# Može li nepravilno odlaganje lijekova imati negativan utjecaj na biljke?

***Vadlja Vita, 2. razred***
***Radiković Eva, 2. razred***

*Srednja škola Čakovec*
*Mentor: Horvat Denis*

## SAŽETAK

Nepravilno odlaganje lijekova iz kućanstava predstavlja potencijalni izvor onečišćenja okoliša jer aktivne farmaceutske tvari mogu dospjeti u tlo i negativno utjecati na žive organizme. Cilj ovog istraživanja bio je ispitati utjecaj dvaju često korištenih lijekova acetilsalicilne kiseline i ibuprofena, na klijanje i rani rast biljaka. Kao modelna biljka korištena je kres-salata (*Lepidium sativum* L.), pogodna za laboratorijska istraživanja zbog brzog klijanja i jednostavnog praćenja razvoja. Istraživanje je provedeno u kontroliranim uvjetima uz primjenu triju različitih koncentracija svakog lijeka te kontrolne skupine bez dodatka lijekova. Sjemenke su uzgajane na vlažnoj podlozi, a tijekom deset dana praćen je udio proklijalih sjemenki te duljina korijena i izdanka. Dobiveni rezultati statistički su analizirani i uspoređeni među skupinama. Rezultati su pokazali da između ispitivanih skupina nije utvrđena statistički značajna razlika u udjelu proklijalih sjemenki ($p > 0,05$). Međutim, jednosmjerna analiza varijance ukazala je na statistički značajne razlike u prosječnoj visini klijanaca ($p < 0,001$). Visoke koncentracije acetilsalicilne kiseline i ibuprofena uzrokovale su značajno smanjenje prosječne visine klijanaca u usporedbi s kontrolnom skupinom te niskim i srednjim koncentracijama. Između visokih koncentracija acetilsalicilne kiseline i ibuprofena nije utvrđena statistički značajna razlika. Zaključeno je da prisutnost farmaceutskih tvari u okolišu može utjecati na rani rast biljaka, osobito pri višim koncentracijama. Acetilsalicilna kiselina i ibuprofen pokazali su sličan inhibitorni učinak na rast klijanaca. Istraživanje naglašava važnost pravilnog zbrinjavanja lijekova kako bi se smanjio njihov potencijalno štetan utjecaj na biljni svijet i ekosustave.

***Ključne riječi:*** *štetne tvari u okolišu, utjecaj lijekova, rast mladih biljaka*

## UVOD

Lijekovi se razvijaju s ciljem postizanja terapijskih učinaka u ljudskom organizmu, no nakon uporabe dio aktivnih tvari ili njihovih metabolita može dospjeti u okoliš, gdje mogu predstavljati potencijalnu opasnost za vodene i kopnene ekosustave (Fent i sur., 2006). Njihova prisutnost u površinskim i pitkim vodama, tlu te hranidbenim lancima može imati negativne posljedice za organizme u okolišu, ali i za ljudsko zdravlje (Eggen i sur., 2011). Prema Miller i sur. (2018), farmaceutsko onečišćenje danas je globalni problem te je potrebno razvijati učinkovite pristupe upravljanju kako bi se smanjila izloženost okoliša lijekovima i njihov utjecaj na živi svijet.

Očekuje se da će se potrošnja lijekova u nadolazećim godinama dodatno povećavati zbog šire dostupnosti farmaceutskih proizvoda, uključujući generičke lijekove, kao i zbog starenja stanovništva (Gworek i sur., 2021). Porast proizvodnje, potrošnje i primjene lijekova posljedično povećava i količinu farmaceutskih tvari koje mogu završiti u okolišu. U Hrvatskoj se također bilježi kontinuirani rast potrošnje i propisivanja lijekova, što dodatno naglašava važnost pravilnog zbrinjavanja starih, neiskorištenih ili djelomično upotrijebljenih lijekova (Draganić i sur., 2025). Međutim, unatoč postojećim propisima, lijekovi se još uvijek često nepropisno odlažu u komunalni otpad ili ispuštaju u odvodne sustave, čime aktivne farmaceutske tvari dospijevaju u tlo i vode.

Farmaceutski otpad obuhvaća sve lijekove i tvari, uključujući njihovu primarnu ambalažu, koji su postali neupotrebljivi zbog isteka roka valjanosti, prolijevanja, rasipanja ili drugih razloga (Narodne novine, 2015a). Medicinski otpad vodi se pod brojem 18 u Katalogu otpada i obuhvaća otpad nastao u zaštiti



Autori zadržavaju autorska prava te časopisu daju pravo prvog objavljivanja rada u skladu s licencijom CC BY 4.0, koja dopušta drugima dijeljenje rada uz navođenje autorstva i izvornog mjesta objavljivanja rada u časopisu.

zdravlja ljudi i životinja, uključujući farmaceutski otpad (Narodne novine, 2015b), a njegovo je zbrinjavanje u Republici Hrvatskoj uređeno Zakonom o održivom gospodarenju otpadom (Narodne novine, 2013).

Farmaceutski spojevi danas se sve češće detektiraju u različitim sastavnicama okoliša. Ghazal (2023) navodi da su farmaceutski spojevi prisutni u vodenom okolišu u koncentracijama od ng/L do µg/L, dok su njihovi tragovi potvrđeni i u sedimentima, tlu te ispod velikih odlagališta otpada. Njihova prisutnost u okolišu povezana je s nepravilnim zbrinjavanjem farmaceutskog otpada (Nyagah i sur., 2020), ali i s ograničenom učinkovitošću sustava pročišćavanja otpadnih voda (Molnarova i sur., 2024). Istraživanje Jonjić i Vitale (2014) pokazalo je da su najviše koncentracije otpadnih farmaceutskih tvari zabilježene u otpadnim vodama, vodama u blizini velikih odlagališta otpada te u tlu ispod takvih odlagališta, što upućuje na povećani rizik za kopnene ekosustave.

Za razliku od brojnih istraživanja usmjerenih na prisutnost farmaceutika u vodi, manje je radova koji detaljno ispituju njihov utjecaj na biljke, osobito u ranim fazama razvoja. To predstavlja važnu istraživačku prazninu jer su biljke, uz mikroorganizme, među prvim organizmima izloženima farmaceutskim onečišćivalima prisutnima u tlu (Gworek i sur., 2021). Farmaceutske tvari u tlu mogu mijenjati biološke procese, utjecati na mikroorganizme te na rast i razvoj biljaka. Njihovo ponašanje u tlu ovisi o fizikalnim, kemijskim i biološkim svojstvima tla, kao i o svojstvima samih tvari. Nakon unosa u tlo, farmaceutski spojevi mogu se apsorbirati i akumulirati u različitim dijelovima biljaka, pri čemu su najveće vrijednosti akumulacije zabilježene u vegetativnim organima, osobito u korijenu (Zhang i sur., 2025).

Posebnu pozornost privlače nesteroidni protuupalni lijekovi, među kojima su ibuprofen i acetilsalicilna kiselina, jer se široko koriste u svakodnevnoj medicinskoj praksi i kućanstvima. Prema podacima NHSa (2026), oba lijeka pripadaju skupini nesteroidnih protuupalnih lijekova (NSAID) te se često primjenjuju za ublažavanje boli, snižavanje povišene tjelesne temperature i smanjenje upalnih procesa. Zbog njihove velike potrošnje ubrajaju se među najčešće detektirane farmaceutske tvari u okolišu. Njihova prisutnost potvrđena je u površinskim vodama (Institut za vode, 2023), sedimentima (Wijaya i sur., 2020; Agunbiade i Moodley, 2016) i tlu (Čogelja i sur., 2010). Iako su ti spojevi česti u okolišu, njihov utjecaj na klijanje i početni rast biljaka još uvijek nije dovoljno istražen, osobito u uvjetima koji mogu simulirati onečišćenje tla nastalo nepravilnim odlaganjem lijekova iz kućanstava. Upravo je zbog toga važno ispitati kako farmaceutske tvari djeluju na biljne organizme u osjetljivim, ranim fazama razvoja. Klijanje sjemena i početni rast klijanaca prikladni su pokazatelji jer omogućuju brzo uočavanje mogućih poticajnih ili inhibitornh učinaka različitih koncentracija onečišćivala na razvoj biljaka.

Svrha ovoga rada jest ispitati utjecaj ibuprofena i acetilsalicilne kiseline na klijanje sjemena i početni rast biljaka. Cilj istraživanja je utvrditi kako prisutnost ovih lijekova u tlu, pri različitim koncentracijama, utječe na rane faze biljnoga razvoja radi procjene njihova potencijalnog ekotoksičnog učinka i doprinosa boljem razumijevanju utjecaja farmaceutskog onečišćenja tla na biljni svijet. U istraživanju će se pratiti postotak klijavosti sjemena, duljina korijena i nadzemnih dijelova biljaka te eventualne vidljive morfološke promjene u odnosu na kontrolnu skupinu uzgojenu bez prisutnosti lijekova. Nezavisnu varijablu čine različite koncentracije ibuprofena i acetilsalicilne kiseline, dok su zavisne varijable klijavost sjemena i rast biljaka. Dobiveni rezultati omogućit će procjenu potencijalnog ekotoksičnog učinka ovih lijekova te doprinijeti razumijevanju utjecaja farmaceutskog onečišćenja tla na rane faze razvoja biljaka (Carlsson i sur., 2006).

Istraživačka pitanja kojima se vodi ovaj rad su sljedeća:

- Utječe li acetilsalicilna kiselina na klijavost sjemenki salate u odnosu na kontrolu?
- Postoji li razlika u učinku niskih i viših koncentracija acetilsalicilne kiseline na klijanje i rast?
- Kako ibuprofen utječe na klijavost i rani razvoj sjemenki salate?
- Je li utjecaj ibuprofena izraženiji u odnosu na acetilsalicilnu kiselinu pri istoj koncentraciji?

Postavljene hipoteze:

- očekuje se da će niske koncentracije acetilsalicilne kiseline imati neutralan ili blag stimulirajući učinak na klijavost i rast, dok će više koncentracije inhibirati
- ibuprofen će u svim testiranim koncentracijama negativno utjecati na klijavost i rast (posebno na duljinu korijena), s jačim učinkom pri višim koncentracijama
- postotak klijavosti će se smanjivati s porastom koncentracije oba lijeka, ali učinak će biti izraženiji kod ibuprofena
- ibuprofen će imati jači inhibirajući učinak na rani rast korijena i izdanaka nego acetilsalicilna kiselina pri istoj koncentraciji
- oba lijeka će jače utjecati na rast biljaka nego na samo klijanje.

## METODE RADA

Istraživanje je provedeno u nekoliko faza: priprema sjemenki, priprema otopina lijekova, postavljanje pokusa i izlaganje sjemenki različitim koncentracijama otopina, praćenje klijanja i rasta te analiza i statistička brada podataka.

### Priprema uzoraka

Istraživanje je provedeno u školskim uvjetima u kabinetu biologije. U istraživanju su korištene sjemenke vrste kres salate (*Lepidium sativum* L.) distribucijskog brenda Green Garden (slika 1), biljke koja je zbog brzog i ujednačenog klijanja pogodna za praćenje početnih faza rasta. Prije početka pokusa sjemenke su namakane u vodi 60 minuta, nakon čega su za daljnji rad odabrane one koje su potonule, budući da potonuće upućuje na veću vjerojatnost uspješnog klijanja. Priprema sjemenki uključivala je njihovo namakanje u vodi, odabir potonulih sjemenki te uklanjanje oštećenih ili neklijavih primjeraka.

a b




**Slika 1 Biljni materijal za provedbu istraživanja: a) vrsta sjemenki b) priprema sjemenki za istraživanje** (fotografije: Radiković E.)

Sjemenke su polagane na blazinice od vate smještene u plitke Petrijeve plastične zdjelice (slika 1b). Sve blazinice su jednake veličine i debljine kako bi se osigurali ujednačeni uvjeti vlažnosti u svim ispitivanim skupinama te omogućila pouzdana usporedba početnog razvoja biljaka.

### Priprema otopina

Za simulaciju onečišćenja okoliša nepravilno odloženim lijekovima korištena su dva često primjenjivana farmaceutska pripravka: Bayer Aspirin® 500 mg (acetilsalicilna kiselina) i Brufen® Effect 400 mg (ibuprofen) (slika 2).




Slika 2 Lijekova korišteni u istraživanju: a) Brufen effect 400 mg, b) Aspirin 500 mg
Autor: Radiković E., 2026

Tablete su prethodno usitnjene i otopljene u vodi radi pripreme radnih otopina. Radna otopina acetilsalicilne kiseline pripremljena je otapanjem jedne tablete (500 mg) u destiliranoj vodi do ukupnog volumena od 500 mL, dok je radna otopina ibuprofena pripremljena otapanjem jedne tablete (400 mg) u destiliranoj vodi do ukupnog volumena od 400 mL. Na taj su način dobivene radne otopine jednake koncentracije, 1,0 mg/mL za oba lijeka (tablica 1). S obzirom na slabiju topljivost ibuprofena u vodi njegova otopina je blago zamućena, stoga je prije svake primjene pažljivo promućkana kako bi se osigurala homogena raspodjela djelatne tvari.

Tablica 1 Priprema početnih radnih otopina acetilsalicilne kiseline i ibuprofena

| Vrsta lijeka | masa 1 tablete (mg) | Volumen otopine (mL) | Konačna koncentracija (mg/mL) |
|---|---|---|---|
| Aspirin | **500** | **500** | **1,0** |
| Brufen effect | **400** | **400** | **1,0** |

Za svaki ispitivani lijek pripremljene su tri radne otopine različitih koncentracija: niska, srednja i visoka, dok je kontrolna skupina sadržavala isključivo vodovodnu vodu bez dodatka lijekova. Koncentracije su odabrane više od okolišnih kako bi se simulirale ekstremne situacije nepravilnog odlaganja i osigurali mjerljivi učinci u kratkom pokusu. Kao polazna osnova korištena je radna otopina koncentracije 1,0 mg/mL. Niska koncentracija (0,1 mg/mL) pripremljena je razrjeđivanjem 50 mL radne otopine s 450 mL destilirane vode do ukupnog volumena od 500 mL. Srednja koncentracija (0,5 mg/mL) dobivena je miješanjem 250 mL radne otopine s 250 mL destilirane vode, također do ukupnog volumena od 500 mL, dok je visoka koncentracija (1,0 mg/mL) primjenjivana bez dodatnog razrjeđivanja (tablice 1 i 2).

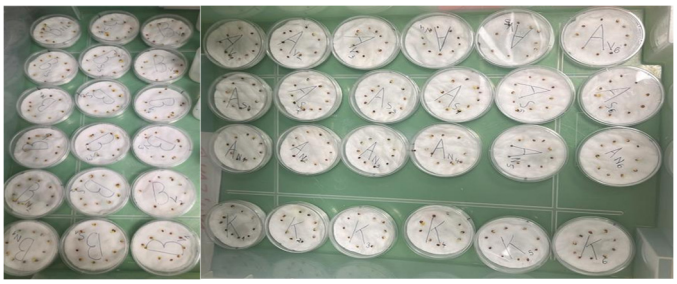
Tablica 2 Priprema radnih otopina različitih koncentracija acetilsalicilne kiseline i ibuprofena (niska, srednja i visoka)

| koncentracija otopine (mg/mL) | volumen početne radne otopine (mL) | volumen destilirane vode (mL) | ukupni volumen (mL) |
|---|---|---|---|
| **0,1** | **50** | **450** | **500** |
| **0,5** | **250** | **250** | **500** |
| **1,0** | **500** | **0** | **500** |

*Napomena: Početna otopina koncentracije 1,0 mg/mL korištena za pripremu razrjeđenja.*

**Postavljanje pokusa i uvjeti uzgoja**

Kako bi se isključio utjecaj varijabilnog sastava tla, klijanje sjemenki provedeno je na vati. U svaku označenu plastičnu Petrijevu zdjelicu postavljene su blazinice od vate koje su navlažene jednakim volumenom odgovarajuće radne otopine od 5 mL, nakon čega su na njih položene sjemenke. Na taj su način osigurani jednaki eksperimentalni uvjeti za sve ispitne skupine te je omogućena pouzdana usporedba učinka različitih koncentracija lijekova na klijanje i početni rast biljaka. U istraživanju je formirano ukupno sedam ispitnih skupina: kontrolna skupina bez dodatka lijekova, tri skupine tretirane acetilsalicilnom kiselinom te tri skupine tretirane ibuprofenom. Za svaku ispitnu skupinu provedeno je šest ponavljanja, što ukupno čini 42 pokusne posude. U svaku posudu postavljen je jednak broj sjemenki (10 sjemenki) pripremljenih na blazinicama od vate (slika 3).



**a) ibuprofen (B)** **b) Acetilsalicilna kiselina(A) i kontrola (K)**

Slika 3 Dio uzoraka Petrijevih zdjelica sa sjemenom raspoređenih u kontrolnoj i eksperimentalnim skupinama tijekom ispitivanja utjecaja lijekova na klijanje: a) skupina s ibuprofenom, b) skupina s acetilsalicilnom kiselinom i kontrola

Autor: Vadlja V., 2026

Sve zdjelice bile su smještene na istom mjestu i držane pri sobnoj temperaturi u rasponu od 20 do 24 °C, uz izloženost prirodnom dnevnom svjetlu, ali bez izravnog sunčevog zračenja. Vlažnost podloge održavana je kontroliranim dodavanjem odgovarajuće otopine pomoću pipete ili šprice, u malim i precizno odmjerenim količinama od 0,5 do 1,0 mL.

**Praćenje i mjerenje parametara**

Prije i nakon svakog dodavanja provjeravana je prisutnost slobodne tekućine na dnu posude, s ciljem održavanja vate ravnomjerno vlažnom, bez stvaranja prevelike količine vlage. U slučaju pojave viška tekućine, ona je uklonjena pipetom, a uklonjena količina zabilježena. Na taj način osigurani su ujednačeni uvjeti vlage, temperature i svjetlosti za sve ispitne skupine. Tretman je trajao ukupno 10 dana. Tijekom tog razdoblja svakodnevno je bilježen broj proklijalih sjemenki u svakoj posudi. Duljina korijena i izdanka mjerena je svakodnevno od trenutka nicanja pomoću ravnala s milimetarskom podjelom, a dobiveni rezultati bilježeni su u centimetrima.

**Analiza i statistička obrada**

Podaci prikupljeni tijekom istraživanja bilježeni su u dvije zasebne tablice. Prva tablica sadržavala je podatke o klijanju, uključujući broj sjemenki kod kojih je zabilježena pojava klice te vrijeme njezine pojave u odnosu na ukupan broj sjemenki u pojedinoj posudi. Druga tablica obuhvaćala je podatke o rastu biljaka, odnosno duljinu korijena i nadzemnog dijela od trenutka klijanja za svaku ispitnu skupinu. Za svaku skupinu izračunate su aritmetička sredina i standardna devijacija postotka klijanja te duljine korijena i izdanka. Također, određeni je i postotak proklijalih sjemenki. Statistička obrada podataka provedena je putem digitalnog programa Numiqo primjenom jednosmjerne analize varijance (*one-way* ANOVA) kako bi se utvrdile razlike između kontrolne skupine i ispitnih skupina tretiranih različitim koncentracijama acetilsalicilne kiseline i ibuprofena (numiqo Team, 2026). Budući da je ANOVA pokazala statistički značajne razlike u prosječnoj visini klijanaca, proveden je *post hoc* test (Bonferronijev test) radi utvrđivanja između kojih se konkretnih skupina razlika pojavljuje. Razina statističke značajnosti postavljena je na $p < 0,05$. Dobiveni rezultati prikazani su tablično i grafički. Rezultati su također dodatno interpretirani opisnom analizom. Provedenom obradom podataka omogućit će se objektivna procjena utjecaja ibuprofena i acetilsalicilne kiseline na rane faze biljnog razvoja te će se pridonijeti boljem razumijevanju utjecaja kućnog farmaceutskog otpada na biljke u uvjetima simuliranog onečišćenja tla (Mason, 2024)

## REZULTATI

Za potrebe istraživanja analizirani su podatci o klijavosti i prosječnoj visini klijanaca tijekom razdoblja od 10 dana za sedam ispitivanih skupina (kontrolna skupina, tri skupine tretirane acetilsalicilnom kiselinom i tri skupine tretirane ibuprofenom). Ukupno je analizirano 420 mjerenja visine klijanaca

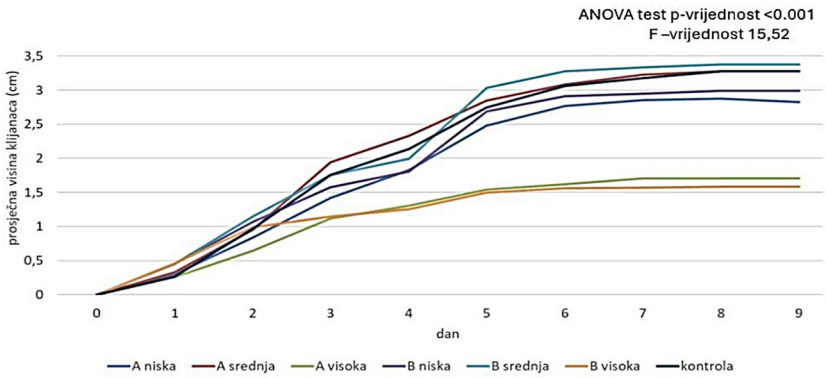
(slika 4). Duljina korijena klijanaca nije uključena u daljnju analizu jer je već nakon drugog dana mjerenja utvrđeno da su svi korijeni postigli približno jednaku, maksimalnu duljinu, bez uočljivih razlika među ispitivanim skupinama. Tijekom daljnjeg praćenja nije zabilježena promjena duljine korijena.




**Slika 4 Izgled najreprezentativnijih klijanaca u kontrolnoj (K) i pokusnim skupinama tretiranim acetilsalicilnom kiselinom (a) i ibuprofenom (b) nakon 10 dana uzgoja; koncentracije: v - visoka, s - srednja, n - niska**

Autor: Vadlja V., 2026

Dinamika rasta klijanaca tijekom 10 dana za sve ispitivane skupine prikazana je na slici 5. Grafički prikaz pokazuje promjene prosječne visine klijanaca tijekom promatranog razdoblja u kontrolnoj skupini te skupinama tretiranim različitim koncentracijama acetilsalicilne kiseline i ibuprofena. U svim ispitivanim skupinama zabilježen je porast visine klijanaca tijekom vremena, pri čemu su se razlike među skupinama počele jasnije uočavati od četvrtog dana mjerenja. Najveće prosječne visine klijanaca zabilježene su u skupinama tretiranim niskim i srednjim koncentracijama ibuprofena i acetilsalicilne kiseline te kontrolnoj skupini dok su skupine tretirane visokim koncentracijama oba lijeka pokazivale niže vrijednosti prosječne visine klijanaca. U završnim danima mjerenja rast klijanaca u većini skupina pokazuje tendenciju stabilizacije.




**Slika 5 Promjene prosječne visine klijanaca tijekom 10 dana u kontrolnoj skupini te skupinama tretiranim različitim koncentracijama A - acetilsalicilne kiseline i B - ibuprofena**

Rezultati jednosmjerne analize varijance (ANOVA) za utvrđivanje razlika u prosječnoj visini klijanaca između ispitivanih skupina prikazani su u tablici 3.

**Tablica 3 ANOVA za utvrđivanje razlike u prosječnoj visini klijanaca između različitih skupina**

| | suma kvadrata | stupnjevi slobode | sredina kvadrata | F - vrijednost | p - vrijednost |
|---|---|---|---|---|---|
| Skupina | 68,88 | 6 | 11,48 | 15,52 | <0,001 |
| Odstupanje | 305,49 | 413 | 0,74 | | |
| Ukupno | 374,38 | 419 | | | |

Jednosmjerna analiza varijance (ANOVA) pokazala je da postoje statistički značajne razlike u prosječnoj visini klijanaca između ispitivanih skupina ($F = 15,52$; $p < 0,001$), čime je odbačena nulta hipoteza o jednakosti srednjih vrijednosti (tablica 3). Kako bi se utvrdilo između kojih skupina postoje statistički

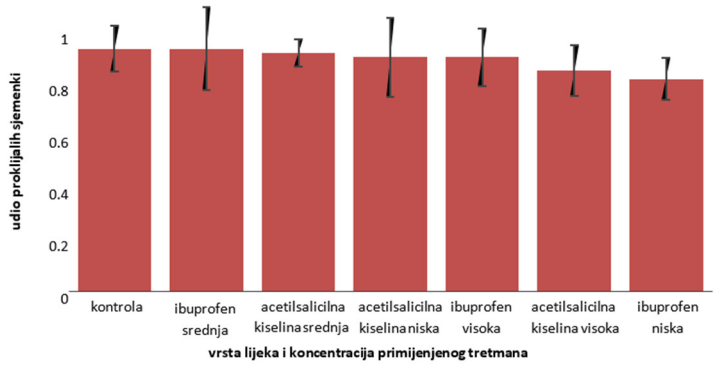
značajne razlike, proveden je Bonferronijev post-hoc test (tablica 4). Rezultati post-hoc analize pokazali su da se skupine tretirane visokim koncentracijama acetilsalicilne kiseline i ibuprofena statistički značajno razlikuju od kontrolne skupine te od skupina tretiranih nižim koncentracijama lijekova. Između kontrolne skupine i skupina tretiranih niskim i srednjim koncentracijama acetilsalicilne kiseline i ibuprofena nisu utvrđene statistički značajne razlike. Grafički prikaz promjena prosječne visine klijanaca tijekom 10 dana (slika 6) dodatno prikazuje uočene razlike među ispitivanim skupinama.

Tablica 4 Bonferronijev post-hoc test

| | Razlika sredina | Standardna pogreška | t-vrijednost | P-vrijednost | Donja granica 95 %-tnog intervala pouzdanosti | Gornja granica 95 %-tnog intervala pouzdanosti |
|---|---|---|---|---|---|---|
| AN1 - AS1 | -0,31 | 0,16 | -1,96 | 1 | -0,79 | 0,17 |
| AN1 - AV1 | 0,66 | 0,16 | 4,19 | ,001 | 0,18 | 1,14 |
| AN1 - BN1 | -0,12 | 0,16 | -0,79 | 1 | -0,60 | 0,36 |
| AN1 - BS1 | -0,36 | 0,16 | -2,26 | ,509 | -0,84 | 0,12 |
| AN1 - BV1 | 0,65 | 0,16 | 4,17 | ,001 | 0,17 | 1,13 |
| AN1 - K1 | -0,25 | 0,16 | -1,57 | 1 | -0,73 | 0,23 |
| AS1 - AV1 | 0,97 | 0,16 | 6,15 | <.001 | 0,49 | 1,45 |
| AS1 - BN1 | 0,18 | 0,16 | 1,17 | 1 | -0,30 | 0,66 |
| AS1 - BS1 | -0,05 | 0,16 | -0,30 | 1 | -0,53 | 0,43 |
| AS1 - BV1 | 0,96 | 0,16 | 6,13 | <.001 | 0,48 | 1,44 |
| AS1 - K1 | 0,06 | 0,16 | 0,39 | 1 | -0,42 | 0,54 |
| AV1 - BN1 | -0,78 | 0,16 | -4,99 | <.001 | -1,26 | -0,30 |
| AV1 - BS1 | -1,01 | 0,16 | -6,46 | <.001 | -1,49 | -0,53 |
| AV1 - BV1 | -0,00 | 0,16 | -0,02 | 1 | -0,48 | 0,48 |
| AV1 - K1 | -0,90 | 0,16 | -5,76 | <.001 | -1,38 | -0,42 |
| BN1 - BS1 | -0,23 | 0,16 | -1,47 | 1 | -0,71 | 0,25 |
| BN1 - BV1 | 0,78 | 0,16 | 4,96 | <.001 | 0,30 | 1,26 |
| BN1 - K1 | -0,12 | 0,16 | -0,77 | 1 | -0,60 | 0,36 |
| BS1 - BV1 | 1,01 | 0,16 | 6,43 | <.001 | 0,53 | 1,49 |
| BS1 - K1 | 0,11 | 0,16 | 0,70 | 1 | -0,37 | 0,59 |
| BV1 - K1 | -0,90 | 0,16 | -5,74 | <.001 | -1,38 | -0,42 |

Legenda: A - acetilsalicilna kiselina, B - ibuprofen, v - visoka, s – srednja, n – niska; K - kontrola

Bonferronijev post-hoc test (tablica 4) pokazuju da se skupine s visokom koncentracijom lijeka (AV1 i BV1) statistički značajno razlikuju od većine ostalih skupina. Konkretno, acetilsalicilna kiselina visoke koncentracije (AV1) ima značajno manju prosječnu visinu klijanaca u odnosu na acetilsalicilnu kiselinu niske i srednje koncentracije (AN1 i AS1), ibuprofen niske i srednje koncentracije (BN1 i BS1) te kontrolnu skupinu (K1) ($p < 0,001$). Slično tome, ibuprofen visoke koncentracije (BV1) pokazuje statistički značajno manju visinu klijanaca u usporedbi s ibuprofenom niske i srednje koncentracije (BN1 i BS1), acetilsalicilnom kiselinom niske i srednje koncentracije (AN1 i AS1) te kontrolnom skupinom ($p < 0,001$). Suprotno tome, niske i srednje koncentracije istog lijeka međusobno se ne razlikuju statistički značajno niti se značajno razlikuju od kontrolne skupine ($p > 0,05$), što upućuje na to da pri tim koncentracijama nema izraženog inhibitornog učinka na rast klijanaca. Također, između skupina s visokom koncentracijom acetilsalicilne kiseline i ibuprofena (AV1 i BV1) nije utvrđena statistički značajna razlika, što sugerira da oba lijeka pri visokim koncentracijama imaju sličan negativan učinak na rast klijanaca.




**Slika 6 Grafički prikaz udjela proklijalih sjemenki u kontrolnoj i pokusnim skupinama tretiranim različitim koncentracijama acetilsalicilne kiseline i ibuprofena. Gornje crte na stupcima prikazuju odstupanje rezultata unutar svake skupine**

Slika 6 pokazuje da su najveće vrijednosti udjela klijavosti zabilježene u kontrolnoj skupini te u skupinama tretiranim srednjim koncentracijama acetilsalicilne kiseline i ibuprofena, dok su niže vrijednosti uočene u skupinama tretiranim visokim koncentracijama oba lijeka. Međutim, preklapanje intervala varijabilnosti (standardnih devijacija) između skupina upućuje na to da razlike u klijavosti nisu statistički značajne. Također, Jednosmjerna analiza varijance (ANOVA) pokazala je da ne postoji statistički značajna razlika u udjelu proklijalih sjemenki između ispitivanih tretmana ($F = 0,93$; $p = 0,489$), zbog čega nulta hipoteza o jednakosti srednjih vrijednosti nije odbačena. Unatoč uočenim razlikama u srednjim vrijednostima udjela klijavosti među skupinama, te razlike nisu bile dovoljno izražene da bi se smatrale statistički značajnima.

## RASPRAVA

Rezultati ovog istraživanja jasno ukazuju na to da farmaceutske tvari, poput acetilsalicilne kiseline i ibuprofena, mogu utjecati na rane faze rasta biljaka, pri čemu je taj učinak snažnije izražen na rast klijanaca nego na samu klijavost sjemena. Visoke koncentracije oba lijeka uzrokovale su statistički značajno smanjenje prosječne visine klijanaca u usporedbi s kontrolnom skupinom te skupinama tretiranim nižim i srednjim koncentracijama, dok u udjelu proklijalih sjemenki nisu zabilježene statistički značajne razlike. Ovakvi rezultati upućuju na selektivan učinak farmaceutskih tvari na pojedine razvojne faze biljaka.

Prvom hipotezom pretpostavljeno je da će niske koncentracije acetilsalicilne kiseline imati neutralan ili blago poticajan učinak na klijanje i rani rast biljaka, dok će više koncentracije djelovati inhibitorno. Dobiveni rezultati djelomično potvrđuju ovu pretpostavku. Iako razlike u klijavosti nisu bile statistički značajne, u skupinama tretiranim niskim i srednjim koncentracijama acetilsalicilne kiseline zabilježene su veće prosječne visine klijanaca u odnosu na visoku koncentraciju. Takav se učinak može objasniti činjenicom da male količine određene tvari mogu blago potaknuti rast biljaka, dok veće količine djeluju suprotno i usporavaju njihov razvoj. Agathokleous i sur. (2018) navode da farmaceutske tvari, uključujući analgetike i antibiotike, mogu potaknuti rast u biljkama, pri čemu dolazi do privremenog poboljšanja rasta ili metabolizma pri niskim dozama.

Nadalje, kod viših koncentracija acetilsalicilne kiseline u ovom istraživanju zabilježen je značajan pad prosječne visine klijanaca, što upućuje na to da acetilsalicilna kiselina pri povišenim koncentracijama može djelovati kao stresor koji narušava normalne metaboličke procese. Poznato je da salicilati sudjeluju u regulaciji obrambenih mehanizama biljaka, ali njihova prekomjerna prisutnost može dovesti do poremećaja hormonske ravnoteže i usporavanja rasta (Li i sur., 2022; Janda i sur., 2020)

Drugom hipotezom pretpostavljeno je da će ibuprofen u svim testiranim koncentracijama negativno utjecati na klijavost i rast biljaka, pri čemu će učinak biti izraženiji pri višim koncentracijama. Rezultati ovog istraživanja djelomično potvrđuju tu hipotezu. Iako klijavost nije bila statistički značajno smanjena za nisku i srednju koncentraciju, visoka koncentracija ibuprofena imala je izražen inhibitorni učinak na rast klijanaca. Slične nalaze navode Wijaya i sur. (2020), koji ističu da biljke mogu razviti mehanizme prilagodbe na prisutnost ibuprofena u okolišu, osobito pri koncentracijama koje su bliske okolišno realnima.

Trećom hipotezom pretpostavljeno je da će se postotak klijavosti smanjivati s porastom koncentracije oba lijeka, uz izraženiji učinak kod ibuprofena. Ova hipoteza nije potvrđena. Jednosmjerna analiza varijance nije pokazala statistički značajne razlike u klijavosti među ispitivanim skupinama, što upućuje na to da proces klijanja nije bio osjetljiv na primijenjene koncentracije farmaceutskih tvari. Ovakav rezultat može se objasniti činjenicom da klijanje u velikoj mjeri ovisi o unutarnjim rezervama sjemena, koje omogućuju početni razvoj embrija neovisno o vanjskim kemijskim uvjetima. Özden i sur. (2025) navode da su rani stadiji klijanja regulirani složenim fiziološkim mehanizmima unutar sjemena koji pružaju određenu otpornost na vanjske stresore.

Značajno je istaknuti da su učinci farmaceutskih tvari u ovom istraživanju bili izraženiji na duljinu izdanka nego na klijavost, što potvrđuje da je rani rast osjetljiviji pokazatelj ekotoksičnog djelovanja od samog procesa klijanja. Ovakvi rezultati u skladu su s drugim istraživanjima koja naglašavaju važnost praćenja morfoloških i fizioloških parametara rasta pri procjeni utjecaja onečišćivača na biljni svijet.

Četvrtom hipotezom pretpostavljeno je da će ibuprofen imati jači inhibitorni učinak na rani rast biljaka u odnosu na acetilsalicilnu kiselinu pri istoj koncentraciji. Dobiveni rezultati ne potvrđuju ovu hipotezu, budući da između visokih koncentracija acetilsalicilne kiseline i ibuprofena nije utvrđena statistički značajna razlika u prosječnoj visini klijanaca. Ovakav ishod upućuje na to da oba lijeka, unatoč različitim mehanizmima djelovanja u ljudskom organizmu, mogu u biljkama inducirati slične stresne reakcije kada su prisutni u povišenim koncentracijama. Prema Wijaya i sur. (2020) ibuprofen može uzrokovati poremećaje u mineralnoj ravnoteži, sintezi klorofila i proteinskom sastavu biljaka, dok slični stresni mehanizmi mogu biti potaknuti i prisutnošću salicilata.

Hipoteza prema kojoj će oba lijeka imati snažniji učinak na rast biljaka nego na samu klijavost u potpunosti je potvrđena. Dok klijavost nije pokazala značajne promjene, visina klijanaca bila je značajno smanjena pri visokim koncentracijama oba lijeka. Ovaj rezultat dodatno naglašava važnost uključivanja parametara rasta u procjenu ekotoksičnih učinaka farmaceutskih tvari, budući da se isključivo praćenjem klijavosti mogu previdjeti suptilniji, ali ekološki relevantni učinci.

Međutim, istraživanje ima određena ograničenja koja treba uzeti u obzir pri tumačenju rezultata. Eksperiment je trajao relativno kratko i obuhvatio je samo rane faze razvoja biljaka, dok dugoročni učinci nisu ispitivani. Nadalje, istraživanje je provedeno u školskim uvjetima, koji se razlikuju od složenih prirodnih ekosustava u kojima djeluju brojni dodatni čimbenici, poput mikroorganizama u tlu, promjena vlažnosti i interakcija s drugim onečišćivačima. Također, ispitivana je samo jedna biljna vrsta, što ograničava mogućnost primjene rezultata i na ostale biljne vrste.

Korištene koncentracije acetilsalicilne kiseline i ibuprofena bile su više od onih koje se uobičajeno nalaze u okolišu, no odabrane su s ciljem simulacije ekstremnih situacija lokalnog onečišćenja uslijed nepravilnog odlaganja lijekova. Takav pristup omogućio je uočavanje jasnih učinaka u kratkom

vremenskom razdoblju te procjenu potencijalnog rizika za biljni svijet u uvjetima povišenih koncentracija farmaceutskih tvari.

## ZAKLJUČCI

Na temelju dobivenih rezultata moguće je zaključiti sljedeće:

- Visoke koncentracije acetilsalicilne kiseline i ibuprofena imaju statistički značajan inhibitorni učinak na rani rast klijanaca kres-salate, dok niske i srednje koncentracije ne pokazuju značajan negativan učinak u odnosu na kontrolnu skupinu.
- Između visokih koncentracija acetilsalicilne kiseline i ibuprofena nije utvrđena statistički značajna razlika u učinku na rast klijanaca, što upućuje na to da oba lijeka pri povišenim koncentracijama djeluju slično inhibirajuće na rani razvoj biljaka.
- Postotak klijavosti sjemenki nije pokazao statistički značajne razlike između ispitivanih skupina, što sugerira da je proces klijanja manje osjetljiv na prisutnost farmaceutskih tvari u usporedbi s kasnijim fazama rasta.
- Rani rast biljaka, izražen kroz visinu klijanaca, pokazao se osjetljivijim pokazateljem ekotoksičnog učinka farmaceutskih tvari od same klijavosti sjemena.
- Dobiveni rezultati upućuju na to da nepravilno odlaganje lijekova može predstavljati potencijalni rizik za biljni svijet.

## LITERATURA

Agathokleous E., Kitao M., Calabrese E.J. 2018. Human and veterinary antibiotics induce hormesis in plants: Scientific and regulatory issues and an environmental perspective. Environment International 120: 489–495.

Agunbiade F. O., Moodley B. 2016. Occurrence and distribution pattern of acidic pharmaceuticals in surface water, wastewater, and sediment of the Msunduzi River. Environmental Toxicology and Chemistry 35(1): 36–46.

Carlsson C., Johansson A. K., Alvan G., Bergman K., Kühler T. 2006. Are pharmaceuticals potent environmental pollutants? Part I: environmental risk assessments of selected active pharmaceutical ingredients. Science of the Total Environment 364(13): 67–87.

Čogelja Č., Osrečki G., Tomić S. 2010. Utjecaj lijekova na okoliš. Kemija u industriji 59 (7-8): 351–354.

Draganić P., Škribulja M., Šintić E., Matić S., Oštarčević S. 2025. Potrošnja lijekova u Hrvatskoj 2020. – 2024., Agencija za lijekove i medicinske proizvode – HALMED, https://www.halmed.hr/Novosti-i-edukacije/Publikacije-i_izvjesca/Publikacije/Potrosnja-lijekova-u-Hrvatskoj-od-2020-do-2024-godine/27?utm_source=chatgpt.com, pristupljeno 20.2.2026.

Eggen T., Asp T. N., Grave, K., Hormazabal V. 2011. Uptake and translocation of metformin, ciprofloxacin and narasin in forage- and crop plants. Chemosphere 85(1): 26–33.

Fent K., Weston A. A., Caminada D. 2006. Ecotoxicology of human pharmaceuticals. Aquatic Toxicology 76(2): 122–159.

Ghazal H. 2023. Pharmaceuticals contamination in the environment. Environmental Toxicology and Pharmacology 103: 104251.

Gworek B., Kijeńska M., Wrzosek J. et al. 2021. Pharmaceuticals in the soil and plant environment: a review. Water, Air, & Soil Pollution 232: 145.

Institut za vode Josip Juraj Strossmayer. 2023. Farmaceutici u površinskim vodama. Institut za vode Josip Juraj Strossmayer, https://institutjjs.hr/farmaceutici-u-povrsinskim-vodama/, pristupljeno 20.3.2026.

Janda T., Szalai G., Pál M. et al. 2020. Salicylic acid signalling in plants. Plants 9(8): 1028.

Jonjić D., Vitale K. 2014. Issues around household pharmaceutiial waste disposal through community pharmacies in Croatia. International Journal of Clinical Pharmacy 36(3): 556–563.

Koshy S. 2013. Disposal of unwanted medications: throw, bury, burn or just ignore? International Journal of Pharmacy Practice 21(2): 131–134.

Li A. Zhang, J. Sun Y. et al., 2022. Action of salicylic acid on plant growth. Frontiers in Plant Science 13: 878076.

Li W. C. 2014. Occurrence, sources, and fate of pharmaceuticals in aquatic environment and soil. Environmental Pollution 187: 193–201.

Mason N. 2024. Statistics in biology. A comprehensive guide to data processing and statistical analysis for High School Science students. https://www.scribd.com/document/813571037/Statistics-in-Biology-2024, pristupljeno 18.2.2026.

Miller T. H., Nicolas R., Bury Stewart F., Owen James I., MacRae L. P. Barron A. 2018. Review of the pharmaceutical exposome in aquatic fauna. Environmental Pollution 239: 129–146.

Molnarova L., Halesova T., Tomesova D., Vaclavikova M., Bosakova Z. 2024. Monitoring pharmaceuticals and personal care products in healthcare effluent wastewater samples and the effectiveness of drug removal in wastewater treatment plants using the UHPLC-MS/MS method. Molecules 29(7): 1480.

Narodne novine 2013. Zakon o održivom gospodarenju otpadom. Narodne Novine 94/2013, https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013_07_94_2123.html, pristupljeno 20.12.2025.

Narodne novine 2015a. Pravilnik o gospodarenju medicinskim otpadom. Narodne Novine 50/2015, https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2015_05_50_989.html, pristupljeno 20.12.2025.

Narodne novine 2015b. Pravilnik o katalogu otpada. Narodne Novine 90/2015, https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/full/2015_08_90_1757.html, pristupljeno 20.12.2025.

NHS 2026. NSAIDs. NHS, https://www.nhs.uk/medicines/nsaids/, pristupljeno 20.12.2025.

Nyagah D. M., Njagi A., Njoki Nyaga M. 2020. Pharmaceutical waste: overview, management and impact of improper disposal. Journal of PeerScientist 3(2): e1000028.

numiqo Team. 2026. numiqo: Online Statistics Calculator. numiqo e.U., https://numiqo.com, pristupljeno 20.2.2026.

Özden E., Ermiş S., Yildirim E., et al. 2025. Insights into seed germination – physiological and environmental mechanisms. IntechOpen, https://doi.org/10.5772/intechopen.1010636, pristupljeno 20.2.2026.

Pérez L. G., Navarro S. 2024. How pharmaceutical residues occur, behave, and affect the soil environment. Journal of Xenobiotics 14(4): 1343–1377.

Singh S. K., Verma D., Alok S. 2026. Review on environmental impact of improper drug disposal. International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research 9: 499–510.

Tomljenović A. 2016. Okolišne i zdravstvene posljedice upravljanja farmaceutskim otpadom. Sveučilište u Zagrebu, Medicinski fakultet, https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:105:238995, pristupljeno 20.12.2025.

Wijaya L., Alyemeni M. A., Ahmad P., Alfarhan A., Barceló D., El-Sheikh M. A., Picó Y. 2020. Ecotoxicological effects of ibuprofen on plant growth of *Vigna unguiculata* L. Plants 9(11): 1473.

Zhang C., Barron L. P., Stürzenbaum S. R. 2025. Pollution of soil by pharmaceuticals: implications for metazoan and environmental health. Annual Review Pharmacology and Toxicology 65: 547–565.