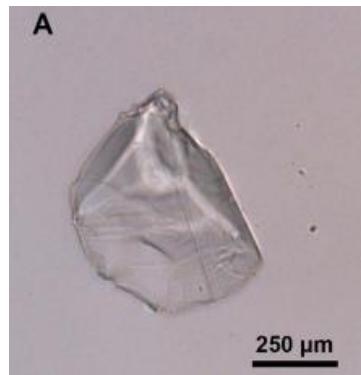
Slika 14: Primer delca 2



Slika 15: Primer mikroplastike 3



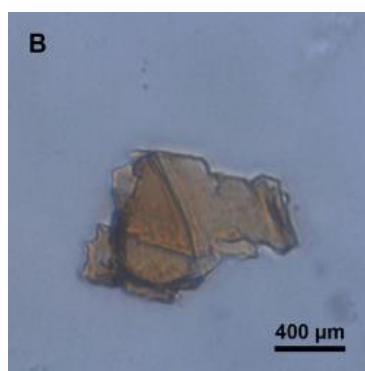
Slika 16: Primer delca 3



Slika 17: Primer mikroplastike 4



Slika 18: Primer delca 4



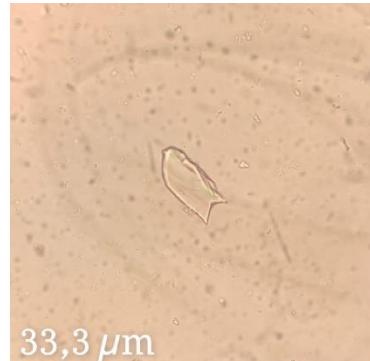
Slika 19: Primer mikroplastike 5



Slika 20: Primer delca 5



Slika 21: Primer mikroplastike 6



Slika 22: Primer delca 6



Slika 23: Primer mikroplastike 7



Slika 24: Primer delca 7

Na podlagi sestave kapsul predvidevava, da so delci plastika PVA, saj v kapsulah ni nobene druge vrste plastike.

4.3 Detergent

Izvedli sva tudi poskus z navadnim detergentom (brez plastičnega ovoja). Tudi pri detergentu sva pod mikroskopom opazili delce mikroplastike, vendar v sestavi detergenta ni nobenih podatkov o vsebnosti kakršnekoli vrste plastike. Na podlagi tega sklepava, da je prisotnost delcev posledica plastične embalaže detergenta ali stika s plastiko v proizvodnji.

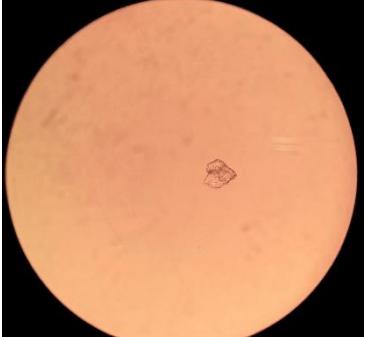
Temperatur a ($^{\circ}\text{C}$)	Rezultati mikroskopiranja	Slika detergenta
60		
90		

Tabela 6: Rezultati mikroskopiranja pri temperaturi 60 °C in 90 °C

4.4 Poskus v 5 litrih topila

Izvedli sva tudi poskus v 10-krat povečani količini topila, da bi preverili, ali na stopnjo razgradnje vpliva količina topila. Pet litrov destilirane voda sva z grelnikom Rotamix 560 MMH segreli do temperature 45 °C in vanjo dali eno kapsulo. Ob mešanju s stekleno palčko sva pustili, da se kapsula razaplja eno uro. Potem sva vzorec mikroskopirali in fotografirali rezultate.



Slika 25: Merjenje temperature



Slika 26: Mešanje zmesi s stekleno palčko

Kljub povečani količini topila, sva pri mikroskopiranju vzorca našli delce mikroplastike, ki se v velikosti niso bistveno razlikovali od vzorcev z 500 mL topila.



Slika 27: Rezultati mikroskopiranja v petih litrih vode

5. Sklepi

Na podlagi analize dobljenih rezultatov in ugotovitev sva ovrednotili najine cilje in hipoteze.

Cilji:

- Ugotoviti, ali kapsule za pranje perila puščajo sledi mikroplastike.

Ta cilj sva dosegli, pod mikroskopom sva opazili sledi delcev in jih identificirali kot mikroplastiko.

- Ugotoviti, kako temperatura vpliva na raztpljanje kapsul.

Ta cilj sva dosegli, vse poskuse sva izvedli pri dveh različnih temperaturah (60°C in 90°C) in primerjali rezultate.

- Ugotoviti, ali se pojavi razlika v sposobnosti raztpljanja glede na znamko kapsul.

Ta cilj sva dosegli, preizkusili sva šest različnih znamk kapsul (med njimi tudi listič za pranje perila).

Hipoteze:

H1: Kapsule bodo po testiranju za sabo pustile sledove mikroplastike, torej se ne bodo v celoti razgradile.

To hipotezo sva potrdili, po enournem raztpljanju sva vzorce mikroskopirali in našli več delcev, ki sva jih primerjali s slikami mikroplastike iz različnih spletnih virov in opazili veliko podobnost, zato sklepava, da so delci mikroplastika. Kapsule se torej niso v celoti razgradile.

H2: Na višji temperaturi bodo delci mikroplastike manjši kot pri nižjih temperaturah.

To hipotezo sva ovrgli, saj sva pri izdelovanju merila in računanju povprečne velikosti delcev mikroplastike ugotovili, da med vzorci pri temperaturi 60°C in vzorci pri temperaturi 90°C ni bistvene razlike v velikosti.

H3: Med različnimi znamkami kapsul ne bo večjih razlik v velikosti mikroplastičnih delcev.

To hipotezo sva delno potrdili. Med znamkami kapsul ni večjih razlik, iz povprečja rahlo izsopata le kapsula E, pri kateri so delci bili nadpovprečno veliki, in listič F, pri katerem so bili delci podpovprečno veliki.

H4: Pri poskusu z detergentom ne bo sledi mikroplastike.

To hipotezo sva ovrgli, saj sva pri poskusu z detergentom pod mikroskopom prav tako opazili delce mikroplastike, vendar pa glede na to, da v sestavi detergenta ni nobene plastike sklepava, da so najdeni delci posledica plastičnega pakiranja ali proizvodnje.

H5: Pri poskusu z lističem ne bo sledi mikroplastike.

To hipotezo sva ovrgli, saj sva tudi pri poskusu z lističem našli delce mikroplastike, čeprav so bili pod povprečjem velikosti delcev ostalih kapsul.

6. Zaključek

Kapsule in lističi za pranje perila so še dokaj neraziskan izdelek s stališča okoljske varnosti. V tej raziskovalni nalogi sva ugotovili, da kljub obljubljeni standstotni biorazgradljivosti številnih znamk kapsul pustijo po pranju za sabo sledi mikroplastike. Na raztpljanje pa nima večjega vpliva niti temperatura pri pranju ali količina topila oziroma vode v kateri se raztpljajo.

Problem se pojavi tudi pri nezadostno sposobnih čistilnih napravah, ki nato odpadno vodo z delci mikroplastike spuščajo v vodotoke in posledično v različne ekosisteme. Delci mikroplastike v okolju imajo negativne posledice na širokem področju, od kmetijstva in biodiverzitete v ekosistemih pa do zdravja človeka.

Kapsule in lističi za pranje se in se bodo tudi v prihodnosti množično uporabljali. Čeprav so zelo praktični in jih je enostavno uporabljati pa imajo tudi negativno stran. Do danes še ni razvitih zagotovljeno varnih ali okolju prijaznih alternativ, ki bi bile v široki uporabi, ampak upava, da bomo v prihodnosti našli boljšo zamenjavo, s katero bomo lahko zaščitili okolje in tudi svoje zdravje.

Možne izboljšave:

- Raztpljanje pri bolj konstantni temperaturi vode.
- Preizkus več znamk kapsul.
- Uporaba opreme za bolj natančno identifikacijo mikroskopiranih delcev.
- Poskusi z večjo količino vode.

7. Uporabljeni viri in literatura

Guo G., Huang Q., in drugi. Microplastics in the soil environment: A critical review. 2022. Environmental Technology & Innovation. 27.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352186422000724>

Bakir A., Rowland J. S., Thompson C. R. Competitive sorption of persistent organic pollutants onto microplastics in the marine environment. 2012. Marine Pollution Bulletin. 64 (12). 2782-2789. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X12004602?via%3Dhub>

Okoljski testi. Mikroplastična analiza v vodi (b. d.). Labaratuar.

<https://www.labaratuar.com/sl/testler/cevresel/suda-mikroplastik-analizi/>

Bhaskar R., Ghosh S. in drugi. Microplastics as an Emerging Threat to the Global Environment and Human Health. 2023. Sustainability. 15 (14). 10821. <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/14/10821>

Sarkar S., Diab H. Microplastic Pollution: Chemical Characterization and Impact on Wildlife. 2023. Int J Environ Res Public Health.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9914693/#B13-ijerph-20-01745>

Afrane S., Ampah J. in drugi. Effects of hybrid nanoparticle additives in n-butanol/waste plastic oil/diesel blends on combustion, particulate and gaseous emissions from diesel engine evaluated with entropy-weighted PROMETHEE II and TOPSIS: Environmental and health risks of plastic waste. 2022. Energy conversion and management. 264. 115758.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196890422005544>

Microplastics: sources, effects and solutions (b. d.). 2018. Topics. European Parliament.

<https://www.europarl.europa.eu/topics/en/article/20181116STO19217/microplastics-sources-effects-and-solutions>

Microplastics. 2023. National Geographic Society.

<https://education.nationalgeographic.org/resource/microplastics/>

Rogers K. Microplastics. 2024. Animals & nature. Encyclopaedia Britannica.

<https://www.britannica.com/technology/microplastic>

Diwan V., Kalyanasundaram M., Singh S. Removal of microplastics from wastewater: available techniques and way forward. 2021. Water science & Technology. 84 (12). 3689–3704.

<https://iwaponline.com/wst/article/84/12/3689/84990/Removal-of-microplastics-from-wastewater-available>

Tan W., Yu H. in drugi. Microplastics as an Emerging Environmental Pollutant in Agricultural Soils: Effects on Ecosystems and Human Health. 2022. Toxicology, Pollution and the Environment. 10. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2022.855292/full>

Apul O., Bhagat K. in drugi. Adsorption of organic pollutants by microplastics: Overview of a dissonant literature. 2022. Journal of Hazardous Materials Advances. 6. 100091.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S277241662200047X>

Arpia A., Chen W. in drugi. Microplastic degradation as a sustainable concurrent approach for producing biofuel and obliterating hazardous environmental effects: A state-of-the-art review. 2021. Journal of Hazardous Materials. 418. 126381.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389421013455>

Huber Z., Karas N.: Mikroplastika v kapsulah za pranje perila in vpliv temperature na njihovo raztpljanje, Raziskovalna naloga iz področja Ekologije z varstvom okolja, Ljutomer 2024

Fong R., Mallon P. in drugi. The Impact of Plasticizer and Degree of Hydrolysis on Free Volume of Poly(vinyl alcohol) Films. 2018. Polymers (Basel).
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6403818/>

Das J., Nandi N. in drugi. Chapter17 - Applications of nanotechnology in food sensing and food packaging. 2023. Nanotechnology Applications for Food Safety and Quality Monitoring. 321-340.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780323857918000069>

Shayesteh H. Chapter 8 - Polymeric adsorbents for removal of hazardous dyes. 2024. Polymeric Adsorbents. 297-350.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780323997461000021>

Chauhan K., Gautam S. in drugi. Chapter 2 - Biopolymers and their classifications. 2021. Biopolymers and their Industrial Applications. 21-44.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B978012819240500002X>

Henderson N. Are Laundry Pods And Sheets Plastic?. 2022. Blueland.
<https://www.blueland.com/articles/are-laundry-pods-and-sheets-plastic>

Chiellini E., Corti A. in drugi. Biodegradation of poly (vinyl alcohol) based materials. 2003. Progress in Polymer Science. 28 (6). 963-1014.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0079670002001491>

Kawai F., Hu X. Biochemistry of microbial polyvinyl alcohol degradation. 2009. PubMed.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19590867/>

Doble M., Kumar A. CHAPTER 9 - Degradation of Polymers. 2005. Biotreatment of Industrial Effluents. 101-110. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780750678384500105>

Banik A., Ghosh P., Roy S. Chapter 32 - Usage of microbes for the degradation of paint contaminated soil and water. 2022. Microbes and Microbial Biotechnology for Green Remediation. 601-617. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780323904520000414>

Kelkar V., Rolsky Charles. Degradation of Polyvinyl Alcohol in US Wastewater Treatment Plants and Subsequent Nationwide Emission Estimate. 2021. Int J Environ Res Public Health.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8199957/>

Polymer Science Learning Center. 2003-2024. <https://pslc.ws/macrog/pvoh.htm>

Bayo J., Lopez-Castellanos J. in drugi. Lack of Evidence for Microplastic Contamination from Water-Soluble Detergent Capsules. 2022. Microplastics 2022. 1 (1). 121-140.
<https://www.mdpi.com/2673-8929/1/1/8>

Vpliv kemične sestave plastike na okolje: kako vpliva na naš planet. 2024. Polaridad.
https://polaridad.es/sl/kemi%C4%8Dna-kompozitna-plastika/?expand_article=1

McDaniel A. What Is PVA (Or Polyvinyl Alcohol) And How Environmentally Friendly Is It?. 2023. Sustainablejungle. <https://www.sustainablejungle.com/sustainable-living/what-is-pva/>

Acharya A., Lamichhane G., in drugi. Microplastics in environment: global concern, challenges, and controlling measures. 2022. National Library of Medicine, 20(4), 4673-4694.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9135010/>

Parker L. Microplastics are in our bodies. How much do they harm us?. 2023. Nationalgeographic.
<https://www.nationalgeographic.com/environment/article/microplastics-are-in-our-bodies-how-much-do-they-harm-us>

Ivleva P. N. Chemical Analysis of Microplastics and Nanoplastics: Challenges, Advanced Methods, and Perspectives. 2021. American Chemical Society. 121, 19, 11886–11936
<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.chemrev.1c00178#>

Bhuyan S. Effects of Microplastics on Fish and in Human Health. 2022. frontiersin.
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2022.827289/full>

Gošnjak. T. Odkritje mikroplastike v človeških pljučih in krvi. 2022. Revija za moje zdravje.
<https://www.revijazamojezdravje.si/odkritje-mikroplastike-v-cloveskem-telesu/>

Janžič U., Adamič D. MAKROPROBLEMATIKA MIKROPLASTIKE. 2022. Radiostudent.
<https://radiostudent.si/znanost/frequenza-della-scienza/makroproblematika-mikroplastike>

Chamkha M., Ksibi M., in drugi. Effects of microplastics' physical and chemical properties on aquatic organisms: State-of-the-art and future research trends. 2023. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 166, 117192.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0165993623002790>

PVA Is Plastic (and Used in Laundry Sheets and Pods). Meliora.
<https://meliorameansbetter.com/blogs/news/pva-is-plastic>

Polymer types. UNSW.

<https://www.unsw.edu.au/science/our-schools/materials/engage-with-us/high-school-students-and-teachers/online-tutorials/polymers/structure-and-form/polymer-types#:~:text=There%20are%203%20principal%20classes,their%20behaviour%20under%20applied%20heat>

What is a thermoplastic? (definition and examples). TWI.

<https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-a-thermoplastic#:~:text=Thermoplastics%20are%20polymers%20that%20can,are%20reused%20several%20times>

Thermosetting Plastics. Adreco plastics. <https://adrecoplastics.co.uk/thermosetting-plastics-properties-benefits/>

Gent N. A. Elastomer chemical compound. 2024. Britannica.
<https://www.britannica.com/science/elastomer>

Chiellini E., Corti A. in drugi. Biodegradation of poly (vinyl alcohol) based materials. 2003. Progress in Polymer Science, 28, 6, 963-1014.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0079670002001491>

Verma S., Singh P. J. Poly Vinyl Alcohol. 2019. The Impact and Prospects of Green Chemistry for Textile Technology. <https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/poly-vinyl-alcohol>

Polyvinyl alcohol chemical compound. 2024. Britannica.
<https://www.britannica.com/science/solution-chemistry>

He P. Ask Dr. Pete: Are laundry pods and sheets really sustainable?. 2022. Dirty Labs.
<https://dirtylabs.com/blogs/the-dirt/ask-dr-pete-are-laundry-pods-and-sheets-really-sustainable>

Kelkar V., Rolsky C. Degradation of Polyvinyl Alcohol in US Wastewater Treatment Plants and Subsequent Nationwide Emission Estimate. 2021. Microplastics in Marine and Freshwater Environments, 18(11), 6027. <https://www.mdpi.com/1660-4601/18/11/6027>

Cho J., Kim C. in drugi. Health Effects of Microplastic Exposures: Current Issues and Perspectives in South Korea. 2023. Yonsei Medical Journal, 64(5), 301–308.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10151227/>

Diab H., Sarkar S. Microplastic Pollution: Chemical Characterization and Impact on Wildlife. 2023. Int J Environ Res Public Health, 20(3), 1745.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9914693/>

Guo X., Wang J. The chemical behaviors of microplastics in marine environment: A review. 2019. Marine Pollution Bulletin, 142, 1-14.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X19302036>

Balcer M. Analysis of Chemical Compounds Related to Microplastics. 2022. Handbook of Microplastics in the Environment, 393-441.

https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-3-030-39041-9_6

Lee H., Lee K. in drugi. Effect of Chemical Agents on the Morphology and Chemical Structures of Microplastics. 2022. Microplastics Degradation and Charactization, 14(20), 4353.

<https://www.mdpi.com/2073-4360/14/20/4353>

Abbasi S., Bogusz A. in drugi. Investigating impact of physicochemical properties of microplastics on human health: A short bibliometric analysis and review. 2022. Chemosphere, 289, 133146.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653521036183>

Kovač M. Mikroplastika v visokogorskih jezerih. 2023.

https://fvo.si/wp-content/uploads/2023/12/Mag_delo_Kovac_Matej_KONCANO2-delo.pdf

Viri slik:

Slika 1: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10853-023-08806-8>

Slika 2: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/14/10821>

Slika 3: <https://pslc.ws/macrog/pvoh.htm>

Slika 4: <https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/polyvinyl-acetate>

Slika 5: Avtorsko delo, Huber Z., Karas N.

Slika 6: Avtorsko delo, Huber Z., Karas N.

Slika 7: Avtorsko delo, Huber Z., Karas N.

Slika 8: Avtorsko delo, Huber Z., Karas N.

Slika 9: Avtorsko delo, Huber Z., Karas N.

Slika 10: Avtorsko delo, Huber Z., Karas N.

Slika 11: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsomega.9b00222>

Slika 12: Avtorsko delo, Huber Z., Karas N.

Slika 13: https://www.researchgate.net/figure/Microplastic-types-shape-and-color-The-different-colors-and-shapes-of-microplastic_fig3_355110275

Slika 14: Avtorsko delo, Huber Z., Karas N.

Slika 15: https://www.researchgate.net/figure/Different-shapes-of-microplastics-A-Film-B-Fiber-C-Pellet-D-Filament-and-E_fig11_349945329

Slika 16: Avtorsko delo, Huber Z., Karas N.

Slika 17: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969718313585>

Slika 18: Avtorsko delo, Huber Z., Karas N.

Slika 19: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969718313585>

Slika 20: Avtorsko delo, Huber Z., Karas N.

Slika 21: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969719319254>

Slika 22: Avtorsko delo, Huber Z., Karas N.

Slika 23: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969719319254>

Slika 24: Avtorsko delo, Huber Z., Karas N.

Slika 25: Avtorsko delo, Huber Z., Karas N.

Slika 26: Avtorsko delo, Huber Z., Karas N.

Slika 27: Avtorsko delo, Huber Z., Karas N.

Viri tabel:

Tabela 1: <https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/poly-vinyl-alcohol>

Tabela 2: Avtorsko delo, Huber Z., Karas N.

Tabela 3: Avtorsko delo, Huber Z., Karas N.

Tabela 4: Avtorsko delo, Huber Z., Karas N.

Tabela 5: Avtorsko delo, Huber Z., Karas N.

Tabela 6: Avtorsko delo, Huber Z., Karas N.