

Marketing vs. realita: využití baterie biotestů pro hodnocení akutní toxicity ekologicky šetrných detergentů

PAVLA KOVALÁKOVÁ

Klíčová slova: akutní toxicita – detergenty – tenzidy – EU Ecolabel – perloočka *Daphnia magna* – bakterie *Vibrio fischeri* – řasa *Desmodesmus subspicatus* – baterie ekotoxikologických biotestů – environmentální riziko

ABSTRAKT

Používání detergentů v domácnostech představuje významný zdroj komplexních směsí antropogenních látek vstupujících do systémů komunálních odpadních vod a následně do vodních recipientů. Tato studie se zaměřuje na komparativní hodnocení akutní ekotoxicity konvenčních detergentů a jejich ekologicky certifikovaných variant (EU Ecolabel) pomocí baterie biotestů reprezentujících různé trofické úrovně. K testování byly využity luminiscenční bakterie *Vibrio fischeri*, perloočky *Daphnia magna*, zelené řasy *Desmodesmus subspicatus* a semena hořčice bílé *Sinapis alba*.

Stanovené hodnoty EC₅₀ a úrovně inhibice při koncentraci 100 mg/l prokázaly značnou variabilitu v toxických účincích finálních formulací, která často nekorelovala s marketingovým označením „EKO“. Nejvýraznějším zjištěním byla vysoká akutní toxicita ekologicky certifikovaného pracího gelu vůči řasám (72h EC₅₀ 3,93 mg/l) a perloočkám (48h EC₅₀ 5,49 mg/l), která o řád převyšovala toxicitu konvenčního produktu. Tento efekt lze pravděpodobně vysvětlit vysokým celkovým obsahem tenzidů v ekoprojektu (až 50 %) a možným synergickým působením dalších aditiv, například enzymů. Naopak v kategorii šamponů se ekologická varianta (EC₅₀ > 100 mg/l) ukázala jako environmentálně šetrnější díky nahrazení sulfátových tenzidů neiontovými surfaktanty na bázi coco glukosidu.

Z metodologického hlediska studie potvrdila vysokou citlivost organismů *Daphnia magna* a *Desmodesmus subspicatus* vůči detergentní zátěži, zatímco semena *Sinapis alba* vykazovala vůči akutní expozici výrazně vyšší toleranci. Výsledky zdůrazňují význam experimentálního testování finálních formulací detergentů, neboť regulatorní kritéria ekoznačky EU Ecolabel zaměřená primárně na biologickou rozložitelnost složek nezaručují nižší akutní toxicitu směsi. V důsledku masového a kontinuálního používání se detergenty v hydrosféře mohou chovat jako

pseudoperzistentní polutanty, jejichž toxický tlak na vodní biotu zůstává relativně konstantní navzdory jejich teoretické biologické rozložitelnosti.

ÚVOD

Užívání detergentů v domácnostech představuje kontinuální zdroj antropogenních chemických látek vstupujících do systémů komunálních odpadních vod a následně do vodních recipientů [1, 2]. Tyto produkty, zahrnující např. prostředky na ruční mytí nádobí, prací gely, tablety do myček nádobí či šampony, jsou definovány jako komplexní směsi záměrně přidaných látek, vedlejších produktů a nečistot [3, 4]. Dominantní složku těchto formulací tvoří povrchově aktivní látky (tenzidy), které představují přibližně 15–40 % celkové hmotnosti detergentu [2, 5]. Kromě tenzidů obsahují detergenty řadu dalších aditiv, např. bělidla, enzymy, konzervační látky a vonné složky, jež mohou vykazovat vlastní toxické účinky [6, 7].

Přestože moderní čistírny odpadních vod (ČOV) odstraňují běžné tenzidy s vysokou účinností, často přesahující 90 %, část těchto látek a jejich metabolitů může přecházet do recipientů [5, 8, 9]. V důsledku masového a nepřetržitého používání detergentů se tyto látky v hydrosféře chovají jako tzv. pseudoperzistentní polutanty. Ačkoli jsou jednotlivé složky biologicky rozložitelné, jejich koncentrace v životním prostředí zůstává v důsledku kontinuálního přísunu z komunálních odpadních vod relativně stabilní. Tento jev představuje pro vodní organismy dlouhodobý toxický tlak [9]. Expozice detergentům může vyvolávat negativní biologickou odezvu zejména prostřednictvím narušení integrity buněčných membrán a ovlivnění metabolických procesů organismů [5, 6, 8, 10].

Environmentální rizika konvenčních detergentů mohou dále zvyšovat některá aditiva. Patří mezi ně např. fosfáty a fosfonáty přispívající k eutrofizaci vodních ekosystémů [2, 7], perzistentní chelatační činidla, jako je EDTA, nebo konzervační látky ze skupiny isothiazolinonů. K potenciálně problematickým složkám lze zařadit také enzymy, např. subtilisin, které mohou vykazovat vysokou akutní toxicitu pro vodní organismy [3, 11–14].

V reakci na environmentální dopady detergentů byla v Evropské unii zavedena ekoznačka EU Ecolabel (Nařízení /ES/ č. 66/2010) [15]. Kritéria této certifikace jsou založena na vědeckých principech a zaměřují se především na biologickou rozložitelnost složek (aerobní i anaerobní) a na omezení celkového toxického zatížení vodního prostředí prostřednictvím výpočtu kritického objemu zředění (Critical Dilution Volume, CDV). Součástí kritérií je rovněž omezení nebo zákaz používání látek vzbuzujících mimořádné obavy (SVHC) a látek s vysokou perzistencí či bioakumulačním potenciálem.

Navzdory těmto regulačním požadavkům, jež se primárně zaměřují na environmentální osud jednotlivých složek, nemusí marketingové označení „EKO“ vždy přímo korelovat s nízkou akutní toxicitou finální formulace pro všechny trofické úrovně [5]. V rámci kritérií EU Ecolabel jsou totiž povoleny i látky klasifikované jako vysoce toxické pro vodní prostředí, pokud splňují stanovené limity a požadavky na účinnost a biologickou rozložitelnost. V komplexní matici finálního produktu navíc může docházet k synergickým interakcím mezi tensidy a dalšími aditivami, což může modifikovat výsledný toxický účinek nad úroveň predikovanou z vlastností jednotlivých složek [5, 16, 17].

Pro objektivní hodnocení reálného dopadu detergentů na biotu byla v této práci využita baterie biotestů reprezentující různé trofické úrovně vodních i terestrických ekosystémů. Testovací sada zahrnovala luminiscenční bakterie *Vibrio fischeri*, které představují standardní indikátor mikrobiální toxicity, citlivý na široké spektrum polutantů. Bakterie navíc plní v akvatických ekosystémech významnou funkci destruentů organické hmoty. Dalším použitým organismem byla zelená řasa *Desmodesmus subspicatus*, jednobuněčný primární producent citlivý na lytické účinky detergentů a zároveň náchylný k růstové stimulaci v přítomnosti nutrientů. Vzhledem k jejich postavení na základně potravního řetězce představují řasy klíčovou trofickou úroveň vodních ekosystémů. Pro hodnocení toxicity na úrovni konzumentů byly využity perloočky *Daphnia magna*, jež patří mezi nejcitlivější modelové organismy pro testování tensidů. Tyto planktonní koryše představují významnou složku zooplanktonu a tvoří důležitý článek potravního řetězce sladkovodních ekosystémů. Testovací baterii doplňoval test fytotoxicity na semenech hořčice bílé (*Sinapis alba*), který slouží jako modelový indikátor potenciálních rizik pro terestrické organismy, např. při využívání odpadních vod nebo kalů v zemědělství. Cílem studie bylo ověřit, nakolik marketingová deklaráce ekologické šetrnosti odpovídá reálnému dopadu na vodní biotu. Práce testuje hypotézu, že certifikované detergenty vykazují nižší akutní nebezpečnost než běžné produkty, a to s přihlédnutím k synergickému působení všech složek v testovaných směsích.

MATERIÁLY A METODY

Testované látky a příprava vzorků

V rámci studie bylo testováno osm komerčně dostupných detergentů pro domácnost ve čtyřech kategoriích (mycí prostředky, prací gely, tablety do myčky a šampony) v konvenční a

ekologicky certifikované variantě. Charakteristika vzorků včetně pH a složení je uvedena v *tab. 1*. Základní pracovní roztoky o koncentraci 1 g/l byly připravovány rozpuštěním přesně naváženého množství produktu v demineralizované vodě a následně naředěny na požadovanou koncentraci. Pro finální testy byla využita logaritmická řada koncentrací začínající na koncentraci 100 mg/l. Tato hodnota byla v této studii stanovena jako horní limit testování, neboť produkty s hodnotami EC₅₀ přesahující tuto hranici již nepodléhají klasifikaci jako látky akutně toxické pro vodní prostředí podle Globálního harmonizovaného systému (GHS) a evropského nařízení CLP. Testování vyšších koncentrací navíc postrádá environmentální relevanci, jelikož běžné koncentrace tenzidů (tedy účinných látek v detergentech obsažených) v komunálních odpadních vodách dosahují typicky pouze 1–10 mg/l a po průchodu ČOV s vysokou účinností odstranění jsou v recipientu dále významně ředěny [8, 18, 19].

pH pracovních roztoků bylo dle potřeby upraveno pomocí 0,1 M NaOH a HCl na hodnotu 7,5 ± 0,5 v souladu s kritérii validity standardizovaných zkušebních protokolů. Tímto krokem byl eliminován vliv extrémní acidity či alkalinity produktů, který by mohl vyvolávat nespecifickou toxickou odezvu nezávislou na účinku obsažených látek.

Biotesty byly provedeny v akreditované laboratoři s implementovaným systémem kontroly kvality, zahrnujícím pravidelné stanovení toxicity referenční látky (dichroman draselný) pro ověření kondice testovacích organismů. Výsledky referenčních testů potvrdily, že citlivost použitých kultur odpovídala požadavkům příslušných norem.

Tab.1. Charakteristika testovaných detergentů a jejich deklarované složení

Tab. 1. Overview of tested detergents and their declared composition

Typ produktu	Eko značka	Složení	pH v koncentraci 1 g/l	Bezpečnostní list
Prací gel EKO	EU Ecolabel	15–30 % neiontové povrchově aktivní látky. 5–15 % aniontové povrchově aktivní látky. Méně než 5 % mýdlo. Obsahuje konzervační činidla (phenoxyethanol), parfémy, enzymy (subtilisin, amyláza, celulóza, mananáza)	7,3	není dostupný
Prací gel	ne	5–15 % aniontové povrchově aktivní látky, < 5 % neiontové povrchově aktivní látky, < 5 % fosfonáty, vůně (hexyl cinnamal), konzervační látky (2-bromo-2-nitropropan-1,3-diol metylchloroisothiazolinon, metylchloroisothiazolinon), enzymy	6,1	H319 H412
Tablety do myčky EKO	EU Ecolabel	5 % nebo více, avšak méně než 15 %: bělicí činidla na bázi kyslíku, polykarboxyláty; méně než 5 %: neiontové povrchově aktivní látky; enzymy	9,8	H319
Kapsle do myčky	ne	15–30 % bělicí činidla na bázi kyslíku, 5–15 % neiontové povrchově aktivní látky, < 5 % fosfonáty, polykarboxyláty, enzymy, parfémy, citronellool, limonene, linalool	10,2	H318
Mycí prostředek EKO	EU Ecolabel	5–15 % aniontové povrchově aktivní látky; < 5 % neiontové povrchově aktivní látky, amfoterní povrchově aktivní látky; phenoxyetanol; benzoát sodný; parfémy. Laurylamine dipropylendiamin, benzisothiazolinon, metylisothiazolinon (sodium laureth sulfate 10–25 %, cocamidopropyl betaine 1–3 %, alkyl, C10-16, polyglucoside 0,1–1 %)	5	H319
Mycí prostředek	ne	obsahuje méně než 5 % aniontové povrchově aktivní látky, konzervační látky (2-bromo-2-nitropropane-1,3-diol), parfém a barvivo	5,5	H319

Šampon EKO	certifikovaná přírodní kosmetika*	voda, coco-glucoside, glycerin, sodium coco-sulfate, Helianthus annuus hybrid oil, xanthanová guma, kofein, inulin, hydrolyzovaný kukuřičný protein, sodná sůl PCA, kyselina mléčná, hydrolyzovaný pšeničný protein, hydrolyzovaný sójový protein, levulinát, levulin, kyselina sodná, sodná sůl denat., Lactobacillus ferment, extrakt z listů Thymus vulgaris, mentol, sacharóza, glukóza, fruktóza, extrakt z ovoce Piper nigrum, parfém, limonene, linalool, citral, geraniol, benzylsalicylát	6,1	není dostupný
Šampon	ne	voda, sodium laureth sulfate, sodium xylenesulfonate, cocamidopropyl betaine, sodium citrate, parfém, citrát sodný, cocamide MEA, glycol distearate, piroctone olamine, dimethiconol, chlorid sodný, guar hydroxypropyltrimonium chloride, dimethicon, benzoan sodný, TEA-dodecylbenzensulfonate, salicylát sodný, hexyl cinnamal, linalool, tetrasodium EDTA, hydroxid sodný, trideceth-10, glycerin, niacinamid, panthenol, tocopheryl acetate, kyselina octová, benzylalkohol, triethylenglykol, propylenglykol, CI 42090, CI 17201	5,6	není dostupný

*Značka Natrue.org neobsahuje syntetické vonné, barvicí ani konzervační látky, látky na bázi minerálních olejů, geneticky modifikované složky a silikony. 98 % složek je klasifikováno jako biologicky rozložitelných.

H318, H319 – způsobuje vážné podráždění očí

H412 – škodlivý pro vodní organismy, s dlouhodobými účinky

Test inhibice luminiscence bakterií *Vibrio fischeri*

Akutní toxicita vůči mořským luminiscenčním bakteriím byla stanovena podle normy ISO 11348-2 s využitím kmene *Vibrio fischeri* [20]. Test byl prováděn pomocí měřicího systému LumiStox 300 (DrLange), který zahrnuje inkubační jednotku a luminometr. Osmotický tlak vzorků byl upraven přidávkem NaCl na finální koncentraci 2 %. Expozice probíhala při stabilní teplotě $15 \pm 0,2$ °C a pH 7,0 po dobu 15 a 30 minut. Cílovým parametrem byla hodnota EC₅₀, představující koncentraci způsobující 50% pokles intenzity světelné emise bakterií ve srovnání s kontrolou, vypočítaná ze šesti koncentračních bodů v rozpětí 1–200 mg/l.

Test akutní toxicity na perloočce *Daphnia magna*

Stanovení akutní imobilizace sladkovodního korýše *Daphnia magna* (Straus) bylo provedeno v souladu s metodikou ČSN EN ISO 6341 [21]. K testování bylo použito 20 jedinců mladších 24 hodin. Testy probíhaly ve statickém uspořádání po dobu 48 hodin v nádobách s 50 ml testovacího roztoku bez krmení a provzdušňování. Teplota byla udržována v rozmezí 18–20 °C s fotoperiodou 16 hodin světla a 8 hodin tmy. Jako cílový parametr byly stanoveny hodnoty EC₅₀ po 24 h a 48 h, definované jako koncentrace produktu způsobující imobilizaci u 50 % exponovaných jedinců. Pro stanovení bylo využito pět až šest koncentračních hodnot v rozpětí 0,1 (1) až 100 mg/l.

Test inhibice růstu řas *Desmodesmus subspicatus*

K hodnocení vlivu na primární producenty byl použit růstový test se sladkovodní řasou *Desmodesmus subspicatus* dle metodiky ČSN EN ISO 8692 [22]. Expozice probíhala v erlenmeyerových baňkách s počáteční hustotou 10 000 buněk/ml v kultivačním ISO médiu po dobu 72 hodin. Kultivace probíhala při teplotě 23 ± 1 °C za kontinuálního osvětlení o intenzitě $9\,000 \pm 1\,000$ luxů a stálého míchání. Hustota řasových buněk byla měřena po 72 hodinách pomocí počítací komůrky. Výsledkem byla hodnota EC₅₀, vyjadřující 50% inhibici specifické rychlosti růstu řasové kultury, která byla vypočtena z pěti hodnot v rozpětí koncentrací 1–100 mg/l.

Test fyto toxicity na semenech *Sinapis alba*

Test na semenech hořčice bílé byl proveden podle Metodického pokynu odboru odpadů ke stanovení ekotoxicity odpadů [23]. Semena (30 ks/koncentrace/miska) byla ve dvou opakováních umístěna na filtrační papír v Petriho miskách a navlhčena 5 ml testovaného roztoku o požadované koncentraci. Inkubace probíhala v termostatu bez přístupu světla po dobu 72 ± 2 hodin, při teplotě 20 ± 2 °C. Sledovaným parametrem testu byla průměrná délka kořenů semen hořčice bílé po 72 hodinách, z níž byla vypočítána inhibice růstu.

Výpočet koncentrace tenzidů ve vzorku

Vzhledem k tomu, že složení produktů je uváděno v procentuálních rozmezích, byla pro účely diskuze vypočítána maximální teoretická nálož tenzidů (tzv. worst-case scenario), přičemž tento výpočet představuje pouze teoretický odhad na základě deklarací na obalech, nikoli analyticky stanovenou hodnotu (*tab. 1*).

Vzorec pro výpočet koncentrace tenzidů v testovaném vzorku (C_{tenzid}):

$$C_{\text{tenzid}} [\text{mg/l}] = \text{EC}_{50} (\text{výrobku}) [\text{mg/l}] \times \text{obsah tenzidu} [\%] / 100$$

Statistické zpracování dat

Testy byly provedeny ve třech nezávislých opakováních. Statistická analýza zahrnovala výpočet průměrů měření a směrodatných odchylek. Hodnoty EC₅₀ byly vypočteny v programu GraphPad Prism (GraphPad Software) pomocí čtyřparametrické logistické křivky využívající nelineární regresi. Statistická významnost rozdílů mezi průměrnou hodnotou inhibice u testovaných roztoků a negativní kontrolou byla posuzována na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ ($p < 0,05$) pomocí Studentova t-testu.

VÝSLEDKY

Validita biotestů a celkový ekotoxikologický profil

Z výsledků stanovení hodnot EC_{50} (tab. 2) a inhibice při limitní koncentraci 100 mg/l (tab. 3) vyplývá, že citlivost testovaných organismů k detergentní zátěži klesala v pořadí: perloočka *Daphnia magna* > řasa *Desmodesmus subspicatus* > bakterie *Vibrio fischeri* > hořčice *Sinapis alba*.

V rámci provedené baterie biotestů vykazovala semena hořčice bílé (*Sinapis alba*) nejvyšší míru tolerance k testovaným produktům. U žádného z osmi hodnocených vzorků nebylo v testovaném koncentračním rozmezí dosaženo 50% inhibice růstu kořene, a všechny hodnoty EC_{50} jsou proto definovány jako > 100 mg/l. Podle klasifikačních standardů GHS a CLP tak testované produkty z hlediska fytotoxicity nesplňují kritéria pro klasifikaci jako akutně nebezpečné pro tento indikátor.

Při nejvyšší testované koncentraci 100 mg/l byla zaznamenána velmi nízká průměrná odezva, která nepřesáhla hranici 13 %. Výsledky statistického vyhodnocení pomocí Studentova t-testu prokázaly, že se naměřené hodnoty statisticky významně nelišily od negativní kontroly ($p > 0,05$). Tato statistická nevýznamnost je dána především vyšší variabilitou naměřených dat, kdy hodnoty směrodatných odchylek (SD) často převyšovaly průměrný inhibiční efekt.

U poloviny testovaných vzorků byla při koncentraci 100 mg/l zaznamenána negativní inhibice, tedy mírná stimulace růstu kořene. Nejvýraznější stimulační efekt byl pozorován u tablet do myčky EKO ($-12,8 \pm 18,27$ %) a kapslí do myčky Normal ($-6,17 \pm 12,2$ %). Tato odezva pravděpodobně souvisí s živinovým efektem některých složek (např. fosfonátů či rostlinných proteinů) při nízkých koncentracích, který u odolnějších organismů, jako je *S. alba*, stírá rozdíl oproti růstu v kontrolním médiu.

Zjištěná vysoká tolerance a absence negativního vlivu na počáteční vývojové fáze jsou v plném souladu s výzkumy, jež potvrzují, že detergenty v běžných koncentracích klíčivost semen neovlivňují [7, 24, 25]. Studie Uzma et al. (2018) na kukuřici prokázala, že detergenty v rozmezí 1–500 mg/l nemají na klíčivost žádný signifikantní vliv. Podobně Khan et al. (2018) uvádějí, že koncentrace tenzidů do 100 mg/l neovlivňují klíčení salátu ani řeřichy. Tato odolnost je v odborné literatuře připisována bariérové funkci osemení, které účinně chrání rostlinné embryo před průnikem toxických látek z vnějšího prostředí [25].

Tab. 2. Výsledky testů akutní ekotoxicity vyjádřené hodnotou EC_{50} [mg/l] pro vybrané bioindikátory

Tab. 2. Results of acute ecotoxicity tests expressed as EC_{50} [mg/L] for selected bioindicators

	Prací gel EKO	Prací gel Normal	Tablety do myčky EKO	Kapsle do myčky Normal	Mycí prostředek EKO	Mycí prostředek Normal	Šampon EKO	Šampon Normal
DS 72 h	3,93	25,3	73,3	> 100	> 100	> 100	> 100	17,3
DM 24 h	8,39	61,8	75,1	73,5	> 100	> 100	> 100	49,4
DM 48 h	5,49	20,1	76,5	52,3	> 100	> 100	59,5	19,8
SA 72 h	> 100	> 100	> 100	> 100	> 100	> 100	> 100	> 100
VF 30 min	21,5	79,6	>100	> 100	> 100	> 100	> 100	54,5

DS – řasa *Desmodesmus subspicatus*, DM – perloočka *Daphnia magna*, SA – klíčení rostlin *Sinapis alba*, VF – bakterie *Vibrio fischeri*.

Tab. 3. Výsledky testů akutní ekotoxicity vyjádřené jako inhibiční účinek (%) při koncentraci 100 mg/l (průměr ± SD)

Tab. 3. Results of acute ecotoxicity tests expressed as inhibitory effect (%) at a concentration of 100 mg/L (mean ± SD)

	Prací gel EKO	Prací gel Normal	Tablety do myčky EKO	Kapsle do myčky Normal	Mycí prostředek EKO	Mycí prostředek Normal	Šampon EKO	Šampon Normal
DS 72 h	99,0 (±1,27)	93,2 (± 6,16)	89,6 (± 8,80)	14,7 (± 20,1)	24,6 (± 11,3)	4,68 (± 8,12)	-59,5 (± 59,5)	99,95 (± 0,09)
DM 24 h	100 (± 0,0)	70,0 (± 30,8)	100 (± 0,0)	75,0 (± 20,7)	40,0 (± 49,0)	6,7 (± 11,5)	43,3 (± 27,3)	100 (± 0,0)
DM 48 h	100 (± 0,0)	84,0 (± 15,2)	100 (± 0,0)	94,0 (± 8,94)	46,0 (± 50,8)	13,3 (± 23,1)	86 (± 11,4)	100 (± 0,0)
SA 72 h	-0,07 (± 4,91)	7,77 (± 3,29)	-12,8 (± 18,27)	-6,17 (± 12,2)	5,48 (± 9,02)	7,03 (± 14,0)	13,0 (± 25,4)	8,18 (± 9,08)
VF 30 min	89,1 (± 0,33)	55,0 (± 1,25)	16,1 (± 3,16)	10,1 (± 0,20)	11,6 (± 6,92)	9,10 (± 6,18)	12,6 (± 5,87)	78,5 (± 1,6)

DS – řasa *Desmodesmus subspicatus*, DM – perloočka *Daphnia magna*, SA – klíčení rostlin *Sinapis alba*, VF – bakterie *Vibrio fischeri*.

Komparativní hodnocení produktů

Prací gely

Kategorie pracích gelů přinesla nejvíce překvapivé výsledky, kdy ekologicky certifikovaný produkt (prací gel EKO) vykázal signifikantně vyšší toxicitu než varianta konvenční (prací gel Normal). Prací gel EKO byl klasifikován jako vysoce toxický pro řasy (72h EC₅₀ 3,93 mg/l) i perloočky (48h EC₅₀ 5,49 mg/l), což představuje přibližně čtyřnásobně vyšší toxický tlak ve srovnání s konvenčním gelem, jehož hodnoty EC₅₀ se pohybovaly v rozmezí 20,1–25,3 mg/l. Při limitní koncentraci 100 mg/l způsobil prací gel EKO totální imobilizaci perlooček (100 %) i inhibici růstu řas (99 %), což ve spojení s nízkými hodnotami EC₅₀ prokazuje vysokou míru akutní nebezpečnosti tohoto ekoproduktu.

Šampony

U kategorie šamponů byl trend opačný a potvrdil environmentální šetrnost certifikované kosmetiky. Šampon EKO vykázal nízkou akutní toxicitu s hodnotami EC_{50} u většiny organismů nad 100 mg/l (pouze perloočky 48h EC_{50} 59,5), zatímco šampon Normal byl toxický pro řasy (EC_{50} 17,3 mg/l) i perloočky (48h EC_{50} 19,8 mg/l).

U EKO šamponu byla u řas v koncentraci 100 mg/l zaznamenána růstová stimulace (-59,5 %), což indikuje nutriční efekt obsažených rostlinných extraktů a proteinů (např. hydrolyzovaný kukuřičný, pšeničný a sójový protein). Konvenční varianta naproti tomu obsahovala sodium laureth sulfate (SLES), který přispívá k vysoké inhibici bioty. Literatura uvádí EC_{50} SLES pro *Daphnia magna* 2-20 mg/l [26, 27]. Obsah SLES v šamponu není znám, jelikož legislativa nevyžaduje uvádění procentuálních rozmezí tenzidů na obale a bezpečnostní list není pro tento typ produktu dostupný (tab. 4).

Tab. 4. Výpočet teoretického maximálního obsahu tenzidů v produktech a normalizace toxicity (EC_{50}) na účinnou složku pro *Daphnia magna*

Tab. 4. Calculation of theoretical maximum surfactant content in products and normalization of toxicity (EC_{50}) to active ingredient for *D. magna*

Typ produktu	Prací gel EKO	Prací gel Normal	Tablety do myčky EKO	Kapsle do myčky Normal	Mycí prostředek EKO	Mycí prostředek Normal	Šampon EKO	Šampon Normal
Aniontové tenzidy [%]	5–15	5–15	neuveďeno	neuveďeno	10–25 (SLES)	< 5	přítomny*	přítomny*
Neiontové tenzidy [%]	15–30	< 5	< 5	5–15	0,1–1	neuveďeno	přítomny*	neuveďeno
Ostatní tenzidy (mýdlo, amfoterní) [%]	< 5 (mýdlo)	neuveďeno	neuveďeno	neuveďeno	1–3 (amfoterní)	neuveďeno	neuveďeno	přítomny*
Celkový max. obsah tenzidů [%]	50	20	5	15	29	5	N/A*	N/A**
Koncentrace čistých tenzidů při EC_{50} [mg/l] pro <i>D. magna</i>	2,75	4,02	3,83	7,85	NS***	NS***	NS**	NS***

* Látky jsou uvedeny v seznamu složek bez procentuálního rozmezí. ** U kosmetických přípravků (šampony) legislativa nevyžaduje uvádění procentuálních rozmezí tenzidů na obale, proto nelze celkový obsah tenzidů vyčíslit. *** Nelze stanovit.

Prostředky do myček nádobí

Produkty určené do myček vykazovaly v rámci baterie biotestů střední míru toxicity, přičemž byly identifikovány signifikantní rozdíly v citlivosti jednotlivých organismů. Nejcitlivějším indikátorem pro tuto kategorii byla perloočka *Daphnia magna*, u níž se hodnoty 48h EC₅₀ pohybovaly v rozmezí 52,3 mg/l (kapsle do myčky Normal) až 76,5 mg/l (tablety do myčky EKO). Při limitní koncentraci 100 mg/l způsobily oba produkty celkovou imobilizaci perlooček (94,0 % u konvenčních kapslí a 100 % u EKO tablet), což naznačuje vysoké riziko pro vodní bezobratlé v případě lokálního přetížení recipientu.

Výrazný rozdíl byl zaznamenán v účinku na řasy *Desmodesmus subspicatus*. Zatímco konvenční kapsle vykazovaly při 100 mg/l pouze mírnou inhibici (14,7 %), EKO varianta vyvolala silné potlačení růstu (89,6 %), což koresponduje s naměřenou hodnotou EC₅₀ 73,3 mg/l. Tento paradox je pozoruhodný, neboť konvenční produkt obsahuje teoreticky vyšší nálož tenzidů (15 %) i bělicích činidel (15–30 %) než EKO tablety (5 % tenzidů a 5–15 % bělicidel). Toxicita EKO varianty je pravděpodobně ovlivněna jinými specifickými aditivami, která jsou pro řasy stresovým faktorem.

U bakterií *Vibrio fischeri* byla akutní toxicita u obou vzorků zanedbatelná, v koncentraci 100 mg/l byla inhibice nižší než 16 %, a tudíž hodnoty EC₅₀ > 100 mg/l.

Mycí prostředky

Prostředky na ruční mytí nádobí byly identifikovány jako environmentálně nejšetrnější kategorie v rámci celé studie. U všech testovaných trofických úrovní byly stanovené hodnoty EC₅₀ konzistentně vyšší než 100 mg/l, což tyto produkty podle kritérií nařízení CLP klasifikuje jako látky bez akutní nebezpečnosti pro vodní prostředí.

Při nejvyšší testované koncentraci 100 mg/l byly naměřeny pouze nízké úrovně inhibice: u perlooček vyvolal konvenční prostředek inhibici pouze 13,3 %, zatímco EKO varianta 46 %. Vyšší efekt u mycího prostředku EKO lze přisoudit vyššímu deklarovanému obsahu aniontových tenzidů SLES (až 25 %) ve srovnání s konvenčním vzorkem (< 5 %).

Výsledky testů pro bakterie a řasy ukazují, že u obou typů produktu se inhibice pohybovala v rozmezí 4,6–24,6 %, přičemž nejnižší odezva byla zaznamenána u bakterií *Vibrio fischeri* (9,1–11,6 %).

Statistické vyhodnocení pomocí Studentova t-testu potvrdilo, že u většiny organismů (s výjimkou perlooček u EKO varianty) se naměřený efekt při koncentraci 100 mg/l statisticky významně neliší od negativní kontroly ($p > 0,05$). Výsledky potvrzují, že i přes přítomnost

látek jako SLES nebo konzervačních látek (isothiazolinony) je finální toxicita těchto směsí díky zředění v pracovních roztocích velmi nízká.

DISKUZE

Výsledky této studie ukázaly výrazný rozdíl v akutní toxicitě mezi jednotlivými kategoriemi detergentů, přičemž nejvýraznější efekt byl zaznamenán u pracích gelů. Ekologicky certifikovaný prací gel vykázal o řád vyšší toxicitu vůči testovaným vodním organismům než jeho konvenční varianta. Hlavním faktorem této zvýšené toxicity však pravděpodobně nebyla samotná povaha „EKO“ formulace, nýbrž především vysoký celkový obsah tenzidů, který u EKO varianty dosahoval teoretického maxima až 50 %, zatímco u konvenčního produktu přibližně 20 % (tab. 4).

Po přepočtu hodnot EC_{50} na koncentraci čistých tenzidů se toxický profil obou produktů výrazně přiblížil. Pro *Daphnia magna* dosahovala koncentrace tenzidů při EC_{50} hodnoty přibližně 2,75 mg/l u EKO gelu a 4,02 mg/l u konvenční varianty. Tento výsledek naznačuje, že povrchově aktivní látky představují v obou typech formulací dominantní faktor určující akutní toxicitu směsi. Zjištění zároveň potvrzuje, že i látky s relativně příznivou biologickou rozložitelností mohou při vysoké koncentraci ve finálním produktu vyvolávat významný toxický tlak na vodní organismy. Naměřené hodnoty EC_{50} se navíc blíží environmentálně relevantním hladinám tenzidů, které se obvykle na odtocích ČOV pohybují pod hodnotou 1 mg/l [8, 18, 31], ale naměřeny byly i hodnoty aniontových tenzidů přes 8 mg/l [18]. Literatura uvádí, že k chronickým toxickým účinkům na vodní biotu dochází u tenzidů již při koncentracích kolem 0,1 mg/l, což naznačuje reálné riziko akutního i chronického toxického vlivu již při mírném lokálním přetížení recipientu.

Nicméně výsledky normalizace toxicity na čistý tenzid je nutné interpretovat s vědomím značné nejistoty, která vyplývá z praxe výrobců deklarovat složení pouze v širokých procentuálních rozmezech. Použitý odhad (worst-case scenario) počítající s maximální možnou koncentrací může vést k teoretickému nadhodnocení nálože tenzidů. Tato netransparentnost složení u komerčních směsí, kombinovaná s nemožností vyčíslit obsah tenzidů u šamponů, potvrzuje, že pro vodohospodářskou praxi je validnějším nástrojem přímé testování finálních formulací jako celku, které jako jediné dokáže zachytit synergické interakce všech aditiv.

Mírně vyšší toxicitu EKO gelu i po přepočtu na obsah tenzidů lze pravděpodobně přičíst synergickému působení dalších aditiv, zejména enzymů. Např. proteolytický enzym subtilisin

je klasifikován jako látka vysoce toxická pro vodní organismy (H400) a literatura uvádí jeho schopnost poškozovat buněčné struktury již při relativně nízkých koncentracích [6]. Tyto výsledky podporují předpoklad, že výsledná toxicita detergentních formulací je určována nejen koncentrací tenzidů, ale také komplexními interakcemi mezi jednotlivými složkami směsi.

Nezbytnost testování finálních produktů jako celku, nikoli pouze jejich izolovaných složek, potvrzuje i paradox pozorovaný u tablet do myčky. Zde EKO varianta vyvolala u řas silnou inhibici (89,6 %), zatímco konvenční kapsle pouze mírnou (14,7 %), a to navzdory faktu, že konvenční produkt obsahuje trojnásobně vyšší nálož tenzidů (15 % vs. 5 %). To dokládá, že v komplexních směsích dochází k synergickým interakcím, jež mohou výsledný toxický účinek zesílit nad úroveň predikovanou z vlastností jednotlivých komponent.

V kontextu diskuze o environmentálních dopadech detergentů hraje zásadní roli interpretace označení „EKO“, které spotřebitelé vnímají jako příslib nižší toxicity a vysoké biologické rozložitelnosti [5, 27]. Průzkumy trhu naznačují, že více než 50 % zákazníků je ochotno si za takové produkty připlatit. Přesto však v literatuře panuje oprávněná skepse vůči marketingovým tvrzením, jež nejsou podložena nezávislou certifikací, neboť proprietární složení produktů často neumožňuje veřejnou kontrolu všech obsažených látek [5].

Navzdory přísným regulatorním požadavkům pro udělení ekoznačky EU Ecolabel, které se primárně zaměřují na biologickou rozložitelnost a environmentální osud jednotlivých složek, výsledky této studie potvrzují, že environmentální označení nemusí být absolutní zárukou nižší akutní toxicity finální formulace pro všechny trofické úrovně. Tento nálezný je v plném souladu se závěry Graye (2022), jenž rovněž dokumentoval případy, kdy byly „EKO“ produkty pro vodní bezobratlé toxičtější než jejich konvenční alternativy [5]. Shodu lze nalézt i u Igos (2014), která uvádí, že u tablet do myček nevykazovala formulace s ekoznačkou významnou výhodu oproti standardním bezfosfátovým produktům, přičemž jejich ekotoxický potenciál byl téměř identický [28].

Tato zjištění podtrhují nutnost testování celých směsí, neboť synergické interakce mezi povolenými aditivami (např. enzymy, vonnými látkami či konzervanty) mohou modifikovat výslednou toxicitu nad úroveň predikovanou z jednotlivých složek [6, 16].

Předložená studie se primárně zaměřuje na akutní ekotoxicitu finálních formulací, což představuje nezbytný základní krok pro hodnocení environmentálních rizik, avšak s určitými metodickými limitacemi. Hlavní omezení spočívá v absenci dat o chronické toxicitě, která je pro detergenty jakožto pseudoperzistentní polutanty klíčová; dlouhodobá expozice subletálními koncentracím v recipientu může totiž ovlivňovat reprodukci, růst a fyziologické funkce bioty způsobem, který krátkodobé testy nedokážou zachytit [9, 29]. Studie se dále nezabývala

hodnocením genotoxicity a mutagenity, přičemž odborná literatura potvrzuje, že komplexní směsi tenzidů a specifických aditiv mohou indukovat poškození DNA nebo zvyšovat frekvenci mikrojadér i při koncentracích, jež nezpůsobují okamžitý úhyn [6, 16, 30]. Dalšími limitujícími faktory jsou neprobádaný potenciál pro endokrinní disrupci [31, 32] a absence sledování toxicity biodegradačních meziproduktů, které mohou v některých případech vykazovat vyšší nebezpečnost než mateřské látky [11, 16]. Je rovněž vhodné uvést, že v rámci jednotlivých kategorií byl testován omezený počet přípravků, což může do určité míry limitovat zobecnitelnost získaných výsledků; pozorované rozdíly proto nelze jednoznačně interpretovat jako obecně platný trend. Rozšíření baterie testů o výše zmíněné aspekty bude předmětem navazující studie, která umožní vytvořit komplexnější obraz o dlouhodobém environmentálním dopadu moderních detergentů.

ZÁVĚR

Z výsledků této studie vyplývá, že pro vodohospodářskou praxi a hodnocení environmentálních rizik je nezbytné testovat finální produkty jako celek, nikoli spoléhat pouze na teoretické výpočty (např. kritický objem zředění – CDV) nebo marketingová označení [16]. Experimentální data potvrzují, že označení „EKO“ nelze automaticky ztotožňovat s nízkou akutní toxicitou, což je v souladu se zjištěními dřívějších studií, jež rovněž dokumentovaly případy vyšší toxicity „zelených“ produktů pro vodní organismy [5]. Zatímco certifikace EU Ecolabel garantuje lepší biodegradabilitu a omezení perzistentních látek, v případě nárazového úniku neředěných produktů do recipientu nemusí tento benefit znamenat nižší riziko pro biotu. Hlavním faktorem ovlivňujícím toxicitu zůstávají vysoce koncentrované formulace, u nichž je vnitřní nebezpečnost směsi dána extrémní náloží tenzidů (až 50 %) a přítomností specifických aditiv, která mohou díky synergickým interakcím poškozovat buněčné membrány i při nízkých koncentracích. Studie tak podtrhuje kritickou nezbytnost využívání baterie biotestů pro validaci environmentálních tvrzení výrobců v rámci regulačních procesů, neboť pouze přímé testování komplexních směsí umožní zachytit reálný toxický tlak na vodní ekosystémy [16].

Poděkování

Příspěvek vznikl v rámci dlouhodobých výzkumných aktivit VÚV TGM podpořených z prostředků institucionální podpory Ministerstva životního prostředí ČR pro dlouhodobou koncepci rozvoje výzkumné organizace.

Literatura

- 1) GHEORGHE, S. et al. Comparative Toxicity Effects of Cleaning Products on Fish, Algae and Crustacea. In: *International Symposium "The Environment and the Industry", SIMI 2019 Proceedings Book. Bucharest, Romania, September 26–27, 2019.* 2019, s. 165–171.
- 2) MNIF, I. et al. Biosurfactants as Emerging Substitutes of Their Synthetic Counterpart in Detergent Formula. *Sustainability.* 2023, 15(12), 9208.
- 3) Evropský parlament a Rada. Nařízení (ES) č. 1272/2008 o klasifikaci, označování a balení látek a směsí (CLP). *Úřední věstník Evropské unie.* L 353/1.
- 4) Evropský parlament a Rada. Nařízení (ES) č. 1907/2006 o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek (REACH). *Úřední věstník Evropské unie.* L 396/1.
- 5) GRAY, A. D. et al. Are Green Household Consumer Products Less Toxic than Conventional Products? An Assessment in Fresh and Saltwater Using *Daphnia magna* and *Americamysis bahia*. *Environmental Toxicology and Chemistry.* 2022, 41(10), s. 2 444–2 453. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/etc.5435>
- 6) SOBRINO-FIGUEROA, A. S. Toxic Effect of Commercial Detergents on Organisms from Different Trophic Levels. *Environmental Science and Pollution Research.* 2018, 25, s. 13 283–13 291. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7861-0>
- 7) TKACHUK, N., ZELENÁ, L. Phytotoxicity of the Aqueous Solutions of Some Dishwashing Detergents for Dishwashers with Phosphonates and without Phosphates. *Journal of Environmental Science and Health, Part A.* 2025, 59(11–14), s. 574–582. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/10934529.2025.2450920>
- 8) BADMUS, S. O. et al. Environmental Risks and Toxicity of Surfactants: Overview of Analysis, Determination, and Remediation Techniques. *Environmental Science and Pollution Research.* 2021, 28, s. 62 085–62 104. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16483-w>
- 9) LIANG, W. et al. Prediction of Freshwater Ecotoxicological Hazardous Concentrations of Major Surfactants Using the QSAR–ICE–SSD Method. *Environment International.* 2024, 185, 108472. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108472>
- 10) LECHUGA, M. et al. Acute Toxicity of Anionic and Non-Ionic Surfactants to Aquatic Organisms. *Ecotoxicology and Environmental Safety.* 2016, 125, s. 1–8. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.11.027>
- 11) RICHARDSON, S. D., KIMURA, S. Y. Emerging Environmental Contaminants: Challenges Facing Our Next Generation. *Environmental Technology & Innovation.* 2017, 8, s. 40–56. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2017.04.002>
- 12) Evropská komise. Rozhodnutí Komise (EU) 2017/1214, kterým se stanoví ekologická kritéria pro udělování ekoznačky EU mycím prostředkům pro ruční mytí nádobí. *Úřední věstník Evropské unie,* 2017. L 180/1.
- 13) Evropská komise. Rozhodnutí Komise (EU) 2017/1216, kterým se stanoví ekologická kritéria pro udělování ekoznačky EU mycím prostředkům do myček nádobí. *Úřední věstník Evropské unie,* 2017. L 180/31.
- 14) Evropská komise. Rozhodnutí Komise (EU) 2017/1218, kterým se stanoví ekologická kritéria pro udělování ekoznačky EU pracím prostředkům. *Úřední věstník Evropské unie,* 2017. L 180/63.

- 15) Evropský parlament a Rada. Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 66/2010 ze dne 25. listopadu 2009 o ekoznačce EU. *Úřední věstník Evropské unie*, 2009. L 27/1.
- 16) PEDRAZZANI, R. et al. Biodegradability, Toxicity and Mutagenicity of Detergents: Integrated Experimental Evaluations. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2012, 84, s. 274–281. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2012.07.023>
- 17) BAVCON KRALJ, M. et al. Dish Handwashing: An Overlooked Source of Contamination. *Environmental Chemistry Letters*. 2019, 18, s. 181–185. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10311-019-00918-5>
- 18) TABAK, H. H. et al. Measurement of Nonionic Surfactants in Aqueous Environments. *EPA Municipal Environmental Research Laboratory Report*, 1972.
- 19) MÖSCHE, M., MEYER, U. Toxicity of Linear Alkylbenzene Sulfonate in Anaerobic Digestion: Influence of Exposure Time. *Water Research*. 2002, 36(13), s. 3 253–3 260. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(02\)00034-9](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(02)00034-9)
- 20) ČSN EN ISO 11348-2 *Jakost vod – Stanovení inhibičního účinku vzorků vody na světelnou emisi Vibrio fischeri (Zkouška na luminiscenčních bakteriích) – Část 2: Metoda s kapalně sušenými bakteriemi.*
- 21) ČSN EN ISO 6341:2013. *Jakost vod — Stanovení inhibice pohyblivosti Daphnia magna Straus (Cladocera, Crustacea) — Zkouška akutní toxicity* (odpovídá ISO 6341:2012).
- 22) ČSN EN ISO 8692:2012. *Jakost vod – Zkouška inhibice růstu sladkovodních řas s jednobuněčnými zelenými řasami* (odpovídá ISO 8692:2012).
- 23) Ministerstvo životního prostředí. Metodický pokyn odboru odpadů ke stanovení ekotoxicity odpadů. *Věstník Ministerstva životního prostředí*. 2007, XVII(4), s. 1–25.
- 24) UZMA, S. et al. Phytotoxic Effects of Two Commonly Used Laundry Detergents on Germination, Growth, and Biochemical Characteristics of Maize (*Zea mays* L.) Seedlings. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2018, 190, 651. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10661-018-7031-6>
- 25) KHAN, M. S. et al. Uptake and Phytotoxic Effect of Benzalkonium Chlorides in *Lepidium sativum* and *Lactuca sativa*. *Journal of Hazardous Materials*. 2018, 206, s. 490–497. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.10.077>
- 26) SAYEED, S. Y., GOYAL, A. Eco-Friendly Biosurfactants in Shampoo – Green Chemistry Innovations for Sustainable Personal Care. *Journal of Dermatologic Science and Cosmetic Technology*. 2025, 2(3), 100105. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jdsct.2025.100105>.
- 27) KANYAMA, T. et al. Natural Soap is Clinically Effective and Less Toxic and More Biodegradable in Aquatic Organisms and Human Skin Cells than Synthetic Detergents. *PLoS One*. 2025, 20(6), e0324842. Dostupné z: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0324842>
- 28) IGOS, E. et al. Development of USEtox Characterisation Factors for Dishwasher Detergents Using Data Made Available. *Chemosphere*. 2013, 100(8), s. 160–166. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.11.041>
- 29) LAVORGNA, M. et al. Toxicity and Genotoxicity of the Quaternary Ammonium Compound Benzalkonium Chloride (BAC) Using *Daphnia magna* and *Ceriodaphnia dubia* As Model Systems. *Environmental Pollution*. 2016, 210, s. 34–39. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.11.042>

- 30) HOROZAL, A., AKSOY, Ö. Evaluation of the Genotoxicity of Some Standart and Eco-Friendly Detergents with *Vicia faba*. *Caryologia*. 2020, 73(4), s. 129–139. Dostupné z: <https://doi.org/10.13128/caryologia-856>
- 31) ISIDORI, M. et al. Toxicity on Crustaceans and Endocrine Disrupting Activity on *Saccharomyces cerevisiae* of Eight Alkylphenols. *Chemosphere*. 2006, 64(1), s. 135–143. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.10.047>
- 32) SEELAND, A. et al. Acute and Chronic Toxicity of Benzotriazoles to Aquatic Organisms. *Environmental Science and Pollution Research*. 2012, 19(5), s. 1 781–1 790. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11356-011-0705-z>

Autorka

Mgr. Pavla Kovaláková, Ph.D.

pavla.kovalakova@vuv.cz

ORCID: 0000-0001-8294-5101

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Ostrava (Česká republika)

Příspěvek prošel recenzním řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2026.03.004

ISSN 0322-8916/© 2026 Autorka. Tuto práci je kdokoli oprávněn šířit a využívat za podmínek licence CC BY-NC 4.0

MARKETING VS. REALITY: USING A BATTERY OF BIOASSAYS TO ASSESS THE ACUTE TOXICITY OF ENVIRONMENTALLY FRIENDLY DETERGENTS

KOVALÁKOVÁ, P.

T. G. Masaryk Water Research Institute, Ostrava (Czech Republic)

Keywords: acute toxicity – detergents – surfactants – EU Ecolabel – water flea *Daphnia magna* – bacterium *Vibrio fischeri* – green algae *Desmodesmus subspicatus* – battery of biotests – environmental risk

Household detergents represent an important source of complex mixtures of anthropogenic substances entering municipal wastewater systems and subsequently aquatic receiving environments. This study presents a comparative assessment of the acute ecotoxicity of

conventional detergents and their environmentally certified counterparts (EU Ecolabel) using a battery of bioassays representing different trophic levels. The tests included the luminescent bacterium *Vibrio fischeri*, the water flea *Daphnia magna*, the green alga *Desmodesmus subspicatus*, and seeds of white mustard *Sinapis alba*.

The determined EC₅₀ values and inhibition levels at a concentration of 100 mg/L revealed substantial variability in the toxic effects of the final formulations, which often did not correlate with the “eco” marketing label. The most notable finding was the high acute toxicity of an environmentally certified laundry gel towards algae (72h EC₅₀ 3.93 mg/L) and daphnia (48h EC₅₀ 5.49 mg/L), exceeding the toxicity of the conventional product by an order of magnitude. This effect can likely be explained by the high total surfactant content in the eco-product (up to 50 %) and potential synergistic interactions with additional additives such as enzymes. In contrast, within the shampoo category, the eco-variant (EC₅₀ > 100 mg/L) showed lower toxicity due to the replacement of aggressive sulfate surfactants with non-ionic surfactants based on Coco-Glucoside.

From a methodological perspective, the study confirmed that *Daphnia magna* and *Desmodesmus subspicatus* are the most sensitive bioindicators of detergent exposure, while *Sinapis alba* seeds exhibited a considerably higher tolerance to acute exposure. The results highlight the importance of experimental testing of complete product formulations, as regulatory criteria of the EU Ecolabel primarily focused on biodegradability do not necessarily guarantee lower acute toxicity of the mixture. Due to their widespread and continuous use, detergents may behave as pseudopersistent pollutants in aquatic environments, maintaining a relatively constant toxic pressure on aquatic biota despite the theoretical biodegradability of their individual components.