

FAKULTETA ZA VARSTVO OKOLJA

DIPLOMSKO DELO

**PRIMERJAVA VPLIVOV NARAVNIH KOZMETIČNIH
ABRAZIVOV NA KALITEV VRTNE KREŠE (*Lepidium
sativum*)**

ŠPELA GRAČNER

VELENJE, 2026

FAKULTETA ZA VARSTVO OKOLJA

DIPLOMSKO DELO

**PRIMERJAVA VPLIVOV NARAVNIH KOZMETIČNIH
ABRAZIVOV NA KALITEV VRTNE KREŠE (*Lepidium
sativum*)**

ŠPELA GRAČNER

Varstvo okolja in ekotehnologije

Mentorica: doc. dr. Anja Bubik

VELENJE, 2026

Na podlagi Diplomskega reda izdajam naslednji

SKLEP O DIPLOMSKEM DELU

Študentka Fakultete za varstvo okolja **Špela Gračner** lahko izdela diplomsko delo z naslovom v slovenskem jeziku:

Primerjava vplivov naravnih kozmetičnih abrazivov na kalitev vrtna kreše (*Lepidium sativum*)

Naslov diplomskega dela v angleškem jeziku:

Comparative effects of natural cosmetic abrasives on garden cress (*Lepidium sativum*) germination

Mentorica: **doc. dr. Anja Bubik**

Diplomsko delo mora biti izdelano v skladu z Diplomskim redom FVO.

Pouk o pravnem sredstvu: zoper ta sklep je dovoljena pritožba na Senat FVO v roku 8 delovnih dni od prejema sklepa.



Prof. dr. Boštjan Pokorný
dekan

Fakulteta za varstvo okolja
Trg mladosti 7 | 3320 Velenje
t: 03 898 64 18 | e: info@fvo.si
www.fvo.si





Izjava o avtorstvu

Podpisana Špela Gračner, z vpisno številko 34240022, študent/ka dodiplomskega študijskega programa Varstva okolja in ekotehnologije, sem avtorica diplomskega dela z naslovom

Primerjava vplivov naravnih kozmetičnih abrazivov na kalitev vrtna kreše (*Lepidium sativum*),

ki sem ga izdelala pod mentorstvom doc. dr. Anje Bubik.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo delo moje avtorsko delo, torej rezultat mojega lastnega raziskovalnega dela;
- da oddano delo ni bilo predloženo za pridobitev drugih strokovnih nazivov v Sloveniji ali tujini;
- da so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženem delu, navedena oz. citirana v skladu z navodili FVO;
- da so vsa dela in mnenja drugih avtorjev navedena v seznamu virov, ki je sestavni element predloženega dela in je zapisan v skladu z navodili FVO;
- se zavedam, da je plagiatstvo kaznivo dejanje;
- se zavedam posledic, ki jih dokazano plagiatstvo lahko predstavlja za predloženo delo in moj status na FVO;
- je diplomsko delo jezikovno korektno in da je delo lektoriral/a Jasmina Vajda Vrhunec, prof. slov.;
- da dovoljujem objavo diplomskega dela v elektronski obliki na spletni strani FVO;
- da sta tiskana in elektronska verzija oddanega dela identični.

V Velenju, dne 30. 7. 2026

podpis avtorice

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorici doc. dr. Anji Bubik, za ves vložen trud ter vso pomoč in dane nasvete pri pisanju diplomskega dela.

Iskreno se zahvaljujem tudi mojim staršem in prijateljem, ki so mi bili v času nastajanja diplomskega dela v veliko oporo ter so me motivirali in spodbujali.

IZVLEČEK

Kozmetični abrazivi so snovi, ki se uporabljajo za odstranjevanje nečistoč in odmrlih celic s površine kože. V kozmetičnih izdelkih so se v preteklosti pogosto uporabljali sintetični, v vodi netopni abrazivi iz plastike, imenovani mikrokroglice, a se njihova uporaba s prepovedjo v okviru Uredbe Komisije (EU) 2023/2055 zmanjšuje. Danes jih tako vse pogostejše nadomeščajo tudi naravni abrazivi, pridobljeni iz rastlinskih materialov ali mineralov. Namen diplomskega dela je bil oceniti okoljski vpliv izbranih naravnih kozmetičnih abrazivov z uporabo hitrega in enostavnega ekotoksikološkega testa, pri katerem smo kot indikator občutljivosti uporabili kalitev vrtna kreša (*Lepidium sativum*). V poskusih smo ugotavljali vplive bambusa v prahu, mletih orehovitih lupin, vulkanskega pepela in sive (črne) glin pri različnih koncentracijah ter jih primerjali s kontrolnim vzorcem (vodo). Uspešnost kalitve smo spremljali po 48 in 72 urah.

Z raziskavo smo želeli prispevati k boljšemu poznavanju vpliva naravnih abrazivov na rastline in preveriti njihovo primernost kot okolju prijaznejšo alternativo mikroplastiki. Rezultati so pokazali, da mlete orehove lupine, vulkanski pepel in siva (črna) glina ne vplivajo pomembno na kalitev vrtna kreša, saj so bili rezultati primerljivi s kontrolnim vzorcem. Razlike med posameznimi koncentracijami so bile majhne in niso kazale izrazitega vpliva na kalitev. Vpliva velikosti delcev na kalitev vrtna kreša nismo zaznali. Največje odstopanje je bilo ugotovljeno pri bambusu v prahu, saj se je kalitev pri vseh testiranih koncentracijah zmanjšala kar za 80–87 %.

Rezultati potrjujejo, da je ocena okoljskih vplivov naravnih kozmetičnih abrazivov nujna pri njihovem uvajanju kot trajnostne alternative mikroplastiki, saj se je med proučenimi materiali bambusov prah izkazal kot ekotoksikološko manj primeren ter zato zagotovo zahteva dodatno previdnost in nadaljnje raziskave.

Ključne besede: vrtna kreša (*Lepidium sativum*), kalitev, naravni abrazivi, okolje, mikroplastika.

ABSTRACT

Cosmetic abrasives are substances used to remove impurities and dead skin cells from the surface of the skin. Synthetic, water insoluble plastic abrasives, often referred to as microbeads, were frequently used in cosmetic products in the past, but their use is declining due to the ban introduced by Commission Regulation (EU) 2023/2055. Consequently, they are being increasingly replaced by natural abrasives derived from plant materials or minerals. The aim of this thesis was to assess the environmental impact of selected natural cosmetic abrasives using a quick and simple ecotoxicological test, employing the germination of garden cress (*Lepidium sativum*) as an indicator of sensitivity. The experiments examined the effects of bamboo powder, ground walnut shells, volcanic ash, and gray (black) clay at various concentrations, comparing them against a control sample (water). Germination success was monitored after 48 and 72 hours.

Through this research, we aimed to gain a better understanding of the impact of natural abrasives on plants and to assess their suitability as eco-friendly alternatives to microplastics. The results showed that ground walnut shells, volcanic ash and gray (black) clay did not significantly affect the germination of garden cress, as the results were comparable to those of the control sample. Differences between the various concentrations were minor and showed no marked effect on germination. No effect of particle size on garden cress germination was observed. The greatest deviation was noted with bamboo powder, as germination decreased by 80–87% across all tested concentrations.

The results confirm that assessing the environmental impact of natural cosmetic abrasives is essential when introducing them as sustainable alternatives to microplastics, as bamboo powder, among the materials studied, proved to be less suitable from an ecotoxicological perspective and therefore requires additional caution and further research.

Keywords: garden cress (*Lepidium sativum*), germination, natural abrasives, environment, microplastics.

VSEBINA

1	UVOD	1
1.1	Namen in cilji	2
1.2	Hipoteze	2
2	ZAKONODAJA	3
3	KOZMETIČNI ABRAZIVI	6
3.1	Mikroplastika v kozmetiki	6
3.2	Naravne alternative	8
4	VPLIV KEMIKAJIJ IZ KOZMETIKE NA OKOLJE	15
4.1	Ekotoksikološki podatki o abrazivih iz kozmetike	18
4.2	Rastlinski biotesti	19
5	METODE DELA	21
5.1	Priprava testnih raztopin naravnih abrazivov	22
5.2	Eksperiment kalitve vrtno kreše	24
6	REZULTATI IN RAZPRAVA	26
6.1	Rezultati kalitvenih testov	26
6.2	Primerjava rezultatov kalitvenih testov	34
7	SKLEP	40
8	POVZETEK	42
9	SUMMARY	44
10	VIRI IN LITERATURA	46

KAZALO SLIK

Slika 1: Prisotnost bleščic v kozmetičnem izdelku	4
Slika 2: Naravni kozmetični abrazivi (iz leve proti desni: sol, kava, sladkor).....	10
Slika 3: Bambus v prahu.....	11
Slika 4: Fino mlete orehove lupine.....	12
Slika 5: Vulkanski pepel.....	13
Slika 6: Siva (črna) glina.....	13
Slika 7: Pot kemikalije iz kozmetike v okolje	15
Slika 8: Vrtna kreša (<i>Lepidium sativum</i>)	19
Slika 9: Naravna abrazivna sredstva uporabljena v eksperimentih (foto: Š. Gračner, 2026) .	21
Slika 10: Priprava raztopin - odmerjanje vode (foto: Š. Gračner, 2026)	23
Slika 11: Pripravljeni abrazivi (levo) in vidne razlike v koncentracijah abrazivov (desno) (foto: Š. Gračner, 2026).....	23
Slika 12: Priprava petrijev in filtrov (foto: Š. Gračner, 2026).....	24
Slika 13: Nastavitev eksperimenta - eksperiment v času $t = 0$ (foto: Š. Gračner, 2026)	25
Slika 14: Merjenje kalčka (foto: Š. Gračner, 2026).....	25
Slika 15: Vpliv različnih koncentracij bambusa v prahu na kalitev vrtna kreše (<i>Lepidium sativum</i>) po 48 in 72 urah izpostavitve.....	30
Slika 16: Vpliv različnih koncentracij mletih orehovit lupin na kalitev vrtna kreše (<i>Lepidium sativum</i>) po 48 in 72 urah izpostavitve.....	31
Slika 17: Vpliv različnih koncentracij vulkanskega pepela na kalitev vrtna kreše (<i>Lepidium sativum</i>) po 48 in 72 urah izpostavitve.....	32
Slika 18: Vpliv različnih koncentracij sive (črne) gline na kalitev vrtna kreše (<i>Lepidium sativum</i>) po 48 in 72 urah izpostavitve.....	33
Slika 19: Vpliv različnih koncentracij naravnih abrazivov na kalitev vrtna kreše (<i>Lepidium sativum</i>) po 48 urah izpostavitve	34
Slika 20: Vpliv različnih koncentracij naravnih abrazivov na kalitev vrtna kreše (<i>Lepidium sativum</i>) po 72 urah izpostavitve	35
Slika 21: Normalizirani rezultati vpliva različnih koncentracij naravnih abrazivov na kalitev vrtna kreše (<i>Lepidium sativum</i>) po 48 in 72 urah izpostavitve.....	36

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Potrebna količina abrazivov	22
Preglednica 2: Dolžina kalčkov (mm) po 48 urah.....	27
Preglednica 3: Dolžina kalčkov (mm) po 72 urah.....	27
Preglednica 4: Rezultati normalizacije po 48 urah	28
Preglednica 5: Rezultati normalizacije po 72 urah	28
Preglednica 6: Odstotek kalitve pri različnih koncentracijah naravnih abrazivov glede na kontrolo	29
Preglednica 7: Rezultati standardne deviacije	29
Preglednica 8: Odstotek zmanjšanja kalitve pri koncentracijah naravnih abrazivov glede na kontrolo	30
Preglednica 9: Prikaz kalitve vrtna kreše po 48 urah	38
Preglednica 10: Prikaz kalitve vrtna kreše po 72 urah	39

1 UVOD

Kozmetični izdelki so del našega vsakdana. Danes nam sodobna kozmetična industrija ponuja ogromno izbire oziroma izjemno širok nabor formulacij, ki vključujejo veliko število učinkovin in pomožnih snovi v različnih kombinacijah, koncentracijah in kemijskih oblikah. Takšna raznolikost odpira več pomembnih vprašanj: katere snovi nanašamo na kožo in kakšno funkcijo tam opravljajo, pa tudi, kam vse te sestavine po uporabi dejansko odteka ali kako prehajajo v okolje. Med temi sestavinami so tudi kozmetični abrazivi, abrazivna oziroma polirna sredstva, ki se uporabljajo za mehansko odstranjevanje odmrlih poroženelih celic in čiščenje kože, pri čemer drgnjenje po koži ali nohtih povzroči luščenje zgornje plasti. Največkrat jih najdemo v izdelkih za kopel in prhanje, maskah za obraz, izdelkih za nego stopal, pilingih, milih in sintetičnih detergentih, zobnih pastah, izdelkih za beljenje zob ter v odstranjevalcih ličil (Cosmile Europe, 2026).

Od petdesetih let prejšnjega stoletja se je mikroplastika dodajala kozmetičnim izdelkom, da bi dosegli želene lastnosti formulacije. V primerjavi z naravno pridobljenimi sestavinami so cenejše, manj agresivne, združljive z drugimi sestavinami izdelkov, se zlahka sperejo in ne povzročajo poškodb embalaže (Guzik in sod., 2023).

Mikroplastika so sintetični polimerni delci s premerom manj kot 5 mm, ki so sestavljeni predvsem iz atomov ogljika in vodika, povezanih v polimerne verige. Ti delci so netopni v vodi in so bili odkriti v različnih okoljih, vključno z morskimi ekosistemi, zemljo in zrakom, ter celo v hrani in pitni vodi. Mikroplastika se običajno razvršča v dve kategoriji glede na njihov izvor. Primarna mikroplastika se namerno proizvaja v mikroskopskem merilu za uporabo v komercialne in industrijske namene, kot so kozmetika, medicinski izdelki in zobna pasta. Tipičen primer so mikrokroglice, ki se pogosto uporabljajo v izdelkih za piling. Nasprotno pa sekundarna mikroplastika nastane z razgradnjo večjih plastičnih ostankov z mehansko abrazijo, toplotno razgradnjo, fotolizo ali biološko aktivnostjo (Han in sod., 2025).

Plastične mikrokroglice so manj grobe in cenejše, omogočajo bolj gladki piling, jih je lažje sprati, ne da bi pri tem blokirale odtekanje, imajo manjšo gostoto, so zelo združljive z drugimi spojinami v izdelku in ne povzročajo poškodb embalaže. Poleg tega mikrokroglice kozmetičnim izdelkom dajejo tudi dekorativne lastnosti; na primer sferične in modre mikrokroglice dajejo barvo zobni pasti. Pravzaprav se sferične barvne kroglice uporabljajo predvsem za dekoracijo in ne za drgnjenje. Mikrokroglice v kozmetiki so lahko različnih velikosti. Manjše mikrokroglice se uporabljajo predvsem v čistilih za obraz, kjer je zaželena blaga abrazija, večje pa se dodajajo v pilinge za telo, kjer je potrebna intenzivna abrazija. V zobni pasti, kjer je potrebno še blažje čiščenje, je velikost mikrokroglic do 100-krat manjša od tistih, ki se uporabljajo v drugi kozmetiki. Količina mikrokroglic se lahko giblje od 0,05 do 12 % končnega izdelka (medmrežje 1).

Mikrokroglice lahko izboljšajo delovanje številnih kozmetičnih izdelkov, vendar je treba upoštevati tudi nekatere pomanjkljivosti. Mikrokroglice, ki so drobni plastični delci, je težko odstraniti v čistilnih napravah in zato vstopajo v vodne tokove in sčasoma onesnažujejo reke (Giustra in sod., 2024). Večje poznavanje problematike mikroplastike je v zadnjih letih spodbudilo prizadevanja za prepoved uporabe plastičnih, v vodi netopnih sestavin v kozmetičnih izdelkih. Po uporabi in izpiranju namreč ti delci neposredno zaidejo v vodna telesa in v okolju ostanejo. Tam se kopičijo, nalagajo tudi po prehranjevalni verigi in tako predstavljajo tveganja za neželene učinke na živa bitja. Leta 2023 se je zgodil prelomni dogodek, saj od 17.

oktobra 2023 Uredba (EU) 2023/2055 omejuje uporabo sintetičnih polimernih mikrodelcev samih po sebi ali namerno dodanih mešanici, da bi zmanjšali emisije mikroplastike v vsakdanjih izdelkih in varovali okolje (medmrežje 2, Uredba (EU) 2023/2055, 2023).

Danes se namesto mikrokroglic na tržišču pojavljajo tudi izdelki z naravnimi abrazivi, saj so morali proizvajalci kozmetike zaradi prepovedi mikrokroglic hitro najti alternative in spremeniti svoje formulacije. Ne glede na njihov naravni izvor in razgradljivost pa lahko tudi te sestavine potencialno vplivajo na okolje, saj se po uporabi namreč sperejo neposredno v odtok in prehajajo v vodna okolja. Še vedno ni na voljo dovolj veliko število študij, ki bi zagotovile popolno varnost teh sestavin.

1.1 Namen in cilji

Namen diplomskega dela je preučiti in med seboj primerjati okoljski vpliv štirih pogosto uporabljenih kozmetičnih abrazivov z uporabo enostavnega ekotoksikološkega testa, s kalitvijo vrtna kreše (*Lepidium sativum*).

Namen in specifični cilji diplomskega dela so naslednji:

- opisati okoljsko problematiko mikroplastike,
- predstaviti uporabo mikroplastike v kozmetiki in njen potencialni vpliv na okolje,
- opisati naravne abrazive, ki se pogosto uporabljajo v kozmetiki,
- poiskati podatke o potencialnih vplivih naravnih kozmetičnih abrazivov na okolje in ljudi,
- eksperimentalno preveriti, kakšen vpliv imajo naravni abrazivi na kalitev testnega organizma (vrtna kreša *Lepidium sativum*),
- med seboj primerjati vplive posameznih naravnih abrazivov.

1.2 Hipoteze

Pred začetkom dela smo si zastavili naslednji hipotezi:

H1: Naravni kozmetični abrazivi ne bodo pomembno vplivali na kalitev vrtna kreše (*Lepidium sativum*).

H2: Razlike v kalitvi vrtna kreše pod vplivom naravnih kozmetičnih abrazivov bodo majhne ter povezane z velikostjo in koncentracijo abrazivnih delcev.

2 ZAKONODAJA

Onesnaževanje okolja z mikroplastiko ima pomembne ekološke in zdravstvene posledice. Ti delci niso le neposredno nevarni za organizme, temveč služijo tudi kot nosilci drugih škodljivih snovi, vključno s patogeni in kemičnimi onesnaževalci. Naraščajoča ozaveščenost o nevarnostih mikro- in nanoplastike v okolju je privedla do številnih globalnih pobud in predpisov, katerih cilj je zmanjšati njihov negativni vpliv. Uredba Komisije (EU) 2023/2055 z dne 25. septembra 2023 je eden ključnih pravnih aktov EU, ki uvaja postopno prepoved uporabe mikroplastike v potrošniških izdelkih, med njimi tudi kozmetika in detergenti (Uredba (EU) 2023/2055, 2023). Ta proces se je začel 16. oktobra 2023 s prepovedjo prodaje kozmetike, ki vsebuje plastične mikrokroglice (npr. pilingi, bleščice). Nadaljnje faze vključujejo prepoved uporabe mikroplastike v kozmetiki, ki se izpira, kot so šamponi in geli za prhanje (od 17. oktobra 2027), ki ji sledi prepoved njihove uporabe v kozmetiki, ki se ne izpira, kot so kreme in losjoni (od 17. oktobra 2029). Nazadnje bo od 17. oktobra 2035 prepovedana uporaba mikroplastike v ličilih in izdelkih za oblikovanje nohtov (Kochanek in sod., 2025). Pomembno je poudariti, da se prepovedi nanašajo le na trdne, v vodi netopne polimere, medtem ko vodotopni polimeri in polimeri, ki so tekoči in v kozmetičnem produktu delujejo kot zgoščevalci, filmotvorne sestavine, ne spadajo v obseg te prepovedi. V Uradnem listu EU je bila 27. septembra 2023 objavljena nova Uredba Komisije (EU) 2023/2055 z dne 25. septembra 2023 o spremembi Priloge XVII k Uredbi (ES) št. 1907/2006 Evropskega parlamenta in Sveta glede sintetičnih polimernih mikrododelcev. Uredba je stopila v veljavo 17. oktobra 2023 in je v celoti zavezujoča ter se neposredno uporablja v vseh državah članicah. Gre za dolgo pričakovano omejitev, saj mikroplastika predstavlja velik problem za okolje in organizme ter posledično tudi za človekovo zdravje. Predstavlja prvi in pomemben korak na ravni EU k reguliranju tega področja. Omenjena uredba določa splošno omejitev dajanja v promet sintetičnih polimernih mikrododelcev, ki so namerno dodani v nek izdelek. Gre za široko omejitev, saj se ti delci dodajajo v številne izdelke, ki so v vsakodnevni uporabi (GOV, 2023).

Omejitev mikroplastike se nanaša na sintetične polimerne mikrododelce, bolj znane kot mikroplastika, same po sebi ali namerno dodane zmesem. Vendar pa obstajajo izjeme, na katere omejitve ne vplivajo (medmrežje 12):

- izdelki, vključno z bleščicami, izdelani iz anorganskega materiala, naravnega, biorazgradljivega ali topnega v vodi (izven področja uporabe, ker se ne štejejo za mikroplastiko);
- perlice in bleščice (in drugi okraski), namenjene za šivanje;
- mikroplastika, vključno s plastičnimi bleščicami, ki jo zadržijo tehnični postopki ali med uporabo izgubi svojo mikroplastično naravo ali pa je trajno vgrajena v trdno matrico (npr. ujeta v lepilo, barvah ali nekaterih črnilih ali v trdnih predmetih);
- izdelki, ki so izdelki v skladu z evropsko kemijsko zakonodajo REACH (The Regulation on the registration, evaluation, authorisation and restriction of chemicals);
- izdelki, ki so na trgu že bili 17. oktobra 2023.

Mikroplastika, vključno s plastičnimi bleščicami, ki se uporabljajo samostojno ali v izdelkih za uporabo (*slika 1*), za katero je v skladu z odstavkom 6 Uredbe (EU) 2023/2055 določeno posebno prehodno obdobje (npr. kozmetika, detergenti), se lahko še naprej prodaja do konca tega prehodnega obdobja. Upoštevati je treba, da morajo biti ličila, izdelki za ustnice in nohte od 17. oktobra 2031 do 16. oktobra 2035 za nadaljnjo prodajo označeni z oznako, da vsebujejo mikroplastiko (medmrežje 12).



Slika 1: Prisotnost bleščic v kozmetičnem izdelku

Vir: Fakulteta za varstvo okolja, 2025

Izdelkov, ki vsebujejo plastične bleščice ali drugo mikroplastiko (za uporabo, ki ni določena v odstavku 6 Uredbe Evropskega parlamenta (EU) 2023/2055) in so bili dani na trg pred 17. oktobrom 2023, ni treba odpoklicati ali umakniti s trga, temveč se lahko še naprej prodajajo v skladu z odstavkom 16. To bi veljalo na primer za končne izdelke v zalogah distributerjev, uvoznikov, trgovcev na drobno (medmrežje 12).

V Uredbi Evropskega parlamenta (EU) 2023/2055 o registraciji, evalvaciji, avtorizaciji in omejevanju kemikalij (REACH) glede sintetičnih polimernih mikrododelcev je zapisano, da je Svet Komisijo pozval, naj predlaga ukrepe za zmanjšanje izpustov makro- in mikroplastičnih odpadkov v morskem okolju, vključno s predlogom za prepoved polimerov v kozmetičnih izdelkih, izdelkih za osebno nego in detergentih. Glede prepovedi dajanja plastičnih mikrokroglic v promet, tako imenovanih sintetičnih polimernih mikrododelcev, ki se uporabljajo kot abrazivno sredstvo, na primer za piling kože, globinski piling ali čiščenje, zlasti v kozmetičnih izdelkih, ki se izperejo, ali detergentih, prehodno obdobje ni bilo predlagano, saj se je pričakovalo, da bo gospodarska panoga do leta 2020 njihovo uporabo prostovoljno postopoma opustila. Za kozmetične izdelke brez plastičnih mikrokroglic, ki se izperejo in ki se ne odstranijo, je bilo v dokumentaciji iz Priloge XV predlagano štiri- oziroma šestletno prehodno obdobje (Uredba (EU) 2023/2055, 2023).

Ker je prispevek določenih kozmetičnih izdelkov, ki se ne odstranijo, to je ličil in izdelkov za ustnice in nohte, k skupnim emisijam mikroplastike majhen in ker bi prepoved sintetičnih polimernih mikrododelcev v teh izdelkih lahko imela velik vpliv na kozmetično industrijo, je SEAC (Committee for Socio-Economic Analysis) proučil dva dodatna ukrepa kot primerni alternativni prepovedi dajanja teh izdelkov na trg po šestletnem prehodnem obdobju, kot je bilo predlagano v dokumentaciji iz Priloge XV, in sicer ustrezna navodila za uporabo in odstranjevanje, ali prehodno obdobje, daljše od šestih let. Zaradi negotovosti v zvezi z različnimi vplivi na gospodarsko panogo in izpusti pa SEAC ni mogel ugotoviti, ali bi bili navedeni možnosti ustrežnejši od prepovedi in šestletnega prehodnega obdobja, kot je predlagano v dokumentaciji iz Priloge XV. Komisija ob upoštevanju dokumentacije iz Priloge XV, mnenj RAC (Committee for Risk Assessment) in SEAC, socialno-ekonomskega vpliva in razpoložljivosti alternativ meni, da uporaba sintetičnih polimernih mikrododelcev kot takih ali namerno prisotnih v izdelkih povzroča precejšnje onesnaževanje z mikroplastiko. To onesnaževanje pomeni nesprejemljivo tveganje za okolje, ki ga je treba obravnavati na ravni EU. Dokazano je bilo, da je onesnaževanje z mikroplastiko izredno obstojno, da je mikroplastiko po sprostitvi praktično

nemogoče odstraniti iz okolja in da se v okolju postopoma kopiči. Za takojšnje zmanjšanje emisij je treba torej uvesti omejitve za dajanje sintetičnih polimernih mikrodelcev kot takih ali namerno prisotnih v zmesih zaradi zagotavljanja zelene lastnosti, kot so barva, tekstura, masa, absorpcija vode, tekočnost ali odpornost proti toploti, v promet (Uredba (EU) 2023/2055, 2023).

Za izbrane skupine izdelkov so glede na pričakovane socialno-ekonomske vplive in razpoložljivost alternativ predlagani posebna prehodna obdobja in izjeme. Za številne polimere s področja uporabe omejitve obstaja dokaz o tveganju. Sklepe o tveganju glede drugih polimerov, za katere je podatkov manj, je mogoče vseeno oblikovati na podlagi objektivnih meril v zvezi z mikrodelci, ki te polimere vsebujejo ali so z njimi prevlečeni. Komisija meni, da bi morala ta omejitev zajemati skupine polimerov z enakimi ustreznimi fizikalnimi in kemijskimi lastnostmi, velikostjo delcev in obstojnostjo v okolju. To omogoča objektivno identifikacijo snovi, ki spadajo na področje uporabe te omejitve. Komisija meni, da je primerno iz opredelitve sintetičnih polimernih mikrodelcev izključiti naravne, razgradljive in topne polimere, saj ne prispevajo k tveganju. Poleg tega meni, da je s področja uporabe omejitve upravičeno izključiti polimere, ki v strukturi ne vsebujejo ogljikovih atomov, saj ni na voljo ustreznih ekotoksikoloških podatkov o tem, ali taki polimeri v obliki delcev pomenijo enako tveganje kot delci, ki izvirajo iz polimerov, ki v strukturi vsebujejo ogljikove atome (Uredba (EU) 2023/2055, 2023).

3 KOZMETIČNI ABRAZIVI

Kozmetični abrazivi so zrnate trdne snovi različnih velikosti delcev, ki se v kozmetičnih izdelkih uporabljajo za mehansko odstranjevanje nečistoč in odmrlih celic s površine kože. Najpogostejše so vključeni v pilinge oziroma izdelke s piling učinkom, kjer delci ob vtiranju v kožo ustvarjajo značilen senzorični občutek čiščenja in omogočajo eksfoliacijo, torej luščenje poroženele plasti. Odstranjevanje odvečnih odmrlih kožnih celic lahko razkrije mlajšo in bolj zdravo kožo ter spodbuja obnovo povrhnjice (epidermisa). Abrazivna narava teh delcev, suspendiranih v ustrezni podlagi, zagotavlja gladek občutek po uporabi. Piling omogoča obnovo celic, kar je v bistvu odstranitev starih, da se naredi prostor za nove. To je tudi način za zaščito kože in ji pomaga pri procesu staranja. Proces se nenehno dogaja, kožne celice pa se starajo in odmirajo, ko se nasičijo s keratinom. S staranjem postane proces migracije celic iz spodnjih v najvišje plasti neenakomeren in se lahko celo upočasni. Zaradi tega je koža videti pusta in neenakomerna ter kaže znake gubanja. Pravilno izbran in redno uporabljen piling zato pomaga vzdrževati enakomerno obnovo celic in podpira zdravo delovanje kožne bariere (medmrežje 3).

Poznamo mehanske, kemične in encimske pilinge. Mehanski pilingi vsebujejo trdne delce – torej abrazive – in se pogostejše uporabljajo za nego telesa, medtem ko so kemični in encimski pilingi zaradi svoje nežnejše narave primernejši za obraz. Mehanskih pilingov ni priporočljivo uporabljati na obrazu, kadar delci niso dovolj fino zmleti, saj lahko povzročijo mikroabrazije ali draženje kože (medmrežje 4). Mehanski pilingi delujejo na podlagi uporabe abrazivov za fizično odstranjevanje odmrlih kožnih celic. Primeri vključujejo pilinge, ki vsebujejo granule, kot so sol, sladkor ali krtače, lufe in suho krtačenje. Ročno delovanje teh sredstev in orodij pomaga odstraniti najbolj zunanjo plast odmrlih kožnih celic (medmrežje 3).

Kemični pilingi uporabljajo kemične spojine za raztapljanje vezi, ki držijo odmrle kožne celice skupaj. To omogoča lažje luščenje starih celic. Med najpogostejšimi so alfa hidroksi kisline, kot so glikolna, salicilna ali mlečna kislina. Pri višjih koncentracijah te sestavine delujejo kot kemični pilingi in odstranijo zgornjo plast kože. Kemični piling sega globoko pod povrhnjico v usnjico (dermis). Ta metoda prodiranja globoko v kožo spodbuja hitrejšo rast novih celic, enako kot takrat, ko je bila koža mlajša in bolj zdrava.

Encimski pilingi so najbolj blaga oblika eksfoliacije, zato so primerni za občutljivo kožo, razdraženo kožo in zrelo kožo v menopavzi, ustrezajo pa tudi suhi koži in koži, nagnjeni k nastajanju aken. Navadno vsebujejo naravne encime iz sadja (npr. papaja in ananas). Encimi najdejo in vpijejo odmrle celice, kožo pa hkrati tudi vlažijo in očistijo (medmrežje 4).

3.1 Mikroplastika v kozmetiki

Številne formulacije izdelkov za osebno nego in kozmetiko (Personal Care and Cosmetic Products – PCCP) vsebujejo trdne, sintetične polimerne delce v mikro ali submikronskem območju velikosti. Lahko so izdelani iz poliolefinov (polieten, polipropilen in polizopropilen), polistirena, poliestrov, poliamidov (najlon) ali podobnih polimerov, lahko so kopolimeri ali zamreženi polimeri. Ti materiali opravljajo več funkcij, vključno z delovanjem kot abrazivi za piling, glajenje in poliranje kože, kot sistemi za dovajanje aktivnih sestavin in kot nosilci barvil. Poleg tega se lahko submikronski polimerni praški uporabljajo za zgoščevanje, povečanje

prostornine ali spreminjanje senzoričnih lastnosti izdelkov (glajenje gub, tvorjenje gladkega filma, itd.). Zaradi svoje majhnosti in v primeru trdne polimerne narave so ti materiali razvrščeni kot plastika, natančneje mikroplastika (MP). V PCCP-jih so najpogostejše vgrajeni v obliki mikrokroglic in kot praškasti material/delci (Habib in sod., 2026).

Mikroplastika, ki jo najdemo v kozmetičnih izdelkih, je v okolju prisotna dlje časa, kar daleč presega življenjsko dobo potrošnikov, ki jo uporabljajo. Po sprostitvi v naravno okolje naj bi delci mikroplastike tam vztrajali še stoletja, preden se popolnoma razgradijo in ponovno vključijo v tipične biogeokemične procese (Akhbarizadeh in sod., 2024). Dolgotrajna razgradnja plastičnih makromolekul kaže na to, da je vsa plastika, ki je bila kdajkoli vnesena v okolje, še danes prisotna (Bikiaris in sod., 2024).

Glede na velikost lahko manjše plastične delce razdelimo na nano ($<0,1\ \mu\text{m}$), mikro (5 mm do $0,1\ \mu\text{m}$), mezo (5 mm do 25 mm) in makro ($>25\ \text{mm}$) delce. Mikroplastiko lahko najdemo tudi v različnih oblikah, kot so peleti, vlakna, fragmenti, pena in kosmiči. Tako velikost kot oblika narekujeta usodo in razgradnjo mikroplastike v okolju. Sintetično proizvedeni plastični peleti, kroglice, zrnca, vlakna in prah za komercialne namene veljajo za primarno mikroplastiko. Te se pogosto uporabljajo kot surovina za proizvodnjo plastike (npr. peleti iz smole) ali proizvodnjo gospodinjstskih aparatov, tekstilnih vlaken v oblačilih (npr. akrilna vlakna), industrijskih abrazivov (npr. čiščenje z zrakom) in pilingov, ki so vključeni v PCCP-je, kot so čistila, ličila, geli za prhanje, čistila za obraz, razkužila za roke, mila, zobne paste, kreme za britje, peneče kopeli, kreme za sončenje in šamponi. Kozmetični izdelki lahko na primer vsebujejo 0,5–5 % primarne mikroplastike, enkratna uporaba pa lahko sprosti približno 4.500–94.500 mikrokroglic. Sekundarna mikroplastika je lahko tudi produkt razgradnje večjih plastičnih delcev iz ribiškega orodja, ladij, ribogojstva in rekreacijskih dejavnosti. Proces razgradnje plastičnih odpadkov je lahko sčasoma fizikalni, kemični ali biološki zaradi izgube strukture. Na nastanek mikroplastike v oceanu močno vpliva kombinacija okoljskih dejavnikov, kot sta sončno ultravijolično sevanje, ki olajša oksidativno razgradnjo polimerov in povzroči izgubo mehanske trdnosti, ter mehanska abrazija, kot so veter, valovi, oceanski tokovi, ugrizi živali in človeška dejavnost, ki lahko polimer dodatno razgradi na manjše delce. Ta proces se imenuje preperevanje in se običajno pojavlja v padajočem vrstnem redu, glede na to, koliko plastika plava v vodi, v srednjem vodnem stolpcu in v usedlinah (medmrežje 1).

Znanstvene raziskave se v veliki meri osredotočajo na oralne in nosne poti vnosa mikroplastike v telo glede na prisotnost mikroplastike v našem ozračju, vodi in hrani. Vendar pa je koža kot naš največji organ in z njo povezan dermalni vnos izjemno podcenjen način vnosa. Naša koža pokriva več kot 15–16 % naše telesne teže in je nenehno izpostavljena svetlu okoli nas ter deluje kot bistvena pregrada (Tobin, 2006). Zato je skrb za našo kožo, zlasti pa zagotavljanje, da ni poškodovana, ključnega pomena za zaščito njene pregradne funkcije. Rast industrije nege kože, ki jo spodbujajo spreminjajoče se miselnosti o zdravstvenem varstvu in dolgoživosti ter vzporedno naraščajoče onesnaženje s plastiko, predstavlja izjemno tveganje izpostavljenosti mikroplastiki (Erat in Addor, 2025). Izdelki za nego kože ne pomagajo le zaščititi kože in okrepiti njene pregradne funkcije, temveč lahko tudi omogočijo vstop mikroplastike v telo (Tsang, 2026).

Čeprav natančni mehanizmi, s katerimi mikroplastika in nanoplastika vplivata na kožo, še niso povsem pojasnjeni, vedno več raziskav kaže, da lahko sprožijo ali poslabšajo vnetna stanja kože. Podobno so študije na primarnih kožnih celicah pokazale, da so vnetni odzivi najbolj bistveno spremenjeni pri izpostavljenosti nanoplastiki in mikroplastiki, manjši od $6\ \mu\text{m}$. Mikroplastika je bila vpletena v motnje ravnovesja mikrobioma v različnih organskih sistemih, vključno s kožo. Medtem ko se večina obstoječih študij osredotoča na prebavni mikrobiom,

novejše raziskave kažejo, da lahko mikroplastika spremeni tudi sestavo in delovanje kožnega mikrobioma (Han in sod., 2025).

Kozmetični izdelki vsebujejo sintetične polimere (topne ali netopne) za različne funkcije, kot so piling kože, posvetlitev in čiščenje kože, svilnat občutek (mikrokroglice), nadzor motnosti, gladkost in nadzor viskoznosti. Mikroplastika se je namerno dodajala tako v kozmetiko, ki se izpere, kot v kozmetiko, ki se ne izpira. Izdelki za izpiranje so izdelki za osebno nego, ki se po čiščenju kože in las sperejo z vodo. Primeri kozmetike za izpiranje z mikroplastiko so izdelki za beljenje las, barvanje in nego las, šamponi, geli za prhanje, mila, pilingi, gel za umivanje telesa, gel za umivanje obraza itd. Čeprav ima 95 % izdelkov za izpiranje samo eno sestavino mikroplastike, imajo nekateri lahko celo dve (medmrežje 1).

V čistilih za obraz so mikrokroglice manjše, medtem ko so v pilingih za telo večje, da učinkoviteje brusijo povrhnjico. V zobnih pastah so mikrokroglice do 100-krat manjše za zelo nežno čiščenje, medtem ko so v gelih za umivanje obraza od 2- do 4-krat manjše kot v pilingih za telo. Mikroplastika, ki se spere, preide v gospodinjne kanalizacijske sisteme, nato pa v čistilne naprave, kjer se zadržijo velike količine. Žal zaradi majhnosti delcev veliko mikroplastike pride v okolje. V nerazvitih državah, kjer ni dostopa do čistilnih naprav, je uporaba formulacij, ki vsebujejo mikroplastiko, zelo visoka in večina splaknjene mikroplastike konča neposredno v okolju (Guzik in sod., 2023).

3.2 Naravne alternative

Uporaba kozmetičnih izdelkov že tisočletja igra pomembno vlogo v življenju ljudi. V preteklosti so omogočali izboljšanje lepote, zaščito kože, nego zob, uporabo dišav in barvanje kože v kulturne in verske namene. V zgodnji zgodovini so bili vsi kozmetični izdelki narejeni iz naravnih sestavin, večinoma pridobljenih iz rastlin, mineralov in živali. Šele v dvajsetem stoletju so se sintetične in kemično modificirane sestavine začele splošno uporabljati v kozmetiki. Če se vrnemo v zgodnjo zgodovino, je v devetdesetih letih 20. stoletja in zadnjih dveh desetletjih je uporaba naravnih sestavin v kozmetičnih izdelkih postajala trend, ki so ga najverjetneje sprožili zahteve potrošnikov in proizvajalci kozmetike, ki so se poskušali razlikovati na konkurenčnem trgu. Sprva je bila večina naravnih sestavin aktivnih sestavin za nego kože, ki so v koži sprožile biološki odziv, običajno z želenim rezultatom, kot so izboljšanje strukturne celovitosti kože, zagotavljanje zaščite pred soncem, zmanjšanje kroničnega staranja in staranja zaradi svetlobe ter številni drugi učinki. Od takrat so si številne panoge močno prizadevale za proizvodnjo bolj trajnostnih izdelkov (McMullen in Dell'Acqua, 2023).

Praksa pilinga je globoko zakoreninjena v starodavnih civilizacijah, kjer so za ohranjanje zdrave kože uporabljali naravne materiale. Zgodovinski zapisi kažejo, da so kulture v Egiptu, Indiji, Kitajski in grško-rimskem svetu uporabljale različne naravne snovi za piling in polepšanje kože. Grki in Rimljani so za poliranje kože uporabljali abrazivne materiale, kot sta pesek in mleti vulkanski pepel (pumice). V starem Egiptu je Kleopatra znano uporabljala mlečne kopeli, ki so vsebovale mlečno kislino, naravno alfa hidroksi kislino, za piling in mehčanje kože. V tradicionalni indijski ajurvedi se kombinacija zeliščnih praškov, kot so kurkuma, grahova moka in sandalovina, že dolgo uporablja za čiščenje in piling kože. Podobne prakse so bile opažene tudi v vzhodnoazijskih tradicijah, kjer so bili riževi otrobi, prah mungo fižola in listi zelenega čaja vključeni v rituale nege kože (Akash in sod., 2025).

Uporaba mikroplastike v kozmetiki je postala velik okoljski problem. Vendar pa sta priljubljenost in svetovna prodaja kozmetičnih izdelkov, ki so v preteklosti vsebovali

mikroplastiko, oteževali njihovo izločitev iz uporabe. Zato je bil potreben varnejši nadomestek, ki bi nadomestil te okolju nevarne sestavine (Bhattacharya, 2016). Povečana razširjenost družbenih medijev in internetnih platform je povečala ozaveščenost javnosti o potencialnih nevarnostih, povezanih z uporabo različnih kemikalij v kozmetiki, hkrati pa je poudarila zdravstvene prednosti uporabe naravnih sestavin, pridobljenih iz rastlin in drugih organskih materialov. Posledično tako kozmetična industrija kot znanstvenoraziskovalni sektor usmerjata večji poudarek na naravne izdelke. Eden glavnih izzivov, s katerimi se soočajo v tem kontekstu, je določitev optimalnega ravnovesja med konceptoma naravnega in kemično sestavo kozmetičnih izdelkov (Bikiaris in sod., 2024).

V kozmetičnih formulacijah biopolimeri na osnovi ogljikovih hidratov, kot so celulozne kroglice in granule na osnovi škroba ter naravna sredstva za piling, vključno s soljo, sladkorjem, kavno usedlino, bambusovim prahom, prahom mandljevih in mareličnih pešk, prahom orehovit lupin in plovcem (vulkansko kamnino), ponujajo učinkovite in biorazgradljive alternative sintetičnim mikrokroglicam, kar podpira premik k okolju prijaznemu razvoju izdelkov. Vendar pa je večina obstoječih študij ocenila kinetiko razgradnje biorazgradljivih polimerov in dodatkov mikroplastike v idealiziranih laboratorijskih ali industrijskih pogojih kompostiranja. Ti pogoji morda ne odražajo natančno resničnih okolij, kot so sistemi odpadnih voda ali morski ekosistemi, kamor se kozmetični izdelki končno izpuščajo. Vendar pa bi morale prihodnje raziskave ciljati na pridobivanje takšnih podatkov in tudi na obravnavo potenciala biorazgradljivih alternativ, da se med uporabo in procesi razgradnje fragmentirajo v sekundarne nanoplastike (Han in sod., 2025).

Čeprav so novi znanstveni dokazi o škodljivosti in sproščanju v okolje vzrok za regulativne omejitve uporabe plastičnih mikrokroglic, je razpoložljivost alternativnih materialov igrala ključno vlogo pri uvedbi teh predpisov. Na trgu je že veliko alternativ, kot so zdrobljene orehove lupine, oves, sladkor in jojobina semena. Mnoge so se uporabljale v nedavni preteklosti, preden so bile uvedene plastične mikrokroglice, in se še danes uporabljajo v PCCP-jih, pogosto promovirane kot naravne alternative. Prav tako so se obnovila prizadevanja za razvoj sintetičnih biorazgradljivih mikrokroglic na osnovi materialov, kot je celuloza. Čeprav so učinki plastičnih mikrokroglic v morskem okolju glavni vzrok za zaskrbljenost, obstajajo tudi drugi vplivi na okolje pri nabavi, proizvodnji in transportu skozi celoten življenjski cikel izdelka, ki jih vsebuje, pa tudi po uporabi s strani potrošnikov. Čeprav se ne pričakuje, da bi katera koli od alternativ povzročila slabše ali podobne vplive v smislu onesnaževanja morja, je bilo njihovemu splošnemu vplivu na okolje v življenjskem ciklu namenjene malo pozornosti. Ker se že uporablja veliko neplastičnih alternativ in drugih, ki so v razvoju, je treba paziti, da alternative ne povzročijo okoljskih stroškov, ki bi lahko odtehtali koristi, ki izhajajo iz prepovedi (Hunt in sod., 2026).

Naravne in biorazgradljive alternative, kot so celuloza, koruzna moka, marelična jedrca, orehove lupine in plovec, so se v kozmetiki uporabljale že dlje časa in se zdaj pogosto uporabljajo kot abrazivi, sredstva za povečanje prostornine, sredstva za motnost in nadomestek za mikrokroglice. Do zdaj in na splošno naravne alternative, ki se uporabljajo v kozmetiki, v primerjavi s sintetičnimi polimernimi kroglicami pogosto zagotavljajo blažjo in manj enakomerno abrazivnost zaradi svoje nepravilne oblike in spremenljive trdote, kar lahko zmanjša konsistenco pilinga. Vendar pa se ti naravni materiali pogosto dojemajo kot prijetnejši in koži prijaznejši senzorični občutek, čeprav z večjo variabilnostjo od serije do serije kot sintetične kroglice (Habib in sod., 2026).

Poleg drugih naravnih abrazivnih materialov se v kozmetičnih izdelkih pogosto uporabljajo **sladkor, sol ali kava**, ki so cenjeni zaradi svojega piling učinka in trajnostnega izvora (*slika 2*). Pogosto se pojavljajo v doma pripravljenih pilingih, kjer služijo kot preproste in dostopne

sestavine. Pomagajo odstraniti odmrle kožne celice, spodbudijo prekrvavitev in izboljšajo teksturo kože – brez uporabe sintetičnih mikroplastičnih kroglic, ki škodujejo okolju. Sladkor s svojimi majhnimi, zaobljenimi kristali deluje nežno in kot naravni humektant privlači vlago. Sol, zlasti morska sol, zagotavlja intenzivnejši piling in vsebuje minerale, kot sta magnezij in kalij, ki negujejo kožo. Kava v zrnih je polna antioksidantov, kot je kofeinska kislina, ki ne le odstranjuje odmrle kožne celice, ampak tudi spodbuja proizvodnjo kolagena in zmanjšuje vnetja (Liu, 2022).



Slika 2: Naravni kozmetični abrazivi (iz leve proti desni: sol, kava, sladkor)

Vir: Fakulteta za varstvo okolja, 2025

Aktivno oglje je vsestranski naravni abraziv, cenjen tako za nego kože kot v ustni negi. V kozmetiki se uporablja v maskah za obraz, čistilih, pilingih, trakovih za pore in milih, kjer pomaga odpreti pore in razstrupiti kožo. Nekateri izdelki navajajo koristi pri aknah, blagih okužbah kože ali seboreičnem dermatitisu, vendar so klinični dokazi omejeni. Pri občutljivi koži je potrebna previdnost, saj lahko prekomerna uporaba izsuši ali razdraži kožo (Sajjad in sod., 2021; medmrežje 5). V ustni negi se oglje v prahu pogosto dodaja belilnim zobnim pastam, kjer pomaga odstranjevati površinske madeže in nečistote z zob. Njegova visoka poroznost in adsorpcijska sposobnost mu omogočata vezavo pigmentov in toksinov, kar prispeva k čistejšemu in svetlejšemu videzu. Njegova abrazivnost lahko rahlo pobeli zobe, vendar je potrebna previdnost, da se sčasoma ne poškoduje sklenina (Montero in sod., 2023; Ghajari in sod., 2021).

Kalcijev karbonat (CaCO_3) je naravno prisoten mineral in nežen, vsestranski abraziv, ki se pogosto uporablja v kozmetiki in izdelkih za osebno nego. V zobnih pastah pomaga odstranjevati zobne obloge in površinske madeže ter polira zobe, ne da bi poškodoval sklenino. V dezodorantih vpija vlago, v pudrih in podlagah pa izboljša teksturo, pokrivnost in obstojnost pigmentov. Zaradi svojega blagega abrazivnega delovanja in večnamenskih lastnosti je dragocena naravna sestavina v izdelkih za ustno nego in kozmetičnih formulacijah (medmrežje 6; medmrežje 7).

Bambus v prahu je naravni prašek, pridobljen iz stebela bambusa (slika 3). Uporablja se v izdelkih za osebno nego kot piling, saj nežno odstranjuje odmrle kožne celice, da pusti bolj gladko in svetlejšo kožo. Zaradi svojih drobnih delcev je prah iz stebela bambusa (*Bambusa*

Arundinacea) manj abraziven kot prah orehovit lupin ali sol, zaradi česar je primernejši za občutljivo kožo. V surovi obliki je prah bele do umazano bele barve. Je varen in je dobra alternativa sintetičnim pilingom, kot so polietilenske kroglice. Ponuja nežno abrazivno lastnost z odstranjevanjem odmrlih kožnih celic, ko se uporablja v pilingih za obraz, pilingih za telo in čistilnih pudrih. Ker je naravno bogat s silicijevim dioksidom, ima močne lastnosti vpijanja olja, ki pomagajo zmanjšati odvečni sebum in pustijo kožo čisto in matirano, ne da bi jo preveč izsušile. Ko se uporablja v formulacijah ličil, ta puder doda svilnat in suh občutek. Prav tako izboljša konsistenco in mazljivost izdelkov. Čeprav se pogosto ne uporablja pri negi las, se lahko uporablja za čiščenje lasišča in globinski piling. Pridobiva se iz bambusa, ki se opere in posuši, preden se spremeni v fini prah. Nastali prah se preseje, da se doseže določena velikost delcev. Je nežen do kože in ima majhno tveganje za draženje ali alergijske reakcije. Vendar pa je treba, tako kot pri vsaki novi sestavini, pred nanosom opraviti teste na majhnem predelu kože (medmrežje 8).



Slika 3: Bambus v prahu

Vir: Fakulteta za varstvo okolja, 2025

Fino mlete orehove lupine pomagajo nežno odstraniti odmrle kožne celice, nečistoče in odvečno olje s površine kože, kar spodbuja bolj gladko polt (*slika 4*). Zaradi svojih blagih abrazivnih lastnosti jih pogosto najdemo v pilingih za obraz, lakih za telo in čistilnih pilingih. Zaradi svojih naravnih abrazivnih lastnosti se pogosto uporabljajo v izdelkih za osebno nego. Pogosto se uporabljajo kot fizični piling, ki nežno odstrani odmrle kožne celice in razkrije bolj gladko in sijočo polt. V pilingih za obraz, lakih za telo in čistilnih pilingih pomagajo odmašiti pore, izboljšati teksturo kože in spodbuditi obnovo celic. Zaradi blage abrazivnosti so primerne za različne tipe kože, vendar je pri občutljivi koži potrebna previdnost. Pri negi las se lahko vključijo v čistilne šampone in tretmaje za lasišče, da pomagajo odstraniti nakopičene izdelke, odvečno olje in nečistoče z lasišča in lasnih vlaken. Z odstranjevanjem ostankov in umazanije prispevajo k bolj zdravemu videzu las in revitaliziranemu lasišču. Proizvajajo se z drobljenjem in mletjem orehovit lupin. Lupine se očistijo, posušijo in nato fino zmeljejo. Ta postopek ohranja naravne piling lastnosti orehovit lupin, zaradi česar so primerne za uporabo v kozmetičnih formulah. Na splošno so varne pri uporabi v kozmetičnih formulah. Vendar pa lahko zaradi svoje abrazivne narave povzročijo draženje, če se uporabljajo prekomerno ali na

občutljivi koži. Poleg tega obstaja možnost mikroraztrganin na površini kože. Same po sebi niso komedogene, vendar je priporočljiva previdna uporaba, da se prepreči morebitno draženje ali občutljivost kože (medmrežje 9).



Slika 4: Fino mlete orehove lupine

Vir: Fakulteta za varstvo okolja, 2025

Vulkanski pepel oziroma plovec ali pumice nastane iz lave ali magme (*slika 5*). Plovec ima nekoliko podobno kemično sestavo kot granit (kremen in alkalni glinenec). Plovec v prahu se uporablja v številnih izdelkih, ki so na voljo na trgu. Prah plovca se uporablja v različne namene, saj ima dobre abrazivne lastnosti. Dandanes je na trgu na voljo veliko kozmetičnih izdelkov in izdelkov za osebno nego, ki vsebujejo prah plovca. Nekateri med njimi so industrijska čistila za roke, geli za telo, pilingi za obraz in stopala itd. Mila in kreme s prahom plovca so zelo priljubljene in zelo iskane zaradi svoje sposobnosti odstranjevanja odmrlih celic, čiščenja por itd. Ker je plovec naraven in okolju prijazen, je bolj iskan kot marsikatera agresivna kemikalija. Poleg tega je trajnosten in učinkovit piling, ki deluje, ne da bi pri tem poškodoval kožo (medmrežje 11).



Slika 5: Vulkanski pepel

Vir: Fakulteta za varstvo okolja, 2025



Slika 6: Siva (črna) glina

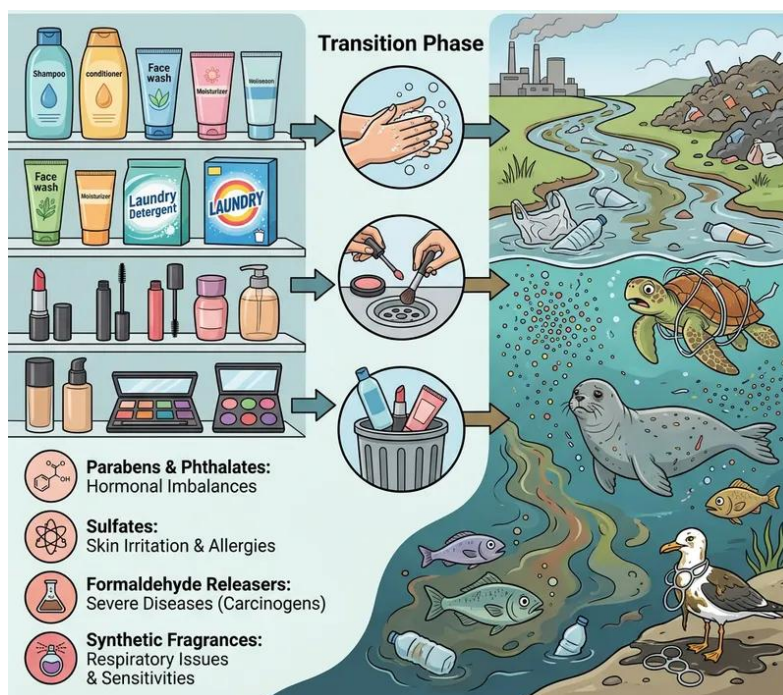
Vir: Fakulteta za varstvo okolja, 2025

Siva (črna) glina je naravni glineni mineral (*slika 6*). V kozmetiki je cenjen zaradi svojih vpojnih lastnosti in sposobnosti odstranjevanja nečistoč in odvečne maščobe s kože, zaradi česar je pogosta sestavina v obraznih maskah, čistilih in pilingih. Bogat je z minerali, kot so kalcij, magnezij in kalij, zato pomaga pri zdravju kože z razstrupljanjem por in izboljšanjem celotne polti. Poleg tega je zaradi svoje fine teksture dovolj nežen tudi za občutljivo kožo. Zaradi številnih koristnih lastnosti se pogosto uporablja v kozmetični industriji in industriji osebne nege. Je nežne narave, zato je primeren za vse tipe kože. Prisoten je tudi v izdelkih za nego

las, kjer pomaga čistiti in razstrupljati lasišče. Nastaja zaradi preperevanja in spreminjanja vulkanskega pepela in kamnin, bogatih z aluminijem in magnezijem. Sčasoma se pepel kemično spreminja, kar vodi v nastanek glinenih mineralov, kot je montmorilonit. K njegovemu nastanku prispevajo hidrotermalna aktivnost, vodna erozija in procesi sedimentacije. Edinstvena plastovita struktura montmorilonita se razvije, ko se molekule vode in drugi ioni vpletajo med njegove plasti, kar mu daje značilne lastnosti nabrekanja in vpojnosti. Varen je za lokalno uporabo na koži in laseh. Vendar pa je, tako kot pri vsaki snovi, ključnega pomena zagotoviti pravilno uporabo in upoštevati priporočene koncentracije v formulacijah (medmrežje 10).

4 VPLIV KEMIKAJIJ IZ KOZMETIKE NA OKOLJE

V zadnjih nekaj letih so kozmetika ter tudi farmacevtski in številni drugi izdelki za osebno nego, ki ne spadajo pod kozmetične predpise (razkužila, repelenti za žuželke, prehranska dopolnila), vzbujali veliko zaskrbljenost kot ena najpomembnejših skupin novih oziroma sodobnih onesnaževal. Nenehno se namreč sproščajo v vodna okolja; njihov ekološki in okoljski vpliv je povezan z velikimi uporabljenimi količinami in dejstvom, da so včasih okoljsko obstojni, bioaktivni in potencialno sposobni bioakumulacije (Brausch in sod., 2011) (slika 7). Kozmetika predstavlja najbolj pereče ekološke probleme v primerjavi s farmacevtskimi izdelki, ker se uporablja v veliko večjih količinah, in ker je namenjena zunanji uporabi, ni podvržena presnovni transformaciji in se zato v okolje v velikih količinah vnaša nespremenjena med umivanjem, prhanjem ali kopanjem (Ternes in sod., 2004). V nasprotju s tem pa se farmacevtske učinkovine v telesu metabolizirajo in v splošnem so izločeni metaboliti manj strupene kemijske oblike. Ker je o usodi in toksičnosti izdelkov za osebno nego, ki se sproščajo v okolje, znanega relativno malo, se vse več pozornosti posveča njihovu pojavljanju, obstojnosti in potencialni grožnji za ekosisteme in zdravje ljudi (Juliano in sod., 2017).



Slika 7: Pot kemikalije iz kozmetike v okolje

Vir: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQuoD0tbU-86EsGZPhksiizX16BzkrEhUyP75jmwE8gg&s> (21. 6. 2026).

Težke kovine, kot so kadmij, svinec in krom, se lahko kopičijo v mikroplastičnih odpadkih in s hrano dosežejo organizme morske favne. Površina mikroplastike je tudi dobro okolje za patogene bakterije. Študije, izvedene na Danskem v 10 različnih čistilnih napravah, so pokazale, da se skupaj s filtrirano vodo v okolje vsako leto sprostijo od 600 do 3100 ton mikroplastike. Ta študija je obravnavala 10 čistilnih naprav, kjer je bila prisotna v vhodni in izhodni odpadni vodi analizirana mikroplastika v velikosti 20–500 µm. Poleg tega je bilo

anaerobno prebavljeno blato iz 5 od teh naprav analizirano na mikroplastiko v istem velikostnem območju. Vsi vzorci so bili analizirani glede prisotnosti mikroplastike in polimerov, iz katerih so bili delci mikroplastike narejeni (Vollertsen in Hansen, 2017). Študije, ki sta jih izvedla Liebezeit in Dubaish (2012), dokazujejo, da so glavni vir onesnaženja morij in oceanov z mikroplastiko prav kozmetični izdelki. Nadaljnje študije so dokazale, da je osnovni vir kozmetika, ki se uporablja za mehanski piling (Rochman in sod., 2015). Glavni viri onesnaževanja okolja z mikroplastiko so nenadzorovani procesi, kot sta obraba in razgradnja večjih plastičnih izdelkov. Vendar pa vpliv mikroplastike iz kozmetičnih izdelkov še zdaleč ni zanemarljiv. Ta delež je mogoče razmeroma preprosto zmanjšati, zato je treba uradno prepovedati uporabo kozmetičnih izdelkov, ki so vir tovrstnega onesnaževanja. Za kozmetične izdelke, ki se po uporabi izperejo (predvsem pilingi in zobne paste), že veljajo določeni nadzorni ukrepi, medtem ko drugi kozmetični izdelki še naprej predstavljajo težavo (Piotrowska in sod., 2020).

Kozmetična industrija je ena največjih na svetu, vredna milijarde v trgovini in neposredni prodaji. Vendar se mnogi ljudje ne zavedajo, da ima lahko ljubezen do kozmetike precej obremenjujoč vpliv na okolje. V skrajnih primerih tudi od umiranja živali do uničevanja naravnih virov, zato so stroški naših lepotnih izdelkov veliko višji, kot si mislimo. Eden večjih krivcev je tudi plastična embalaža. Čeprav nam je morda všeč lepa in dovršena oblika naših kozmetičnih posodic, je resnica, da lepotna industrija brez oklevanja uporablja plastiko, čeprav se razgradi šele po 100 letih. Vendar ni škodljiva samo plastika. Kozmetika je pogosto polna aditivov, potencialno strupenih spojin, ki imajo lahko uničujoč vpliv na okolje. Ko si na primer speremo ličila, se strupene kemikalije sperejo z vodo in končajo v oceanu. Te kemikalije lahko zmanjšajo populacijo planktona, ki je glavni vir hrane za številne vodne organizme. Poleg tega lahko kemikalije, kot sta BHA (Beta Hydroxy Acid; beta hidroksi kislina) in BHT (Butylated Hydroxytoluene; butiliran hidroksitoluen), povzročijo genetske mutacije pri dvoživkah, kar vodi v njihovo smrt. Čeprav se naravna kozmetika morda zdi rešitev, niso vsi naravni izdelki enaki oziroma enako varni za nas in okolje. Številne kozmetične znamke uporabljajo oznako naravno, da bi ustvarile večji dobiček, tudi če njihovi izdelki še vedno vsebujejo strupene kemikalije. Temu pojavu pravimo zeleno zavajanje (angl. »greenwashig«). Pred nakupom naravnih izdelkov je pomembno raziskati sestavine in se prepričati, da so resnično naravne. Tudi krema za sončenje, ki jo uporabljamo za nege kože, ima lahko škodljiv vpliv na okolje. Kemične sestavine, kot sta oksibenzon ali benzofenon 3, ki pomagajo absorbirati žarke UVA (Ultraviolet A) in UVB (Ultraviolet B), lahko pobelijo koralne grebene in poškodujejo njihovo dednino (DNK). Če se populacija koralnih grebenov zmanjša, se lahko celoten vodni ekosistem zruši (medmrežje 13).

Mikroplastika se po planetu premika s kombinacijo naravnih procesov, ki jih poganjata veter in gibanje vode ali pa jo prenaša biota. Do sedaj so jo našli v vseh petih zemeljskih sistemih: hidrosferi, atmosferi, geosferi, biosferi in kriosferi. Vpliv mikroplastike na določen ekosistem bo odvisen od njene sposobnosti gibanja znotraj določenega ekosistema, njene koncentracije, kemične sestave in sprejemnega ekosistema. Heterogena pojavnost mikroplastike, njena obstojnost v okolju in njeni vplivi bi lahko bili povezani s kombinacijo morfologije, velikosti in sestave kemikalij ali drugih povezanih dodatkov. Plastiko najdemo na kopnem ter v sladkovodnih in morskih sistemih. Znotraj vsakega od teh sistemov jo lahko razdelimo na različne okoljske dele, od katerih ima vsak različne lastnosti, ki lahko sprejmejo različne mikroplastične delce. Na primer delci z nizko gostoto in plavajoči delci se lahko zadržijo v vodnem stolpcu in jih premikajo tokovi, medtem ko se težji, gosti in manj plavajoči delci lažje potopijo in dosežejo območje sedimentov, ne da bi se premaknili daleč od svojih virov. Za oceno tveganja onesnaženja okolja s plastiko je treba oceniti, kako verjetno je, da bo okolje prizadeto zaradi izpostavljenosti plastiki. Pri ocenjevanju tveganja se lahko izpostavljenost

oceni z merjenjem koncentracij v okolju; napoved in ocena verjetnosti in obsega morebitnih škodljivih učinkov pa se lahko izvedeta z laboratorijskimi poskusi za oceno praga odmerka/koncentracije. Kombinacija izpostavljenosti in učinka plastike vodi do ocene tveganja. Ocene tveganja so potrebne za usmerjanje preiskav in rešitev na vprašanja z največjim tveganjem (medmrežje 14).

Mikroplastika kaže različne transportne poti, vključno z vodnim transportom, kjer jo prenašajo oceanski tokovi, rečni tokovi in plimovanje, pri čemer njena vzgonska sila in gostota določata njeno vertikalno porazdelitev v vodnih stebrih. Atmosferski transport omogoča mikroplastiki, da potuje na dolge razdalje, kar lahko vodi do njenega odlaganja v oddaljenih regijah, kjer se lahko mikroplastika v zraku usede na kopenske in vodne ekosisteme. Razumevanje usode atmosferske mikroplastike je pogosto povezano s tisto, ki jo najdemo tako v kopenskem kot v vodnem okolju. Sladkovodni, morski, kopenski in atmosferski ekosistemi so med seboj povezani ter imajo različne vire in poti za mikroplastiko. V vodnih ekosistemi morsko življenje uživa mikroplastiko in se prenaša po prehranjevalni verigi navzgor, kar lahko vpliva na živali na višjih trofičnih ravneh, vključno z ljudmi. Poleg tega lahko transport, ki ga posreduje človek in ga spodbujajo dejavnosti, kot so ladijski promet, ribolov in turizem, olajša gibanje mikroplastike med regijami in ekosistemi (Karak in sod., 2025).

Potencialno nevarne snovi, ki izvirajo iz kozmetičnih izdelkov, lahko v vodno telo vstopajo na več načinov. Prvi je, da se kozmetika odvrže neposredno v oceane, reke in jezera skupaj z odplakami. Druga vrsta okoliščin je pogostejša ob obali ali na gosto poseljenih območjih. Posode s kozmetiko se odvržejo v oceane ali reke, pri čemer se nevarne snovi iz kozmetike sproščajo v vodno telo. Onesnaževanje vode se razvršča kot onesnaževanje površinske vode in onesnaževanje podtalnice, pri čemer sta obe vrsti med seboj povezani (Soni, 2019). Površinska voda bo pronicala v zemljo in ustvarjala podtalnico, podtalnica pa se lahko dovaja tudi navzgor do vira površinske vode. Posledično, ko se nevarne snovi razlijejo, onesnažijo tako površinsko kot podtalnico. Ko nevarne snovi vstopijo v vodo, se njihova koncentracija postopoma zmanjšuje zelo počasi zaradi sposobnosti samoregulacije vode, vendar stopnja razgradnje koncentracije ni niti hitrejša od stopnje izpusta. Pri rekah in oceanih se bodo nenehno kopičene nevarne snovi v rekah in oceanih širile z enega območja v svetovne oceane skupaj s tokovi ali oceanskimi tokovi; pri jezerih bodo nevarne snovi, ki nenehno vstopajo v jezero, ker je njihova sposobnost samoregulacije veliko manjša kot pri rekah in oceanih, povzročile razpad ekološkega okolja jezera; pri podtalnici pa je, čeprav je manj verjetno, da bo onesnažena z nevarnimi snovmi kot druga vodna telesa, pogosto uporabljena za pitje živali ali ljudi in namakanje v kmetijstvu, kar lahko zlahka poškoduje živali in rastline. Zastrupitev tal z nevarnimi kozmetičnimi snovmi je večinoma posledica prodiranja kozmetike v tla v kombinaciji z odplakami ali trdnimi odpadki. Te nevarne snovi se absorbirajo zaradi prisotnosti por v tleh. Nevarne snovi, kot so težke kovine in hormoni, lahko reagirajo z naravnimi sestavinami tal in ubijejo mikroorganizme. To so najpomembnejši dejavniki, ki vplivajo na rodovitnost in aktivnost tal. Rastline, ki rastejo v tej vrsti tal, absorbirajo hranila skozi korenine, hkrati pa vdihavajo veliko število nevarnih snovi, kar lahko vpliva na napredne organizme vzdolž prehranjevalne verige, tla pa se lahko degenerirajo in spremenijo, ko se kopičijo nevarne snovi. Če niso primerna za sajenje, bo to povzročilo vrsto težav, povezanih s pomanjkanjem razpoložljivih zemljišč za kmetijski razvoj (Chen in Li, 2022).

Mikroplastika lahko deluje tudi kot adsorbent in jo lahko štejemo med nosilce različnih škodljivih onesnaževalcev, kot so težke kovine (Al, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn in Pb), policiklični aromatski ogljikovodiki (PAH), poliklorirani bifenili (PCB), pesticidi in obstojna organska onesnaževala (POP). Zato lahko te komponente v kombinaciji z mikroplastiko povzročijo bioakumulacijo in biomagnifikacijo v prehranjevalni verigi, kar ima številne škodljive učinke na

morski organizem, vključno s spremembo presnovne in reproduktivne aktivnosti, oksidativnim stresom in celično ali subcelično toksičnostjo (Golwala in sod., 2022; Guzzetti in sod., 2018).

Zato se je pojavil trg, osredotočen na ustvarjanje in proizvodnjo trajnostne kozmetike, imenovane tudi ekološki, zeleni in naravni izdelki. Poleg tega se podjetja običajno osredotočajo na trajnostni pristop, pri čemer upoštevajo okoljske, družbene in ekonomske vplive v celotnem življenjskem ciklu kozmetičnega izdelka (Cubas in sod., 2022).

4.1 Ekotoksikološki podatki o abrazivih iz kozmetike

Pilingi so na globalnem kozmetičnem trgu na voljo v različnih oblikah, od pilingov z grobimi zrni do krem na osnovi encimov in kislinskih tretmajev, vendar se njihova varnost ne ocenjuje enotno, saj posamezne vrste pilingov zahtevajo različne parametre v poročilu o varnosti kozmetičnega izdelka (Cosmetic Product Safety Report – CPSR). Slednji je obvezen dokument, ki potrjuje, da je izdelek varen za uporabo potrošnikov. Za blagovne znamke to pomeni natančno spremljanje snovi, uporabljene v mehanskih pilingih, pH-ja in koncentracije kislin v kemičnih pilingih ter stabilnosti in aktivnosti encimov. Zaradi načina, kako delujejo s kožo, pilingi spadajo v edinstveno kategorijo nege kože. Medtem ko kisline ali encimi raztopijo vezi med odmrliimi kožnimi celicami, pilingi povzročajo nadzorovano abrazijo. Če formula ni pravilno uravnotežena, lahko obe metodi začasno odstranita naravno kožno pregrado, kar poveča verjetnost draženja in občutljivosti. Zaradi tega se pilingi v ocenah varnosti obravnavajo kot kozmetika z večjim tveganjem. Temelj skladnosti z EU je poročilo o varnosti kozmetičnega izdelka, ki pred sprostitvijo izdelka na trg oceni vse varnostne dejavnike. Ker so tveganja za pilinge za telo in pilinge z glikolno kislino različna, bo poročilo o varnosti kozmetičnega izdelka za vsakega videti zelo drugače. Preden pa lahko odgovorna oseba vnese prijavo izdelka v podatkovno zbirko CPNP (Cosmetic Products Notification Portal), morata oba vsebovati informacije o testiranju izdelka, ravneh izpostavljenosti, toksikoloških profilih in sestavinah. V skladu z Uredbo EU o kozmetičnih izdelkih (ES št. 1223/2009) mora vsak kozmetični izdelek, ki se prodaja v EU, spremljati poročilo o varnosti kozmetičnega izdelka. To poročilo mora pripraviti ocenjevalec varnosti, preden se izdelek da na trg. Dodatne smernice, kot so smernice SCCS (Scientific Committee on Consumer Safety), ki opisujejo, kako oceniti izpostavljenost, toksikološke podatke in delovanje izdelka, dodatno podpirajo postopek ocenjevanja pilingov (medmrežje 15).

Tako kot vsa kozmetika morajo tudi pilingi izpolnjevati mikrobiološke zahteve glede kakovosti. Testi preverjajo učinkovitost konzervativnega sistema, kar je še posebej pomembno pri formulacijah, bogatih z vodo, kot so pilingi in encimski geli. Oceniti je treba tudi potencialne interakcije med embalažo in sestavinami. Kisline lahko povzročijo korozijo neprimernih posod, encimi pa se lahko deaktivirajo zaradi izpostavljenosti kisiku ali svetlobi. Odbor za varnost potrošnikov mora zato potrditi, da embalaža ščiti tako varnost potrošnikov kot učinkovitost in stabilnost izdelka. Za oceno tveganja za pilinge za telo je potreben natančen pregled uporabljenih abrazivov. Med kritične dejavnike spadajo velikost, oblika in koncentracija delcev: večji ali nazobčani delci lahko povzročijo mikroraztrganine na koži, medtem ko so bolj gladki, biorazgradljivi delci varnejši in nežnejši. Prav tako je ključnega pomena spoštovanje prepovedi mikrozrnc v EU. Poleg skladnosti s prepovedjo mikrokroglic se varnost delcev nanaša tudi na njihov dolgoročni vpliv na kožno pregrado. V okviru postopka CPSR bodo ocenjevalci iskali dokaze, da ponavljajoča se uporaba abrazivov ne povzroča draženja, povečane transepidermalne izgube vode ali vnetnih odzivov. Zato so tako študije in vitro kot študije tolerance s strani potrošnikov dragocene za dokazovanje združljivosti s kožo. Poleg tega se od proizvajalcev pričakuje, da predložijo dokumentacijo, ki dokazuje biorazgradljivost delcev,

njihov toksikološki profil in sledljivost do trajnostnih virov. Takšni dokazi ne le podpirajo skladnost s predpisi, temveč tudi krepijo zaupanje potrošnikov in pozicioniranje na trgu (medmrežje 15).

4.2 Rastlinski biotesti

Biotesti so eksperimentalni testi, ki uporabljajo organizme za odkrivanje prisotnosti določenih kemičnih snovi oziroma vpliva kemikalij na njihovo rast in razvoj ali pa za oceno biološke aktivnosti znanih spojin v določenih okoljih. Igrajo ključno vlogo pri ocenjevanju učinkov pesticidov in odpornosti rastlin na škodljivce. Biološki testi se lahko uporabijo, kadar znanstveniki sumijo na prisotnost kemikalije, vendar nimajo potrebne opreme za neposredno merjenje ali kadar ni vzpostavljenega protokola za odkrivanje. Dobro zasnovan biološki test izpolnjuje dva bistvena kriterija: specifičnost, ki zagotavlja merjenje predvidenega fiziološkega odziva, in natančnost, ki odraža odzive, opažene v naravnih okoljih (medmrežje 16).

V primerih, ko izvajanje kemičnih analiz toksinov ni izvedljivo, je uporaba rastlinskih bioloških testov nujna za vpogled v okoljska tveganja, ki izhajajo iz onesnažene zemlje in vode. Vrtna kreša (*Lepidium sativum*, družina: *Brassicaceae*) je zanimiv organizem, ker omogoča preprost in hiter test za raziskovanje prisotnosti in bioloških učinkov ekotoksinov. Kreša se uporablja na različnih področjih raziskav zaradi svojih skromnih zahtev glede rastnih pogojev, visoke stopnje kalivosti, kratkega obdobja rasti, majhnosti in enakomernega vzorca rasti (Mishra in sod., 2018; Pavel in sod., 2013; Ogorek, 2016). Biološki testi s krešo so zelo primerni za proučevanje različnih okoljskih parametrov, kot so kakovost tal, kakovost vode, (mikro)plastika v vodi, kovine v blatu iz čistilnih naprav in vpliv ekotoksinov, kot so težke kovine (Schulz in sod., 2025).



Slika 8: Vrtna kreša (*Lepidium sativum*)

Vir: <https://cdn12.picryl.com/photo/2016/12/31/cress-herbs-green-nature-landscapes-161ebc-1024.jpg>
(18. 6. 2026).

Različne značilnosti bioloških testov, kot so prepustnost, kompleksnost, hitrost in stroški, so pomembne za različne faze procesa biološkega odkrivanja. V fazi spremljanja se biološki testi uporabljajo za vodenje postopkov čiščenja ali frakcioniranja za izolacijo in identifikacijo posameznih čistih bioaktivnih spojin (pristop, voden z bioaktivnostjo), zato morajo biti zasnovani tako, da imajo visoko zmogljivost, so hitri in enostavni za izvedbo ter stroškovno učinkoviti. Končno, v sekundarni fazi se biološki testi uporabljajo za identifikacijo in

karakterizacijo biološkega načina delovanja bioaktivne spojine, kar običajno zahteva vrsto bioloških testov, ki morajo biti zelo specifični in natančni ter so običajno dolgotrajni in dragi (Claeson in Bohlin, 1997; Stromstedt in sod., 2014; Suffness in Pezzuto, 1991). Biološke teste je mogoče izvesti *in silico* (z uporabo računalniških modelov in simulacij), *in vitro* (v laboratorijskih pogojih, zunaj živega organizma), *ex vivo* (na celicah ali tkivih, odvzetih iz organizma) ali *in vivo* (na živem organizmu), običajno pa se za karakterizacijo nove spojine ali potenciala bioaktivnosti naravnega vira uporablja kombinacija teh metod. Na splošno lahko biološke teste razdelimo v dve različni kategoriji: biološki testi z enim ciljem in funkcionalni večciljni biološki testi. Biološki testi z enim ciljem so običajno zasnovani za odkrivanje učinka testiranih spojin na določen cilj z visoko stopnjo specifičnosti in na podlagi posebnega mehanizma delovanja (Claeson in Bohlin, 1997). Primeri vključujejo analizo specifičnih encimskih aktivnosti, kot je razgradnja beljakovin ali razgradnja plastike, ali zaviranja encimskih aktivnosti, kot sta zaviranje proteaz in blokiranje ciljnih receptorjev. Druga vrsta bioloških testov z enim ciljem je kemijsko genetsko profiliranje pri kvasovkah, pri katerem se preučuje vpliv različnih kemijskih snovi na delovanje in lastnosti njihovih genov. Druga kategorija, funkcionalni večciljni biološki testi, vključuje biološke teste, ki uporabljajo cele živali, organe ali celice. Ti biološki testi so nespecifični v svojem izidu in merijo spremembo fenotipa ali splošni biološki učinek, kot je protimikrobni ali citotoksični učinek. Odziva na testirano bioaktivno spojino ni nujno mogoče pripisati specifičnemu načinu delovanja. Ti se pogosto imenujejo pristop, ki temelji na fenotipu (Claeson in Bohlin, 1997; Swinney, 2013). Ciljno bioaktivnost je mogoče oceniti z različnimi biološkimi testi, vendar lahko znanstvena skupnost daje prednost določenim testom, za katere so na voljo odpravljanje težav, ustrezni kontrolni mehanizmi in podpora pri interpretaciji (Sabotič in sod., 2024).

5 METODE DELA

V praktičnem delu diplomskega dela smo testirali štiri kozmetične abrazive, ki se uporabljajo kot naravna alternativa mikroplastiki in so komercialno dostopni (Tovarna Organika, Slovenija) (slika 9).

Ti abrazivi so bili:

- bambus v prahu (bamboo powder; INCI: Bambusa Arundinacea Stem Powder),
- fino mlete orehove lupine (fine ground walnut shells; INCI: Juglans regia (Walnut) Shell Granules),
- vulkanski pepel (pumice powder, znan tudi kot volcanic ash; INCI: Pumice Powder 240 Mesh),
- siva (črna) glina (black clay; Montmotillonite C.I. 7749).

Poleg slovenskega poimenovanja so navedena tudi njihova angleška imena in oznake INCI (International Nomenclature of Cosmetic Ingredients). Te zagotavljajo standardizirano, mednarodno veljavno poimenovanje kozmetičnih sestavin, ki omogoča njihovo zanesljivo identifikacijo v vseh državah in na vseh izdelkih.



Slika 9: Naravna abrazivna sredstva uporabljena v eksperimentih (foto: Š. Gračner, 2026)

Kalitev vrtna kreše (*Lepidium sativum*) smo spremljali po 48–72 urah izpostavljenosti štirim različnim koncentracijam. V eksperimentih smo uporabili tudi dve kontroli: navadno vodo kot negativno in kis kot pozitivno kontrolo. Vsak abraziv posebej smo testirali v štirih različnih koncentracijah, in sicer v 5,0 %, 1,0 %, 0,5 % in 0,1 %. Eksperiment smo izvedli v treh med seboj neodvisnih ponovitvah, da smo zagotovili relevantnost rezultatov. V vsaki ponovitvi smo pripravili po dve paralelki (A in B) vsakega vzorca, pri čemer je vsaka paralelka vsebovala 10 semen vrtna kreše.

Praktični del diplomskega dela smo izvedli v laboratoriju Fakultete za varstvo okolja. Pridobljene rezultate smo grafično in slikovno prikazali ter med seboj statistično primerjali s programom Microsoft Excel.

5.1 Priprava testnih raztopin naravnih abrazivov

Pred začetkom eksperimenta smo pripravili vodne raztopine abrazivov in pripomočke, ki smo jih uporabili pri izvedbi. Eksperimente smo izvajali v treh neodvisnih ponovitvah. Vsak od treh eksperimentov se je z vsemi postopki skupaj izvajal po 5 dni.

Prvi dan smo pripravili potrebne raztopine, petrijevke in filtre. S pomočjo pipete smo v vsako čašo odmerili 50 ml vode. Nato smo stehtali potrebno količino posameznih abrazivov in jih dodali v vodo (*preglednica 1*). Vodne raztopine smo med eksperimenti ves čas mešali na magnetnem mešalu, saj gre za netopne snovi, zagotoviti pa smo želeli čim bolj homogeno raztopino. Prvi dan smo pripravili petrijevke tako, da smo v vsako posebej vstavili filter papir.

Preglednica 1: Potrebna količina abrazivov

Oznaka	Koncentracija (% m/v)	ABRAZIV (g)	VODA (ml)
C1	5,0	2,5	50
C2	1,0	0,5	50
C3	0,5	0,25	50
C4	0,1	0,05	50
kontrola H ₂ O			
POZ kontrola (kis)			

Opomba: POZ kontrola (kis) - kontrola s kisom (pozitivna kontrola)

Preglednica 1 prikazuje masne odstotke abrazivov in količino zatehtanega posameznega abraziva v gramih. Količina vode je bila pri vsaki koncentraciji abraziva enaka. Količino potrebnega abraziva smo izračunali po naslednji formuli:

$$masa (g) = \frac{\text{koncentracija (\%)} \times \text{volumen (ml)}}{100}$$

Slika 10 prikazuje pripravo testnih raztopin. Za pripravo raztopin smo potrebovali 16 čaš, saj smo eksperimente izvajali s štirimi abrazivi in s štirimi različnimi koncentracijami. Vsaka čaša je bila ustrezno označena.



Slika 10: Priprava raztopin - odmerjanje vode (foto: Š. Gračner, 2026)

Slika 11 prikazuje pripravljene raztopine abrazivov. Od leve strani proti desni si abrazivi sledijo v naslednjem vrstnem redu: vulkanski pepel, siva (črna) glina, bambus v prahu in mlete orehove lupine. Na slikah se vidijo tudi razlike v koncentracijah abrazivov. Uporabljeni abrazivi so se med seboj razlikovali tudi po velikosti delcev. Mlete orehove lupine so imele največje in najbolj grobe delce, vulkanski pepel in siva (črna) glina sta imela drobnejše delce. Najbolj fine delce pa je imel bambus v prahu.



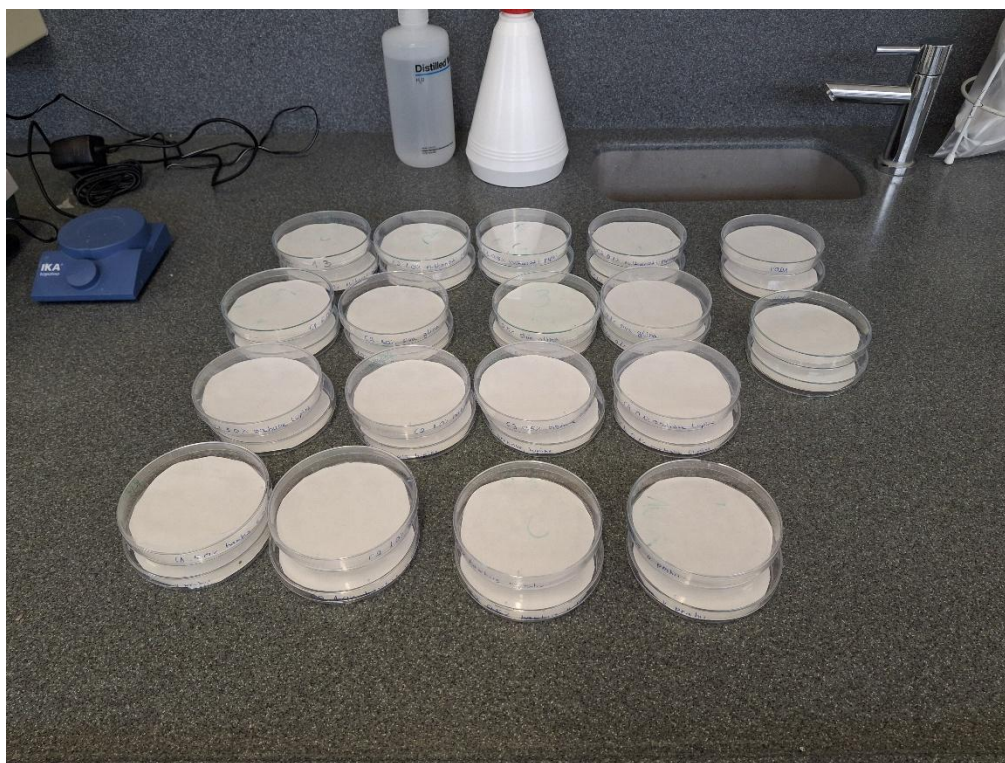
Slika 11: Pripravljene abrazivi (levo) in vidne razlike v koncentracijah abrazivov (desno) (foto: Š. Gračner, 2026)

5.2 Eksperiment kalitve vrtna kreše

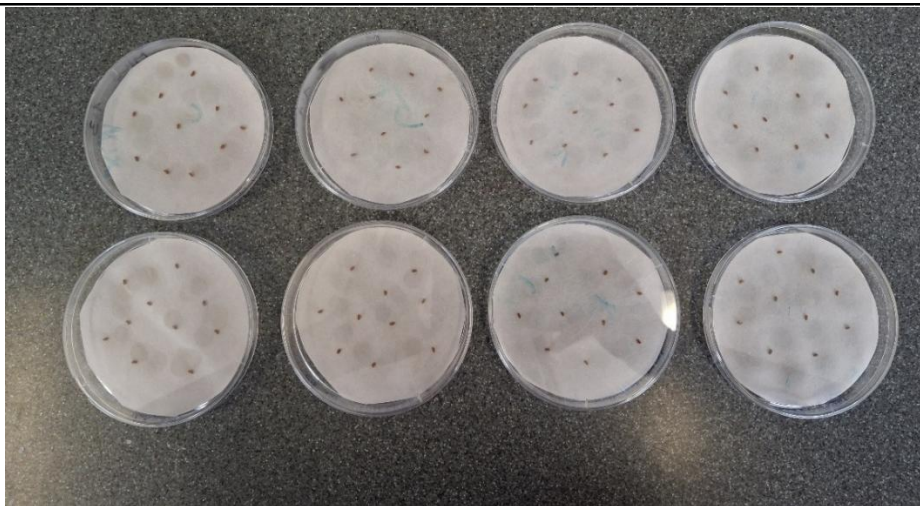
Drugi dan smo pripravili eksperiment kalitve. Semena vrtna kreše *Lepidium sativum* (Semenarna Ljubljana) smo kupili v specializirani kmetijski trgovini. V vsako petrijevko smo vstavili filter papir (*slika 12*), nanj pa 10 semen vrtna kreše (*Lepidium sativum*) in nanje nakapljali približno 15 kapljic posamezne raztopine abraziva (*slika 13*). Pri tem smo morali paziti na dovolj veliko razdaljo med semeni. Če je razdalja med semeni premajhna, se lahko zgodi, da se bodo, ko bo vrtna kreša začela kaliti, kalčki sprijeli med seboj in bo zaradi tega ovirana njihova rast.

Ob dodajanju abraziva v petrijevko smo raztopine ves čas mešali na magnetnem mešalu, da niso nastale usedline in da je bila ta raztopina homogena. Pri kapljanju abraziva na filter papir smo morali biti pazljivi, saj se lahko semena zaradi tekočine premaknejo. V tem primeru smo uporabili pinceto, s katero smo semena previdno postavili na prvotno mesto. Pri dodajanju abraziva smo morali paziti tudi, da nismo dodali preveč abraziva, da se ne bi pojavila plesen na kalčkih.

Kot negativno kontrolo smo uporabili navadno vodo iz pipe, kot pozitivno kontrolo pa jabolčni kis. Za obe kontroli je bil postopek enak kot pri abrazivih. Petrijevke smo nato odložili na pladenj in jih pokrili s folijo. Za izvedbo eksperimenta smo potrebovali 38 petrijev, in sicer 32 petrijev za abrazive ter 4 petrijevke za kontrolo (vodo) in 2 za kis.



Slika 12: Priprava petrijev in filtrov (foto: Š. Gračner, 2026)



Slika 13: Nastavitev eksperimenta - eksperiment v času $t = 0$ (foto: Š. Gračner, 2026)

Tretji dan, po 24 urni izpostavitvi semen testnim raztopinam, smo v petrijevke oziroma na filter papir dodali še približno 5 kapljic abraziva. Petrijevke smo znova pokrili s folijo in jih pustili stati še dodatnih 24 ur.

Četrti dan, po 48 urni izpostavitvi semen testnim raztopinam, smo petrijevke odkrili in začeli s prvimi meritvami dolžin kalčkov vrtna kreše. Dolžino vsakega kalčka smo previdno izmerili z ravnilom (v mm) in si rezultate zapisali v tabelo za nadaljnje primerjanje. Po merjenju smo petrijevke znova položili na pladenj in jih pokrili s folijo ter pustili stati še 24 ur.

Peti dan, po 72 urni izpostavitvi, smo petrijevke odkrili in ponovno izmerili dolžine kalčkov vrtna kreše (*Lepidium sativum*). To je bilo tudi zadnje merjenje kalčkov. Po koncu merjenja smo ugotovitve zapisali v tabelo in jih primerjali z rezultati, ki smo jih dobili pri merjenju poganjkov po 48 urah.



Slika 14: Merjenje kalčka (foto: Š. Gračner, 2026)

6 REZULTATI IN RAZPRAVA

V nadaljevanju so predstavljeni in analizirani rezultati poskusa. S pomočjo grafov in preglednic smo primerjali vpliv abrazivov in njihovih koncentracij na kalitev vrtna kreše. Rezultate smo spremljali po 48 in 72 urah izpostavitve ter jih primerjali s kontrolnim vzorcem. S hitrim ekotoksikološkim testom smo želeli ugotoviti, ali izbrani naravni kozmetični abrazivi vplivajo na kalitev vrtna kreše, ter s tem oceniti njihov potencialni okoljski vpliv in primernost kot alternativa mikroplastiki.

6.1 Rezultati kalitvenih testov

Po 48 in 72 urah smo z ravnilom previdno izmerili dolžino kalčkov (v milimetrih) ter izračunali povprečje (10 ponovitev, 2 paralelki) (*preglednici 2 in 3*).

Povprečna dolžina kalčkov v kontrolnih vzorcih je znašala 26 cm po 48 urah in 40 mm po 72 urah. Povprečne dolžine kalčkov pod vplivom abrazivov so se nekoliko razlikovale, vendar večjih odstopanj pri večini abrazivov (orehove lupine, vulkanski pepel in glina) ni bilo opaziti. Večina abrazivov je omogočila rast kalčkov, ki je bila primerljiva s kontrolo, medtem ko so bile pri bambusu v prahu izmerjene izrazito krajše dolžine kalčkov; v povprečju manj kot 5 mm po 48 urah in manj kot 7 mm po 72 urah.

Povprečna dolžina kalčkov (*preglednica 2*) v kontroli je bila po 48 urah 26 mm in dobrih 40 mm po 72 urah. Pri orehovit lupinah so bile po 48 in 72 urah največje povprečne dolžine kalčkov izmerjene pri 0,1 % in 5 % koncentracijah. Pri vulkanskem pepelu so bili po 48 urah najdaljši kalčki izmerjeni pri 0,1 % in 0,5 % koncentracijah, po 72 urah pa v 0,1 % in 1 % koncentracijah. Pri sivi (črni) glini so bile največje povprečne dolžine kalčkov tako po 48 urah kot po 72 urah izmerjene pri 0,1 % in 1 % koncentracijah. Pri bambusu v prahu so bile največje povprečne dolžine kalčkov po 48 in 72 urah izmerjene pri 0,1 % in 0,5 % koncentracijah, a so bile te dolžine izrazito krajše od kontrole in ostalih treh abrazivov. Povprečna dolžina kalčka pri nobeni koncentraciji bambusovega prahu ni presegla dolžine 6 mm po 48 urah in 8 mm po 72 urah. V času med 48 in 72 urami se je dolžina povečala za približno 2 mm, medtem ko se je bila ta razlika v kontroli pri ostalih abrazivih značilno večja (v povprečju 10–15 mm).

Preglednica 2: Dolžina kalčkov (mm) po 48 urah

			BAMBUS V PRAHU				OREHOVE LUPINE			
	H ₂ O	KIS	5	1	0,5	0,1	5	1	0,5	0,1
POVPREČJE	25,99	0	3,55	3,74	5,24	4,61	22,84	19	20,64	22,94
SD			1,909	0,528	2,293	1,603	6,383	6,072	3,712	6,274
SD %			54 %	14 %	44 %	35 %	28 %	32 %	18 %	27 %
			VULKANSKI PEPEL				SIVA (ČRNA) GLINA			
	H ₂ O	KIS	5	1	0,5	0,1	5	1	0,5	0,1
POVPREČJE	25,99	0	21,49	22,14	20,12	21,52	20,04	21,78	20,72	23,95
SD			3,696	5,392	2,297	4,034	3,68	3,083	4,404	3,902
SD %			17 %	24 %	11 %	19 %	18 %	14 %	21 %	16 %

Opomba: H₂O - voda (negativna kontrola); KIS – kontrola s kisom (pozitivna kontrola); SD – standardni odklon; SD % – standardni odklon, izražen kot odstotek.

Preglednica 3: Dolžina kalčkov (mm) po 72 urah

			BAMBUS V PRAHU				OREHOVE LUPINE			
	H ₂ O	KIS	5	1	0,5	0,1	5	1	0,5	0,1
POVPREČJE	40,23	0	6,52	5,6	7,16	7,26	36,86	29,25	30,77	33,97
SD			4,293	2,287	2,64	0,426	9,293	7,397	7,866	11,094
SD %			66 %	41 %	37 %	6 %	25 %	25 %	26 %	33 %
			VULKANSKI PEPEL				SIVA (ČRNA) GLINA			
	H ₂ O	KIS	5	1	0,5	0,1	5	1	0,5	0,1
POVPREČJE	40,23	0	32,92	35,95	33,12	33,98	33,01	37,88	30,71	35,93
SD			4,718	2,475	2,397	6,95	4,784	5,142	5,955	4,781
SD %			14 %	7 %	7 %	20 %	14 %	14 %	19 %	13 %

Opomba: H₂O – voda (negativna kontrola); KIS – kontrola s kisom (pozitivna kontrola); SD – standardni odklon; SD % – standardni odklon, izražen kot odstotek.

Nato smo povprečne vrednosti dolžin poganjkov normalizirali na kontolo (kalitev v vodi). Rezultate normalizacije smo predstavili v dveh preglednicah, saj takšen način prikaza omogoča boljšo preglednost ter preprostejšo primerjavo podatkov (*preglednici 4 in 5*). Vrednost 1 v preglednicah pomeni, da je bil rezultat enak kot pri kontrolnem vzorcu. Vrednosti, ki so se približevale 1, kažejo na majhne razlike glede na kontolo, medtem ko so bistveno manjše vrednosti nakazovale izrazitejši vpliv na kalitev vrtna kreše. Vrednost 0, ki se pojavi pre izpostavitvi pozitivni kontroli (kisu), pomeni ničelno kalitev.

Primerjava normaliziranih vrednosti kaže, da so pri mletih orehovit lupinah, vulkanskem pepelu in črni (sivi) glini vrednosti večinoma blizu vrednosti 1. To pomeni, da ti abrazivi niso bistveno vplivali na kalitev vrtna kreše, saj so bili rezultati podobni kontrolnemu vzorcu. Pri

bambusu v prahu pa so bile normalizirane vrednosti izrazito nižje od 1, kar kaže na izrazit negativen vpliv na kalitev (obarvano rdeče).

Preglednica 4: Rezultati normalizacije po 48 urah

			BAMBUS V PRAHU				OREHOVE LUPINE			
	H ₂ O	KIS	5	1	0,5	0,1	5	1	0,5	0,1
POVPREČJE	1	0	0,134	0,144	0,201	0,178	0,872	0,724	0,79	0,875
SD			0,064	0,013	0,087	0,066	0,191	0,186	0,095	0,183
SD %			48 %	9 %	43 %	37 %	22 %	26 %	12 %	21 %
			VULKANSKI PEPEL				SIVA (ČRNA) GLINA			
	H ₂ O	KIS	5	1	0,5	0,1	5	1	0,5	0,1
POVPREČJE	1	0	0,825	0,849	0,773	0,825	0,767	0,836	0,794	0,918
SD			0,119	0,18	0,067	0,114	0,095	0,068	0,14	0,092
SD %			14 %	21 %	9 %	14 %	12 %	8 %	18 %	10 %

Opomba: H₂O - voda (negativna kontrola); KIS – kontrola s kisom (pozitivna kontrola); SD – standardni odklon; SD % – standardni odklon, izražen kot odstotek. Rdeče obarvane vrednosti predstavljajo normalizirane vrednosti pri bambusu v prahu, ki izrazito odstopajo od kontrolne vrednosti 1 in kažejo na negativen vpliv na kalitev vrtna kreše.

Preglednica 5: Rezultati normalizacije po 72 urah

			BAMBUS V PRAHU				OREHOVE LUPINE			
	H ₂ O	KIS	5	1	0,5	0,1	5	1	0,5	0,1
POVPREČJE	1	0	0,161	0,138	0,177	0,18	0,915	0,725	0,763	0,842
SD			0,103	0,053	0,061	0,005	0,217	0,167	0,177	0,257
SD %			64 %	38 %	34 %	3 %	24 %	23 %	23 %	30 %
			VULKANSKI PEPEL				SIVA (ČRNA) GLINA			
	H ₂ O	KIS	5	1	0,5	0,1	5	1	0,5	0,1
POVPREČJE	1	0	0,817	0,893	0,823	0,842	0,82	0,94	0,765	0,893
SD			0,095	0,034	0,038	0,149	0,106	0,106	0,155	0,108
SD %			12 %	4 %	5 %	18 %	13 %	11 %	20 %	12 %

Opomba: H₂O - voda (negativna kontrola); KIS – kontrola s kisom (pozitivna kontrola); SD – standardni odklon; SD % – standardni odklon, izražen kot odstotek. Rdeče obarvane vrednosti predstavljajo normalizirane vrednosti pri bambusu v prahu, ki izrazito odstopajo od kontrolne vrednosti 1 in kažejo na negativen vpliv na kalitev vrtna kreše.

Izračunali smo tudi, za koliko odstotkov (%) se je zmanjšala kalitev vrtna kreše pod vplivom naravnih abrazivov v primerjavi s kontrolo (preglednice 6–8). Opazili smo, da je odsotek kalitev

pri obeh meritvah (po 48 in 72 urah) skoraj enak pri posameznih abrazivih, kar nakazuje, da se je potencialni vpliv na kalitev zgodil že v prvih 48 urah.

Ekspiriment je pokazal, da bambusov prah povzroči največje zmanjšanje kalitve, saj se kalitev pri vseh koncentracijah zmanjša za približno 80–87 % (preglednica 8). To potrjuje njegovo izrazito zaviralno delovanje. Mlete orehove lupine imajo zmeren učinek, zmanjšanje kalitve je med 8–28 %, kar kaže na relativno blag biološki vpliv. Vulkanski pepel povzroči 15–23 % zmanjšanje, kar pomeni, da je njegov učinek šibek in primerljiv z orehovimi lupinami.

Siva (črna) glina kaže najmanjše zmanjšanje kalitve, večinoma med 6–23 %, kar nakazuje, da je njen vpliv na kalitev minimalen.

Preglednica 6: Odstotek kalitve pri različnih koncentracijah naravnih abrazivov glede na kontrolo

		KALITEV					POVPREČJE
		KONTROLA	0,1	0,5	1	5	
BAMBUS V PRAHU	48 h	100 %	17,8 %	20,1 %	14,4 %	13,4 %	16,4 %
	72 h	100 %	18,0 %	17,7 %	13,8 %	16,1 %	16,4 %
OREHOVE LUPINE	48 h	100 %	87,5 %	79,0 %	72,4 %	87,2 %	81,5 %
	72 h	100 %	84,2 %	76,3 %	72,5 %	91,5 %	81,1 %
VULKANSKI PEPEL	48 h	100 %	82,5 %	77,3 %	84,9 %	82,5 %	81,8 %
	72 h	100 %	84,2 %	82,3 %	89,3 %	81,7 %	84,4 %
SIVA (ČRNA) GLINA	48 h	100 %	91,8 %	79,4 %	83,6 %	76,7 %	82,9 %
	72 h	100 %	89,3 %	76,5 %	94,0 %	82,0 %	85,4 %

Preglednica 7: Rezultati standardne deviacije

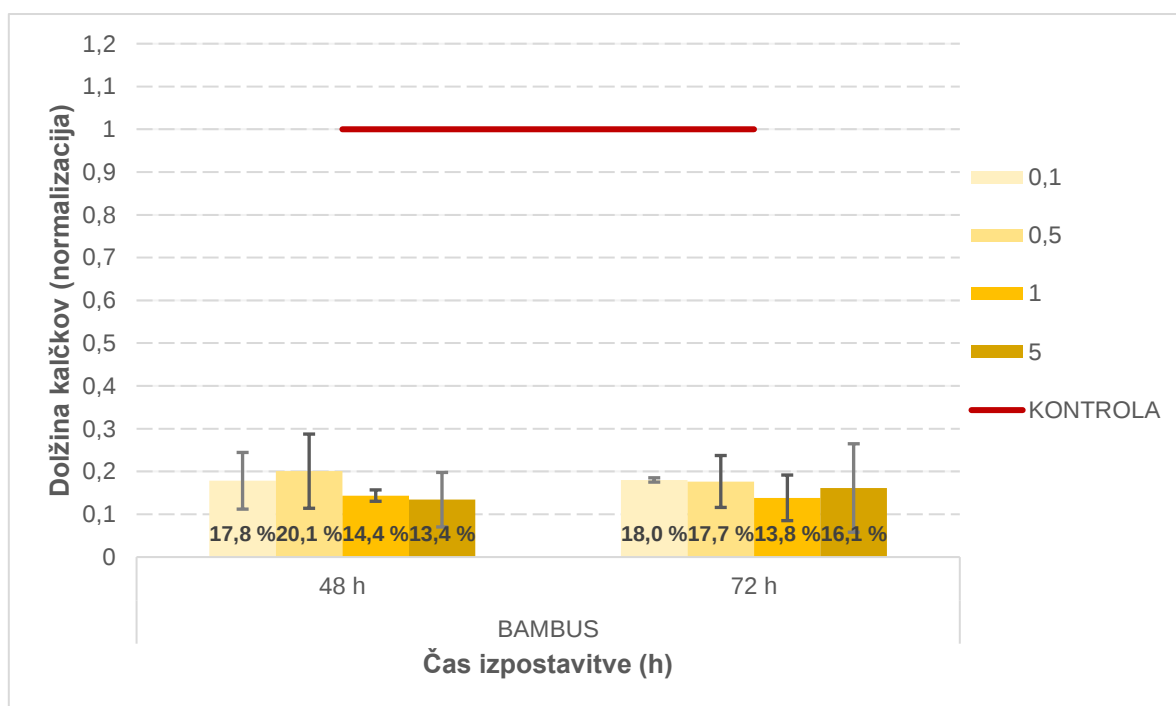
	48 h				72 h			
	0,1	0,5	1,0	5,0	0,1	0,5	1,0	5,0
BAMBUS V PRAHU	6,6 %	8,7 %	1,3 %	6,4 %	0,5 %	6,1 %	5,3 %	10,3 %
OREHOVE LUPINE	18,3 %	9,5 %	18,6 %	19,1 %	25,7 %	17,7 %	16,7 %	21,7 %
VULKANSKI PEPEL	11,4 %	6,7 %	18,0 %	11,9 %	14,9 %	3,8 %	3,4 %	9,5 %
SIVA (ČRNA) GLINA	9,2 %	14,0 %	6,8 %	9,5 %	10,8 %	15,5 %	10,6 %	10,6 %

Izračun standardnih deviacij je pokazal, da je bil odziv semen pri bambusu zelo konsistenten, saj so bile vrednosti SD nizke, kar potrjuje statistično značilen in biološko izrazit zaviralni učinek. Pri ostalih treh abrazivih (orehove lupine, vulkanski pepel, siva (črna) glina) so bile vrednosti SD bistveno višje. To kaže na večjo biološko variabilnost in šibkejši, tudi nekonsistenten učinek, zaradi česar statistična značilnost ni bila dosežena. Standardna deviacija (SD) meri, kako močno posamezne meritve odstopajo od povprečja. Ta je pri bioloških vzorcih zelo pomembna, saj pokaže, ali so razlike med vzorci posledica nekega dejanskega učinka ali pa zgolj naravne biološke variabilnosti, ki je pri živih sistemih večja kot pri neživih vzorcih.

Preglednica 8: Odsotek zmanjšanja kalitve pri koncentracijah naravnih abrazivov glede na kontrolo

		ZMANJŠANJE KALITVE					POVPREČJE
		KONTROLA	0,1	0,5	1	5	
BAMBUS V PRAHU	48 h	100 %	82,2 %	79,9 %	85,6 %	86,6 %	83,6 %
	72 h	100 %	82,0 %	82,3 %	86,2 %	83,9 %	83,6 %
OREHOVE LUPINE	48 h	100 %	12,5 %	21,0 %	27,6 %	12,8 %	18,5 %
	72 h	100 %	15,8 %	23,7 %	27,5 %	8,5 %	18,9 %
VULKANSKI PEPEL	48 h	100 %	17,5 %	22,7 %	15,1 %	17,5 %	18,2 %
	72 h	100 %	15,8 %	17,7 %	10,7 %	18,3 %	15,6 %
SIVA (ČRNA) GLINA	48 h	100 %	8,2 %	20,6 %	16,4 %	23,3 %	17,1 %
	72 h	100 %	10,7 %	23,5 %	6,0 %	18,0 %	14,6 %

Na koncu smo vpliv vsakega posameznega abraziva na kalitev vrtna kreše predstavili še v grafični obliki. S tem smo lahko ugotavljali tudi časovno odvisnost kalitve in primerjali kalitev po 48 in 72 urah med seboj (slike 15–18).



Slika 15: Vpliv različnih koncentracij bambusa v prahu na kalitev vrtna kreše (*Lepidium sativum*) po 48 in 72 urah izpostavitve

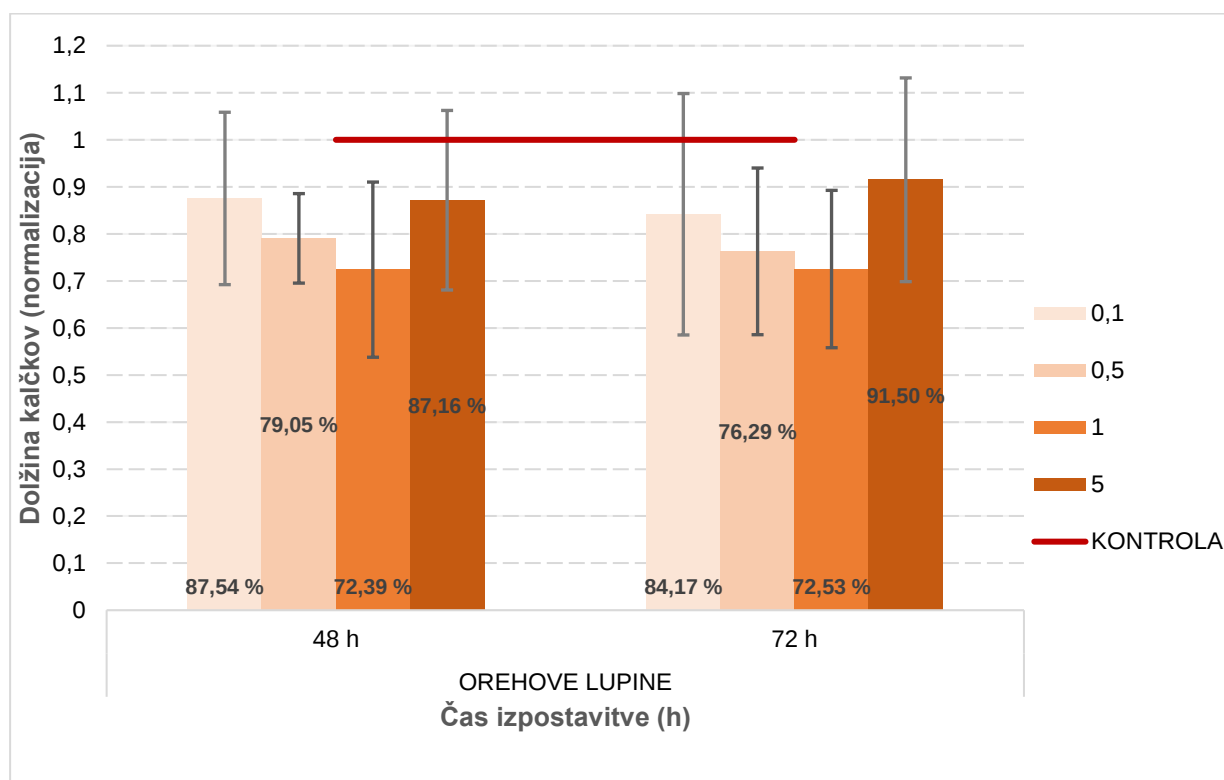
Vir: lasten (program Microsoft Excel)

Slika 15 prikazuje rezultate kalitve vrtna kreše pri različnih koncentracijah raztopin bambusa v prahu. V primerjavi s kontrolnim vzorcem, kjer smo uporabili vodo, je bila kalitev v prisotnosti bambusa v prahu bistveno manjša.

Najuspešnejša kalitev vrtna kreše je bila vidna pri 0,1 % in 5 % koncentracijah, kjer so odstotki kalitve največji. V primerjavi s kontrolnim vzorcem se je kalitev najbolj zmanjšala pri 1 % koncentraciji (po 48 urah za 85,6 %, po 72 urah za 86,2 %) in 5 % koncentraciji (po 48 urah za 86,6 %, po 72 urah za 83,9 %).

Pri bambusu v prahu razlike med posameznimi koncentracijami po 48 urah niso bile velike. Kljub temu pa so bili rezultati pri vseh koncentracijah izrazito nižji kot pri ostalih abrazivih, kar nakazuje, da je na kalitev vplivala predvsem vrsta abraziva in ne njegova koncentracija. Po 72 urah ni bilo opaziti večjih razlik med koncentracijami. Torej so si rezultati, pridobljeni po 48 urah in 72 urah med seboj precej podobni, saj večje spremembe v kalitvi vrtna kreše niso vidne. V primerjavi s kontrolnim vzorcem (vodo) je bila kalitev vrtna kreše pri bambusu v prahu po 48 in 72 urah v povprečju zmanjšana za 83,6 %.

Na podlagi rezultatov lahko sklepamo, da bambus v prahu zavira kalitev vrtna kreše in ima najizrazitejši negativni vpliv med testiranimi abrazivi. Zanimiva ugotovitev je tudi ta, da so delci bambusovega prahu zelo majhni, a imajo izrazit vpliv; iz tega bi lahko sklepali, da v tem primeru ne gre za mehanske vplive, ki bi jih lahko povzročili delci zaradi svoje velikosti in/ali oblike, ampak gre najverjetneje za drug mehanizem delovanja.



Slika 16: Vpliv različnih koncentracij mletih orehovit lupin na kalitev vrtna kreše (*Lepidium sativum*) po 48 in 72 urah izpostavitve

Vir: lasten (program Microsoft Excel)

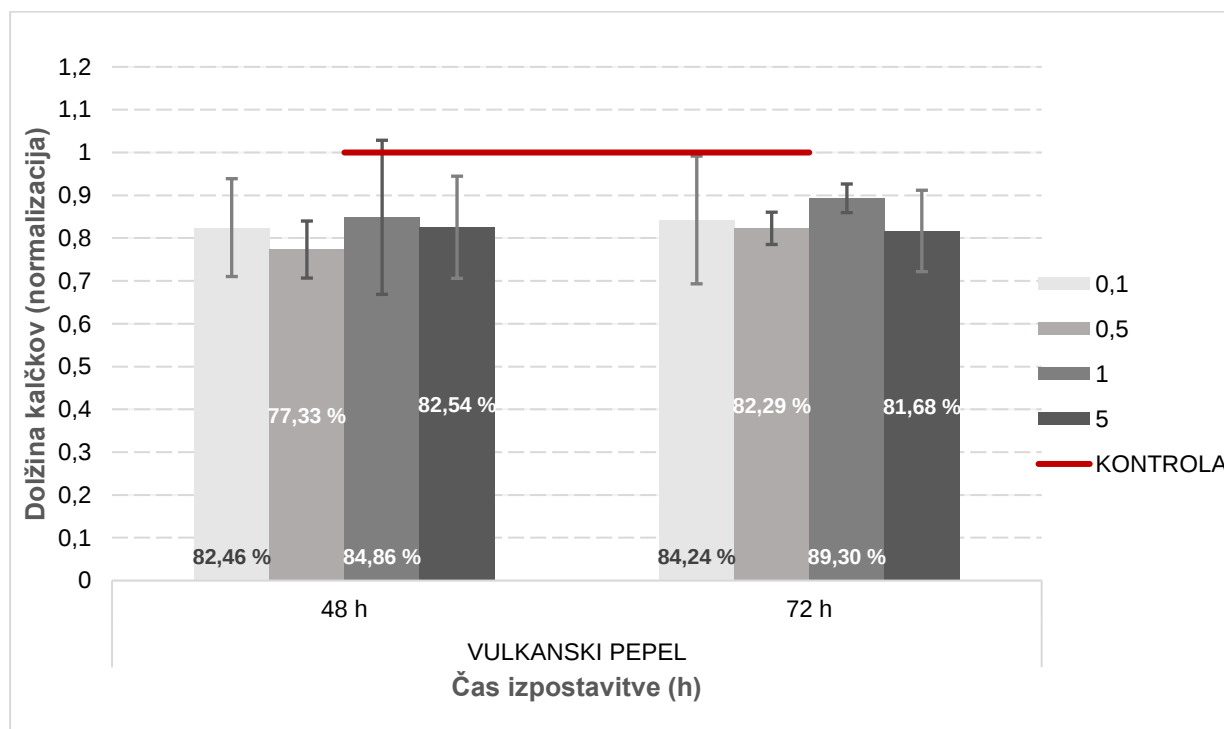
Slika 16 prikazuje rezultate kalitve vrtna kreše pri različnih koncentracijah raztopin mletih orehovit lupin. Iz dobljenih rezultatov je razvidno, da prisotnost mletih orehovit lupin ni bistveno vplivala na kalitev semen, saj je uspešnost kalitve primerljiva s kontrolnim vzorcem, pri katerem smo uporabili vodo. V primerjavi s kontrolnim vzorcem (vodo) je bila kalitev vrtna kreše pri mletih orehovit lupinah po 48 urah v povprečju zmanjšana za 18,5 %, po 72 urah pa za 18,9 %.

Po 48 urah med posameznimi koncentracijami orehovit lupin ni bilo opaziti večjih razlik v kalitvi. Rezultati so bili med seboj vseeno kar precej podobni, kar kaže, da koncentracija orehovit lupin ni pomembno vplivala na kalitev vrtna kreše. Po 72 urah so bili rezultati med

koncentracijami še vedno zelo podobni. Opazna so bila odstopanja, ki pa ne kažejo na pomemben vpliv koncentracije na kalitev vrtna kreše.

Najuspešnejša kalitev vrtna kreše je bila opažena pri 0,1 % in 5 % koncentracijah. Medtem ko se je kalitev v primerjavi s kontrolo najbolj zmanjšala pri 1 % koncentraciji (po 48 urah za 27,6 %, po 72 urah za 27,5 %).

Na podlagi dobljenih rezultatov lahko sklepamo, da mlete orehove lupine v uporabljenih koncentracijah niso pomembno vplivale na kalitev vrtna kreše. Prav tako nismo zaznali trenda sprememb, ki bi bil odvisen od koncentracije abraziva oziroma povezan z velikostjo abrazivnega sredstva.

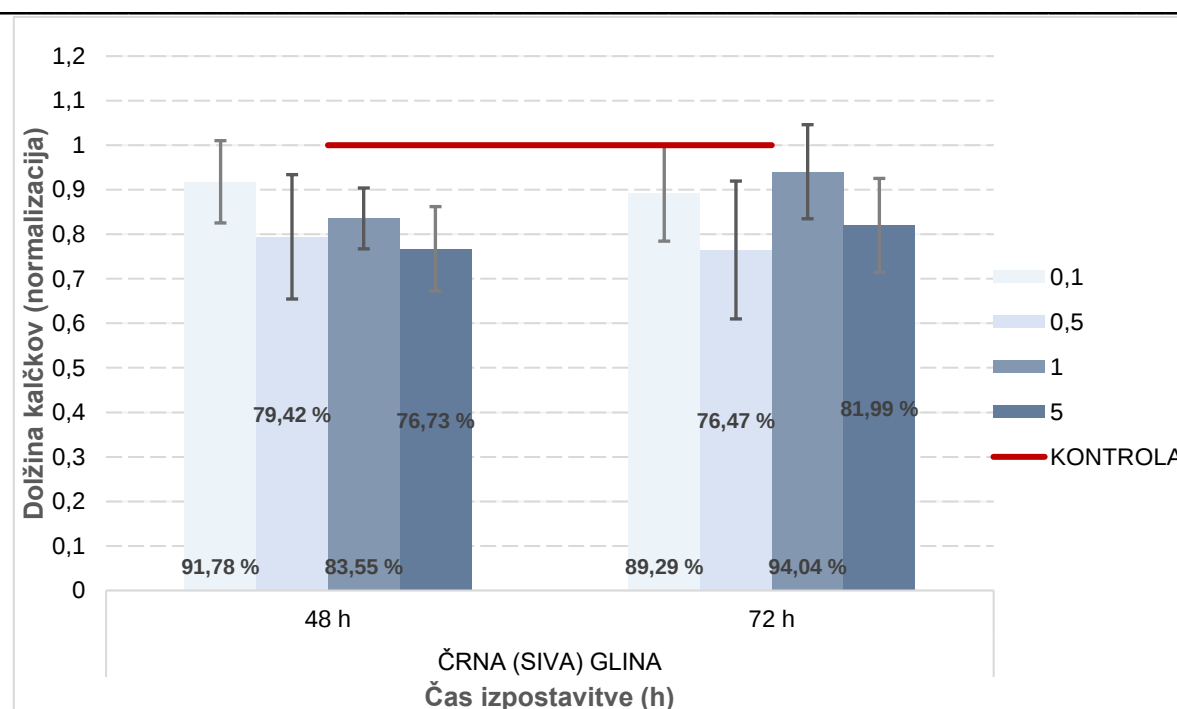


Slika 17: Vpliv različnih koncentracij vulkanskega pepela na kalitev vrtna kreše (*Lepidium sativum*) po 48 in 72 urah izpostavitve

Vir: lasten (program Microsoft Excel)

Slika 17 prikazuje rezultate kalitve vrtna kreše pri različnih koncentracijah raztopin vulkanskega pepela. Iz dobljenih rezultatov je razvidno, da vulkanski pepel ni bistveno vplival na kalitev semen, saj so rezultati primerljivi s kontrolnim vzorcem, pri katerem je bila uporabljena voda. V primerjavi s kontrolnim vzorcem (vodo) je bila kalitev vrtna kreše pri vulkanskem pepelu po 48 urah v povprečju zmanjšana za 18,2 %, po 72 urah pa za 15,6 %.

Pri vulkanskem pepelu so bile razlike med koncentracijami po 48 urah majhne. Kalitev je bila pri vseh koncentracijah podobna, zato ni bilo opaziti izrazitega vpliva koncentracije na uspešnost kalitve. Tudi po 72 urah so bile razlike med posameznimi koncentracijami vulkanskega pepela majhne. Vrtna kreša je pri vseh koncentracijah dobro kalila, rezultati pa so bili med seboj primerljivi. Najuspešnejša kalitev vrtna kreše je bila vidna pri 1 % koncentraciji, medtem ko se je kalitev v primerjavi s kontrolo najbolj zmanjšala pri 0,5 % koncentraciji (po 48 urah za 22,7 %, po 72 urah za 17,7 %). Kljub temu večje razlike med posameznimi koncentracijami niso razvidne.



Slika 18: Vpliv različnih koncentracij sive (črne) glin na kalitev vrtna kreše (*Lepidium sativum*) po 48 in 72 urah izpostavitve

Vir: lasten (program Microsoft Excel)

Slika 18 prikazuje rezultate kalitve vrtna kreše pri različnih koncentracijah raztopin sive (črne) glin. Iz rezultatov je razvidno, da prisotnost sive (črne) glin ni bistveno vplivala na kalitev semen vrtna kreše, saj je kalitev pri sivi (črni) glini primerljiva s kontrolnim vzorcem, pri katerem smo uporabili vodo. V primerjavi s kontrolnim vzorcem (vodo) je bila kalitev vrtna kreše pri sivi (črni) glini po 48 urah v povprečju zmanjšana za 17,1 %, po 72 urah pa za 14,6 %.

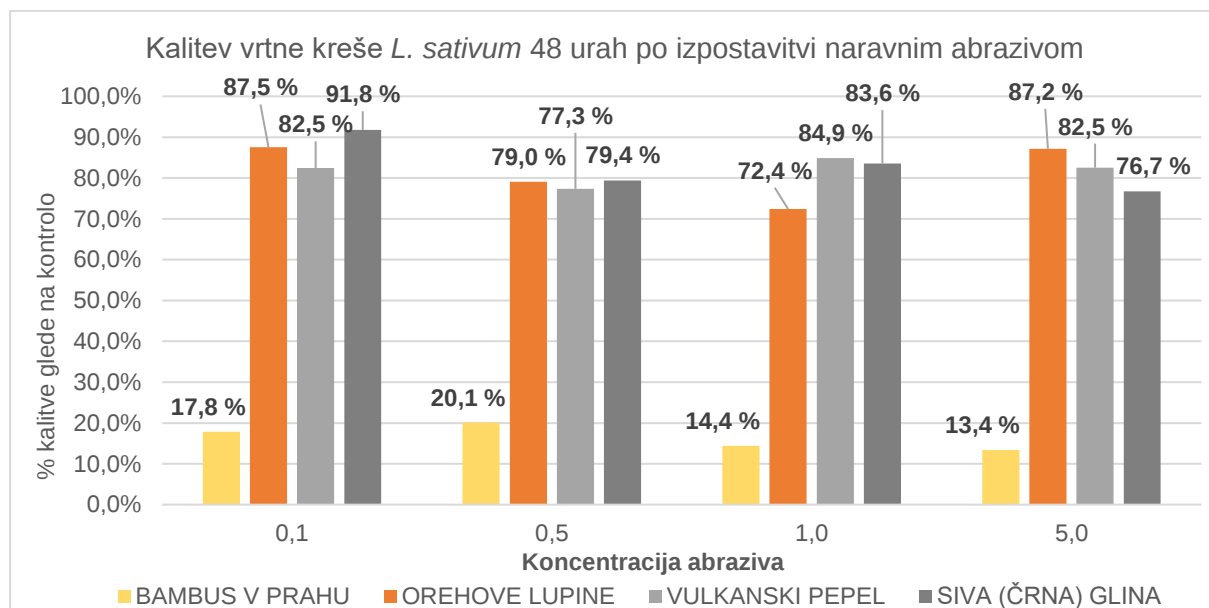
Pri sivi (črni) glini so si bili rezultati po 48 urah med posameznimi koncentracijami podobni. Tudi rezultati po 72 urah so pokazali le manjša odstopanja med posameznimi koncentracijami. Čeprav so bile med posameznimi koncentracijami prisotne manjše razlike, te niso nakazovale vpliva koncentracije na kalitev vrtna kreše.

Najuspešnejša kalitev je bila vidna pri 0,1 % in 1 % koncentracijah. Medtem ko se je kalitev v primerjavi s kontrolo najbolj zmanjšala pri 0,5 % koncentraciji (po 48 urah za 20,6 %, po 72 urah za 23,5 %) in 5 % koncentraciji (po 48 urah za 23,3 %, po 72 urah za 18,0 %).

Na podlagi dobljenih rezultatov lahko sklepamo, da siva (črna) glina ne vpliva pomembno na kalitev vrtna kreše, saj so ugotovljene razlike med posameznimi koncentracijami majhne.

6.2 Primerjava rezultatov kalitvenih testov

V zadnjem delu smo primerjali kalitve vrtna kreše v prisotnosti vseh naravnih abrazivov po 48 in 72 urah med seboj. Rezultati omogočajo medsebojno primerjavo vpliva posameznih abrazivov na kalitev semen in prikazujejo morebitne razlike v uspešnosti kalitve glede na čas opazovanja.



Slika 19: Vpliv različnih koncentracij naravnih abrazivov na kalitev vrtna kreše (*Lepidium sativum*) po 48 urah izpostavitve

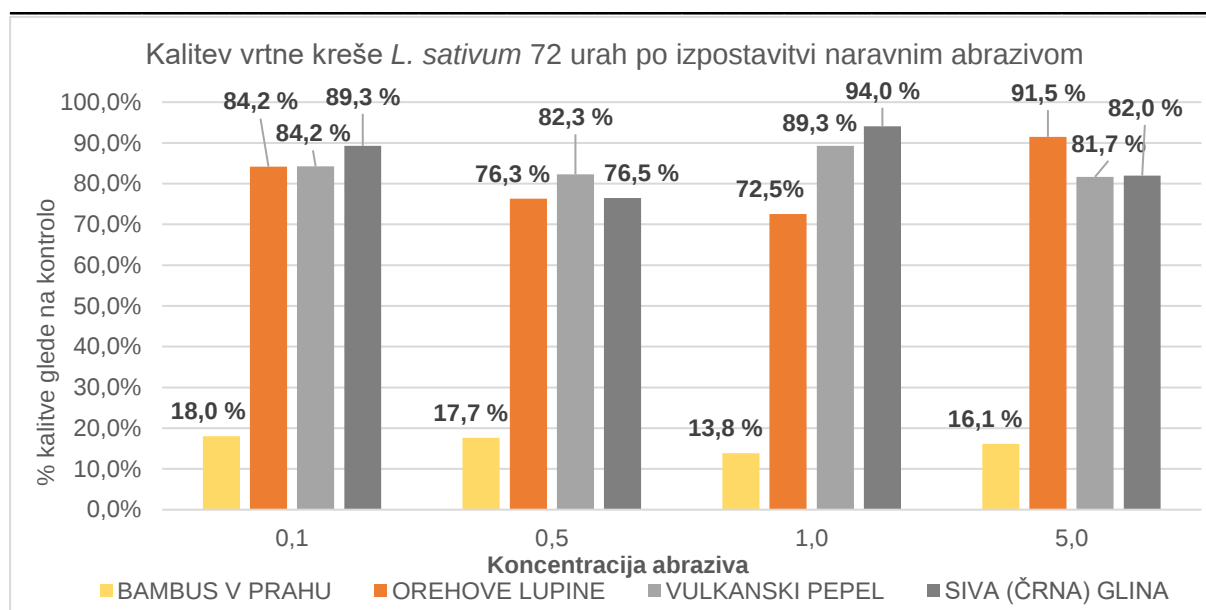
Vir: lasten (program Microsoft Excel)

Slika 19 prikazuje rezultate kalitve vrtna kreše po 48 urah pri vseh uporabljenih naravnih abrazivih. Iz primerjave rezultatov je razvidno, da je bila kalitev vrtna kreše pri mletih orehovah lupinah, vulkanskem pepelu in sivi (črni) glini podobna kot pri kontrolnih vzorcih z vodo.

Po 48 urah so bili najboljši rezultati kalitve opaženi pri orehovah lupinah v 0,1 % koncentraciji, pri sivi (črni) glini v 0,1 % koncentraciji in pri vulkanskem pepelu v 1 % koncentraciji. Kljub temu so bile razlike med posameznimi abrazivi majhne, zato ni mogoče govoriti o izrazito večjem vplivu posameznega abraziva na kalitev vrtna kreše.

Največji vpliv na kalitev vrtna kreše je imel bambus v prahu, pri katerem je bila uspešnost kalitve občutno nižja kot pri drugih abrazivih. To nakazuje, da je bambus v prahu že po 48 urah zaviral kalitev semen vrtna kreše.

Na podlagi rezultatov po 48 urah lahko sklepamo, da trije naravni abrazi (mlete orehove lupine, vulkanski pepel in siva (črna) glina) niso bistveno vplivali na kalitev vrtna kreše, medtem ko je bambus v prahu statistično značilno zaviral kalitev vrtna kreše (slike 19–21).



Slika 20: Vpliv različnih koncentracij naravnih abrazivov na kalitev vrtno kreše (*Lepidium sativum*) po 72 urah izpostavitve

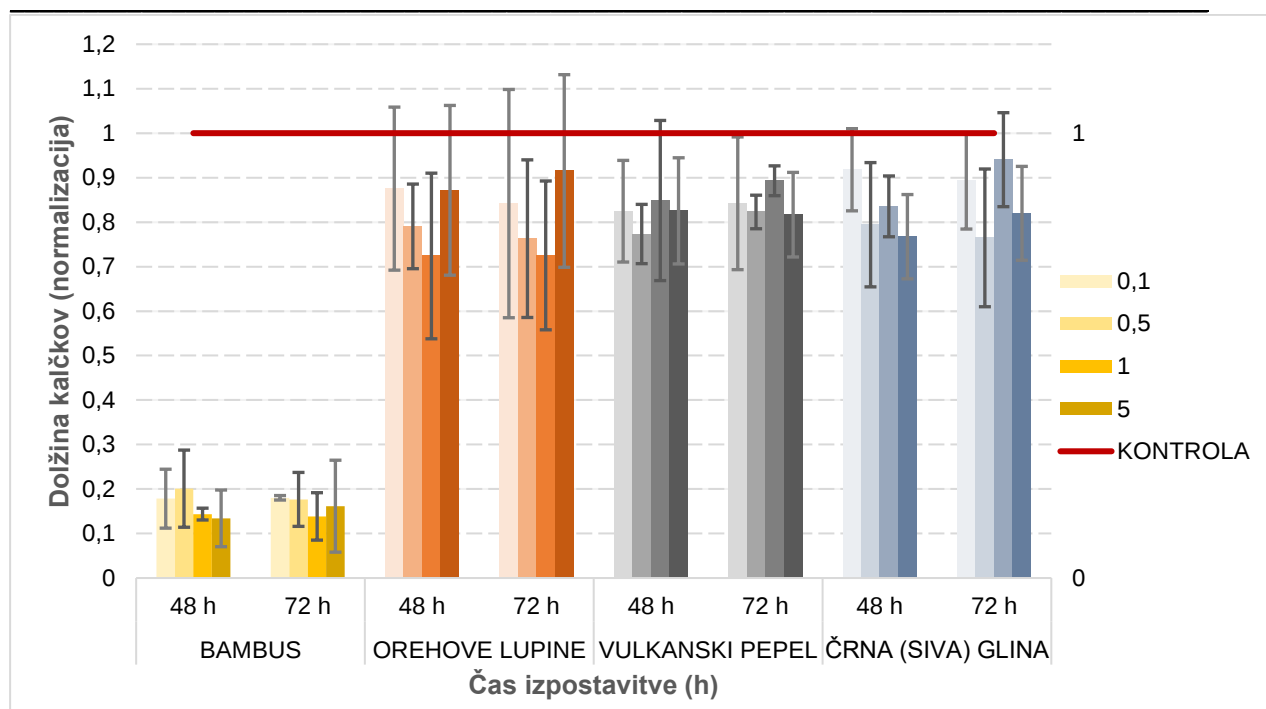
Vir: lasten (program Microsoft Excel)

Slika 20 prikazuje rezultate kalitve vrtno kreše po 72 urah pri vseh uporabljenih naravnih abrazivih. Podobno kot pri rezultatih po 48 urah je bila kalitev mletih orehovit lupin, vulkanskega pepela in sive (črne) glin primerljiva s kalitvijo v kontrolnem vzorcu, kjer je bila uporabljena voda. Med navedenimi abrazivi ni bilo opaziti večjih razlik, kar kaže, da niso pomembno vplivali na nadaljnjo kalitev vrtno kreše.

Po 72 urah so bili najboljši rezultati kalitve opaženi pri orehovih lupinah v 5 % koncentraciji, pri vulkanskem pepelu v 1 % koncentraciji in pri sivi (črni) glini prav tako v 1 % koncentraciji. Kljub nekoliko boljšim rezultatom pri teh koncentracijah so bile razlike med posameznimi obravnavami še zmeraj majhne.

Tudi po 72 urah je od vseh naravnih abrazivov najbolj izstopal bambus v prahu. Pri tem abrazivu je bila uspešnost kalitve manjša kot pri ostalih abrazivih in kontrolnem vzorcu. Kljub daljšemu času opazovanja se rezultati niso bistveno spremenili, zato lahko sklepamo, da je bil vpliv bambusa v prahu na kalitev prisoten že v zgodnjih fazah kalitve.

Primerjava rezultatov po 72 urah nam pove, da večina uporabljenih naravnih abrazivov ni pomembno vplivala na kalitev vrtno kreše, medtem ko se je bambus v prahu izkazal kot abraziv z največjim vplivom na kalitev.



Slika 21: Normalizirani rezultati vpliva različnih koncentracij naravnih abrazivov na kalitev vrtna kreše (*Lepidium sativum*) po 48 in 72 urah izpostavitve

Vir: lasten (program Microsoft Excel)

Slika 21 prikazuje rezultate kalitve vrtna kreše v vseh abrazivih in koncentracijah skupaj.

Na podlagi rezultatov lahko ugotovimo, da trije od preizkušenih naravnih abrazivov niso imeli izrazitega vpliva na kalitev vrtna kreše. Pri mletih orehových lupinah, vulkanskem pepelu in sivi (črni) glini je bila kalitev primerljiva s kontrolnim vzorcem.

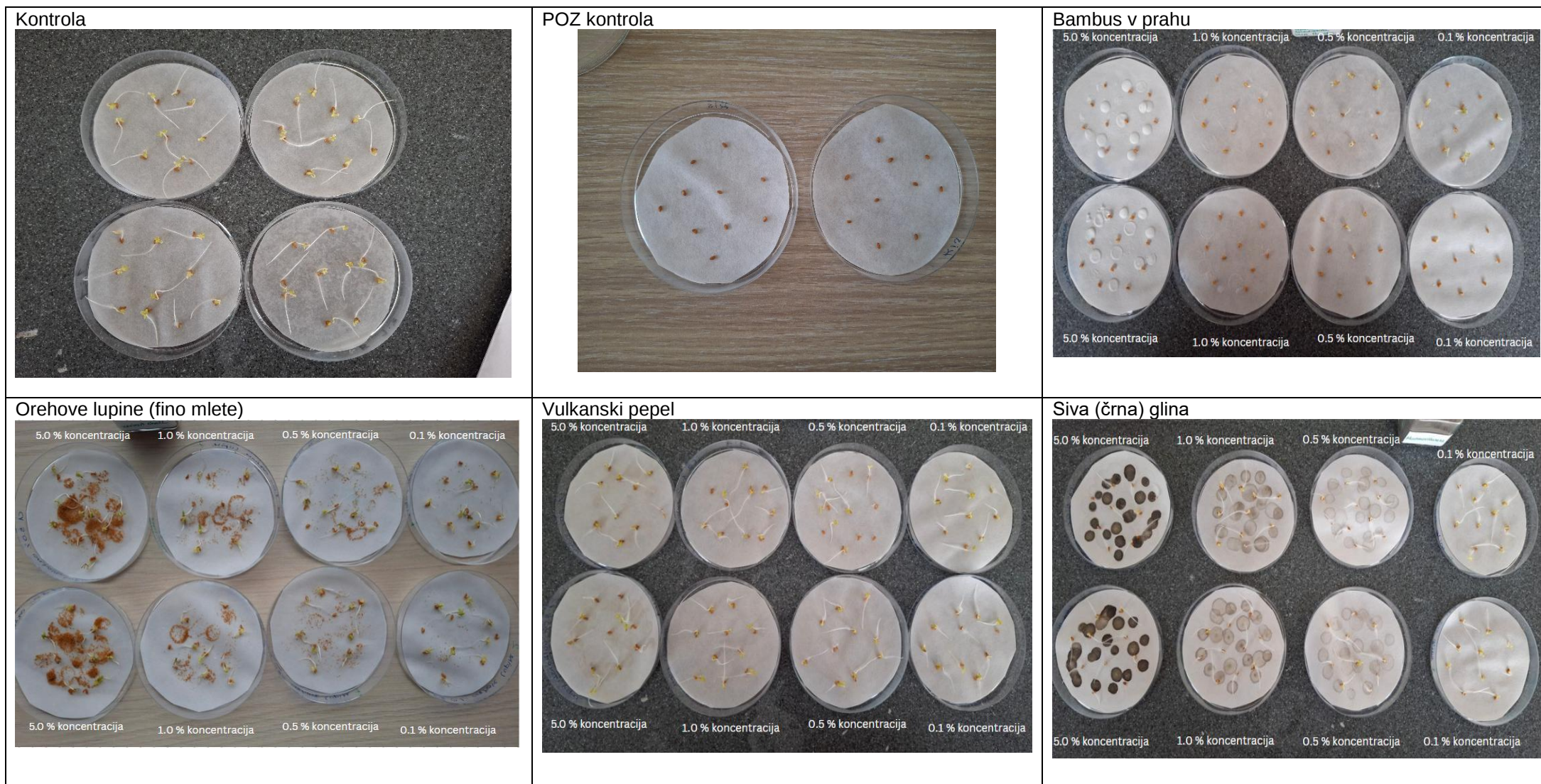
Najizrazitejši vpliv na kalitev vrtna kreše je imel bambus v prahu. V primerjavi s kontrolo je bila kalitev pri vseh preizkušenih koncentracijah občutno manjša, kar nakazuje zaviralni učinek tega abraziva na kalitev vrtna kreše. Pri mletih orehových lupinah, vulkanskem pepelu in črni (sivi) glini so bili rezultati kalitve med posameznimi koncentracijami precej podobni. Nekatere koncentracije so sicer pokazale nekoliko večjo uspešnost kalitve v primerjavi z drugimi, vendar so bile ugotovljene razlike majhne.

Na podlagi dobljenih rezultatov smo ugotovili tudi, da povezave med velikostjo delcev abrazivov in kalitvijo vrtna kreše ni bilo mogoče potrditi. Čeprav so se preizkušeni abrazivi med seboj razlikovali po velikosti delcev, rezultati niso pokazali jasnega vzorca, ki bi nakazoval, da večji ali manjši pomembno vplivajo na uspešnost kalitve.

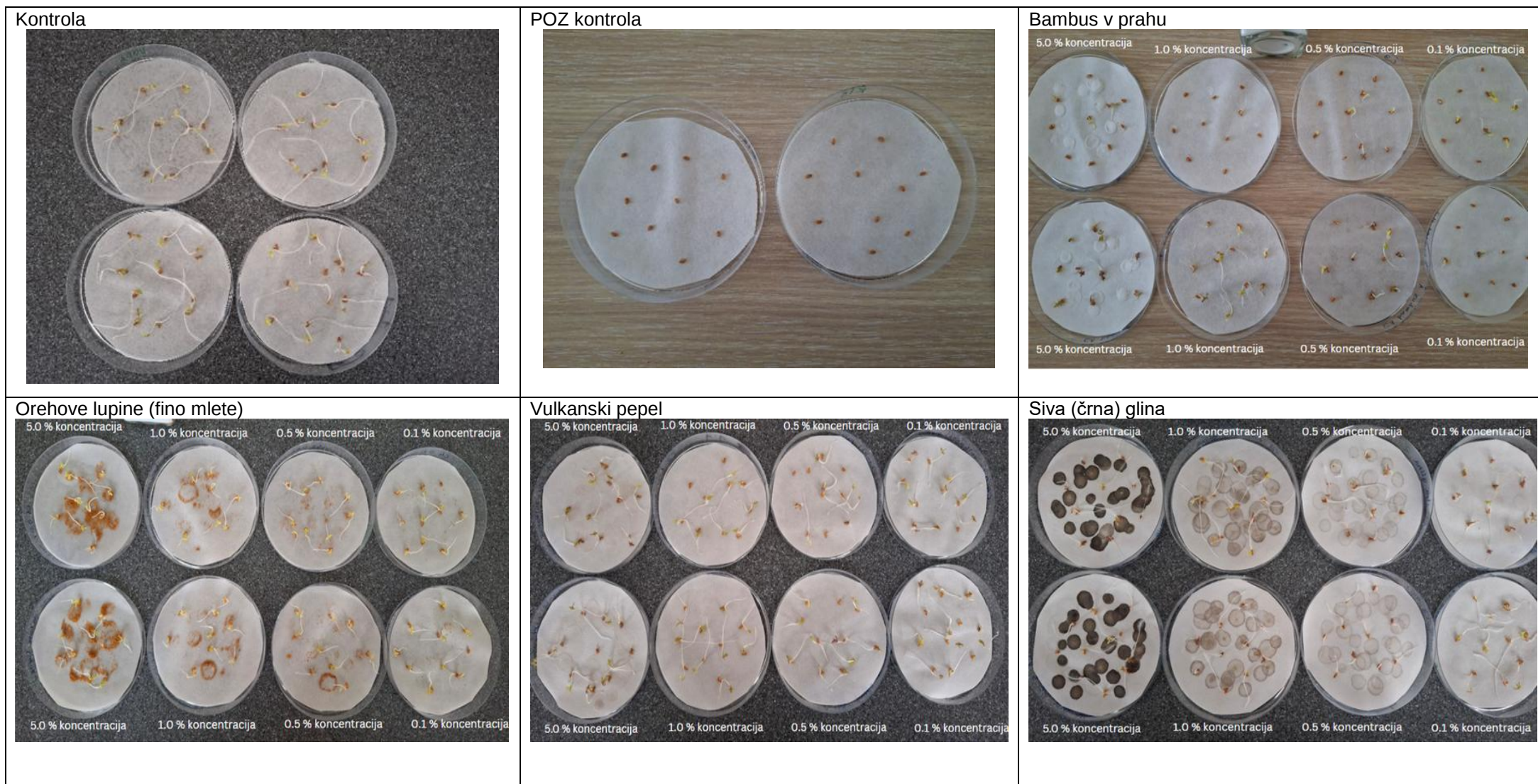
Opažene razlike bi lahko bile bolj povezane z vrsto oziroma tipom naravnega abraziva kot pa z velikostjo njegovih delcev, saj se abrazivi razlikujejo tudi po svoji sestavi in izvoru. Mlete orehove lupine so imele največje delce in so omogočile zelo uspešno kalitev, medtem ko je bambus v prahu imel najbolj fine delce, vendar je bila pri njem uspešnost kalitve najslabša. Zato velikosti delcev ne moremo obravnavati kot odločilnega dejavnika pri pojasnjevanju dobljenih rezultatov. Na podlagi dobljenih rezultatov je razvidno, da velikost sama po sebi ne omogoča zanesljive razlage razlik v kalitvi vrtna kreše.

Fotokolaža (*preglednici 9 in 10*) prikazujeta kalitev vrtna kreše po 48 in 72 urah pri izpostavljenosti različnim koncentracijam naravnih abrazivov. Na fotografijah po 48 urah je mogoče opazovati začetne faze kalitve, medtem ko fotografije po 72 urah prikazujejo nadaljnji razvoj kalčkov. Oba pa kažeta, da je bila kalitev pri mletih orehovit lupinah, vulkanskem pepelu in črni (sivi) glini primerljiva s kontolo (vodo). Največje razlike v kalitvi so vidne pri bambusu v prahu. Razlike so bile še večje po 72 urah, ko je bila rast vrtna kreše pri ostalih abrazivih znova primerljiva s kontrolo, medtem ko je bila rast pri izpostavitvi bambusovemu prahu še zmeraj zelo zmanjšana.

Preglednica 9: Prikaz kalitve vrtno kreše po 48 urah



Preglednica 10: Prikaz kalitve vrtna kreše po 72 urah



7 SKLEP

Namen diplomskega dela je bil raziskati vpliv različnih naravnih abrazivov, ki se lahko uporabljajo v kozmetiki kot alternative plastičnim mikrokroglicam, na kalitev vrtna kreše in primerjati njihove učinke pri različnih koncentracijah. Cilj je bil ugotoviti, ali lahko izbrani naravni abrazivi vplivajo na uspešnost kalitve in zgodnjo rast kalčkov ter ali se med njimi pojavljajo razlike glede na njihove značilnosti.

Ugotovili smo, da vsi preizkušeni naravni abrazivi ne vplivajo enako na kalitev vrtna kreše. Čeprav so bile med posameznimi rezultati opažene določene razlike, se je pri večini abrazivov kalitev izkazala za primerljivo s kontrolnim vzorcem. To kaže, da mlete orehove lupine, vulkanski pepel in siva (črna) glina v uporabljenih koncentracijah niso bistveno vplivali na kalitev vrtna kreše. Med preizkušenimi abrazivi je najbolj izstopal bambus v prahu.

Dobljene ugotovitve predstavljajo dobro osnovo za nadaljnje raziskave vpliva naravnih abrazivov na kalitev vrtna kreše. A je treba rezultate zaradi pojavljanja standardnih napak obravnavati z določeno mero prevodnosti. Zanesljivost podatkov bi lahko povečali z večjim številom neodvisnih ponovitev in z uporabo več različnih koncentracij posameznih abrazivov. S tem bi pridobili več podatkov in lažje ocenili vpliv posameznih abrazivov na kalitev vrtna kreše.

Ob zaključku lahko ovrednotimo postavljeni hipotezi:

H1: Naravni kozmetični abrazivi ne bodo pomembno vplivali na kalitev vrtna kreše (*Lepidium sativum*).

Glede na dobljene rezultate lahko prvo hipotezo le delno potrdimo. Pri treh (75 %) preizkušenih abrazivih od štirih nismo ugotovili pomembnega vpliva na kalitev vrtna kreše, saj so bili rezultati primerljivi s kontrolnim vzorcem. Zaznali smo manjši padec kalitve, ki pa ni bila statistično značilna. Vendar hipoteze ne moremo v celoti potrditi, saj je bambus v prahu v primerjavi z ostalimi abrazivi pokazal drugačne rezultate, kar kaže na njegov vpliv na kalitev vrtna kreše.

H2: Razlike v kalitvi vrtna kreše pod vplivom naravnih kozmetičnih abrazivov bodo majhne ter povezane z velikostjo in koncentracijo abrazivnih delcev.

Tudi drugo hipotezo lahko le delno potrdimo. Razlike v kalitvi vrtna kreše med posameznimi vzorci so bile večinoma majhne, kar je skladno s prvim delom hipoteze. Orehove lupine imajo največje in najbolj grobe delce, medtem ko ima bambus najbolj fine delce. Kljub temu na podlagi dobljenih rezultatov ne moremo zanesljivo ugotoviti, ali je na kalitev vplivala velikost delcev, saj so bile opažene razlike lahko povezane tudi z drugimi lastnostmi posameznih abrazivov. Rezultati niso pokazali jasne povezave med koncentracijo abrazivov in uspešnostjo kalitve, saj med posameznimi koncentracijami ni bilo opaziti večjih razlik ali kakšnega izrazitega trenda. Povezave med velikostjo delcev, koncentracijo abrazivov in kalitvijo vrtna kreše na podlagi rezultatov ne moramo potrditi.

Naša raziskava zagotovo odpira veliko novih vprašanj, a predstavlja zanimiva izhodišča. V nadaljnjih raziskavah bi lahko ponovili poskuse z enakimi abrazivi in enakimi koncentracijami, saj bi s tem pridobili še več različnih podatkov. Prav tako bi lahko za vsak abraziv izvedli več ločenih poskusov in tako pridobili zanesljivejše rezultate. Večje število ponovitev bi omogočilo

natančnejšo oceno vpliva posameznih abrazivov na kalitev vrtna kreša. Nadaljnje raziskave bi lahko vključevale tudi višje koncentracije abrazivov in večjo količino posameznega abraziva.

Raziskave bi lahko razširili tudi na druge vrste naravnih abrazivov, ki jih v poskusih za to diplomsko delo nismo obravnavali. Proučevanje dodatnih abrazivov in različnih koncentracij bi omogočilo boljše razumevanje njihovega vpliva na kalitev in natančnejšo primerjavo med posameznimi abrazivi.

8 POVZETEK

Naravni abrazivi postajajo vse pomembnejši sestavni del kozmetičnih izdelkov, saj predstavljajo alternativo snovem, ki lahko obremenjujejo okolje in se tudi v skladu z zakonodajo umikajo s prodajnega trga. Njihova uporaba lahko prispeva k zmanjšanju mikroplastike v vodne in kopenske ekosisteme. Ker se uporaba naravnih abrazivov v kozmetičnih izdelkih povečuje, je pomembno, da poznamo njihove učinke na okolje. Tako lahko ocenimo, ali so res primerna alternativa mikroplastiki in ali njihova uporaba prispeva k zmanjševanju obremenjevanja okolja.

V diplomskem delu smo proučevali vpliv naravnih kozmetičnih abrazivov na kalitev vrtno kreše (*Lepidium sativum*). Primerjali smo učinke mletih orehovit lupin, vulkanskega pepela, sive (črne) glin in bambusa v prahu pri različnih koncentracijah ter rezultate primerjali s kontrolnim vzorcem. Oceniti smo okoljski vpliv izbranih naravnih kozmetičnih abrazivov z uporabo hitrega in enostavnega ekotoksikološkega testa ter kot indikator občutljivosti uporabili kalitev vrtno kreše.

Rezultati so pokazali, da je najmanjšo kalitev dosegel bambus v prahu, kjer je povprečna kalitev znašala 16,4 %, tako po 48 kot po 72 urah, kar ustreza največjemu zmanjšanju kalitve (83,6 %). Največjo kalitev je dosegla siva (črna) glina, in sicer 82,9 % po 48 urah in 85,4 % po 72 urah. Zelo dobre rezultate je dosegel tudi vulkanski pepel, pri katerem je bila povprečna kalitev 81,8 % po 48 urah in 84,4 % po 72 urah. Pri mletih orehovit lupinah je bila kalitev po 48 urah 81,5 %, po 72 urah pa 81,1 %, kar je pa še zmeraj primerljivo z rezultati vulkanskega pepela in sive (črne) glin.

Bambus v prahu je povzročil največje zaviranje kalitve, in sicer se je kalitev tako po 48 urah kot po 72 urah zmanjšala za 83,6 %. Pri mletih orehovit lupinah je zaviranje kalitve znašalo 18,5 % po 48 urah in 18,9 % po 72 urah, pri vulkanskem pepelu 18,2 % po 48 urah in 15,6 % po 72 urah, pri sivi (črni) glini pa 17,1 % po 48 urah in 14,6 % po 72 urah.

Med posameznimi koncentracijami (0,1 %; 0,5 %; 1 %; 5 %) se je kalitev razlikovala le v manjšem obsegu. Prav tako primerjava obdobja med 48 urami in 72 urami ni prikazala večjih sprememb, čeprav sta vulkanski pepel in siva (črna) glina po 72 urah dosegla nekoliko večjo kalitev kot po 48 urah.

Rezultati ne potrjujejo povezave med velikostjo delcev naravnih kozmetičnih abrazivov in kalitvijo vrtno kreše. Čeprav so se abrazivi razlikovali po velikosti delcev, to ni bilo povezano z razlikami v uspešnosti kalitve. Iz tega lahko sklepamo, da velikost delcev ni ključni dejavnik pri kalitvi. Verjetneje je, da na rezultate vplivajo druge lastnosti abrazivov, predvsem njihova sestava, vrsta in izvor. Tako so mlete orehove lupine z večjimi delci omogočile zelo uspešno kalitev, medtem ko je imel bambusov prah z zelo finimi delci najslabše rezultate.

Raziskovanje vpliva naravnih abrazivov na rastline in okolje postaja vse pomembnejše, saj se zaradi omejitev in prepovedi uporabe mikroplastike v kozmetičnih izdelkih vse pogosteje uporabljajo naravne alternative. Čeprav veljajo za okolju prijaznejšo izbiro, njihov vpliv na organizme in okolje še ni povsem raziskan. Ker njihov vpliv na okolje še ni popolnoma poznan, lahko takšne raziskave pomagajo oceniti njihove učinke in preveriti, kako vplivajo na rastline in okolje ter ali so primerni kot nadomestilo za mikroplastiko.

S pomočjo normaliziranih podatkov in fotografij smo omogočili boljši pregled rezultatov in primerjali vplive posameznih abrazivov. Raziskava je omogočila vpogled v vpliv različnih

Gračner, Š.: Primerjava vplivov naravnih kozmetičnih abrazivov na kalitev vrtna kreša (*Lepidium sativum*). FVO, Velenje, 2026.

naravnih abrazivov na kalitev vrtna kreša in pokazala, da se učinki posameznih abrazivov med seboj nekoliko razlikujejo. S spremljanjem kalitve, merjenjem dolžine kalčkov in primerjavo rezultatov smo pridobili podatke, ki prispevajo k boljšemu razumevanju odziva rastlin na prisotnost naravnih abrazivov.

9 SUMMARY

Natural abrasives are becoming an increasingly important component of cosmetic products, as they offer an alternative to substances that can burden the environment and are being phased out of the market in compliance with regulations. Their use can help reduce the presence of microplastics in aquatic and terrestrial ecosystems. As the use of natural abrasives in cosmetics grows, it is important to understand their environmental impact. This enables an assessment of whether they are truly suitable alternatives to microplastics and whether their use contributes to reducing environmental impact.

In this thesis, we studied the impact of natural abrasives on the germination of garden cress (*Lepidium sativum*). We compared the effects of ground walnut shells, volcanic ash, gray (black) clay, and bamboo powder at various concentrations and compared the results with a control sample. We assessed the environmental impact of the selected natural cosmetic abrasives using a quick and simple ecotoxicological test, employing garden cress germination as an indicator of sensitivity.

The results showed that bamboo powder exhibited the lowest germination rate, averaging 16.4 % at both the 48- and 72-hour time points, representing the greatest reduction in germination (83.6 %). Gray (black) clay achieved the highest germination rate, at 82.9 % after 48 hours and 85.4 % after 72 hours. Volcanic ash also performed very well, with average germination rates of 81.8 % after 48 hours and 84.4 % after 72 hours. Ground walnut shells resulted in germination rates of 81.5 % after 48 hours and 81.1 % after 72 hours. These results were comparable to those of volcanic ash and gray (black) clay.

Bamboo powder caused the greatest inhibition of germination; specifically, germination decreased by 83.6 % after both 48 and 72 hours. For ground walnut shells, germination inhibition was 18.5 % after 48 hours and 18.9 % after 72 hours; for volcanic ash, it was 18.2 % after 48 hours and 15.6 % after 72 hours; and for gray (black) clay, it was 17.1 % after 48 hours and 14.6 % after 72 hours.

Germination rates varied only slightly across the different concentrations (0.1 %, 0.5 %, 1 %, and 5 %). Similarly, a comparison between the 48-hour and 72-hour periods showed no significant changes, although germination rates for volcanic ash and gray (black) clay were slightly higher after 72 hours than after 48 hours.

The results do not confirm a link between the particle size of natural cosmetic abrasives and the germination of garden cress. Although the abrasives differed in particle size, this was not associated with differences in germination success. Therefore, particle size does not appear to be a key factor affecting germination. It is more likely that the results are influenced by other properties of the abrasives, particularly their composition, type, and origin. For instance, ground walnut shells with larger particles enabled very successful germination, whereas bamboo powder with very fine particles produced the lowest germination rate.

Research into the impact of natural abrasives on plants and the environment is becoming increasingly important, as natural alternatives are being used more frequently due to restrictions and bans on the use of microplastics in cosmetic products. Although they are considered a more environmentally friendly choice, their impact on organisms and the environment has not yet been fully studied.

Given that their impact on the environment is not yet fully known, such research can help assess their effects, examine how they affect plants and the environment, and determine whether they are suitable substitutes for microplastics.

Using normalized data and photographs, we provided a better overview of the results and compared the effects of individual abrasives. The research provided insight into the impact of different types of abrasives on garden cress germination and demonstrated that the effects of the individual abrasives differ slightly. By monitoring germination, measuring the length of sprouts, and comparing the results, we obtained data that contribute to a better understanding of the response of plants to the presence of natural abrasives.

10 VIRI IN LITERATURA

1. Akash, P.; Sudhir, K.; Tanwar, A.; Ritesh, J. (2025). Embracing Nature: The Rise of Herbal Exfoliating Creams in Skincare. International Journal of Nanomaterials, Nanotechnology and Nanomedicine. https://www.researchgate.net/publication/393542386_Embracing_Nature_The_Rise_of_Herbal_Exfoliating_Creams_in_Skincare
2. Bhattacharya, P. (2016). A Review on the Impacts of Microplastic Beads Used in Cosmetics. Acta Biomedica Scientia 2348–2168. 3. 47–52. https://www.researchgate.net/profile/Piyal-Bhattacharya/publication/316988939_A_REVIEW_ON_THE_IMPACTS_OF_MICROPLASTIC_BEADS_USED_IN_COSMETICS/links/591c0655aca272bf75c877c5/A-REVIEW-ON-THE-IMPACTS-OF-MICROPLASTIC-BEADS-USED-IN-COSMETICS.pdf (1. 4. 2026).
3. Bikiaris, N.; Nikolaidis, N. F.; Barmapalexis, P. Microplastics (MPs) in Cosmetics: A Review on Their Presence in Personal-Care, Cosmetic, and Cleaning Products (PCCPs) and Sustainable Alternatives from Biobased and Biodegradable Polymers. Cosmetics 2024, 11, 145. <https://doi.org/10.3390/cosmetics11050145>
4. Chen, X.; Li, X., (2022). The impact of hazardous substances in cosmetics, and treatment measures. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 1011. 012024. 10.1088/1755-1315/1011/1/012024. https://www.researchgate.net/publication/359901845_The_impact_of_hazardous_substances_in_cosmetics_and_treatment_measures
5. Cosmile Europe. <https://cosmileeurope.eu/inci/substancegroup/52/abrasives-abrasive-agents-polishing-agents/> (1. 4. 2026).
6. Cubas, A. L. V.; Bianchet, R. T; Reis, I. M. A. S. D.; Gouveia, I. C. Plastics and Microplastics in the Cosmetic Industry: Aggregating Sustainable Actions Aimed at Alignment and Interaction with UN Sustainable Development Goals. Polymers 2022, 14, 4576. https://www.researchgate.net/publication/364975039_Plastics_and_Microplastic_in_the_Cosmetic_Industry_Aggregating_Sustainable_Actions_Aimed_at_Alignment_and_Interaction_with_UN_Sustainable_Development_Goals
7. Eur-Lex: Uredba Evropskega parlamenta (EU) 2023/2055 o registraciji, evalvaciji, avtorizaciji in omejevanju kemikalij (REACH) glede sintetičnih polimernih mikrodolcev (2023): <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/HTML/?uri=CELEX:32023R2055>
8. Ghajari M. F.; Shamsaei M.; Basandeh K.; Galouyak M. S. (2021). Abrasiveness and whitening effect of charcoal-containing whitening toothpastes in permanent teeth. Dent Res J 2021; 18: 51.

9. Giustra, M.; Sinesi, G.; Spina, F.; De Santes, B.; Morelli, L.; Barbieri, L.; Garbujo, S., Galli, P.; Prosperi, D.; Colombo, M. ChemSusChem 2024, 17, e202401065. <https://doi.org/10.1002/cssc.202401065>
10. GOV (2023). <https://www.gov.si/novice/2023-09-29-sprejeta-prepoved-za-mikroplastiko/> (17. 5. 2026).
11. Guzik, M.; Czerwińska-Ledwig, O.; Piotrowska, A. Compositions of Abrasive Cosmetics from Polish Manufacturers. Cosmetics 2023, 10, 67. <https://doi.org/10.3390/cosmetics10020067>
12. Habib, R. Z.; Thiemann, T. Microplastics and Cosmetics: A Historical Overview. Journal of Environmental Protection, 17, 98–142 (2026). https://www.researchgate.net/publication/401137876_Microplastics_and_Cosmetics_A_Historical_Overview
13. Han, J. H.; Kim, H. S. Microplastics in Cosmetics: Emerging Risks for Skin Health and the Environment, 2025, 12, 171. <https://doi.org/10.3390/cosmetics12040171>
14. Hunt, C. F.; Lin, W. H.; Voulvoulis, N. Evaluating Alternatives to Plastic Microbeads in Cosmetics. <https://spiral.imperial.ac.uk/server/api/core/bitstreams/c508ff92-6a5a-4b6d-a8e7-c7adeec15d5b/content> (1. 4. 2026).
15. Juliano, C.; Magrini, G. A. Cosmetic Ingredients as Emerging Pollutants of Environmental and Health Concern. A Mini-Review. Cosmetics 2017, 4, 11. <https://doi.org/10.3390/cosmetics4020011>
16. Karak, P.; Parveen, A.; Modak, A.; Adhikari, A.; Chakraborty, S. Microplastic Pollution: A Global Environmental Crisis Impacting Marine Life, Human Health, and Potential Innovative Sustainable Solutions. Int. J. Environ. Res. Public Health 2025, 22, 889. <https://doi.org/10.3390/ijerph22060889>
17. Kochanek, A.; Graż, K.; Potok, H.; Gronba-Chyła, A.; Kwaśny, J.; Wiewiórska, I.; Ciula, J.; Basta, E.; Łapiński, J. Micro- and Nanoplastics in the Environment: Current State of Research, Sources of Origin, Health Risks, and Regulations—A Comprehensive Review. Toxics 2025, 13, 564. <https://doi.org/10.3390/toxics13070564>
18. Liu, J.K. Natural products in cosmetics. Nat. Prod. Bioprospect. 12, 40 (2022). <https://doi.org/10.1007/s13659-022-00363-y>
19. McMullen, R. L.; Dell'Acqua, G. History of Natural Ingredients in Cosmetics. Cosmetics 2023, 10, 71. <https://doi.org/10.3390/cosmetics10030071>
20. Medmrežje 1: <https://toxicslink.org/wp-content/uploads/2022/08/dirty%20cleanser.pdf> (1. 4. 2026).
21. Medmrežje 2: <https://trade.ec.europa.eu/access-to-markets/en/news/restriction-microplastics-eu-17-october-2023> (1. 4. 2026).

22. Medmrežje 3: <https://www.specialchem.com/cosmetics/guide/exfoliating-agents-selection> (22. 5. 2026).
23. Medmrežje 4: <https://clariteca.com/kaj-so-pilingi/> (1. 4. 2026).
24. Medmrežje 5: <https://www.specialchem.com/cosmetics/inci-ingredients/charcoal-powder>
25. Medmrežje 6: <https://www.specialchem.com/cosmetics/inci-ingredients/calcium-carbonate> (21. 6. 2026).
26. Medmrežje 7: <https://www.tovarnaorganika.si/trgovina/kozmetice-surovine/kalcijev-karbonat-v-prahu-ph-eur/> (21. 6. 2026).
27. Medmrežje 8: <https://www.specialchem.com/cosmetics/inci-ingredients/bambusa-arundinacea-stem-powder> (21. 5. 2026).
28. Medmrežje 9: <https://www.specialchem.com/cosmetics/inci-ingredients/juglans-regia-shell-powder> (21. 5. 2026).
29. Medmrežje 10: <https://www.specialchem.com/cosmetics/inci-ingredients/montmorillonite> (21. 5. 2026).
30. Medmrežje 11: <https://medium.com/@knotcanisp/pumic-powder-insights-8056ff9601b> (22.5.2026).
31. Medmrežje 12: https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/chemicals/reach/restrictions/commission-regulation-eu-20232055-restriction-microplastics-intentionally-added-products_en (1. 4. 2026).
32. Medmrežje 13: https://beach-street.com/en-eu/blogs/news/the-dark-side-of-cosmetics-how-beauty-products-are-harming-the-environment?srltid=AfmBOoo-7GXEShUX4EF1eZLAA6cOTaWXUnN6XwhPjUQ8k2VF_m4_-mRF (24. 5. 2026).
33. Medmrežje 14: <https://pub.norden.org/temanord2022-566/temanord2022-566.pdf> (1. 4. 2026).
34. Medmrežje 15: <https://www.certifiedcosmetics.com/blog/cosmetic-safety/body-scrubs-and-exfoliators-navigating-eu-safety-rules-for-physical-and-enzymatic-peels/> (26. 5. 2026).
35. Medmrežje 16: <https://www.ebsco.com/research-starters/science/bioassays> (12. 6. 2026).
36. Montero Tomás, D. B.; Pecci-Lloret, M. P.; Guerrero-Gironés, J. (2023). Effectiveness and abrasiveness of activated charcoal as a whitening agent: A systematic review of in vitro studies. *Annals of Anatomy*, 253, 151998. <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2022.151998>

37. Piotrowska, A.; Czerwińska-Ledwig, O.; Serdiuk, M. Composition of scrub-type cosmetics from the perspective of product ecology and microplastic content. *Toxicol. Environ. Health Sci.* 12, 75–81 (2020). <https://doi.org/10.1007/s13530-020-00051-9>
38. Sabotič, J.; Bayram, E.; Ezra, D.; Gaudencio, S.; Haznedaroglu, B.; Janež, N.; Ktari, L.; Luganini, A.; Mandalakis, M.; Safarik, I.; Simes, D.; Strobe, E.; Toruńska-Sitarz, A.; Varamogianni-Mamatsi, D.; Varese, G.; Vasquez, M. (2024). A guide to the use of bioassays in exploration of natural resources. *Biotechnology Advances*. 71. 108307. https://www.researchgate.net/publication/377203277_A_guide_to_the_use_of_bioassays_in_exploration_of_natural_resources
39. Sajjad, M.; Sarwar, R.; Ali, T.; Khan, L.; Mahmood, S. U. (2021). Cosmetic uses of activated charcoal. *International Journal of Community Medicine and Public Health*, 8(9), 4572–4574. <https://doi.org/10.18203/2394-6040.ijcmph20213569>
40. Schulz, V. M.; Scherr, C.; Baumgartner, S. et al. A versatile *Lepidium sativum* bioassay for use in ecotoxicological studies. *Sci Rep* 15, 32653 (2025). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-17215-7>
41. Tsang, A. Understanding the Risk of Microplastic Dermal Absorption. *Scholarly Review Journal*, 2026. https://www.researchgate.net/publication/402202884_Understanding_the_Risk_of_Microplastic_Dermal_Absorption
42. Vollertsen, J.; Hansen, A. (2017). Microplastic in Danish wastewater: Sources, occurrences and fate. https://www.researchgate.net/publication/316966942_Microplastic_in_Danish_wastewater_Sources_occurrences_and_fate