

# Jak hodnotit ekotoxicitu v kontextu recyklace ve stavebnictví?

**Klára Anna Mocová<sup>1</sup>, Diana Mariaková<sup>2</sup>, Magdaléna Dibdiaková<sup>1,3</sup>, Jakub Diviš<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Fakulta technologie ochrany prostředí, Ústav chemie ochrany prostředí, 166 28, Praha 6, Klara.Mocova@vscht.cz

<sup>2</sup>České vysoké učení technické v Praze, Univerzitní centrum energeticky efektivních budov, 273 43, Buštěhrad

<sup>3</sup>Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Ústav životního prostředí, 128 00 Praha 2

## Souhrn

Stanovit ekotoxicitu je možné v různých fázích životního cyklu stavebních materiálů. Zkoušky jsou vyžadovány pro hodnocení recyklátů, konstrukčních směsí, ale také odpadů pocházejících z jiných odvětví, než je stavebnictví. Chemické složení i ekotoxicita se hodnotí u vodných výluhů pevných vzorků. Postup přípravy výluhu by měl být volen s ohledem na cíl analýzy. Vzorky by měly být ve formě budoucího použití (drcené vs. monolitické vzorky) a stejně tak by měla být volena i metoda louhování (poměr pevného vzorku a vyluhovadla, doba louhování).

**Klíčová slova:** stavební a demoliční odpad, recykláty, výluhy, testy ekotoxicity

## Summary

It is possible to determine ecotoxicity in different phases of the life cycle of building materials. Tests are required to evaluate recycled aggregates, construction mixes and other sectors' waste. The chemical composition and ecotoxicity are evaluated in aqueous leachates of solid samples. The procedure for preparing the leachate should be chosen concerning the goal of the analysis. The samples should be in the form of future use (crushed vs. monolithic samples), and the leaching method (solid sample to leachate ratio, leaching time) should also be chosen.

**Key words:** construction and demolition waste, recycled aggregates, leachate, ecotoxicity tests

## Úvod

Přibližně od doby průmyslové revoluce dramaticky vzrůstá velikost celosvětové lidské populace. Ruku v ruce s tím se také zvyšují nároky na bydlení, a tedy roste těžba nerostných primárních surovin, na druhé straně pak vzniká stavební a demoliční odpad, který je zpravidla nerozložitelný a zejména v minulosti končil na skládkách. Logickým krokem je tedy snaha o opětovné využití odpadů ve stavebním sektoru. S ohledem na možný obsah potenciálně nebezpečných látek je ale nutné posoudit účinky na životní prostředí.

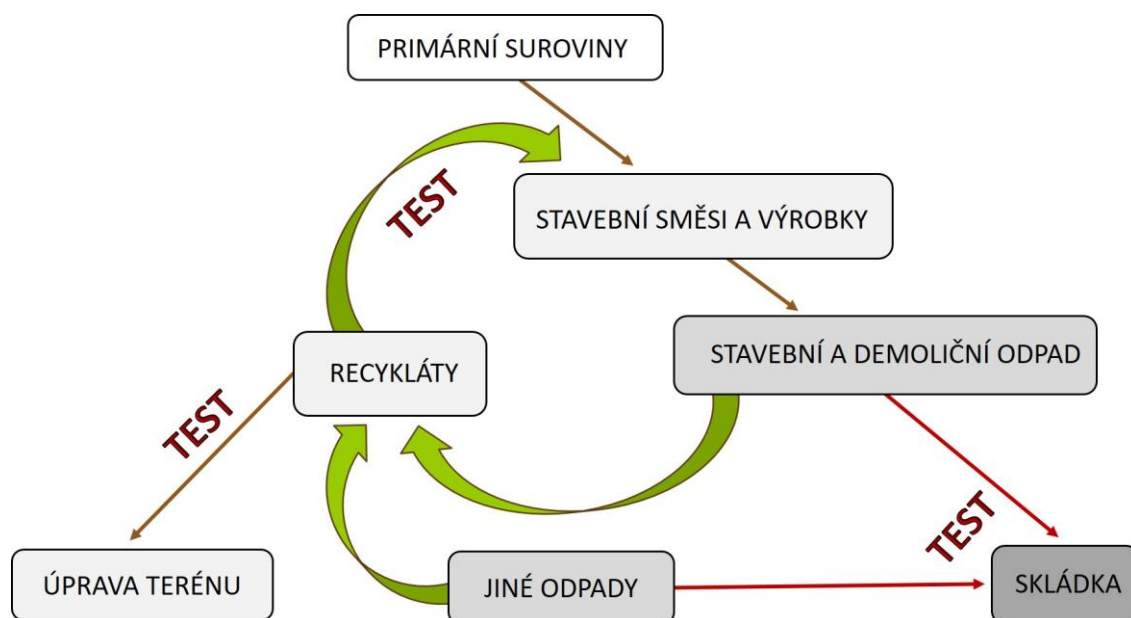
## Obecné testování ekotoxicity

Testy ekotoxicity byly navrženy tak, aby byly snadno proveditelné, relativně rychlé a zároveň s dostatečnou vypovídací hodnotou. Přestože existují tzv. kontaktní (půdní) testy, kdy jsou pevné vzorky ve směsích s půdou testovány pomocí půdních organismů, běžnější formou jsou testy aquatické. Ty umožňují hodnocení nejen vodných vzorků, ale také pevných materiálů, ze kterých se připraví vodné výluhy. Důležitým hlediskem je volba takové sady testovacích organismů, aby byly zastoupeny všechny trofické úrovně v ekosystému, tj. producenti (nejčastěji jednobuněčné zelené řasy), konzumenti

(bezobratlí živočichové, zejména drobní korýši) a destruenti (především bioluminiscenční bakterie). Podstatou ekotoxikologické zkoušky je umístit testovací organismy do testovaného prostředí (vodný vzorek, výluh nebo pevný vzorek v půdě) a po určité době expozice vyhodnotit účinky na jejich růst a kondici. Obecně se sleduje růst organismů, a to na různých úrovních biologické hierarchie, zejména jako úhyn jedinců či rozmnožování, růst orgánů, případně některé biochemické parametry. Odezva exponovaných organismů je porovnávána s kontrolními organismy ponechanými v čistém prostředí (kultivační vodné médium, případně půda dobré kvality). Pokud dojde vlivem testovaného vzorku ke snížení růstu organismů, hovoříme o inhibici, která nabývá hodnot 0-100 %. (100% inhibice růstu znamená nulový růst, rozmnožování či úhyn všech organismů, zatímco při nulové inhibici není rozdíl mezi testovanou a kontrolní skupinou organismů.) V případě, že testovaný vzorek způsobí naopak vyšší rychlost růstu či rozmnožování jedinců než v kontrole, hovoříme o stimulaci růstu. Stimulace se vyjadřuje v záporných hodnotách procent. Jak výrazná inhibice, tak výrazná stimulace růstu způsobená vzorkem poukazuje na narušení ekologické rovnováhy a je zřejmé, že testovaný vzorek by neměl přijít do přímého kontaktu s životním prostředím.

### Stavebnictví, recyklace a ekotoxicita

Na Obrázku 1 jsou znázorněny rovnými šipkami obvyklé jednosměrné cesty stavebních materiálů vedoucí od primárních nerostných surovin po stavební a demoliční odpad končící na skládkách. Zelené šipky naopak ukazují možnosti opětovného využití nejen stavebního a demoličního odpadu, ale také odpadu z jiných odvětví, a to buď na úpravu terénu, nebo jako částečnou náhradu primárních surovin ve stavebních směsích. Při nakládání s odpady jsou vyžadovány zkoušky, kterými se posuzuje riziko uvolňování nebezpečných látek do prostředí a jejich vliv na živé organismy, tedy ekotoxicitu. Protože jen látky, které jsou biodostupné, mohou být škodlivé, a k cílovým organismům jsou nejčastěji transportovány ve vodném roztoku, provádí se zejména analýzy vodných výluhů. V návaznosti na chemické analýzy výluhů pevných vzorků je testována ekotoxicita. V případě ukládání odpadů na povrch (skládky či terén) je tato zkouška povinná a legislativně ukotvená, zatímco normy pro testování stavebních výrobků jsou ve fázi vývoje. V tomto textu se omezíme na výluhové zkoušky, neboť kontaktní (půdní) testy ekotoxicity nejsou v případě stavebních materiálů běžně prováděny.



**Obrázek 1: Schéma životního cyklu stavebních materiálů, odpadů a recyklátů. Rovné šipky označují obvyklé jednosměrné cesty, oblé šipky znázorňují možnosti recyklace. „TEST“ - fáze cyklu, kdy jsou nejčastěji požadovány testy ekotoxicity. „JINÉ ODPADY“ - odpady, které nepocházejí ze stavebnictví, ale mohou být využity pro přípravu stavebních směsí.**

## Varianty vyluhovacích zkoušek

Způsobů louhování je vícero, vybrané postupy shrnuje Tabulka 1. Liší se především ve velikosti louhovaných částic (monolity vs. drcené vzorky či granuláty), poměrem pevného vzorku a vyluhovací kapaliny, případně délkou louhování. Postup louhování by měl odrážet cíl zkoušky, tj. formu a použití pevného vzorku. Např. betonové stavební směsi byly v některých studiích (Hybska et al. 2017, Rodrigues et al. 2020) po zatuhnutí a zrání rozdrčeny a louhovány v podobě homogenizátu na třepačce „hlava-pata“, kde je množství vyluhovací kapaliny dáno hmotností pevného vzorku. Pokud je však cílem používat materiál ve formě bloků větších rozměrů, jeví se jako smysluplnější louhovat tyto vzorky ve formě monolitů. K tomu účelu byly navrženy postupy, kde se objem vyluhovací kapaliny vypočítává na základě celkové plochy monolitu.

Zatímco vyluhovací zkouška pro monolitické vzorky odpadu je jednostupňová a trvá 24 h, monolitické stavební výrobky se louhují v osmi krocích, kdy se doba louhování zvyšuje postupně od 6 hodin až po 28 dní a po každém kroku dochází k výměně vyluhovací kapaliny. S ohledem na rozsah této vyluhovací zkoušky je poměrně komplikované testovat ekotoxicitu po všech osmi krocích louhování (již během prvních 96 hodin se kapalina vyměňuje čtyřikrát). Z kapacitních důvodů byla v mezilaboratorní studii z roku 2021 ekotoxická hodnocena pouze po prvním kroku louhování, tj. po šesti hodinách (Heisterkamp et al. 2021). Doba prvního kroku však představuje velmi krátký úsek z celkové doby louhování monolitu, a proto je na místě provést podrobnější studie s modelovými vzorky, kdy bude ekotoxická otestována také po dalších krocích, ve kterých louhování trvá již několik dní nebo týdnů.

**Tabulka 1: Vybrané metody přípravy výluhů ze stavebních odpadů a výrobků. (\* - pro deskové a tabulové výrobky může být aplikován nižší poměr.)**

Metoda	Typ vzorku	Způsob louhování	Doba louhování	Poměr vyluhovací kapaliny a pevného vzorku
ČSN EN 12457-4	Homogenizovaný (odpad)	Na třepačce	24 h	1000 mL / 100 g
ČSN P CEN/TS 15862	Monolit (odpad)	Statický	24 h	12 mL / 1 cm <sup>2</sup>
ČSN P CEN/TS 16637-2	Monolit (stavební výrobek)	Statický s výměnou kapaliny	8 kroků, 64 dní celkem	8 mL / 1 cm <sup>2</sup> *

## Závěr

Otázkou zůstává, v jakých fázích životního cyklu stavebních materiálů a výrobků je nutné testy ekotoxicity provádět. Zcela na místě je testování všech materiálů, u nichž má docházet k přímému kontaktu s prostředím, jako je úprava povrchu polních cest pomocí protříděných recyklátů. V takovém případě je nutné, aby materiál nenarušoval přirozenou harmonii v ekosystému. Pokud samotný recyklát ekotoxicitu způsobuje, je možné uvažovat o jeho zabudování do betonových směsí, které budou využity např. pro základy staveb. Díky solidifikaci v betonu lze účinně snížit biodostupnost škodlivých látek, snížit objem vznikajících odpadů a zároveň chránit životní prostředí tím, že se omezí těžba nerostných surovin.

## Seznam literatury

- ČSN EN 12457-4 (2003): Charakterizace odpadů – Vyluhování – Ověřovací zkouška vyluhovatelnosti zrnitých odpadů a kalů – Část 4: Jednostupňová vsádková zkouška při poměru kapalné a pevné fáze 10 l/kg pro materiály se zrnitostí menší než 10 mm (bez zmenšení velikosti částic nebo s ním). Český normalizační institut, Praha
- ČSN P CEN/TS 15862 (2013): Charakterizace odpadů – Vyluhovací zkouška shody – Jednostupňová vsádková vyluhovací zkouška pro monolitické odpady při určeném poměru objemu kapaliny k ploše povrchu ( $L/A$ ) pro zkušební podíly se stanovenými minimálními rozměry. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha
- ČSN P CEN/TS 16637-2 (2015): Stavební výrobky – Posuzování uvolňování nebezpečných látek – Část 2: Horizontální dynamická zkouška vyluhováním z povrchu. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha
- Heisterkamp I, Ratte M, Schoknecht U, Gartiser S, Kalbe U, Ilvonen O (2021): Ecotoxicological evaluation of construction products: inter-laboratory test with DSLT and percolation test eluates in an aquatic biotest battery. *Environmental Sciences Europe* 33
- Hybska H, Hroncova E, Ladomersky J, Balco K, Mitterpach J (2017): Ecotoxicity of Concretes with Granulated Slag from Gray Iron Pilot Production as Filler. *Materials (Basel)* 10
- Rodrigues P, Silvestre JD, Flores-Colen I, Viegas CA, Ahmed HH, Kurda R, de Brito J (2020): Evaluation of the Ecotoxicological Potential of Fly Ash and Recycled Concrete Aggregates Use in Concrete. *Applied Sciences* 10