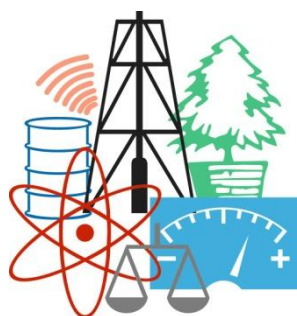


WASTE FORUM



ELECTRONIC PEER-REVIEWED AND OPEN-ACCESS JOURNAL ON
ALL TOPICS OF INDUSTRIAL AND MUNICIPAL ECOLOGY

RECENZOVANÝ ČASOPIS PRO VÝSLEDKY VÝZKUMU A VÝVOJE
Z OBLASTI PRŮMYSLOVÉ A KOMUNÁLNÍ EKOLOGIE

YEAR 2024

No. 3

Pages 179 – 248

Partner of the issue / Partner čísla

Týden výzkumu a inovací pro praxi a životní prostředí TVIP 2024

Research and Innovation Week for Practice and the Environment

(12. – 14. 11. 2024, Hustopeče)

www.tvip.cz



Czech Environmental Management Center 2024

OBSAH / INDEX

Úvodní slovo šéfredaktora / Editorial	181
Pro autory / For authors	182
Snížení obsahu iontů cesia a stroncia ve vodách pomocí přírodního zeolitu Remove of cesium and strontium ions in water using natural zeolite Eva MIŠTOVÁ, Jelena TOROPITSYNA, Miloslav HOUŠŤAVA, Lenka MATOUŠKOVÁ, Helena PARSCHOVÁ, Luděk JELÍNEK	183
Podpora produkce zelených řas v provozu bioplynové stanice Supporting green algae production in biogas plant operation Pavla TOMÁŠOVÁ, Marek ŠÍR, Zuzana HONZAJKOVÁ, Jana CHUMCHALOVÁ, Jiří HENDRYCH, Eva MARCÍNKOVÁ, Martin KUBAL	197
Application of Environmental Management Measures in Accommodation Facilities: Evidence From Czechia Uplatňování opatření environmentálního managementu v ubytovacích zařízeních: Důkaz z Česka Petr SCHOLZ, Ivica LINDEROVÁ, Pavla VRABCOVÁ	207
Bridging the gaps: recommendations for improving the status quo pertaining to textile waste data discrepancies in the Czech Republic Překlenutí mezer: Komplexní analýza nesrovnalostí v datech o textilním odpadu v České republice Soňa KLEPEK JONÁŠOVÁ, Bedřich MOLDAN, Andrea VESELÁ	223
Pozvánky a nekomerční prezentace / Invitations and non-commercial presentation	
Týden výzkumu a inovací pro praxi a životní prostředí TVIP 2024 – 1. cirkulář <i>Research and Innovation Week for Practice and the Environment TVIP 2024 – Call for papers</i>	245

WASTE FORUM – recenzovaný časopis pro výsledky výzkumu a vývoje pro průmyslovou a komunální ekologii
WASTE FORUM – electronic peer-reviewed and open-access journal on all topics of industrial and municipal ecology
ISSN: 1804-0195; www.WasteForum.cz. Vychází čtvrtletně.

Vychází od roku 2008, od roku 2017 je indexován v databázi SCOPUS.

Ročník 2024, číslo 3

Ydavatel: CEMC – České ekologické manažerské centrum, z.s., IČO: 45249741, www.cemc.cz

Adresa redakce: CEMC, ul. 28. pluku 524/25, 101 00 Praha 10, ČR, fax: (+420) 274 775 869

Šéfredaktor: Ing. Ondřej Procházka, CSc., tel.: (+420) 723 950 237, e-mail: prochazka@cemc.cz

Redakční rada: Ing. Vratislav Bednařík, CSc.; doc. Ing. Vladimír Čablík, Ph.D.; prof. Dr. Ing. Miroslav Černík, CSc.; prof. Ing. Tomáš Havlík, DrSc.; prof. Ing. František Hrdlička, CSc.; Ing. Slavomír Hredzák, CSc.; doc. Ing. Emília Hroncová, Ph.D.; prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.; prof. Ing. František Kaštánek, CSc.; prof. Ing. Mečislav Kuraš, CSc.; prof. Mgr. Juraj Ladomerský, CSc.; prof. Ing. Petr Mikulášek, CSc.; prof. Norbert Miskolczi; prof. Ing. Lucie Obalová, Ph.D.; Ing. Miroslav Punčochář, CSc., DSc.; Ing. Klára Slezáková, Ph.D.; Ing. Lenka Svecova, Ph.D.; doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.; prof. Ing. Lubomír Šooš, Ph.D.; prof. dr. hab. inž. Barbara Tora, Ing. Hana Urbancová, Ph.D., doc. Ing. Pavla Vrabcová, Ph.D.

Web-master: Ing. Vladimír Študent

Redakční uzávěrka: 8. 7. 2024. **Vychází:** 8. 9. 2024



Úvodní slovo šéfredaktora

Vážení čtenáři,

obvykle se na tomto místě nejprve věnuji obsahu čísla a případným aktualitám a až na závěr zmiňuji partnera čísla. Tentokrát se ale chci věnovat partnerovi čísla, protože jsem zde osobně zainteresován.

Partnerem tohoto čísla je **Týden výzkumu a inovací pro praxi a životní prostředí TVIP 2024**. TVIP zastřešuje mj. symposium **Výsledky výzkumu a vývoje pro průmyslovou a komunální ekologii ODPADOVÉ FORUM**, jehož odborným partnerem je WASTE FORUM a moje maličkost zakladatelem a od samého počátku v roce 2006 jeho programovým garantem.

Od loňského ročníku jsme se rozhodli program TVIPu obohatit o další konferenci zaměřenou na vybranou skupinu odpadů nebo průmyslové či hospodářské odvětví. Loni jsme vybrali *Vedlejší produkty z a pro stavebnictví*. Pro letošní ročník jsme původně zvolili téma *Vedlejší produkty a odpady z potravinářského průmyslu a zemědělství*, později jsme se rozhodli téma konference rozšířit na **POTRAVINÁŘSTVÍ NA CESTĚ K UDRŽITELNOSTI** s tím, že se do něho vejdou i projekty snižování energetické náročnosti a spotřeby vody (redukce uhlíkové či vodní stopy).

I když je termín pro přihlášky příspěvků až 30. 9. 2024, přihlášky už začínají přicházet, což nás těší. Navíc Potravinářská komora ve spolupráci s členskými firmami připravila vlastní blok přednášek, který zatím pracovně nazýváme **Příklady správné praxe**, a to je novinka, kterou ještě nenajdete v prvním cirkuláři TVIPu 2024, který je na konci tohoto čísla, kde jinak najdete všechny potřebné informace.

Nicméně mám starost, aby pro veškerou propagaci zmíněné konference nebylo upozaděno samotné **symposium ODPADOVÉ FORUM**, které stejně jako dosud je zaměřené na prezentaci výsledků výzkumu z celé oblasti průmyslové a komunální ekologie, od odpadů a vedlejších produktů přes průmyslové odpadní vody až po čištění odpadních plynů nebo sanace ekologických zátěží.

Takže, koho něco z toho zajímá, s ním se těším na setkání 12. listopadu v Hustopečích.

Ondřej Procházka

Editorial

Dear readers,

The partner of this issue is the **Týden výzkumu a inovací pro praxi a životní prostředí** (Research and Innovation Week for Practice and the Environment) TVIP 2024, which includes the symposium **Results of research and development for industrial and municipal ecology ODPADOVÉ FORUM** and the conference **POTRAVINÁŘSKÝ PRŮMYSL NA CESTĚ K UDRŽITELNOSTI** (FOOD INDUSTRY ON THE ROAD TO SUSTAINABILITY) (November 12-14, 2024, Hustopeče, Czech Republic). The working languages are Czech and Slovak. Participants from abroad are welcome, lectures and posters in English are possible, but the organizers do not provide simultaneous translation.

The program guarantor invites

Ondřej Procházka

Pro autory

WASTE FORUM je časopis určený pro publikování původních vědeckých prací souvisejících s průmyslovou a komunální ekologií. Tj. nejen z výzkumu v oblasti odpadů a recyklace, jak by mohl naznačovat název časopisu, ale i odpadních vod, emisí, sanací ekologických zátěží atd. Vychází pouze v elektronické podobě a čísla jsou zveřejňována na volně přístupných internetových stránkách www.WasteForum.cz.

Do redakce se příspěvky zasílají v kompletně zalomené podobě se zabudovanými obrázky a tabulkami, tak zvaně „**printer-ready**“. Pokyny k obsahovému členění a grafické úpravě příspěvků spolu s přímo použitelnou **šablonou grafické úpravy** ve WORDu jsou uvedeny na [www-strankach](http://www-strankach.wasteforum.cz) časopisu v sekci [Pro autory](#). Ve snaze dále rozšiřovat okruh možných recenzentů žádáme autory, aby současně s příspěvkem napsali tři tipy na možné recenzenty, samozřejmě z jiných pracovišť než je autor či spoluautor. Je vždy dobré mít rezervu.

Publikační jazyk je čeština, slovenština a angličtina. Preferována je angličtina a v tom případě je nezbytnou součástí článku na konci název, kontakty a abstrakt v českém či slovenském jazyce, přičemž rozsah souhrnu není shora nijak omezen.

Vydávání časopisu není nikým dotované. Proto, abychom příjmově pokryli náklady spojené s vydáváním časopisu, vybíráme publikační poplatek ve výši 600 Kč za každou stránku (bez DPH). V případě nepublikování příspěvku v důsledku negativního výsledku recenzního řízení je tato částka poloviční.

Uzávěrka nejbližšího čísla časopisu WASTE FORUM je 8. října 2024, další pak 8. ledna 2025.

For authors

WASTE FORUM is an open access electronic peer-reviewed journal that primarily publishes original scientific papers from scientific fields focusing on all forms of solid, liquid and gas waste. Topics include waste prevention, waste management and utilization and waste disposal. Other topics of interest are the ecological remediation of old contaminated sites and topics of industrial and municipal ecology.

WASTE FORUM publishes papers in English, Czech or Slovak. Papers submitted for publication must be the author's own work and may not have been previously published elsewhere or sent to another publisher at the same time. For more, see [Publication Ethics](#).

Manuscripts for publication in the journal WASTE FORUM should be sent only in **electronic form** to the e-mail address prochazka@cemc.cz. Manuscripts must be fully formatted (i.e. printer-ready) in MS WORD. The file should have a name that begins with the surname of the first author or the surname of the corresponding author.

All articles submitted for publication in WASTE FORUM undergo assessment by two independent reviewers. The reviews are dispatched to authors anonymously, i.e. the names of the reviewers are not disclosed to the authors. **The paper, if it is of good quality and passes the review, is published no later than 10 weeks after the editorial deadline.**

All papers that was not subjected to a peer-review are labeled in a header of each page by the text **Not peer-reviewed and commercial papers**.

Revenue to cover at least the costs associated with the issuance of the magazine, we select a publication fee **600 CZK or 30 USD per each new page of the paper**.

The deadline of the next issue is on October 8, 2024, more on January 8, 2025.

Snižování obsahu iontů cesia a stroncia ve vodách pomocí přírodního zeolitu

Eva MIŠTOVÁ, Jelena TOROPITSYNA, Miloslav HOUŠŤAVA, Lenka MATOUŠKOVÁ, Helena PARSCHOVÁ, Luděk JELÍNEK

Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Fakulta technologie ochrany prostředí, Ústav energetiky, Technická 5, 166 28 Praha 6,
e-mail: eva.mistova@vscht.cz

Souhrn

Cílem experimentů bylo ověřit možnosti použití přírodního zeolitu z lokality Nižný Hrabovec (Slovensko) při odstraňování iontů cesia a stroncia z různých druhů vod (demineralizovaná / pitná / mořská). Provedené rovnovážné vsádkové pokusy prokázaly vysokou sorpční účinnost zeolitu pro odstraňování iontů cesia, kterého bylo zachyceno 65 mg/g (tj. 0,49 meq/g) z roztoku demineralizované vody, množství zachyceného stroncia pak bylo 19 mg/g (tj. 0,44 meq/g). Za přítomnosti konkurenčních kationtů (Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) v roztoku pak zachycené množství iontů cesia a stroncia klesalo, kdy z modelového roztoku pitné vody bylo zachyceno 61 mg/g (tj. 0,46 meq/g) cesia a 18 mg/g (tj. 0,41 meq/g) stroncia. Z modelového roztoku mořské vody bylo zachyceno 47 mg/g cesia a 5 mg/g stroncia. Kolonové dynamické experimenty také prokázaly vysokou selektivitu vůči iontům cesia. Byl potvrzen předpokládaný vliv hořečnatých a vápenatých iontů na sorpci stroncia. Nečekaně byl zjištěn velký vliv vápenatých iontů i na sorpci cesia, a to už při koncentraci vápníku běžné v pitné vodě (tj. 40 – 80 mg/l). Kolonová dynamická sorpce stroncia z mořské vody byla neúspěšná, u sorpce cesia pak bylo nutné změnit kondicionaci sorbentu a zároveň i snížit specifické kolonové zatížení z 15 na 6 $\text{m}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$.

Klíčová slova: cesium; stroncium; přírodní zeolit; sorpce; pitná voda; mořská voda

Úvod

Při zkouškách jaderných zbraní¹ v letech 1945 až 1980 byl do životního prostředí uvolněn největší podíl z celkového množství všech antropogenních radionuklidů. Spektrum radionuklidů, které vzniká při výbuchu jaderných zbraní, je poměrně široké. Zahrnuje především samotné štěpné produkty jaderné reakce, zbytky nevybuchlé nálože a radionuklidy vzniklé z prvků prostředí aktivací neutrony.

Jednou z 16 bývalých oblastí zkoušek jaderných zbraní byl například² Semipalatinský jaderný polygon (SNTS) v bývalém Sovětském Svazu (dnes Kazachstán). V této oblasti o rozloze 18 500 km^2 byla před sedmdesáti lety odpálena první sovětská jaderná puma. V letech 1949 a 1989 zde bylo provedeno nejméně 459 jaderných zkoušek, při kterých bylo odpáleno nejméně 616 jaderných a termonukleárních zařízení, včetně 116 atmosférických a 343 zkušebních explozí pod zemí.

Poměrně dobře zmapovaným příkladem může být podzemním atomový výbuch² z roku 1965, kdy v rámci studie využití jaderných výbuchů, bylo na řece Čagan (přítok řeky Irtyš) jihovýchodně od města Kurčatov vytvořeno jezero Balapan, tzv. *Atomové jezero*. Je to kráter o hloubce sto metrů a objemu $6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

Prvky uvolněné během jaderných zkoušek² pak výrazně ovlivnily krátkodobou a dlouhodobou radiační situaci v postižených oblastech. Jednalo se zejména o cesium (^{134}Cs a ^{137}Cs) a stroncium (^{90}Sr). Analýzou povrchových vzorků bylo stanoveno, že kolem jezera Balapan byla v půdních vzorcích koncentrace aktivit ^{137}Cs 0,42 – 17,64 kBq/kg a ^{90}Sr 0,96 – 18,25 kBq/kg. V oblasti samotného polygonu se koncentrace aktivit v půdních vzorcích měnila u ^{137}Cs od 87 až do 400 kBq/kg a u ^{90}Sr od 94 až do 1000 Bq/kg. Z naměřených dat vyplynulo, že vzorky odebrané z SNTS a vzorky půdy ve vzdálenosti 0,5 – 2,5 km od epicentra nesplňují bezpečnostní standardy a situace se nezmění dalších sto let.

Zatímco vysokoaktivní odpadní vody musí být skladovány (např. vitifikací), nízkoaktivní odpady jsou většinou po monitoringu vypouštěny do vodních recipientů. Příkladem může být jaderné středisko v Sellafieldu na severozápadní části Anglie, kdy například při požáru Windscale Pile v říjnu 1957 uniklo³ 8,8 TBq ²¹⁰Po, 740 TBq ¹³¹I nebo 22 TBq ¹³⁷Cs. Celkově⁴ bylo v letech 1950 – 1990 do Irského moře vypuštěno 30 – 40 PBq ¹³⁷Cs. V současné době je vypouštění odpadních vod z jaderných elektráren přísně monitorováno a vliv vypouštěného ¹³⁷Cs je zcela překrýván reziduální kontaminací z havárií jaderných elektráren či testů jaderných zbraní.

Mezi radioaktivními látkami^{5,6}, které byly uvolněny v dubnu 1986 při havárii jaderné elektrárny v Černobyli, převažovaly radionuklidy s relativně krátkými poločasy rozpadu (< třicet dní). Přibližně 1 % z celkového množství uvolněných látek tvořily radionuklidy s delším poločasem rozpadu (cca třicet let), a to především ¹³⁷Cs a ⁹⁰Sr. Celkový únik radioaktivity z Černobyli byl podle odhadu až 1,2·10¹⁹ Bq. Depozice ¹³⁷Cs se pak snižovala se vzdáleností od místa úniku a na disperzi ¹³⁷Cs do širokého okolí měl vliv zejména směr proudění vzdušných mas a spolupůsobení srážek při vymývání radionuklidů z atmosféry. Z hlediska vlivu na kontaminaci vodních toků a hydrosféry v České republice^{7,8} se plochy zvýšeného spadu ¹³⁷Cs dotýkají v povodí Labe, Moravy a Odry. Vedle ¹³⁷Cs bylo v povrchových vodách sledováno i ⁹⁰Sr. Sledování ⁹⁰Sr se provádělo pouze u vybraných profilů na Vltavě. Průměrné objemové aktivity ⁹⁰Sr v roce 1999 byly zjišťovány na úrovni kolem 0,008 Bq/l.

Druhou nejhorší havárií jaderné elektrárny v historii se stala Fukušimská havárie, která byla ohodnocena na stupnici INES, stejně jako havárie v Černobyli, nejvyšším stupněm sedm^{6,9}. 11. března 2011 zasáhlo severovýchodní pobřeží japonských ostrovů zemětřesení o síle 9,0 stupňů Richterovy škály. Po zemětřesení následovala ničivá vlna tsunami, která způsobila škody obrovského rozsahu. Tsunami zasáhla čtyři jaderné elektrárny umístěné při pobřeží. V jedné z nich, v jaderné elektrárně Fukušima Daiiči, způsobila po poškození systému chlazení reaktoru jadernou havárii. V průběhu havárie došlo k úniku radioaktivních látek do životního prostředí, a to do atmosféry a do oceánu. Celkové množství uniklých radioaktivních látek je uvedeno v tabulce 1.

Tabulka 1: Množství radioaktivních látek uniklých do atmosféry a oceánu^{6,9}

		¹³⁴ Cs (PBq)	¹³⁷ Cs (PBq)	⁹⁰ Sr (PBq)
do atmosféry	TEPCO	10	10	–
	ostatní instituce	18	6,1 – 15	0,02
do oceánu	TEPCO	3,5	3,6	–
	ostatní instituce	–	3,6 – 27	–

Do poloviny července 2011 bylo celkové množství uvolněného ¹³⁷Cs do mořského prostředí odhadnuto mezi 12 až 41 PBq, což vyústilo v historicky největší únik ¹³⁷Cs a ¹³⁴Cs do oceánské vody. Analýzou povrchových vzorků z více než 50 stanic ze vzdáleností 30 až 600 km od pobřeží Japonska o celkové rozloze 150 000 m² bylo zjištěno¹⁰, že povrchová aktivita ¹³⁷Cs a ¹³⁴Cs se pohybovala v rozmezí od 1 – 2 Bq/m³ do hodnot vyšších než 3000 Bq/m³.

Pro odstranění izotopů cesia a stroncia z radioaktivních odpadních vod se využívá iontová výměna, koagulace, elektrochemické a membránové procesy, extrakce, biosorpce, atd. Nejčastěji využívanou metodou je iontová výměna a extrakce. Iontová výměna je proces založený na výměně iontů mezi pevnou fází a elektrolytem, selektivita iontoměničů je dána jak velikostí iontů v hydratovaném stavu, tak velikostí náboje, obecně platí, že např. dvoumocné kationty jsou v ionexu poutány pevněji než jednomocné. Nicméně existují přírodní látky, jako například klinoptilolit^{11,12} (ten je obvykle majoritní složkou mnoha přírodních zeolitů), které vykazují vysokou selektivitu k univalentním iontům. Těchto vlastností lze využít¹¹ při odstraňování amonných iontů z odpadních vod, či při odstraňování radionuklidu ¹³⁷Cs. Empirický vzorec klinoptilolitu je (Ca, K₂, Na₂, Mg)₄Al₈Si₄₀O₉₆·24H₂O.

Zeolity patří mezi hydratované hlinítokřemičitany (aluminosilikáty) s porézní trojrozměrnou strukturou. Primární struktura zeolitů je tvořena tetraedrem, jehož střed je obsazen atomem hliníku či křemíku se čtyřmi atomy kyslíku ve vrcholech. V jejich krystalové struktuře vznikají poměrně velké dutiny, které jsou spojené kanálky, a tím zeolity dosahují velkého měrného povrchu. Zjednodušený obecný vzorec zeolitů¹² je M_{x/n}[Al_xSi_yO_{2(x+y)}]·pH₂O, kde M reprezentuje alkalické kovy či kovy alkalických zemin, n je náboj kationtu a celá čísla v poměru y/x = 1 – 6, p/x = 1 – 4.

Chemické složení a kationtové výměnné kapacity přírodních zeolitů (s přívlastkem klinoptilolit) z několika různých světových nalezišť ukazuje tabulka 2. Záporný náboj, který vzniká záměnou čtyřvazného křemíku za trojvazný hliník, může být ve struktuře zeolitů kompenzován kationty (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}). Ty mohou být nahrazeny kationty z roztoku, dochází k výměně iontů, a proto zeolity vykazují obdobné chování jako katexy (selektivita je ovšem jiná).

Tabulka 2: Chemické složení (%) a kationtové výměnné kapacity přírodních zeolitů¹³

zeolit	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	CEC (meq/g)
Turecký	69,72	11,74	1,21	2,30	0,31	0,76	4,14	-	1,84
Australský	68,29	12,99	1,37	2,09	0,83	0,64	4,11	0,23	1,20
Čínský	65,52	9,89	1,04	3,17	0,61	2,31	0,88	0,21	1,03
Slovenský	67,16	12,30	2,30	2,91	1,10	0,66	2,88	0,17	1,40

Studii zabývající se selektivním odstraňováním cesia a stroncia pomocí zeolitů existuje nepřeberné množství, následuje jen velmi krátký přehled námi vybraných prací, které uvádějí výsledky pro odstraňování radionuklidů cesia/stroncia nebo kolonové dynamické experimenty.

Abusafa¹⁴ studoval sorpci ¹³⁷Cs na přírodním klinoptilolitu pocházejícím ze Západní Anatolie v Turecku. Klinoptilolit byl převeden do Na, K, NH₄, Ca formy, kdy v poměru 100 ml roztoku příslušného chloridu o koncentraci 1 mol/l ku 1 g sorbentu byla směs třepána při teplotě 60 °C po dobu 24 h (sedmkrát proběhla výměna roztoku). Pomocí vsádkových experimentů provedených při počáteční koncentraci ¹³⁷Cs v rozmezí 10⁻⁶ – 10⁻¹ mol/l bylo zjištěno, že rovnováhy bylo dosaženo během čtyř hodin. Sorpční kapacita např. u Na formy sorbentu byla 1,7 meq/g a u K formy sorbentu pak 1,36 meq/g. Klinoptilolit použitý bez úpravy formy pak měl sorpční kapacitu zhruba poloviční. Pomocí kolonových dynamických experimentů bylo zjištěno, že při vstupní koncentraci Cs 1 meq/l (132 mg/l), průtoku 5 ml/min a objemu sorbentu v koloně 1,4 ml (1 g) byly celkové (rovnovážné) kapacity Na, K a NH₄ formy klinoptilolitu velmi podobné, kolem 1,5 meq/g, při limitní koncentraci 0,5 meq/l, pak užitečná kapacita byla nejvyšší u Na formy 1,4 meq/g, nejnižší hodnoty kapacit patří opět klinoptilolitu použitému bez předúpravy (0,79 meq/g, respektive 0,44 meq/g).

Borai¹⁵ publikoval studii, jejímž cílem bylo poskytnout finančně nenáročné materiály, které by vykazovaly vysokou sorpční kapacitu pro radionuklidy cesia v nízkoaktivních odpadních vodách. Mezi zkoumanými zeolity byl i přírodní klinoptilolit z provincie Akita v Japonku. Sorbent byl převeden do sodné formy pomocí roztoku NaCl (1 mol/l; 3 g sorbentu:100 ml; 24 h) při laboratorní teplotě. Vsádkové experimenty ukázaly, že rovnováhy bylo dosaženo až po 12 h kontaktu. Sorpční kapacita pro ¹³⁴Cs pak byla 1,27 meq/g.

Prajitno¹⁶ použil pro experimenty přírodní zeolit z oblasti Holistic Valley ve Velké Británii. Sorbent byl při vsádkových rovnovážných experimentech použit jak v původní formě, tak v Na formě (100 g sorbentu na 1 l roztoku NaCl o koncentraci 1 mol/l, 24 h, při laboratorní teplotě). Výměnná kapacita byla pro cesium 67 mg/g (0,51 meq/g) u sorbentu bez úpravy a 140 mg/g (1,06 meq/g) u Na formy; pro stroncium pak 36 mg/g (0,41 meq/g) respektive 52 mg/g (0,59 meq/g). Během kolonových dynamických experimentů¹⁷ byl použitý zeolit bez převedení do Na formy. Separace iontů cesia a stroncia probíhala z roztoků o koncentraci iontu 200 mg/l při neutrálním pH, při specifickém kolonovém zatížení dva kolonové objemy za hodinu (9,42 ml/h, tj. 0,157 ml/min), výměnná kapacita byla pro cesium 1,06 eq/l, pro stroncium byla za stejných podmínek kapacita 0,32 eq/l po snížení vstupní koncentrace na 100 mg/l stroncia 1,83 eq/l.

Experimentální část

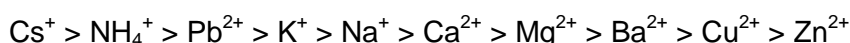
Všechny popsané experimenty v tomto článku byly prováděny již po optimalizaci pracovních podmínek, a to na základě prvotních jednoduchých experimentů a dlouhodobých zkušeností pracovní skupiny s prováděním vsádkových a kolonových experimentů.

Sorbent

Pro všechny experimenty byl použit přírodní zeolit pocházející z dobývacího prostoru Nižný Hrabovec (Slovensko), dodaný společností Zeocem, a.s., a to včetně certifikátu¹⁸ o jeho složení a fyzikálně-chemických vlastnostech (tabulka 3). Pro experimenty byl použit zeolit o velikosti zrn 400 – 1600 µm, tato frakce byla získána síťováním sorbentu v suchém stavu pomocí síťovacího přístroje AS 200 (Retsch, Německo) při použití sítí o velikosti pórů 1600 a 400 µm. Zařízení bylo spuštěno s amplitudou 40 po dobu dvaceti minut.

Dle certifikátu má použitý zeolit následující mineralogické složení: 84 % klinoptilolitu, 8 % kristobalitu, 4 % jílovitých slídků, 3 – 4 % plagioklasu, 0,1 – 0,3 % rutilu a stopová množství křemene. Poměr Si/Al určující koncentraci záporného náboje, a tím i množství kationtů nutných k jeho kompenzaci, je 4,9 – 5,4; což je hodnota běžná v porovnání se zeolity z jiných lokalit¹³.

Podle certifikátu vykazuje zeolit selektivitu k odstraňovaným iontům v pořadí:



Tabulka 3: Vybrané fyzikálně-chemické vlastnosti přírodního zeolitu¹⁸

Vlastnosti	Hodnoty	Vlastnosti	Hodnoty
Teplotní stabilita	< 400 °C	Pevnost v tlaku	33 MPa
Specifický povrch (BET)	30 – 60 m ² /g	Měrná hmotnost	2 200 – 2 440 kg/m ³
Stabilita vůči kyselinám	79,50 %	Hutnost	70 %
Pórovitost	24 – 32 %	Bod tání	1340 °C
Efektivní průměr pórů	0,4 nm	Bod měknutí	1260 °C

Pomocí rovnovážných vsádkových experimentů a dynamických kolonových experimentů byla studována sorpce cesia a stroncia a vliv doprovodných iontů (Na⁺; K⁺; NH₄⁺; Ca²⁺ a Mg²⁺) z různých druhů vod (demineralizovaná/pitná/mořská). Všechny experimenty byly provedeny za laboratorní teploty.

Rovnovážné vsádkové experimenty

Sorbent byl pro experimenty převeden do Na formy. Do skleněné kolony (vnitřní průměr 1,4 cm) s fritou bylo standartizovaným způsobem vloženo 50 ml sorbentu, tj. jeden kolonový objem (výška lože 32,5 cm). Na převedení sorbentu do Na formy bylo použito pět kolonových objemů (tj. 250 ml) roztoku NaOH (p.a.; Lachmer) o koncentraci 1 mol/l při specifickém kolonovém zatížení 5 m³/m³h (EBCT 0,2 h). Pro vytěsnění zbytku roztoku hydroxidu z hmoty sorbentu bylo použito deset kolonových objemů demineralizované vody (konduktivita ≤ 0,5 µS/cm) s rychlým průtokem (25 m³/m³·h). Po vyjmutí z kolony byl sorbent 48 h sušen při laboratorní teplotě. Převedení sorbentu do Na formy v kolonovém uspořádání bylo zvoleno pro minimalizaci mechanického poškození sorbentu a pro maximální kontakt sorbentu s roztokem.

Modelový roztok demineralizované vody s nadávkovanými ionty cesia (CsCl; ≥99,9%; ROTH) nebo stroncia (Sr(NO₃)₂; ≥99,9%; ROTH) o koncentraci 10 meq/l (tj. 132,6 mg/l Cs⁺ respektive 43,8 mg/l Sr²⁺) a příslušný doprovodný iont Na⁺ (NaCl; p.a; Lachner); K⁺; Ca²⁺ (KCl; CaCl₂; p.a; PENTA); NH₄⁺ (NH₄NO₃; p.a; Lachema) a Mg²⁺ (MgSO₄·7H₂O; p.a. PENTA) v ekvivalentním poměru 1:1; 1:3 a 1:5.

Modelový roztok pitné vody s přísadkou iontů cesia nebo stroncia o koncentraci 10 meq/l. Byla použita pitná voda z pražského vodovodního řádu o základních, pro experimenty důležitých, parametrech uvedených v tabulce 4.

Tabulka 4: Koncentrace vybraných iontů v modelových roztocích pitné a mořské vody

	Pitná voda		Mořská voda	
	ρ (mg/l)	c (meq/l)	ρ (mg/l)	c (meq/l)
Na	11,5 – 15,0	0,50 – 0,65	15 310 – 15 800	666 – 688
K	4,5 – 5,0	0,115 – 0,128	36 – 44	0,92 – 1,5
Mg	7	0,58	21	1,75
Ca	52 – 55	2,60 – 2,75	28 – 41	1,40 – 2,05
Sr	–	–	1,75	0,04

Modelový roztok mořské vody byl připraven rozpuštěním 36 g mořské soli v 1 l demineralizované vody (základní parametry v tabulce 4) a obsahoval přidané ionty cesia nebo stroncia o koncentraci 10 meq/l.

Do PE vzorkovnic bylo naváženo $0,5 \pm 0,01$ g sorbentu (analytické váhy Precisa 240A; PAG Oerlikon AG Zürich, Švýcarsko) a přidáno 25 ml příslušného modelového roztoku. Pro dosažení nepřetržitého kontaktu celého objemu sorbentu s modelovým roztokem byla použita třepačka Unimax 1010 (Heidolph Instruments, Německo), její princip je založen na vytvoření rotačního pohybu platformy s konstantní amplitudou, frekvence kmitů byla nastavena na 310 otáček za minutu. Po uplynutí doby kontaktu tj. 0,25; 0,5; 0,75; 1; 2; 4; 6; 24; 48; a 72 h byl zeolit odfiltrován (filtrační papír 390) a byly změřeny výstupní koncentrace iontů v roztoku příslušnými analytickými metodami.

Dynamické kolonové experimenty

Do skleněné kolony s fritou o vnitřním průměru 1 cm bylo standardizovaným způsobem převedeno vždy 10 ml zeolitu (výška lože 13 cm). Do Na formy byl sorbent převeden pomocí pěti kolonových objemů (V/V_0), tj. 50 ml roztoku NaOH o koncentraci 1 mol/l při specifickém kolonovém zatížení $5 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{h}$. Pro vytěsnění zbytku roztoku hydroxidu z hmoty sorbentu bylo použito deset kolonových objemů demineralizované vody s rychlým průtokem ($25 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{h}$). Pro některé experimenty byl postup převedení do Na formy změněn na použití 100 V/V_0 10% roztoku NaCl při specifickém zatížení $5 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{h}$. K vytěsnění roztoku NaCl z hmoty sorbentu bylo použito také 10 V/V_0 demineralizované vody s rychlým průtokem ($25 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{h}$).

Koncentrace cesia a stroncia v modelovém roztoku byla vždy 0,25 meq/l (tj. 33 mg/l Cs nebo 11 mg/l Sr). Byly připraveny modelové roztoky z demineralizované, pitné nebo mořské vody. Modelové roztoky demineralizované vody pro sledování vlivu doprovodných iontů na sorpci Cs obsahovaly příslušné ionty (Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Ca^{2+}) v ekvivalentním poměru 1:1, 1:20 a 1:100. Limitní koncentrací cesia a stroncia pro ukončení sorpční fáze a výpočet užitečné kapacity sorbentu byla zvolena hodnota 0,023 meq/l (tj. 3 mg/l Cs, respektive 1 mg/l Sr).

Modelový roztok byl přiváděn pomocí peristaltického čerpadla PCD 21 (Kouřil Kyjov, Česko) do kolony naplněné sorbentem, jednotlivé frakce eluátu byly pak odebírané pomocí sběrače frakcí FCC 61 (Laboratorní přístroje Praha, Česko) nebo FC 500 (WATREX, Česko). Sorpční fáze pracovního cyklu byly provozovány (nebude-li řečeno jinak) při specifickém kolonovém zatížení $s = 15 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{h}$ (EBCT 0,067 h).

Pro **regeneraci sorbentu** po sorpci cesia bylo použito 20 V/V_0 roztoku NaNO_3 (p.a.; Lachner) nebo NaCl o koncentraci 1,5 mol/l při specifickém zatížení $5 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{h}$ (doba regenerace 4 hodiny).

Analytická stanovení

Pro stanovení Cs, Na, K, Mg, Ca a Sr byl použit atomový absorpční a emisní spektrometr SpectrAA 220 (Varian, USA).

Koncentrace Mg, Ca a Sr byla stanovována metodou absorpční atomové spektrometrie (AAS), koncentrace Cs, K a Na byla stanovena metodou atomové emisní spektrometrie (AES). Pro stanovení iontů Cs a Sr byl ke kalibračním roztokům a výstupním vzorkům přidán^{19,20} roztok KCl o koncentraci 25 g/l (deionizátor pro F-AAS od firmy ANALYTIKA®, spol. s. r. o.) v poměru 10: 1.

Koncentrace amoniakových iontů byla stanovena fotometricky s Nesslerovým činidlem. Princip metody je založen na reakci amoniaku a hydroxidu alkalických kovů s tetrajodortuťnanem sodným či draselným za vzniku žlutohnědého koloidního roztoku (Millonovy báze). Absorbance vzorku byla změřena v 1 cm kyvetě na spektrofotometru Cecil CE 2041 (Cecil Instruments Limited; Velká Británie) při vlnové délce 425 nm.

Výpočty

Pro popis získaných dat jsou využívány následující veličiny:

- sorpční kapacita q (meq/g) (mg/g) (rovnice 1), tj. zachycené množství cesia/stroncia v pevné fázi
- účinnost sorpce A (%) (rovnice 2)
- užitečná kapacita C_u (meq/l) (rovnice 3), která vyjadřuje množství zachyceného iontu na litr sorbentu do okamžiku průniku předem určené limitní koncentrace (průniku) na výstupu z kolony.

$$q = (c_0 - c_n) \cdot V_V / m_S \quad (\text{mg/g}) \quad (\text{meq/l}) \quad (1)$$

$$A = 100 - (c_0 / c_n) \cdot 100 \quad (\%) \quad (2)$$

$$C_u = (V / V_0) \cdot c_0 \quad (\text{meq/l}) \quad (3)$$

c_0 . . . vstupní koncentrace odstraňovaného iontu (mg/l) (meq/l)

c_n . . . koncentrace iontu v odebraném n -tém vzorku (mg/l) (meq/l)

V_V . . . objem sorpčního roztoku (l)

m_S . . . hmotnost sorbentu (g)

V . . . objem proteklého roztoku (l)

V_0 . . . objem sorbentu (l)

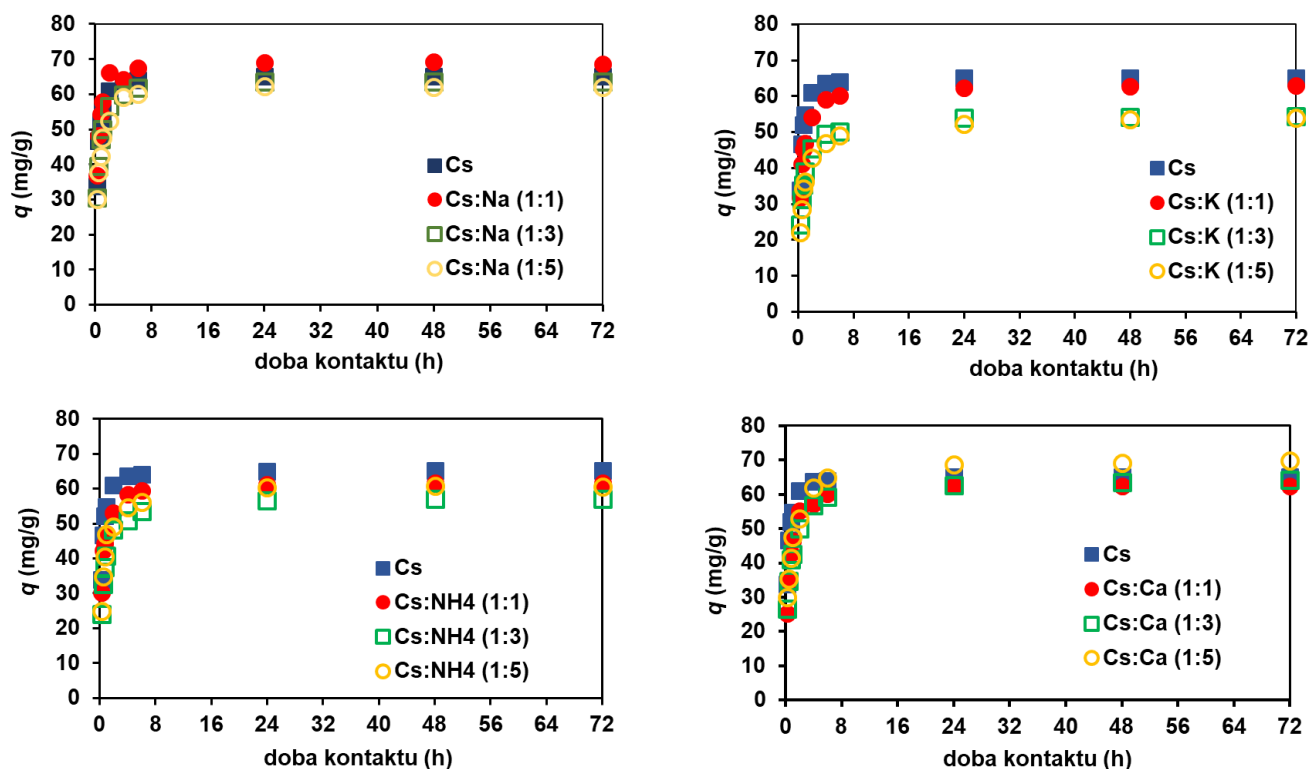
Výsledky a diskuse

Hlavním cílem této práce bylo zjistit, za jakých podmínek bude možné použít přírodní zeolit pro odstraňování iontů cesia a stroncia z roztoků, a to především zhodnotit vliv prostředí – vliv doprovodných iontů (Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) a dalších iontů obsažených v pitné a mořské vodě. Po provedení vsádkových rovnovážných experimentů byly provedeny dynamické kolonové experimenty, u kterých vedle sledování vlivu prostředí byl sledován i vliv doby zdržení roztoku v koloně a v neposlední řadě i možnosti regenerace a znovupoužití sorbentu.

Vsádkové rovnovážné experimenty

Ke zjištění vlivu doprovodných iontů na sorpci iontů cesia a stroncia a také kinetiky sorpce pro určení rovnovážné doby kontaktu byly provedeny vsádkové pokusy s pracovními roztoky o stejné vstupní ekvivalentní koncentraci Cs a Sr iontů, ale při různém ekvivalentním poměru k doprovodným iontům (1:1; 1:3; 1:5) v demineralizované vodě a následně s pracovními roztoky pitné a mořské vody.

U všech takto provedených experimentů bylo pozorováno, že největší množství odstraňovaných iontů se zachytilo už během prvních šesti hodin kontaktu, změny výstupních koncentrací po 24 a 48 h už byly minimální a systém za daných experimentálních podmínek dospěl do rovnováhy po 72 h.



Obrázek 1: Vliv doprovodných iontů na sorpci iotu cesia z modelového roztoku demineralizované vody

Množství zachyceného cesia se zároveň snižuje se zvyšujícím se množstvím doprovodného iontu v modelovém roztoku (obrázek 1). V přítomnosti doprovodných Na^+ iontů došlo ke snížení účinnosti sorpce na 96,3 % (1:1), 94,6 % (1:3) a 92,7 % (1:5). Po 72 h kontaktu je účinnost sorpce Cs^+ snižována vlivem zvyšující se koncentrace K^+ iontů na hodnoty 93,1 % (1:1), 81,1 % (1:3) a 75,5 % (1:5). Z uvedených hodnot vyplývá, že v pětinasobném přebytku doprovodných K^+ iontů došlo ke snížení účinnosti sorpce Cs^+ o 23 %. Se vzrůstající koncentrací doprovodných NH_4^+ iontů ve vstupním roztoku dochází v 72. hodině postupně ke snížení účinnosti sorpce cesia na 94,2 % (1:1), 87,2 % (1:3) a 82,4 % (1:5).

V tabulce 5 jsou uvedeny hodnoty sorpčních kapacit a účinnosti sorpce po 72 h kontaktu z roztoků s nejvyšším poměrem příslušného doprovodného iontu a pro porovnání i hodnoty pro roztok bez doprovodných iontů.

Tabulka 5: Vliv doprovodných iontů na rovnovážnou sorpci iontů Cs^+ a Sr^{2+}

		A (%)	Cs^+		Sr^{2+}	
			q (meq/g)	q (mg/g)	q (meq/g)	q (mg/g)
Cs^+		98,4	0,491	65,2	--	--
$\text{Cs}^+ : \text{Na}^+$	(1:5)	92,7	0,467	62,1	--	--
$\text{Cs}^+ : \text{K}^+$	(1:5)	75,5	0,406	54,0	--	--
$\text{Cs}^+ : \text{NH}_4^+$	(1:5)	82,4	0,455	60,5	--	--
$\text{Cs}^+ : \text{Ca}^{2+}$	(1:5)	94,3	0,466	62,0	--	--
Sr^{2+}		94,9	--	--	0,434	19,0
$\text{Sr}^{2+} : \text{Ca}^{2+}$	(1:5)	75,0	--	--	0,330	14,5
$\text{Sr}^{2+} : \text{Mg}^{2+}$	(1:5)	90,5	--	--	0,422	18,5

Sledováním i výstupní koncentrace doprovodných iontů bylo zjištěno, že během experimentů dochází také k sorpci draselných, amonných a vápenatých iontů, kdy např. při vstupním poměru 1:5 bylo

zachyceno po 72 hodinách 0,573 meq K⁺/g nebo 0,492 meq NH₄⁺/g. Je tedy patrné, že sorpční kapacita zeolitu nebyla zcela vyčerpána zachycením iontu Cs.

Porovnáním účinnosti sorpce Cs⁺ v přítomnosti Ca²⁺ iontů bylo dle předpokladů zjištěno, že přítomnost dvoumocných iontů nemá se zvyšující se dobou kontaktu na sorpci Cs⁺ tak negativní vliv jako přítomnost konkurenčních jednomocných iontů. Po 72 h sorpce byla účinnosti sorpce Cs⁺ vlivem zvyšující se vstupní koncentrace Ca²⁺ iontů postupně snižena na 95,7 % (1:1), 95,3 % (1:3) a 94,3 % (1:5), což je podstatně méně než v přítomnosti jednomocných kationtů, nicméně i zde docházelo k zachycení vápenatých iontů z roztoku, a to např. pro poměr 1:5 to bylo 0,240 meq/g.

Na základě výsledků těchto experimentů byl proveden jednoduchý experiment, kdy byla vstupní koncentrace Cs ve vstupním modelovém roztoku zvýšena z 10 na 20 meq/l (2,6 g/l) a směs byla ponechána na třepačce po dobu jednoho týdne. Výstupní koncentrace Cs byla 3,2 meq/l, což odpovídá 112 mg zachyceného Cs v 1 g sorbentu (0,85 meq/g) při účinnosti odstranění 84,2 %.

Porovnáním provedených vsádkových experimentů vyplývá, že doprovodné ionty ovlivňují negativně účinnost sorpce cesia v pořadí **K⁺ > NH₄⁺ > Ca²⁺ ≈ Na⁺**.

Při porovnání vlivu dvoumocných kationtů Ca²⁺, Mg²⁺ na odstranění iontu Sr²⁺ byl pozorován výraznější vliv vápenatých iontů (tabulka 6). V případě, že bylo do pracovního roztoku přidáno cesium, tak se jako jednomocný iont přednostně zachytávalo právě cesium. Při ekvivalentním poměru Cs:Sr (1:1) se snížila účinnost sorpce stroncia z 94,9 % na 66,5 %, zatímco cesium bylo zachytáváno s 92% účinností. Zvýšením ekvivalentního poměru na 1:5 pak poklesla účinnost sorpce pro stroncium na 36 % a pro cesium na 86 %.

Tabulka 6: Zachycené rovnovážné množství iontů Cs a Sr z různých druhů vod

	Demineralizovaná voda			Pitná voda			Mořská voda		
	A (%)	q (meq/g)	q (mg/g)	A (%)	q (meq/g)	q (mg/g)	A (%)	q (meq/g)	q (mg/g)
Cs ⁺	98,4	0,491	65,1	97,6	0,461	61,1	72,9	0,352	46,7
Sr ²⁺	94,9	0,434	19,0	89,6	0,414	18,1	24,2	0,119	5,21

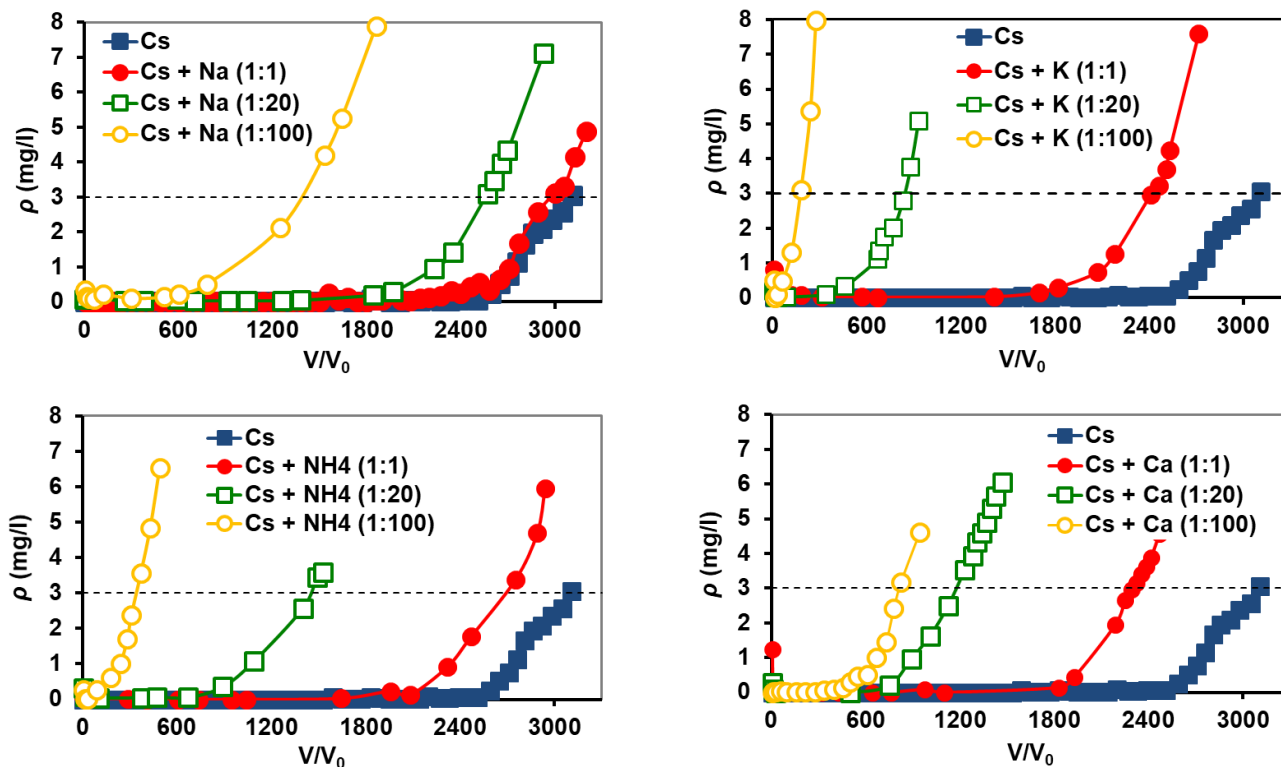
Rovnovážné experimenty s modelovými roztoky pitné a mořské vody (tabulka 6) pak potvrzují, že zvyšování solnosti roztoku má vliv na sorpční účinnost zeolitu. Účinnost sorpce cesia z mořské vody se oproti demineralizované dle předpokladu snížila o čtvrtinu, u stroncia byl pokles ještě výraznější, a to více jak 70 %.

Směrem ke kolonovým dynamickým experimentům, pak vsádkové rovnovážné experimenty naznačily, že i se zvyšující se solností vstupního roztoku se dá očekávat, že použití zeolitu bude možné, jen bude nutné počítat s nižší užitkovou kapacitou. Kinetika výměny iontů byla dobrá, a proto bude možné použít i vyšší specifické kolonové zatížení 15 m³/m³h (2,5 ml/min), což není u anorganických sorbentů při stejném objemu/výšce sorbentu v koloně běžné, kdy např. Prajtno¹⁷ provozoval kolony při specifickém kolonovém zatížení 2 m³/m³h tj. 0,157 ml/min, ale naopak Abusafa¹⁴ použil rychlost 5 ml/min, to při přepočtu na objem sorbentu v koloně bylo dokonce 212 m³/m³h. Nami zvolená rychlost průtoku 2,5 ml/min byla optimem i vzhledem ke vstupní koncentraci iontů cesia a stroncia. Dále bude možné zvýšit i ekvivalentní poměr doprovodných iontů vůči cesiu/stronciu a bude přínosné sledovat i průběh jejich koncentrací, ať už se ze sorbentu budou uvolňovat, nebo zachytávat společně s cesiem a stronciem.

Kolonové dynamické experimenty

Pomocí dynamických kolonových experimentů bylo zjištěno, že bez přítomnosti velkého přebytku doprovodných iontů lze použít přírodní zeolit považovat za velmi účinný sorbent pro odstraňování cesia z vodných roztoků (obrázek 2). Při vstupní koncentraci Cs⁺ iontů 0,25 meq/l (33 mg/l) a specifickém kolonovém zatížení 15 m³/m³h bylo limitní koncentrace 0,023 meq/l (3 mg/l) dosaženo po 3100 zpracovaných kolonových objemech, což odpovídá užitkové kapacitě 107 g Cs⁺ na litr sorbentu

(109 g/kg). To je sice hodnota nižší než v dřívě zmiňovaných pracích^{14,17}, kde dosáhli užitečných kapacit 1,4 eq/l¹⁴, respektive 1,06 eq/l¹⁷, kdy užitečné kapacity byly vztaženy k výstupní hodnotě 0,5 c_e/c_0 (66 mg/l respektive 100 mg/l). Námi zvolené limitní koncentrace 3 mg/l (tj. 0,09 c_e/c_0) je tedy dosaženo dřívě, ale dá se předpokládat, že by při užití reálných vod s radionuklidy musela být ještě nižší, tudíž by klesla i reálná užitečná kapacita. Vypočtené hodnoty užitečných kapacit jsou shrnuty v tabulce 7.



Obrázek 2: Vliv doprovodných iontů na sorpci iontu cesia z roztoku demineralizované vody při specifickém kolonovém zatížení $15 \text{ m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{h}$

Tabulka 7: Shrnutí užitečných kapacit zeolitu při sorpci Cs v přítomnosti doprovodných iontů

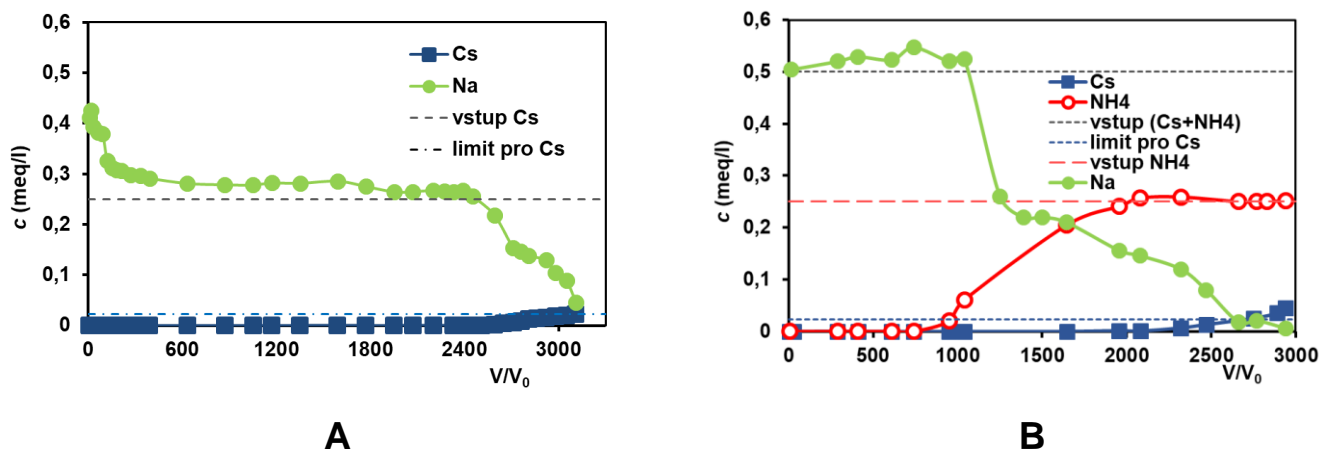
Cs : DI	Na^+		K^+		NH_4^+		Ca^{2+}	
	(eq/l)	(mg/g)	(eq/l)	(mg/g)	(eq/l)	(mg/g)	(eq/l)	(mg/g)
1 : 1	0,78	105	0,60	80,9	0,66	87,8	0,56	74,6
1 : 20	0,64	85,9	0,21	28,6	0,35	47,5	0,28	37,9
1 : 100	0,37	50,1	0,04	5,9	0,08	11,0	0,20	26,5

Dle očekávání na zachycení cesia měly nejmenší vliv ionty sodíku, kdy při nejvyšším ekvivalentním poměru byl počet zpracovaných kolonových objemů 1350 (užitečná kapacita poklesla o více jak 50 %), nicméně pro experimenty s modelovou mořskou vodou, jejíž hlavní součástí je NaCl, je to výsledek pozitivní.

Z uvedených hodnot užitečných kapacit si lze povšimnout, že Ca^{2+} ionty měly při dynamických pokusech na účinnost sorpce Cs^+ podstatně větší vliv než při rovnovážných experimentech. Už při poměru 1:1 byl pokles kapacity 30 % a u poměru 1:20 dokonce 65 %, pro experimenty s pitnou vodou, kde se množství vápníku pohybuje obvykle v rozmezích cca 40 – 80 mg/l (2 – 4 meq/l tj. v poměru k vstupní koncentraci Cs 1:8 – 16), představuje nečekaně špatnou prognózu.

Největší pokles užitečné kapacity byl pro doprovodný iont draslíku v ekvivalentním poměru vůči cesiu 1:100, a to 0,04 eq/l sorbentu, tj. 95% pokles, nicméně 25 meq/l (978 mg/l) draslíku je koncentrace v reálných vodách přinejmenším ojedinělá.

Během experimentů byly sledovány i koncentrace doprovodných iontů (obrázek 3). Průběh koncentrací iontů v eluátu byl ukázkovým příkladem výměny iontů, kdy při zachytu cesia z modelového roztoku bez doprovodných iontů se do roztoku uvolňují ekvivalentně ionty sodíku (A), stejný průběh je vidět i při sorpci z modelového roztoku s přítomnými amonnými ionty v poměru 1:1 (B), kdy prvních 900 V/V₀ byly z roztoku zachycovány, jak ionty cesia, tak amonné ionty a po tuto dobu se do roztoku uvolňovalo ekvivalentní množství iontů sodíku. Sorbent má vyšší afinitu k cesiu, to bylo zachytáváno i poté, co amonné ionty v eluátu dosáhly vstupní koncentrace.



Obrázek 3: Koncentrace sledovaných iontů v eluátu při sorpci z modelových roztoků demineralizované vody (A) Cs bez doprovodných iontů; (B) Cs⁺: NH₄⁺ (1:1)

Regenerace zeolitu byla provedena pomocí 20 V/V₀ roztoku NaNO₃ nebo NaCl o koncentraci 1,5 mol/l při specifickém zatížení 5 m³/m³·h. Pro vyhodnocení účinnosti regenerace byla počítána bilance zachyceného a desorbovaného cesia. Účinnost regenerace sorbentu roztokem NaNO₃ byla 49 % a roztokem NaCl pak 47 %. Vzhledem k nízké účinnosti regenerace nebyly provedeny následné sorpční cykly. Vzhledem k ceně sorbentu se jednorázové použití pro případ zachytu radionuklidu Cs jeví ekonomicky i bezpečnostně přijatelnou možností.

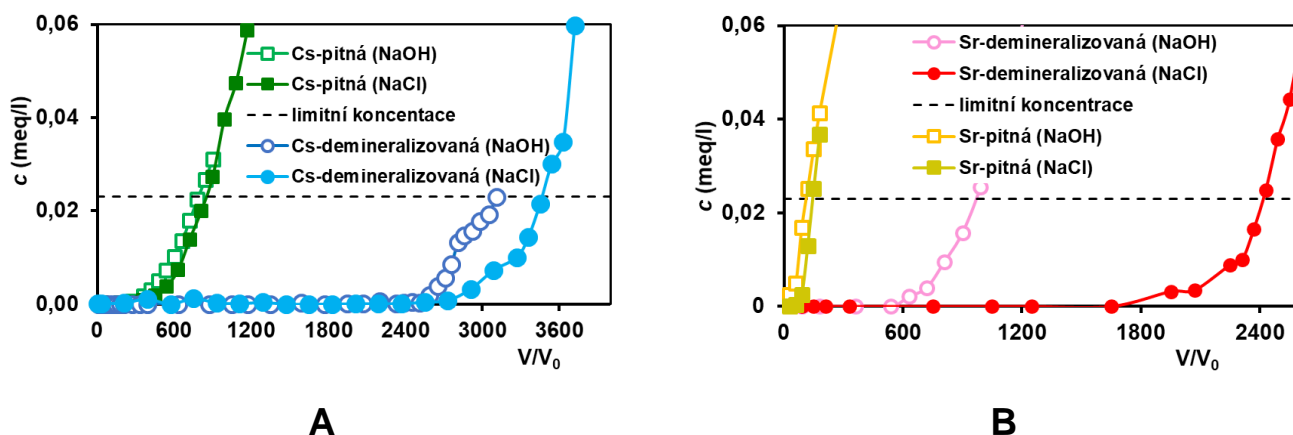
Kolonové dynamické experimenty s modelovými roztoky pitné a mořské vody neodpovídaly výsledkům z rovnovážných experimentů (tabulka 8). Užitečná kapacita zeolitu pro sorpci cesia z roztoku pitné vody se snížila na 0,18 eq/l (24,5 mg/g), to představuje pokles o přibližně 75 % oproti sorpci z demineralizované vody. Sorpce stroncia byla už z roztoku demineralizované vody poloviční, oproti výsledkům rovnovážných experimentů. U roztoku pitné vody pak byla kapacita dokonce jen 0,02 eq/l, to bylo ani ne 10 % očekávaných hodnot.

Tabulka 8: Užitečné kapacity zeolitu při sorpci iontů Cs a Sr z různých druhů vod

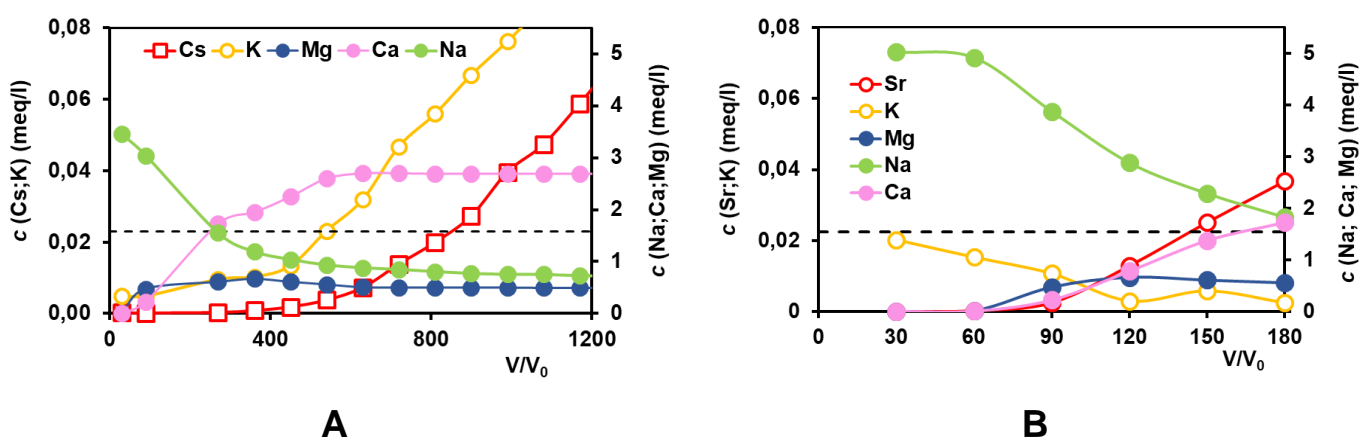
	Demineralizovaná voda		Pitná voda		Mořská voda	
	C _u (eq/l)	C _u (mg/g)	C _u (eq/l)	C _u (mg/g)	C _u (eq/l)	C _u (mg/g)
Cs ⁺	0,803	109	0,183	24,5	0,005	0,680
Sr ²⁺	0,236	10,5	0,018	0,810	--	--

Z důvodu výraznému poklesu užitečné kapacity při sorpci cesia z roztoků pitné a stroncia z demineralizované a pitné vody byla následně pozměněna předúprava sorbentu. Sorbent byl převeden do Na formy pomocí sta kolonových objemů 10% roztoku chloridu sodného (s = 5 m³/m³·h).

U sorpce stroncia z modelového roztoku demineralizované vody (obrázek 4 B) užitečná kapacita zvýšila na 0,537 eq/l (23,9 mg/g), což bylo 25 % vyšší hodnota než z rovnovážných experimentů. Nicméně z roztoku pitné vody se užitečná kapacita cesia a stroncia zvýšila jen o 10 % oproti užitečné kapacitě při použití zeolitu původním převáděním sorbentu do Na formy roztokem NaOH.



Obrázek 4: Vliv změny převedení sorbentu do Na formy na sorpci cesia (A) a stroncia (B)

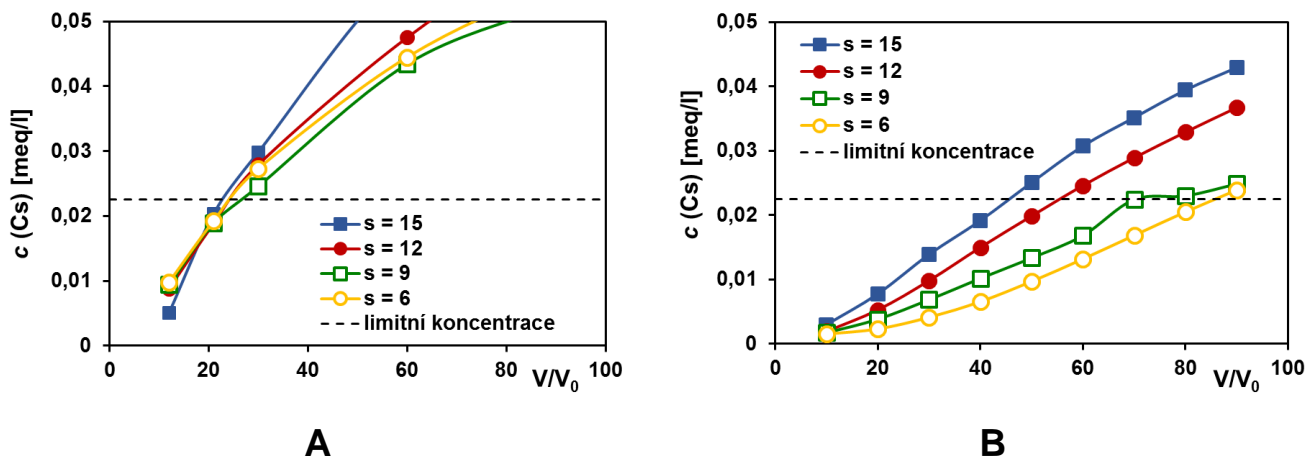


Obrázek 5: Koncentrace sledovaných iontů v eluátu při sorpci cesia (A) a stroncia (B) z modelových roztoků pitné vody

Z obrázku 4 není jasné, proč hodnoty užitečných kapacit při sorpci z roztoku pitné vody po změně způsobu převádění sorbentu do sodné formy zůstaly v podstatě beze změny, proto byla pozornost zaměřena i na další ionty v eluátu (obrázek 5 – kvůli výrazným rozdílům hodnot koncentrací Na, Ca a Mg bylo nutné vztáhnout je k vedlejší (pravé) ose y). Průběhy koncentrací sledovaných iontů při sorpci z modelového roztoku pitné vody ukazují, že prvních 60 V/V_0 se zachycovaly všechny kationty, s výjimkou sodíku, za který se vyměňovaly. Postupně pak začaly narůstat koncentrace dvoumocných kationtů v pořadí Mg, Ca, které postupně dosáhly vstupní koncentrace. Z roztoku se stronciem se zachycovaly ionty draslíku, ten jako jednomocný ion má k sorbentu vyšší afinitu. Z roztoku s cesiem se také draslík nějaký čas zachycoval a jeho množství v eluátu se začalo zvyšovat před cesiem, protože z těchto dvou jednomocných iontů je lépe poutáno cesium. V případě zeolitu po úpravě roztokem NaOH byl tento průběh obdobný, jen rychlejší. Hlavní příčinou nízkých užitečných kapacit zůstává přítomnost vápenatých a hořečnatých iontů ve vstupním roztoku. Pro použití zeolitu při úpravě reálných kontaminovaných vod bude nutné jeho množství zohlednit i při návrhu dekontaminační stanice (tj. množství sorbentu/výšku vrstvy, rychlost průtoku kolonou, případně i předúprava vstupního roztoku).

V případě sorpce stroncia z modelového roztoku mořské vody se nesnížila výstupní koncentrace sledovaného iontů pod limitní koncentraci 0,023 meq/l, a to ani při snížení rychlosti průtoku kolonou, experimenty proběhly postupně při specifickém kolonovém zatížení 15; 12; 9 a 6 $\text{m}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$. Podobné experimenty proběhly i při sorpci cesia z roztoku mořské vody (obrázek 6 – A), přesto užitečné kapacity byly zanedbatelné, následně byly pokusy provedeny se sorbentem převedeným do Na formy opět pomocí 100 V/V_0 10% roztoku chloridu sodného ($s = 5 \text{ m}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$) a je vidět (obrázek 4 – B), že bylo dosaženo lepšího výsledku, nicméně užitečná kapacita sorbentu byla maximálně 17 meq/l, a to při nejnižším použitím průtoku kolonou. Zde je také nutné zdůraznit, že převádění do Na formy pomocí

100 V/V₀ 10% roztoku NaCl bylo už v laboratoři poměrně časově náročné a pro průmyslové měřítko by to znamenalo i další finanční náklady. Výsledky se ani zdaleka nepřiblížily k hodnotám z rovnovážných vsádkových experimentů, bude tedy třeba přehodnotit další parametry jako vstupní koncentraci, množství sorbentu v koloně/výšku vrstvy.



Obrázek 6: Průběh sorpčních křivek při sorpci cesia z roztoku mořské vody při různém specifickém zatížení (převedení zeolitu do Na formy: A – 1M NaOH; B – 10% NaCl)

Závěry

Přírodní zeolit z lokality Nižný Hrabovec (Slovensko) má vysokou sorpční kapacitu vůči iontům cesia. Rovnovážnými vsádkovými experimenty bylo zjištěno, že kinetika sorpce i sorpční kapacita je velmi dobrá, nicméně se snižuje se zvyšující se solností vstupního roztoku. Ve vstupních i výstupních roztocích je nutné sledovat i další ionty, které mají vliv na sorpci cesia i stroncia, to jsou především ionty draslíku, vápníku a amonné ionty.

Bylo zjištěno, že je možné tento sorbent použít i kolonovém dynamickém uspořádání, kdy sorpci cesia a stroncia ovlivňuje vhodně zvolený postup převedení sorbentu do Na formy, zde by bylo vhodné experimentálně ověřit i zvýšení teploty, ať už v průběhu úpravy sorbentu nebo jako její poslední krok. Omezujícím faktorem snižujícím užitkovou kapacitu zeolitu je koncentrace vápenatých iontů ve vstupním roztoku. Ta omezuje použití tohoto sorbentu pro sorpci iontů cesia, stroncia a jejich radionuklidů z běžných typů vod.

Dalším krokem bude u společné sorpce cesia a stroncia ověřit, kdy je výhodný/možný společný záchyt a kdy by bylo lepší zvážit jejich separaci, byť s pomocí jiného sorbentu, pak mohl být využit systém více kolon s různou náplní (např. zeolit-slabě/silně kyselý katex aj.).

Seznam symbolů

SNTS	Semipalatinský jaderný
INES	polygon Mezinárodní stupnice jaderných událostí
TEPCO	Tokijská elektrárenská společnost
V/V ₀	kolonový objem (m ³ /m ³)
DI	doprovodné ionty

Literatura

- 1 Freintinger Skalická Z., Halaška J., Havránková R., Kubeš J., Navrátil L., Navrátil V., Sabol J., Zölzer F.: Radiobiologie. <http://fbmi.sirdik.org/> (9. 5. 2024).
- 2 Evseeva T., Belykh E., Geras'kin S., Majstrenko T.: J. Environ. Radioact. 109, 52 (2012).
- 3 Webb G. A. M., Anderson R. W., Gaffney M. J. S.: J. Radiol. Prot. 26, 33 (2006).
- 4 Avery S. V.: J. Environ. Radioact. 30, 139 (1996).
- 5 Hanslík E., Marešová D., Juranová E., Sedlářová B: VTEI 59, 18 (2017).
- 6 Juranová E., Hanslík, E.: VTEI 54, 1 (2012).
- 7 Gnojek I., Hanák J. a Dědáček K.: *Distribuce spadu Cs-137 ve vztahu k možné kontaminaci vodních toků v České republice, Výzkumná zpráva*, Geofyzika Brno 1997.
- 8 Hanslík E., Jedináková-Křížová V., Ivanovová D., Kalinová E., Sedlářová B., Šimonek, P.: J. Environ. Radioact. 81, 307 (2005).
- 9 Steinhauser G., Brandl A., Johnson E.: Sci. Total Environ. 470, 800 (2014)
- 10 Bailly du Bois P., Laguionie P., Bousta D., Korsakissok I., Didier D., B. Fiévet: J. Environ. Radioact. 114, 2 (2011).
- 11 Pitter P.: *Hydrochemie*, 4. vydání, Vydavatelství VŠCHT Praha, Praha 2009.
- 12 Gottardi G., Galli E.: *Naturales Zeolites*, Springer Berlin, Heidelberg 1985.
- 13 Wang S., Peng Y.: Chem. Eng. J. 156, 11 (2010).
- 14 Abufasa A., Yücel H.: Sep. Purif. Technol. 28, 103 (2002).
- 15 Borai E. H., Harjula R., Malinen N., Paajanen A.: J. Hazard. Mater. 172, 416 (2009).
- 16 Prajitno M. Y., Harbottle D., Hondow N., Zhang H., Hunter T. N.: J. Environ. Chem. Eng. 8, 102991 (2020).
- 17 Prajitno M. Y., Taufiqurrakham M., Harbottle D., Hunter T. N.: ChemEngineering 5, 9 (2021)
- 18 Zeolite data sheet. Zeocem.
- 19 Černohorský T. a kol.: *Atomová absorpční spektrometrie I*, Vydavatelství VŠCHT Praha, Praha 2003.
- 20 Houšťava M: *Vliv doprovodných iontů na odstraňování iontů cesia z vodných roztoků, Diplomová práce*, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2013.

Remove of cesium and strontium ions in water using natural zeolite

Eva MIŠTOVÁ, Jelena TOROPITSYNA, Miloslav HOUŠŤAVA, Lenka MATOUŠKOVÁ, Helena PARŠCHOVÁ, Luděk JELÍNEK

University of Chemistry and Technology Prague, Faculty of Environmental Technology,
Department of Power Engineering, Technická 5, 166 28 Prague 6, Czech Republic,
e-mail: eva.mistova@vscht.cz

Summary

The aim of the experiments was to verify the possibilities of using natural zeolite from the locality Nižný Hrabovec (Slovakia) in the removal of cesium and strontium ions from various types of water (demineralized/drinking/sea). Equilibrium batch experiments were carried out and demonstrated the high sorption efficiency of zeolite for the removal of cesium ions, where 65 mg/g (i.e. 0.49 meq/g) was captured from the demineralized water solution, while the amount of captured strontium was 19 mg/g (i.e. 0.44 meq/g). In the presence of competing cations (Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}), the captured amount of cesium and strontium ions decreases. Thus, 61 mg/g (i.e. 0.46 meq/g) of cesium and 18 mg/g (i.e. 0.41 meq/g) of strontium was captured from the model drinking water solution and from the model seawater solution 47 mg/g of cesium and 5 mg/g of strontium was captured from. Column dynamic experiments also demonstrated high selectivity towards cesium ions. The expected effect of both magnesium and calcium ions on strontium sorption was confirmed. Unexpectedly, a strong effect of calcium ions on cesium sorption was also found, even at the calcium concentration common in drinking water (i.e. 40 – 80 mg/L). Dynamic column arrangement for the sorption of strontium from seawater was unsuccessful, for the sorption of cesium it was necessary to change the pretreatment and to reduce the specific column load from 15 to 6 $\text{m}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$.

Keywords: cesium; strontium; natural zeolite; sorption; drinking water; seawater

Podpora produkce zelených řas v provozu bioplynové stanice

Pavla TOMÁŠOVÁ, Marek ŠÍR, Zuzana HONZAJKOVÁ, Jana CHUMCHALOVÁ, Jiří HENDRYCH, Eva MARCÍNKOVÁ, Martin KUBAL
Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Fakulta technologie ochrany prostředí, Technická 5, 166 28 Praha 6,
e-mail: hrychovp@vscht.cz

Souhrn

V rámci kultivace zelených řas bylo studováno využití předupraveného kapalného digestátu z bioplynové stanice za účelem využití obsažených anorganických složek. Digestát byl předupraven 1) proséváním a 2) proséváním s následným chemickým srážením. Pro kultivační testy prováděné při čtyřech úrovních osvětlení byla použita řasa *Scenedesmus cf. acutus* Meyen CCALA 438. Nejvyšší výtěžnost řasové biomasy byla zjištěna u digestátu předčištěného pouze proséváním, což dává šanci na technologicky jednoduchou a ekonomicky přijatelnou realizaci.

Klíčová slova: bioplynová stanice, digestát, zelené řasy

Úvod

Bioplynovou stanicí můžeme při určitém zjednodušení definovat jako technické zařízení určené pro zpracování zemědělských produktů a odpadů, kde výstupem tohoto zpracování je elektrická či tepelná energie a zbytkové materiály opět využitelné v zemědělské výrobě. Dle doložitelných zdrojů¹ bylo ke dni 31. 12. 2022 na území České republiky provozováno 540 bioplynových stanic s celkovým instalovaným výkonem 380,5 MW. V domácích podmínkách prodělala technologie bioplynových stanic intenzivní vývoj, a to od své první instalace v roce 1974 v Třeboni² a tehdejšího zaměření na zpracování pouze nevyužitelné rostlinné a živočišné biomasy. Jako mnohostranně výhodná technologická inovace je v této práci popsána možnost současného využití odpadního tepla a předupraveného digestátu z bioplynové stanice.

Hlavním produktem bioplynové stanice je bioplyn, jehož energetický přínos je s ohledem na výše vyznačený instalovaný výkon velmi významný. Vedlejším produktem bioplynové stanice jsou potom tzv. digesční zbytky, které jsou v tomto textu označovány kratším termínem digestát. Hmotnost sušiny produkovaného digestátu bývá přibližně o čtvrtinu nižší oproti sušině substrátů na vstupu do bioplynové stanice^{2,3}, u objemových množství bývá potom rozdíl menší. Proces zpracování digestátu se v minulosti stal jednou z překážek v rozšiřování výroby bioplynu⁴. V České republice je na instalovaných jednotkách produkovan digestát v množství přibližně 5 milionů tun ročně⁵.

Digestát vzniká v průběhu výroby bioplynu transformací a stabilizací organické hmoty, kde oproti vstupnímu substrátu dochází k poklesu obsahu organického uhlíku (o cca 20 – 90 % hm.), snížení viskozity a růstu obsahu minerálního dusíku^{4,5}. Digestát produkovaný na zemědělských bioplynových stanicích je charakterizován vyšším obsahem sušiny 6 – 24 % hm. v důsledku použití zemědělských plodin jako vstupního materiálu do fermentace a zároveň obsahuje významný podíl zbytkové organické hmoty. Digestát se vyznačuje mírně zásaditou až neutrální hodnotou pH s vysokým obsahem dusíku, jehož celkové množství může dosáhnout až $12 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$, a také fosforu, kdy celkový fosfor může dosáhnout až $5,8 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ ⁶. Digestát může být s pomocí běžných separačních metod v principu rozdělen na tzv. fugát (kapalná frakce) a separát (pevná frakce)^{7,8}.

Digestát ze zemědělských bioplynových stanic může obecně plnit funkci hnojiva (v souladu s vyhláškou č. 474/2000 Sb.). Zpracování pevné frakce (separátu) obvykle zahrnuje kompostování, vermikompostování, sušení a výrobu pelet nebo podestýlky pro skot. Kapalná frakce, která je dobře čerpatelná, může být poté použita v zemědělství pomocí injektážní techniky snižující emise amoniakálního dusíku do prostředí jako hnojivo⁹. Konkrétní použití digestátu či jeho frakcí v praxi určují provozní parametry bioplynové stanice, typy vstupních substrátů, lokalita jejího umístění, širší ekonomické zázemí provozovatele a v neposlední řadě také nadřazené globální strategie, které zde otvírají cestu k reálnému zavádění technologických inovací.

Representativní popisy využití digestátu již byly v minulosti popsány⁷. Přímá aplikace kapalného digestátu na zemědělskou půdu s sebou však nese významné negativní environmentální problémy jako je kontaminace vod a eutrofizace vodních toků či nádrží v blízkosti aplikačních míst^{10,11}. Digestát či jeho frakce může přinášet chemickou (např. těžké kovy), biologickou (např. patogeny) nebo fyzikální (např. plasty) kontaminaci^{7,12}. Digestát je při výrobě bioplynu produkován nepřetržitě, zatímco hnojení půdy je závislé na růstových fázích plodin a jeho režim podrobně popsán v legislativě (zejména vyhlášce č. 377/2013 Sb.). V některých ročních obdobích tedy musí být digestát skladován.

Za inovativní způsob využití digestátu, který navíc dobře vychází vstříc aktuálním environmentálním strategiím, můžeme považovat aplikaci přítomných minerálních složek do kultivačních médií pro růst zelených řas. Jedná se o technologický princip, který již byl v poloprovozním měřítku testován na bioplynové stanici v Dublovicích¹³. Pro testování zde byl instalován kaskádový fotobioreaktor, ve kterém kultivační médium syčené oxidem uhličitým, vyhříváné odpadním teplem a v kontaktu se slunečním zářením kontinuálně protékalo v tenké vrstvě po mírně skloněných plochách¹⁴.

Takto navržený systém souběžně nabízel hned několik technologických a následně i ekonomických výhod: 1) využití odpadního tepla přímo v prostoru bioplynové stanice; 2) záchyt oxidu uhličitého; 3) využití produkovaných řas jako krmiva v rámci hospodářského celku, jehož součástí byl také chov skotu; 4) možnost celoročního provozu a 5) možnost využití minerálních látek přítomných v digestátu. Otevřenou otázkou bylo v době tohoto poloprovozního testování nalezení technologicky jednoduchého, administrativně průchodného a ekonomicky životaschopného způsobu předúpravy digestátu do formy aplikovatelné v rámci růstu zelených řas.

Samotná kultivace zelených řas je v průmyslovém měřítku využívána již po řadu desetiletí a směřuje k získávání mnoha potravinářských, farmaceutických, kosmetických a zemědělských produktů¹⁵. Výzkum probíhá také v oblasti využití zelených řas pro výrobu biopaliv. Počátek komerčního pěstování zelených řas *Chlorella* a *Spirulina* můžeme datovat do šedesátých let dvacátého století, k začátku osmdesátých let je pak zdokumentováno využití řas *Dunaliella Salina* pro produkci β -karotenu^{16,17}.

Kultivace zelených řas probíhá většinou autotrofně ve fotobioreaktorech^{14,18} v uměle připravených médiích, za přítomnosti oxidu uhličitého a světla. Některé druhy řas lze pěstovat také heterotrofně, případně mixotrofně. Kultivační média pro pěstování řas jsou zpravidla připravována dávkováním komerčně dostupných chemických látek, což zvyšuje cenu kultivace a někdy přináší i negativní dopady pro životní prostředí.

Jak již bylo zmíněno v předcházejícím textu, lze jako alternativu k dávkování komerčních chemických látek uvažovat využití látek přítomných v digestátu z bioplynové stanice, a to v kombinaci s využitím oxidu uhličitého a odpadního tepla z kogeneračních jednotek¹⁹. Zmíněná alternativa je ovšem podmíněna znalostí a ekonomickou průchodností technologického postupu, kterým by bylo možné z výchozího digestátu připravit čirý roztok s co nejvyšším obsahem potřebných živin. Základní princip tohoto technologického postupu již byl navržen v předcházející práci²⁰, kdy se jako první krok osvědčilo ředění digestátu podobně jako zde^{21,22}, a kde se testovaly různé kombinace mechanických a chemických separačních kroků a kde se jako mírně výhodnější ukázal postup zahrnující použití chemických látek. Ve snaze o zjednodušení byly tedy separační kroky testovány podrobněji a na jiném typu výchozího digestátu, přičemž do experimentů byl jako nezávisle proměnný parametr zaveden také způsob osvitů při kultivaci zelených řas.

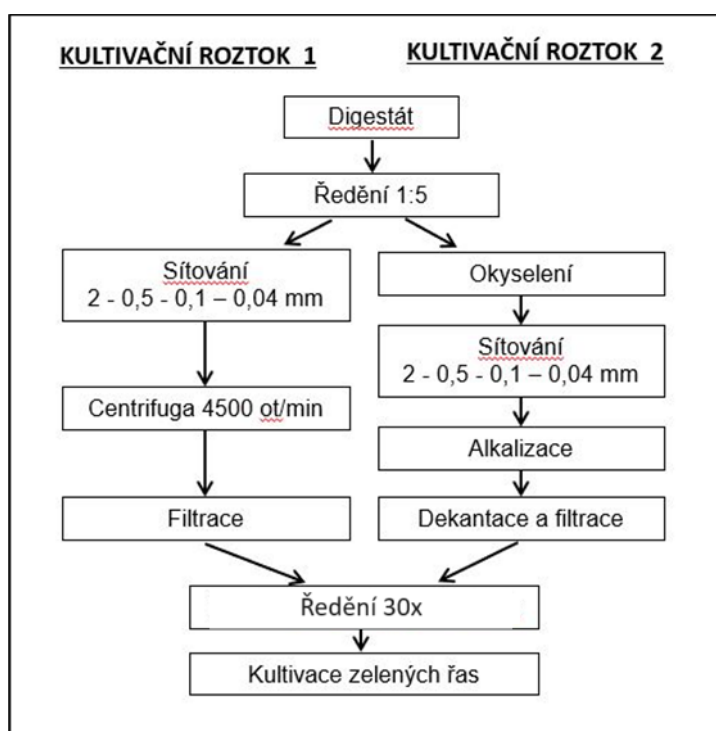
Experimentální část

Pro účely této práce byl na bioplynové stanici ZD Krásná Hora nad Vltavou, a.s. odebrán do 50 litrových PE barelů vzorek digestátu (hovězí kejda, kukuřičná/travní hmota 70/30, velké množství částic < 0,1 mm, málo tekutý). V tomto vzorku byl stanoven obsah aniontů (filtrace přes 0,45 µm membránový filtr a následná analýza technikou kapilární elektroforézy – přístrojem CAPEL-105M, LUMEX, křemenná kapilára v délce 60 cm a průměru 0,74 µm, napětí -20 V, UV detekce při 220 nm).

Obsah kovů v sušině byl stanoven pomocí modifikované metody mineralizace podle EPA Method 3050B, analýza technikou AAS podle ČSN ISO 8288 (AAS SensAA, GBC Scientific Equipment). Základní parametry sušina, obsah organických látek, obsah popela, hodnota pH a konduktivita byly stanoveny podle ČSN EN 13040, ČSN EN 13039, ČSN EN 13038, ČSN EN 13037. Stanovení amoniakálního dusíku bylo provedeno pomocí jednopaprskové spektrofotometrické metody s využitím Nesslerova činidla a detekcí při vlnové délce 470 nm.

Analýza CHNS byla provedena na přístroji Elementar vario Cube III firmy Elementar. Pro kalibraci přístroje byl použit standard Merck kyseliny stearové a standard od Elementar Analysensysteme GmbH (C: 67,68 hm. %, H: 4,95 hm. %, N: 0,69 hm. %, S: 0,81 hm. %). Vzorek (5 – 15 mg) byl spálen v čisté kyslíkové atmosféře. Plynné produkty spalování byly po redukci separovány v chromatografickém systému proplachování a zachycování, a nakonec detekovány detektorem tepelné vodivosti (TCD). Výsledky vstupních analýz jsou shrnuty v tabulce 2.

Na základě rozsáhlé série předběžných laboratorních experimentů byly navrženy dva způsoby předúpravy digestátu, které jsou schematicky ukázány na obrázku 1. Oba způsoby mají společný základ, kterým je naředění digestátu vodou v poměru 1:5. První způsob předúpravy (kultivační roztok 1) je čistě mechanický a zahrnuje síťování, odstředování a posléze filtraci přes membránový filtr (2 µm). Druhý způsob (kultivační roztok 2) kombinuje mechanické postupy s chemickým srážením. Koncovým stupněm předúpravy je u obou způsobů ředění vodou na úroveň použitou pro kultivační experimenty 30x.



Obrázek 1: Procesní schéma přípravy testovaných kultivačních roztoků

V tabulce 1 je uvedeno zjednodušené označení kultivačních roztoků použitých při testech čtyř světelných režimů, které byly připraveny jako kultivační roztok 1 a kultivační roztok 2 kombinací kyselá a alkalická úpravy a poté byly naředěny 30x (a též 60x pro BCU) pro následné kultivační testy zelené řasy rodu *Scenedesmus*.

Tabulka 1: Kombinace kyselin a zásad použitých v rámci chemické úpravy digestátu

	KULTIVAČNÍ ROZTOK 2	
OZNAČENÍ	OKYSELENÍ	ALKALIZACE
A	H ₂ SO ₄	Ca(OH) ₂
B	H ₂ SO ₄	NaOH
C	H ₂ SO ₄	KOH
D	H ₃ PO ₄	Ca(OH) ₂
E	H ₃ PO ₄	NaOH
F	H ₃ PO ₄	KOH
G	HCl	Ca(OH) ₂
H	HCl	NaOH
I	HCl	KOH
	KULTIVAČNÍ ROZTOK 1	
BCU	bez chemické úpravy	

Kultivační roztoky připravené podle obrázku 1 byly použity pro laboratorní experimenty s řasovou kulturou *Scenedesmus cf. acutus* Meyen CCALA 438 (*Scenedesmus cf. acutus*), která pocházela ze Sbírký autotrofních organismů CCALA Botanického ústavu AV ČR, v. v. i. Dodaná kultura byla uchovávána při teplotě 4±1 °C a před každým z dále popsaných experimentů naočkována do 30 ml Bold's Basal (BBM) média v Erlenmayerově baňce, umístěna na orbitální třepačku (130 ot·min⁻¹) a kultivována při stálém osvětlení (zdroj záření 2x 3800 lm, 9500 K) při 24 – 27 °C po dobu tří dnů. Následně byly spočítány buňky pomocí Bürkerovy komůrky a přepočítány na objem 1 ml. Do 50ml Erlenmayerových baněk bylo poté dávkováno vždy 20 ml naředěného kultivačního roztoku podle obrázku 1 a přidána čerstvá řasová kultura tak, aby počáteční koncentrace v baňce odpovídala 100 000 buněk v ml. Kontrolu zde představovalo BBM médium.

Růst řas byl monitorován prostřednictvím počtu buněk pomocí Bürkerovy komůrky, ze kterého byly sestrojeny růstové křivky, tj. grafická závislost koncentrace buněk na době růstu řas, viz obrázek 2. Na konci experimentu byl stanoven výtěžek řasové biomasy. Testovány byly čtyři světelné režimy (poměr světlo:tma vyjádřený v hodinách), a to 24:0, 16:8, 14:10 a 12:12. Stanovení výtěžku bylo provedeno gravimetricky, po odfiltrování a vysušení řas (filtrační papír MN 619 EH, MACHEREY–NAGEL, Germany). Celkový výtěžek řasové biomasy byl vyjádřen v g·l⁻¹.

Výsledky a diskuse

Výchozí charakteristiky odebraného digestátu jsou shrnuty v tabulce 2 a výsledné charakteristiky kultivačních roztoků jsou potom v závislosti na provedených úpravách ukázány v tabulce 3. U prvků s očekávanou inhibiční účinností vůči řasám, jako měď a zinek²³, jejichž původ je převážně z agrochemikálií používaných na ošetření zemědělských plodin, byly zjištěny jen méně významné koncentrace.

Prvním společným krokem obou separačních postupů ukázaných na obrázku 1 bylo ředění digestátu vodou v poměru 1:5, kde ředící poměr byl nastaven tak, aby výsledná suspenze vykazovala dostatečnou tekutost. Tato výchozí úroveň ředění je dále ve výsledcích označována jako šestinásobné ředění.

Příprava kultivačního roztoku 1 spočívala v kombinaci mechanických separačních kroků, během kterých došlo k postupnému odstranění hrubých a suspendovaných částic. Použité schéma mechanické separace vycházelo z předběžných experimentů a zajišťovalo nejlepší dosažitelnou průtokovou rychlost i separační účinnost. Zbytkové koncentrace vybraných kovů a aniontů v takto získaném roztoku jsou ukázány v tabulce 3. Z hlediska růstu zelených řas lze za významné považovat zejména zjištěné koncentrace mědi a zinku, které mechanickou separací prošly a mohly již působit inhibičně při použití neředěných roztoků, nicméně při použití třicetinásobného ředění kultivačního roztoku 1, jako posledního kroku úpravy vyznačeného na obrázku 1, je jejich koncentrace prakticky nestanovitelná, tudíž téměř zanedbatelná.

Při přípravě kultivačního roztoku 2 bylo nejprve provedeno okyselení kyselinou sírovou, fosforečnou nebo chlorovodíkovou na hodnotu pH = 2,0. Poté následovalo odstranění pevných částic (včetně produktů kyselého srážení) na stejné sestavě sít jako u kultivačního roztoku 1. V dalším kroku byly roztoky alkalizovány hydroxidem vápenatým, sodným nebo draselným na výsledné hodnoty pH uvedené v tabulce 3. Po odstranění vzniklých sraženin byly čiré roztoky dále ředěny podle obrázku 1. Výsledné koncentrace sledovaných kovů a aniontů jsou opět ukázány v tabulce 3.

Ve všech variantách chemické úpravy se koncentrace mědi v šestinásobném ředění dostaly pod detekční mez použité analytické techniky, zatímco u zinku byly u variant B a C zjištěny koncentrace na úrovni desetin $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Zásadním způsobem se potom ve složení roztoků projeví kationty či anionty použitých srážecích činidel.

Prostřednictvím výše ukázaných dílčích separačních kroků byla tedy připravena proměnlivá série roztoků pro navazující kultivační experimenty, jejichž přehled a označení jsou uvedeny v tabulce 1.

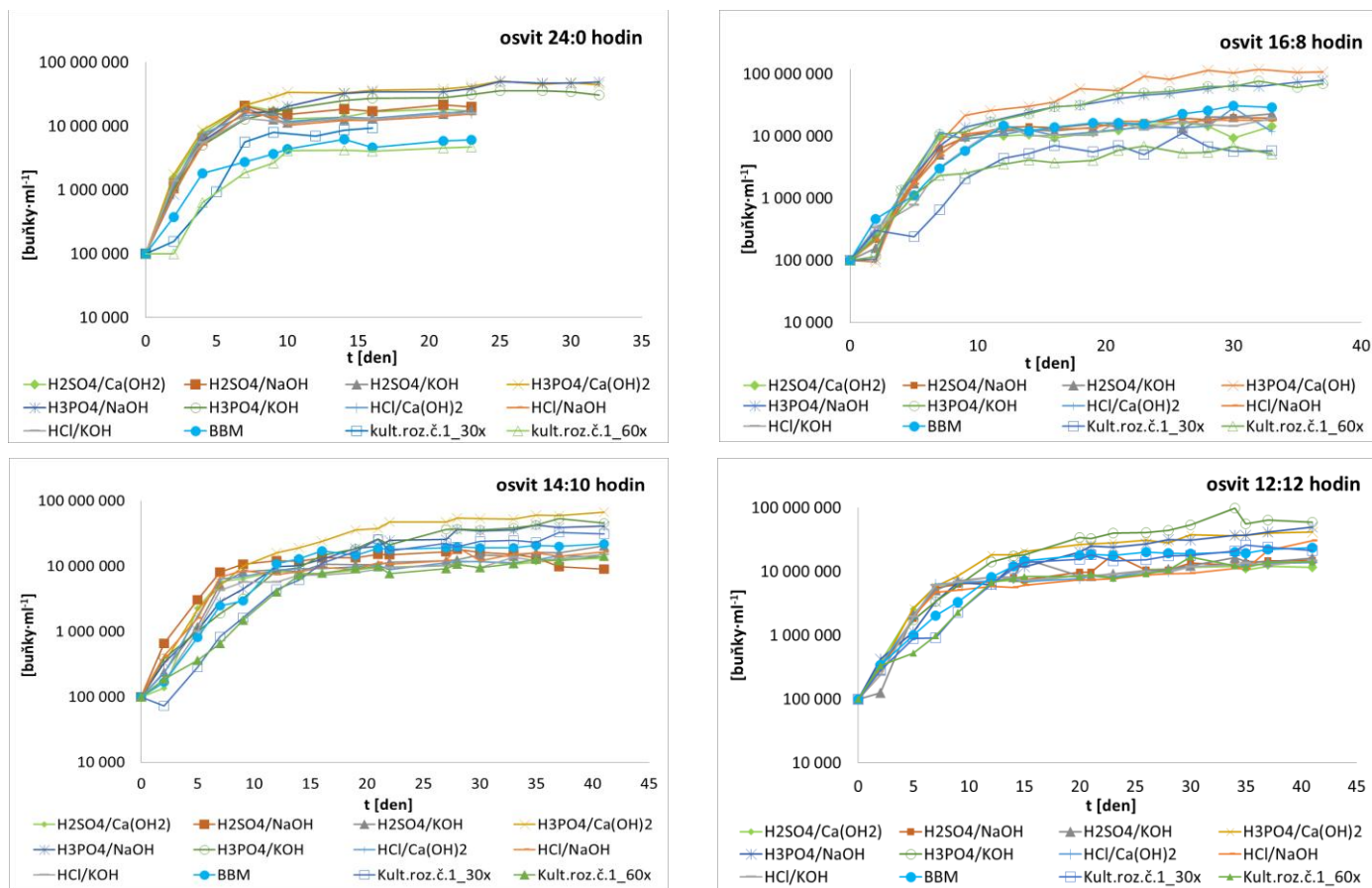
Tabulka 2: Počáteční charakteristika odebraného digestátu²⁴

Sušina	Obsah popela	Obsah organických látek	C	H	N	S	pH	EC
[% hm.]							[-]	[$\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$]
5,86	28,7	71,3	39,5	4,82	3,30	0,73	7,74	4,05

Tabulka 3: Výsledné charakteristiky upraveného digestátu²⁴

Vzorek	Koncentrace kovů, N_{amon} a vybraných aniontů													pH	EC
	Cu	Zn	Fe	Ca	Mg	Na	K	Mn	Cl	SO_4^{2-}	NO_3^-	PO_4^{3-}	N_{amon}		
	[$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]														
A	<0,1	<0,2	0,54	637	144	68,5	584	0,54	225	4410	53,1	5,64	352	7,5	6,85
B	<0,1	0,35	2,1	213	132	621	503	2,2	224	4470	59,1	117	343	6,8	7,61
C	<0,1	0,20	1,10	216	136	74,3	1340	1,5	225	4430	62,6	74,9	377	6,8	7,94
D	<0,1	<0,2	0,36	1,08	14,7	74,4	493	<0,2	215	49,2	74,6	129	310	7,1	3,79
E	<0,1	<0,2	0,17	<0,5	14,0	2800	411	<0,2	218	81,2	87,5	254	271	7,0	8,54
F	<0,1	<0,2	0,12	<0,5	68,6	89,5	4000	<0,2	206	54,5	54,5	177	289	6,9	9,82
G	<0,1	<0,2	0,34	626	151	71,6	517	0,69	3290	73,0	13,5	<0,25	377	7,4	8,36
H	<0,1	0,20	1,6	254	157	509	522	1,9	3250	75,1	18,7	1,10	357	6,9	8,15
I	<0,1	0,20	1,6	255	164	72,4	1180	2,0	3210	73,3	18,2	0,91	346	6,9	8,67
BCU	0,79	0,54	6,3	52,9	80,9	112	410	0,41	482	384	71,6	9,12	306	8,6	4,01

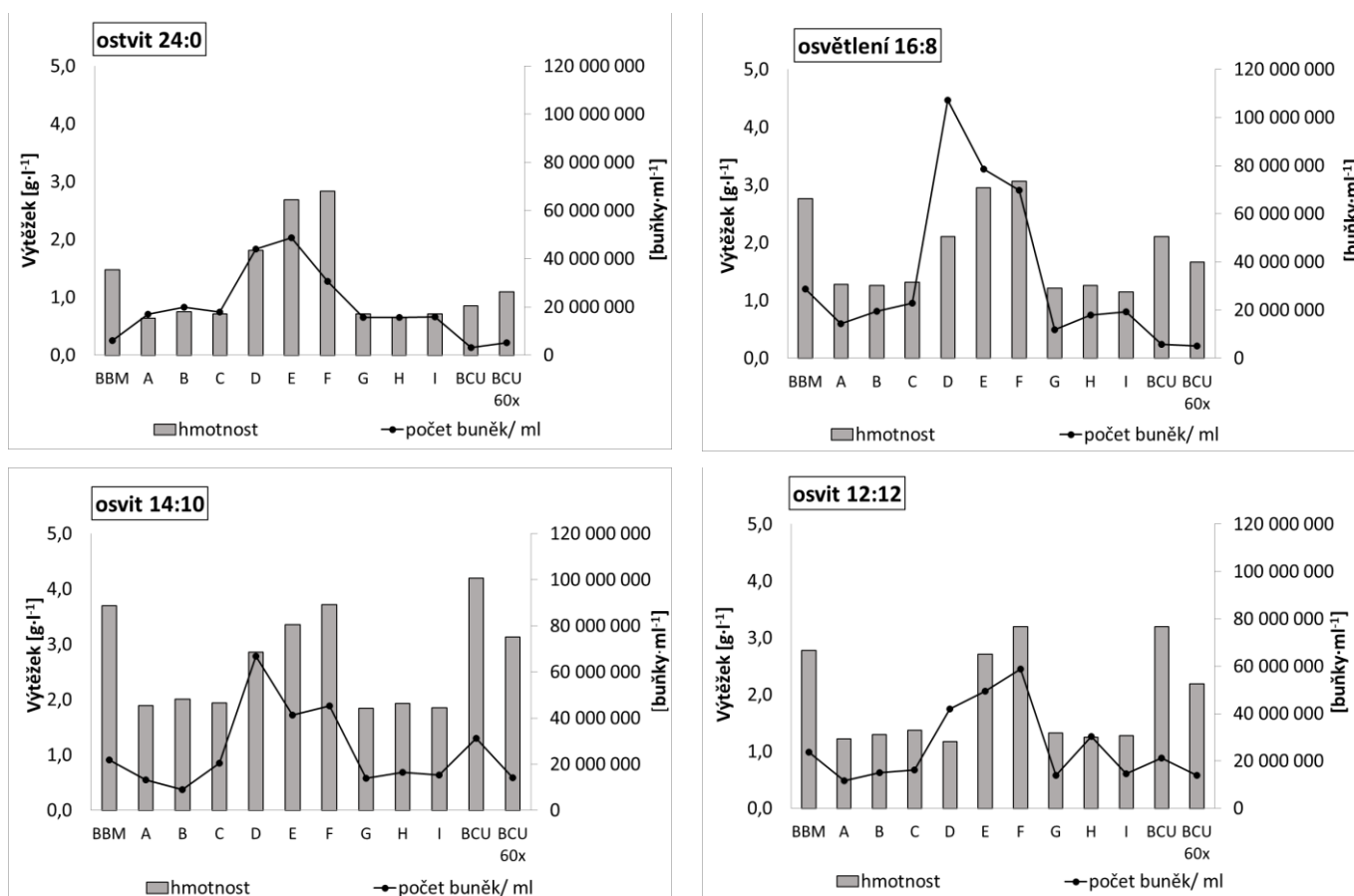
Kinetika růstu řasové hmoty pro výše vyznačené způsoby úpravy digestátu je v souhrnné formě ukázána na obrázku 2. Získaná kinetická data byla interpretována prostřednictvím obecné křivky růstu mikroorganismů v logaritmickém měřítku, kde pro každý dílčí experiment byl vyhodnocen přechod mezi exponenciální a stacionární fází. Takto získaný časový údaj byl následně použit pro nastavení doby trvání experimentů, při kterých byl zjišťován výtěžek řasové hmoty (biomasy). Pro podmínky permanentního osvětlení (24:0) tak byla určena doba pro sklizeň řas 23 dnů, zatímco pro další typy osvětlení (16:8; 14:10; 12:12) byly stanoveny doby 33; 41; 41 dnů.



Obrázek 2: Porovnání růstových křivek *Scenedesmus cf. acutus* v kultivačních roztocích 1, 2 digestátu z bioplynové stanice Krásná Hora, na základě sledování počtu buněk na ml uvedených v logaritmickém měřítku.

Hlavním faktorem ovlivňujícím růst zelených řas je světlo, které poskytuje energii potřebnou pro průběh metabolických procesů. Správné nastavení dostupnosti a intenzity světla má z hlediska výtěžnosti řasové hmoty zásadní význam. Nevýhodný je zde jak nedostatek, tak i přebytek světla, který může vést k tvorbě škodlivých forem reaktivního kyslíku a vzniku oxidačního stresu²⁵. V této práci byly výtěžky řasové biomasy sledovány při čtyřech světelných režimech, včetně permanentního osvětlení. Testovány byly všechny varianty mechanické a chemické předúpravy při třicetinasobném naředění kultivačních roztoků, které se ukázalo jako nejvýhodnější. Výsledky kultivačních experimentů jsou v souhrnné formě ukázány na obrázku 3.

Jako nejméně vhodný se zde z hlediska výtěžku řasové hmoty ukázal vcelku jednoznačně permanentní osvětlení. Za nejvhodnější můžeme potom považovat poměr světlo:tma 14:10, kde kromě celkově vysokých výtěžků byla vůbec nejvyšší hodnota tohoto parametru zjištěna pro kultivační roztok 1, který byl z digestátu připraven pouze síťováním, bez použití chemických látek. Vysoký efekt čistě mechanické předúpravy digestátu byl zjištěn také pro poměr světlo:tma 12:12, kde byly zjištěny prakticky stejné výtěžky pro kultivační roztok 1 a kultivační roztok 2 srážený kyselinou fosforečnou.



Obrázek 3: Výtěžek řasy *Scenedesmus cf. acutus* při různých režimech osvětlení (■ výtěžek, — počet buněk)

Efekt chemické úpravy prováděné v celkem devíti variantách u kultivačního roztoku 2 je ovšem velmi výrazný z hlediska počtu buněk v jednotkovém objemu. Zde se pro všechny poměry osvětlení projevoval stimulační účinek fosforečnanů, jejichž koncentrace byla ve variantách D – F oproti původní úrovni výrazně vyšší. Ze dvou parametrů znázorněných na osách Y na obrázku 3 je s ohledem na cíl této práce výrazně významnější výtěžek řasové hmoty. Za nejdůležitější přínos práce pak lze považovat zjištění, že nejvyšší praktický potenciál vykazuje kultivační roztok připravený z digestátu pouze mechanickou úpravou, tedy bez použití chemických látek.

Vysvětlení překvapivé úspěšnosti pouhé mechanické úpravy digestátu, stejně jako rozdílných trendů mezi výtěžkem řasové hmoty a počtem buněk, je čistě na základě zde ukázaných výsledků obtížné. Růst zelených řas v rámci provedených experimentů ovlivňovala, nebo přinejmenším mohla ovlivňovat, řada faktorů, které jednotlivě mohly působit stimulačně i inhibičně a celkový efekt pak byl dán jejich součtem. Ilustrativním příkladem zde může být přítomnost rozpuštěných organických látek. Množství fosforečnanů v kultivačních roztocích je ovlivněno přidávkem $\text{Ca}(\text{OH})_2$, které se v kombinaci s přítomným vápníkem sráží, což při použití NaOH a KOH nenastává. Použitím KOH dochází k významnému vnesení draselných iontů do roztoku, přičemž draslík spolu s dusíkem a fosforem je jedním ze tří primárních makroživin pro produkci biomasy, což potvrzuje i nejvyšší výtěžek řasové biomasy na obrázku 3 u kultivačního roztoku 2, který byl upraven kombinací H_3PO_4 a KOH.

Bylo ukázáno²⁶, že rozpustné organické látky (stejně jako vysoký obsah amoniakálního dusíku²⁷) mohou způsobovat významnou inhibici růstu zelených řas, a proto je důležité zařadit jako první krok úpravy digestátu ředění^{26,28}. Rozpustné organické látky a amoniakální dusík mohou ale na druhé straně v digestátu vytvářet komplexy s přítomnými kovy²⁹ a snižovat tak jejich toxicitu vůči řasám. Reálný efekt je tak zpravidla nutné ověřit experimentem.

Výše popsané experimenty a z nich vycházející výsledky tedy prokázaly dobrou využitelnost digestátu z bioplynové stanice ZD Krásná Hora nad Vltavou, a.s. pro kultivaci zelených řas, kde potřebnou úpravu digestátu zajišťovala pouze jednoduchá mechanická separace suspendovaných látek větších než 0,04 mm a odstředění koloidních látek. I když v porovnání s kultivačním roztokem 2 v kombinaci kyseliny fosforečné a hydroxidu draselného poskytlo vyšší výtěžky řasové biomasy, je potřeba zmínit, že vzhledem k BCU tato, ale i ostatní kombinace chemické úpravy digestátu, s sebou nesou technické a technologické komplikace, a především také náklady spojené s nutností pořízení činidel, dávkovacího zařízení, odstraněním vzniklého kalu a dalšího technologického vybavení, jako jsou nádrže pro úpravu a skladování, nehledě na to, že dochází k prokazatelnému zasolení kultivačních roztoků, které může ovlivnit produkci řas a tvorbu biomolekul, jako jsou sacharidy nebo lipidy, které mohou být využitelné pro další aplikace v potravinářském nebo biopalivářském sektoru. Vybraná zelená řasa rodu *Scenedesmus* plně v souladu s dřívějšími zdroji³⁰ vykazovala schopnost relativně vysokého výtěžku a dobrou celkovou odolnost. Získané výsledky vykazují vysoký aplikační potenciál³¹.

Závěry

V práci byly v laboratorním měřítku ověřeny dva způsoby předúpravy digestátu z bioplynové stanice, jejichž výsledkem byly čiré roztoky živin využitelné pro pěstování zelených řas. První způsob byl čistě mechanický, zatímco druhý kombinoval mechanické a chemické separační principy. Sledování kinetiky růstu zelených řas *Scenedesmus cf. acutus* v předupravených roztocích ukázalo optimální doby růstu, tj. od nadávkování matečné kultury řas do kultivačních roztoků až po dosažení stacionární fáze růstu, kdy dochází k vyčerpání nutrientů potřebných pro růst. Konkrétně tedy pro světelný režim 24:0 (světlo:tma) jde o 7. až 10. den kultivace s prodlouženou dobou kultivace až na 21 dní pro roztoky upravené pomocí kyseliny fosforečné. Pro světelný režim 16:8 pak 12. až 14. den kultivace s prodlouženou dobou kultivace až na 23 dní pro roztoky upravené pomocí kyseliny fosforečné. Pro světelný režim 14:10 a 12:12 by byla optimální doba růstu shodně 14. až 16. den opět s prodloužením doby růstu až na 27 dní pro roztoky upravené pomocí kyseliny fosforečné.

Pro zvolené úrovně osvitů 24:0, 16:8, 14:10 a 12:12 byly následně stanoveny výtěžky řasové biomasy na konci kultivačních testů tj. 23.(32.), 33.(37.), 41., 41. den kultivace, jejichž porovnání vcelku jednoznačně ukázalo výhodnost čistě mechanického způsobu předúpravy. S výjimkou permanentního osvitů, byly výtěžky řasové hmoty po mechanické předúpravě zcela srovnatelné s výtěžky po úpravě kombinované, včetně systému s kyselinou fosforečnou, kde se očekával stimulační efekt. Tento závěr je z praktického hlediska velmi pozitivní, neboť naznačuje možnost jednoduché předúpravy digestátu (bez použití chemických látek) a fotobioreaktoru s dobrým výtěžkem při přirozeném denním režimu.

Poděkování

Tato práce vznikla s podporou projektu TA04020608 a projektu financovaného z účelové podpory na specifický vysokoškolský výzkum (MŠMT č. 20-SVV/2017).

Literatura

1. <https://www.czba.cz>, staženo 3.7. 2024.
2. Straka F.: v knize v knize *Bioplyn, Příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů*, str. 399. GAS s.r.o., Říčany 2003.
3. Mystkowski E.: *Kukurydza 1 (46)*, 52 (2015).
4. Fuchs W., Drosig B.: *Water Sci. Technol.* 67, 1984 (2013).
5. Duffková R., Mühlbachová G., Matějka J., Zajíček A., Kusá H., Fučík P., Káš M., Nobilis P., Bartoš P., Fendrych B.: v certifikované metodice *Metodický postup pro efektivní užití digestátu ze zemědělských bioplynových stanic*, str. 8., <https://www.vurv.cz/wp-content/uploads/2021/06/ISBN-978-80-7427-227->

- 1_ISBN-978-80-87361-62-7_VURV-VUMOP-Metodicky-postup-pro-efektivni-uziti-digestatu-ze-zemedelskych-bioplynovych-stanic.pdf, staženo 20. 1. 2024.
6. Bauer L., Ranglová K., Masojádek J., Drosig B., Meixner K.: *Appl. Sci.*11(3),1056 (2021).
 7. Nkoa R.: *Agron. Sustain. Dev.* 34, 473 (2014).
 8. Möller K., Müller T.: *Eng. Life Sci.* 12, 242 (2012).
 9. Rizzioli F., Bertasini D., Bolzonella D, Frison N., Battista F.: *Sepr. Purify.Tech.*306 B, 122690 (2023).
 10. Levine R.B. a kol.: *Biomass Bioenerg.*, 35, 40 (2011).
 11. Xia A. a kol: *Trends Biotechnol.*, 34 (2016), 264 – 275.
 12. Lukehurst C.T. a kol.: v publikaci *Utilisation of digestate from biogas plants as biofertiliser*, str. 17., https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2010/06/Digestate_Brochure_Revised_12-2010.pdf, staženo 20.1.2024.
 13. <https://zemedelec.cz/vyuzit-se-muze-i-odpadni-teplo/>
 14. Bělohav V., Jirout T., Krátký L.: *Chem. Listy* 112, 183 (2018).
 15. Přerovská T., Benešová E., Lipovová P.: *Chem. Listy* 115, 171 (2021)
 16. Borowitzka M.A.: *Journal of Biotechnology*, 70, 313 (1999).
 17. Borowitzka M. A., Moheimani N.: *Mitig. Adapt. Strat. Glob. Change* 18, 13 (2013).
 18. Bělohav V., Jirout T., Elster J., Liška J., Nedbalová L., Kvíderová J.: *Chem. Listy* 117, 613 (2023).
 19. Ao Xia, Murphy J. D.: *Trends in Biotechnology* 34(4), 264 (2016).
 20. Hrychová P, Šír M., Bervic A.: *WASTE FORUM* 5, 284 (2016).
 21. Xu J., Zhao Y, Zhao G, Zhang H.: *Appl Microbiol Biotechnol*, 99, 6493-6501 (2015).
 22. Franchino M., Comino W., Bana F., Riggio A.V: *Chemosphere.* 92 (6), 738-744 (2013).
 23. Belon E., Boisson M, Deportes I.Z., Eglin T.K., Feix I., Bispo A.O., Galsomies L., Leblond S., Guellier C.R: *Sci. Total Environ.* 439, 87 (2012).
 24. Tomášová P., Marcínková E., Šír M.: *Sanační technologie XX*, 24. – 25. května 2017, Uherské Hradiště str. 97-103, Vodní zdroje Ekomonitor s.r.o, Chrudim 2017. ISBN 978-80-88238-10-0.
 25. Sforza E., Simionsto D., Giacometti G. M., Bertuccio A., Morosinotto T.: *PLoS One* 7(6), e38975 (2012).
 26. Chong C.C., Cheng W. Y., Ishak S., Lam M.K., Lim J.W., Tan I.S., Show P.L., Lee K.T.: *Sci. Total Environ.* 803 (2022) 150070.
 27. Sobolewska E, Borowski S., Novicka-Krawczyk P.: *J. Environ. Manage.* 344, 118445 (2023).
 28. Al-Mallahi J., Ishii K., Sato M., Ochiai S.: *J. Environ. Manage.* 335, 117557 (2023).
 29. Kubal M., Šváb M., Čermák J., Borýsek A.: *Sep. Sci. Technol.* 36, 3223 (2001).
 30. Rossi S., Carecci D., Marazzi F., Benedetto F.D., Mezzanotte V., Parati K., Alberti D., Geraci I., Ficara E.: *Heliyon* 10, e23240 (2024).
 31. Zhang R.L., Wang J.H., Cheng L.Y., Tang Y.J., Chi Z.Y.: *Int. J. Green Energy* 16, 825 (2019).

Supporting green algae production in biogas plant operation

Pavla TOMÁŠOVÁ*, Marek ŠÍR, Zuzana HONZAJKOVÁ, Jana CHUMCHALOVÁ, Jiří HENDRYCH, Eva MARCÍNKOVÁ, Martin KUBAL

University of Chemistry and Technology Prague, Faculty of Environmental Technology, Czech Republic;

* corresponding author: e-mail: hrychovp@vscht.cz

Summary

The use of pretreated liquid digestate from a biogas plant was studied within the cultivation of green algae to utilize the inorganic components contained. The digestate was pretreated by 1) sieving and 2) by sieving followed by chemical precipitation. The algae *Scenedesmus cf. acutus* Meyen CCALA 438 was used for the cultivation tests carried out with four levels of illumination. The highest yield of algal biomass was observed in the digestate pretreated by sieving alone, which provides a chance for a technologically simple and economically acceptable implementation.

Keywords: Biogas plant, digestion residues, green algae

Application of Environmental Management Measures in Accommodation Facilities: Evidence From Czechia

Petr SCHOLZ^a, Ivica LINDEROVÁ^b, PAVLA VRABCOVÁ^{c*}

^a Prague University of Economics and Business, Winston Churchill Sq. 1938/4, 130 67 Prague 3, Czechia

^b College of Polytechnics Jihlava, Tolstého 16, 586 01 Jihlava, Czechia

^c Technical University of Liberec, Faculty of Economics, Voroněžská 13, 460 01 Liberec, Czechia

* corresponding author: e-mail: pavla.vrabcova@tul.cz

Abstract

Trends in accommodation services in recent years include an approach to ecology and the principles of sustainable development. These trends manifest mainly in large hotel companies, but independent hotels and guesthouses with a smaller bed capacity are also trying to go green. The goal of this article is to analyze the application of environmental measures in selected accommodation facilities in Czechia (administrative district Žďár and Sázavou). The questionnaire was evaluated as the most suitable data collection method to answer the research questions. Accommodation facilities ($n = 47$) were contacted from November 2022 to March 2023, and the selection set consisted of 33 accommodation facilities. The method of correspondence analysis was used for the evaluation, and the STATISTICA 12 software was used for graphical representation. The results indicate minimal differences in the number of environmental measures implemented between collective accommodation facilities, i.e., hotels and guesthouses. The categories of apartments, and cottages & chalets achieved reasonable results. However, they did not apply more than half of the environmental measures concerning employees and guests. On the other hand, the star rating of accommodation facilities is not a key parameter in the environmental impact assessment. The research results are helpful for the practice of national professional associations that promote resource conservation and thus influence the entire hospitality industry. Furthermore, they can be used by other accommodation facilities to gain information on sustainability issues or examples of best environmental practices.

Keywords: hospitality, accommodation facilities, environmental management, Czechia

Introduction

Sustainability and corporate social responsibility are becoming a more significant strategic issue in the business environment¹⁻³. The values associated with sustainable business are included in the foundations of strategies for the further development of businesses⁴⁻⁶, and this is unchanged in the case of accommodation facilities as well^{7,8}. Thriftiness in the local and global environment is very important, as the demand for sustainable products, services, and consumption increases with the dwindling supply of natural resources⁹. Urbancová and Vrabcová add that sustainable business is about managing the triple profit, which¹⁰ defines as economic, social, and ecological. The triple bottom line approach^{11,12}, which arose out of frustration with traditional, financially focused measures of business performance, suggests that decision-making criteria should also include social and environmental factors instead of a business focusing solely on profit maximization¹³ as the concept supports the evaluation of overall business performance based on three critical areas: profit, people and planet¹⁴. Businesses know that success is not only reflected in their profit and loss statements. Instead, to gain an accurate and holistic

view of its operations and relationships with the environment, community, and economy, a business must thoroughly consider all the costs of doing business beyond compliance¹². The International Union for Conservation of Nature (IUCN), in the document *Many Voices, One Earth*, states that some businesses favor the economic pillar of sustainable development over the social, especially the environmental one¹⁵. Even though this document is almost twenty years old, companies still prioritize the economic side over others. However, in our opinion, the situation is improving, as businesses that do not consider the social and environmental pillars will not survive in the tourism market in the long term. It is, therefore, more than desirable that the dimensions of the environmental and social pillars are comparable to the economic ones (Figure 1).



Figure 1: The three pillars of sustainability
Source: IUCN, 2004.

The circular economy, whose principle consists of the alternative reuse, recycling, and recovery of materials¹⁶, is an integral part of sustainable development^{17–19} and represents one of the possible ways to ensure a sustainable hospitality business^{20,21} where production and consumption generate net zero (or near zero) waste. The 3R principle, i.e., Reduce – Reuse – Recycle, has already been adopted by many businesses in the tourism industry²². However, Vargas-Sánchez²³ describes the circular economy in terms of the 6Rs, i.e., Reuse – Recycle – Redesign – Remanufacture – Reduce – Recover.

The effort to minimize any negative environmental impact is manifested in the hotel industry through environmental management (also known as green or green management). Environmental management refers to an organization's philosophy, technology, and methodology aimed at optimizing the impact of its operations on the environment. It is becoming a fundamental aspect of the operation of tourism businesses worldwide²². Environmental management in hotels is usually focused on waste management, saving energy and water, improving indoor air quality, and educating employees and hotel guests to protect the environment. It is the hotel industry that causes a less negative impact on the environment than the manufacturing industry²⁴. However, due to the luxurious nature of its functions, operations, and services provided, hotels consume a large amount of non-durable products, water, and energy, creating a much more significant negative impact on the environment than can be expected²⁵. Montabon et al.²⁶ defined environmental management practices as techniques, principles, and procedures used by a hotel specifically aimed at monitoring and controlling the impacts of its operation on the natural environment.

Running an accommodation facility that satisfies every need of the most demanding guest, creates an unforgettable image on the market, and its competitiveness reflects all its competitors is challenging. In addition, with ongoing efforts to sustain the development of an environment in which tourism and the hotel industry play a significant role, the chances of success often disappear. However, it can mean something other than an apparent failure. Information and communication technologies in the tourism industry contain many utilities, practices, and elements that help managers run just such successful accommodation facilities and enjoy the joy not only of satisfied guests but also of the quality of the environment to which the accommodation facility contributes²⁷. The pressure to reduce costs, especially during the COVID-19 pandemic, is noticeable. In their study,²⁸ verified that, in the long term, accommodation applying environmentally friendly principles reduces costs with higher societal added value and increases the rate of return on investment. In addition, Omune et al.²⁹ note that the

government should provide accommodation facilities with financial support to implement costly environmental measures. As a result, hotels have been challenged by stakeholders such as governments, customers, investors, and government agencies to implement measures to enable them to protect and preserve the natural environment. Following the growing interest in environmental management in the hotel sector, hotels have adopted various environmental management practices that allow them to reduce the negative impacts of their operations. An environmental management plan represents the techniques, policies, and procedures adopted by organizations specifically aimed at monitoring and controlling the negative impacts of their activities on the natural environment²⁶.

Table 1: Examples of environmental management elements in accommodation facilities

Economic and social activities	<ul style="list-style-type: none"> - purchasing commodities and products within the region, - supporting local infrastructure, - utilizing public transport and bikes, - employing residents, etc.
Communication and raising employees' and guests' awareness	<ul style="list-style-type: none"> - a steady plan for staff training in working with new technologies, - setting work procedures and checking their implementation, - promoting a public environmental program, - gently promoting the observance of green principles even by guests, etc.
Management	<ul style="list-style-type: none"> - implementing EMAS, EN ISO 14 001 standards, - purchasing in bulk, - giving priority to "eco-friendly" products, - purchasing quality and truly needed products, - purchasing products from regional suppliers, - measuring customer satisfaction, etc.
Waste management	<ul style="list-style-type: none"> - sorting waste at the accommodation facility, - recycling bins for plastic, paper, etc., in hotel rooms, - multiple reuses of recyclable materials, - composting organic waste, etc.
Energy conservation	<ul style="list-style-type: none"> - geothermal energy and waste heat utilization, - heating and air-conditioning control, - compact fluorescent lamps and LED light bulbs, - at a minimum Class A energy-efficient appliance, - energy-saving technologies, - thermal insulation of buildings, etc.
Water conservation	<ul style="list-style-type: none"> - installing single lever taps and faucet aerators - installing water-saving shower heads, - dual-flush toilets, - utilizing greywater, - rainwater catchment, etc.

Source: Own elaboration, 2024.

Several measures (Table 1) in environmental protection are primarily aimed at reducing energy consumption³⁰⁻⁴⁴ and water⁴⁵⁻⁵⁵. It also involves the reduction of chemical agents, office material, increasing the proportion of natural materials⁵⁷, limiting the generation of waste⁵⁶⁻⁶⁸, aestheticizing the environment, reducing noise and emissions, etc.^{69-75,75,76}.

Accommodation facilities take different approaches to selecting cost-saving measures. Some facilities decide based on what is most urgent, while others focus on measures that will bring the most significant savings at the lowest cost. There are many ways to go green. Environmental responsibility takes many forms, including energy management or recycling practices, turning off lights, monitoring air conditioner use, or recycling waste⁷⁷.

This article aims to analyze the application of environmental measures in selected accommodation facilities in Czechia.

Data and Methods

The goal of this article is to analyze the application of environmental measures in selected accommodation facilities in Czechia (administrative district Žďár and Sázavou, see Figure 2). It is located in the north-east of the Vysočina Region. The neighboring municipalities with extended competence are Havlíčkův Brod, Chotěboř, Jihlava, Velké Meziříčí, Nové Město na Moravě. The administrative area includes 48 municipalities, the average of the Vysočina Region. The territory is covered with dense forests, and half of the area is agricultural land (CZSO, 2013).



Figure 2: The map of the administrative district Žďár and Sázavou
Source: Czech Statistical Office, 2023.

The administrative district of Žďár nad Sázavou (Figure 3) is an area with good environmental quality. Implementing transport and technical infrastructure and other processes reduces environmental risks and the negative impacts of human activity on this district's environment and public health. These include improving air quality, reducing the volume of liquid waste, protecting water resources, reducing the volume of unsorted municipal solid waste, improving old ecological burdens, eliminating the mutual adverse effects of activities in the area, and anti-flood measures. In this mentioned district, there is no facility (industrial, agricultural, mining) with significant adverse effects on the environment (CZSO, 2013).



Figure 3: The detailed map of the administrative district Žďár and Sázavou
Source: CZSO, 2023.

The following research question was posed concerning the research goal: What environmental management measures are most often applied in selected accommodation facilities? The questionnaire was evaluated as the most suitable data collection method to answer the research questions. Accommodation facilities were continuously contacted using e-mail addresses for five months, from November 2022 to March 2023, at three-week intervals. Respondents were sent a link to the online questionnaire. In the case of non-functioning or full e-mail boxes of the accommodation facility, the operators, owners, or receptionists were contacted by phone, and after the agreement, a questionnaire was sent to them via social networks. The highest return of completed questionnaires was recorded at the end of November and the beginning of December 2022. The questionnaire targeted hotels, guesthouses, apartments, and cottages and chalets. It consisted of twelve questions: the first five were general and identified the respondents, i.e., the accommodation facilities into appropriate categories. In contrast, others focused on the usage of environmental management. Another section dealt with individual environmental management measures and elements. The questions were formulated so that respondents could choose from several options. All the participants remained informed concerning the research and the privacy of the questionnaire, and all of them were willing to participate. The method of correspondence analysis was used for the evaluation, and the STATISTICA 12 software was used for graphical representation. The number of mass accommodation facilities is 47 in this district, of which 2,100 beds. The most significant number of accommodation facilities can be found directly in the town of Žďár nad Sázavou, with a total of twelve accommodation facilities with a structure of six hotels, two guesthouses, and four other accommodation facilities (apartments + cottages and chalets). The village of Škrdlovice occupies the second place with eight accommodation facilities. It is dominated by guesthouses with five and other accommodation facilities (apartments + cottages and chalets). The municipality of Svatka and the municipality of Polnička have more than three accommodation facilities. The remaining municipalities in the municipality of Žďár nad Sázavou have either one or two accommodation facilities. There are ten hotels, twenty guesthouses, and seventeen other accommodation facilities (apartments + cottages and chalets; Czech Statistical Office, 2023). All the accommodation facilities were contacted ($n = 47$), and the selection set consisted of 33 accommodation facilities. The return rate was 70% (Table 2).

Table 2: Selection set

Category	Basic set	Selection set	Return rate in %
Hotel	10	9	90
Guesthouse	20	10	50
Apartment	9	7	78
Cottage and chalet	8	7	88
Total	47	33	70

Source: Own elaboration, 2024.

Results

Thirty-three accommodation facilities participated in the research, of which 31% were guesthouses, and 27% were hotels. Categories “apartments” and “cottage and chalet” comprised 21%. More than half of the accommodation facilities (55%) stated they had no stars. Tourist class included only 3% of accommodation facilities, Economy class (12%) and Standard class (30%). The First Class and Luxury classes had no representation in the basic set. Accommodation facilities with different capacities were used in the research. The basic set contains accommodation facilities with a smaller accommodation capacity, which was also confirmed in the selection set. The most represented was the capacity of 5 to 20 rooms, where all guesthouses were included, and overall, 52% of accommodation facilities applied for this capacity. The second most represented capacity was 1 to 4 rooms (all apartments), more than one-third of accommodation facilities (36%). The capacity of 21 to 40 rooms was represented by 9% of accommodation facilities (hotels only), and the capacity of 41 to 60 rooms was represented by 3% of accommodation facilities (hotels only; Figure 4).

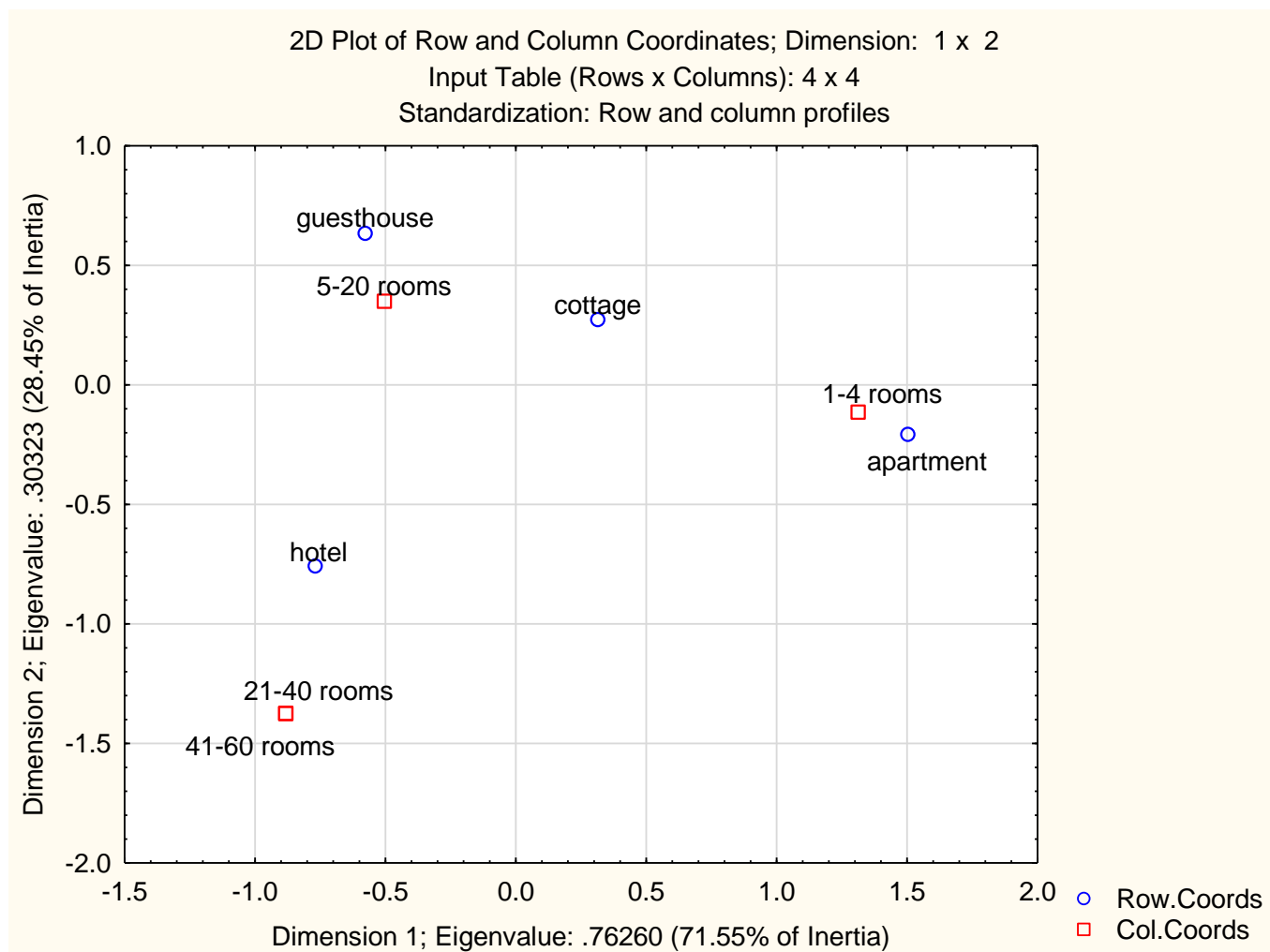


Figure 4: The capacity of surveyed accommodation facilities
 Source: Own elaboration, 2024.

The application of environmental measures varied in the accommodation category. Thermal insulation of the building was the most applied measure in the hotel category (78%). The least applied measure was in the cottage and chalet category (29%). In contrast, thermal insulation of windows was the most applied measure in the cottage and chalet category (57%), and the least applied measure was in the apartment category (29%). Heating control in individual rooms was the most applied measure in the apartment category (86%) and the least in the cottage and chalet category (71%). However, this measure was more than 70% in all categories. The solar energy measure was at most 30% for the accommodation categories. The apartment category and cottage and chalet category had the highest uptake (29%). The cottage and chalet category had the highest value of energy-saving appliances (86%), followed by the hotel (78%) and guesthouse (70%) categories, and the apartment category was the lowest (14%). More than half of the hotels (67%) unplugged unused appliances. Guesthouses were worse off by more than half, with only 30% reporting that they take this measure, the worst of all categories. The use of low-consumption light bulbs was the most applied energy measure by all categories: hotels (100%), guesthouses (100%), apartments (86%), and cottages and chalets (86%). Automatic motion sensor lights in rooms were installed by hotels (11%) and guesthouses (10%). The guesthouses (70%) and hotels (44%) mainly applied automatic lights for motion sensors in corridors. The other categories did not apply these measures because of their uselessness (Table 3).

Table 3: Environmental measures – energy (%)

Measure	Hotels	Guesthouses	Apartments	Cottages and chalets
Thermal insulation of the building	78	50	57	29
Thermal insulation of windows	44	50	29	57
Heating control in individual rooms	78	80	86	71
Solar energy	11	10	29	29
Energy saving appliances	78	70	14	86
Unplugging appliances not in use	67	30	43	43
Energy-saving light bulbs with low consumption	100	100	86	86
Automatic motion sensor lights in rooms	11	10	0	0
Automatic motion sensor lights in corridors	44	70	0	0
Lights in rooms via hotel card	0	0	0	0

Source: Own elaboration, 2024.

Water flow reduction devices, such as aerators, were used most by hotels (89%), followed by apartments (71%), and cottages and chalets (57%). None of the respondents in the guesthouse category reported using water flow reduction devices. Water-saving shower heads were also used most by hotels (78%), followed by apartments (71%) and guesthouses (50%). Two-stage flushing toilets were used most by the hotel category (100%), followed by apartment, and cottage and chalet categories (86%) and guesthouses (80%). The possibility of collecting rainwater for later use is one of the lesser-known water-saving measures. This measure was mainly applied by guesthouses (20%), followed by cottages and chalets (14%), and hotels (11%). The change of bed linen was applied only upon guest request by 90% of guesthouses (Table 4).

Table 4: Environmental measures – water (%)

Measure	Hotels	Guesthouses	Apartments	Cottages and chalets
Water flow reduction devices (aerators)	89	0	71	57
Energy-saving shower heads	78	50	71	43
Two-stage toilet flush	100	80	86	86
Rainwater collection for later use	11	20	0	14
Change of linen and towels only on guest request	33	90	14	14

Source: Own elaboration, 2024.

All surveyed hotels (100%), guesthouses (90%), and cottages and chalets (86%) had sorting containers in their properties. Apartments were the least likely to have this measure (71%). The apartments (43%) and cottages and chalets (43%) had the most sorting bins in each room. The results are above average, but every accommodation facility should sort the waste. We note that such an obligation exists and is enshrined in the Waste Act (No. 541/2020 Coll.), specifically in § 62. The law does not regulate in what specific way and to what extent; it only specifies that it is necessary to enable sorting into containers for paper, plastics, glass, metals, and biological waste. The methodological instruction of the Ministry of the Environment states that collection containers must be placed at a reasonable distance and in sufficient numbers so that customers can dispose of waste. In our opinion,

it is not a requirement to have containers for sorted waste in every room. At the same time, we do not believe it is necessary, for example, for the maid to take over and further sort the waste. However, the law requires placing sufficient containers at a reasonable distance. This is up to individual judgment, but we can imagine one such place on the floor, e.g., strategically located near the elevator, the staircase (where most customers pass, so they have collection containers "on the way"), then, for example at the exit of the hotel or in another place, or more considerable waste should be sent to collection containers for sorting in the hotel's facilities, for example (ramp, etc.). The guesthouse category was the best in sorting bio-waste (90%). Apartments (57%), hotels (56%), and guesthouses (50%) were the most likely to minimize single-use products. Apartments (14%), hotels (11%) and guesthouses (10%) were the most likely to reuse recycled materials. Eco-friendly cleaning products were used by 50% of guesthouses and 14% of cottages and chalets. No hotel or apartment applied this measure (Table 5).

Table 5: Environmental measures – chemicals and waste (%)

Measure	Hotels	Guesthouses	Apartments	Cottages and chalets
Sorting containers	100	90	71	86
Sorting bins in individual rooms	22	20	43	43
Sorting of biological waste	22	90	43	43
Minimizing single-use products	56	50	57	29
Reuse of recycled materials	11	10	14	0
Eco-friendly interior paints, varnishes	0	30	0	0
Eco-friendly cleaning products	0	50	0	14

Source: Own elaboration, 2024.

Staff training regarding the environment was applied most by guesthouses (20%), followed by cottages and chalets (14%). Hotels and apartments still need to train their staff about the environment. Staff training regarding the correct dosing of cleaning agents was also carried out primarily by guesthouses (40%), followed by apartments (14%), and hotels (11%). Apartments trained their staff the most about efficient management of waste, water, energy, and natural resources (43%), followed by hotels (33%), guesthouses (20%), cottages and chalets (14%). This measure was the only one represented in each category of accommodation facility. Only guesthouses reported rewarding their employees for suggestions in ecology (10%). Guesthouses (10%) and hotels (11%) applied to support employees in using public transport. Only 11% of hotels reported informing guests about environmental efforts in their information brochures. Less than 1/5 of cottages and chalets (14%) reported informing guests about environmental efforts on booking portals. Half of the guesthouses (50%) did not apply any environmental measures; for hotels, it was even a value of 56%, apartments 57%, and cottages and chalets 71%. Thus, cottages and chalets applied the most minor environmental measures regarding staff and guests. This may be because of the nature of the cottages and cottages, as this accommodation facility has few employees (Table 6).

Table 6: Environmental measures – staff and guests (%)

Measure	Hotels	Guesthouses	Apartments	Cottages and chalets
Educating employees about environmental management	0	20	0	14
Educating employees about the correct dosage of cleaning agents	11	40	14	0
Educating employees about waste, water, energy and natural resources management	33	20	43	14
Rewarding employees for suggestions for environmental improvements	0	10	0	0
Encouraging employees to use public transport (e.g. travel allowance)	11	10	0	0
Promotion of the environmental program to the public	0	0	0	0
Informing guests about environmental efforts on the website	0	0	0	0
Informing guests about environmental efforts in information forms around the reception area	11	0	0	0
Informing guests about environmental efforts in the information brochure	0	0	0	0
Informing guests about environmental efforts on booking portals	0	0	0	14
None of the above	56	50	57	71

Source: Own elaboration, 2024.

Discussion and conclusion

The findings of this study indicate a low level of implementation of environmental measures in accommodation facilities, which is in line with studies ^{78,79}. The inadequate implementation of environmental measures in accommodation facilities is a significant issue influenced by various factors. One crucial factor is the need for clear government regulations concerning water and energy conservation in tourism accommodation units ⁷⁸. This trend contrasts with the growing global interest in construction and interior design sustainability, where using recycled materials and eco-friendly products is becoming the standard ⁸⁰. As mentioned in the article, the implementation of green measures can have a synergistic effect not only on the accommodation facilities themselves but also on their guests, who can be motivated to adopt these principles in their daily lives ^{81,82}. Hotels typically have larger operating budgets, allowing them to invest in technologies that reduce energy and water consumption. At the same time, often family-run guesthouses can focus more on lower-cost initiatives such as waste segregation and staff training. These conclusions were also reached by ⁸³. Another interesting finding is that most accommodation facilities need to use rainwater harvesting. This practice, although relatively simple to implement, can significantly reduce potable water consumption, which is particularly crucial during periods of drought. Moreover, if combined with other measures such as the use of greywater, this initiative could significantly contribute to the sustainability of water resources in the region. It is appropriate to consider raising awareness of these measures among accommodation operators or offering financial or technical support for their implementation.

Considering the current situation, accommodation facilities should invest more funds in green initiatives and behave more responsibly towards the environment. Although individual accommodation facilities affect only a tiny part of the global environment, they can contribute to a certain extent to the solution of the main ecological global problems. The use of these environmental measures can also create a synergistic effect. There is an assumption that if the guest becomes familiar with the given philosophy of the accommodation facility and adopts the environmental principles, he will also follow them daily.

The goal of this article was to analyze the application of environmental measures in selected accommodation facilities in the administrative district of Žďár and Sázavou. After an overall evaluation of all responses from the investigated accommodation facilities, it can be concluded that environmental management is not yet a big topic for accommodation facilities in the administrative district of Žďár nad Sázavou. Regarding energy saving, using energy-saving light bulbs with low consumption (97%) was the most widely used in accommodation facilities—the fewest accommodation facilities reported using automatic motion sensor lights in rooms (6%). In the water area, the measure of two-stage toilet flushing was the most used (88%), and the measure of collecting rainwater for later use was the most minor used (12%). In the field of waste and chemicals, the most used measure was sorting containers, which was applied by 88% of surveyed accommodation facilities. On the contrary, ecological interior paints, varnishes, and repeated use of recycled materials were used the most minor (9%). As part of staff training, 58% of accommodation facilities did not apply any measures, followed by staff training on efficient management of waste, water, energy, and natural resources (27%). The difference in the application of environmental measures between collective accommodation facilities, i.e., hotels and guesthouses, differed according to the area on which the accommodation facility could concentrate. Hotels have applied more energy and water-saving measures. Guesthouses focused more on waste, chemicals, and staff and guest training.

References

- (1) Geissdoerfer, M.; Vladimirova, D.; Evans, S. Sustainable Business Model Innovation: A Review. *Journal of Cleaner Production* **2018**, *198*, 401 – 416. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.240>.
- (2) Jones, P.; Comfort, D. The COVID-19 Crisis and Sustainability in the Hospitality Industry. *International Journal of Contemporary Hospitality Management* **2020**, *32* (10), 3037 – 3050. <https://doi.org/10.1108/IJCHM-04-2020-0357>.
- (3) Vrabcová, P.; Urbancová, H. Approaches of Selected Organizations in the Czech Republic to Promoting the Concept of Sustainable Development and Corporate Social Responsibility. *Agricultural Economics* **2021**, *67* (7), 255 – 265. <https://doi.org/10.17221/8/2021-AGRICECON>.
- (4) Kalousová, P. *Udržitelné podnikání: silné hodnoty v centru pozornosti*. Byznys pro společnost. <https://byznysprospolecnost.cz/>.
- (5) Kurucz, E.; Colbert, B.; Lüdeke-Freund, F.; Upward, A.; Willard, B. Relational Leadership for Strategic Sustainability: Practices and Capabilities to Advance the Design and Assessment of Sustainable Business Models. *Journal of Cleaner Production* **2017**, *140*, 189 – 204. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.087>.
- (6) Vrabcová, P.; Urbancova, H.; Hudáková, M. Strategic Trends of Organizations in the Context of New Perspectives of Sustainable Competitiveness. *Journal of Competitiveness* **2022**, *14* (2), 174 – 193. <https://doi.org/10.7441/joc.2022.02.10>.
- (7) Martínez García de Leaniz, P.; Herrero-Crespo, Á.; Gómez López, R. Corporate Images and Customer Behavioral Intentions in an Environmentally Certified Context: Promoting Environmental Sustainability in the Hospitality Industry. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management* **2019**, *26* (6), 1382 – 1391. <https://doi.org/10.1002/csr.1754>.
- (8) Njoroge, M.; Anderson, W.; Mbura, O. Innovation Strategy and Economic Sustainability in the Hospitality Industry. *The Bottom Line* **2019**, *32* (4), 253 – 268. <https://doi.org/10.1108/BL-03-2019-0080>.

- (9) Vrabcová, P.; Smolová, H.; Urbancová, H.; Fajčíková, A. Bioeconomic Strategy for Sustainable Europe and the Bioeast Initiative. *Prameny a studie* **2019**, *64*, 17–28.
- (10) Belz, F. M.; Binder, J. K. Sustainable Entrepreneurship: A Convergent Process Model. *Business Strategy and the Environment* **2017**, *26* (1), 1 – 17. <https://doi.org/10.1002/bse.1887>.
- (11) Elkington, J. *Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of 21st Century Business*; New Society Publishers: Gabriola Island, BC; Stony Creek, CT, 1998.
- (12) Elkington, J. Enter the Triple Bottom Line. In *The Triple Bottom Line: Does it All Add Up?*; Routledge, 2004.
- (13) Winkler, R.; Deller, S.; Marcouiller, D. Recreational Housing and Community Development: A Triple Bottom Line Approach. *Growth and Change* **2015**, *46* (3), 481 – 500. <https://doi.org/10.1111/grow.12100>.
- (14) Farooq, Q.; Fu, P.; Liu, X.; Hao, Y. Basics of Macro to Microlevel Corporate Social Responsibility and Advancement in Triple Bottom Line Theory. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management* **2021**, *28* (3), 969 – 979. <https://doi.org/10.1002/csr.2069>.
- (15) IUCN. The IUCN Programme 2005-2008. Many Voices, One Earth., 2004. <https://www.iucn.org>.
- (16) Saidani, M.; Yannou, B.; Leroy, Y.; Cluzel, F.; Kendall, A. A Taxonomy of Circular Economy Indicators. *Journal of Cleaner Production* **2018**, *207*, 542 – 559. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.014>.
- (17) Corona, B.; Shen, L.; Reike, D.; Rosales Carreón, J.; Worrell, E. Towards Sustainable Development through the Circular Economy — A Review and Critical Assessment on Current Circularity Metrics. *Resources, conservation, and recycling* **2019**.
- (18) Dantas, T. E. T.; de-Souza, E. D.; Destro, I. R.; Hammes, G.; Rodriguez, C. M. T.; Soares, S. R. How the Combination of Circular Economy and Industry 4.0 Can Contribute towards Achieving the Sustainable Development Goals. *Sustainable Production and Consumption* **2021**, *26*, 213 – 227. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.10.005>.
- (19) Suárez-Eiroa, B.; Fernández, E.; Méndez-Martínez, G.; Soto-Oñate, D. Operational Principles of Circular Economy for Sustainable Development: Linking Theory and Practice. *Journal of Cleaner Production* **2019**, *214*, 952 – 961. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.271>.
- (20) Jones, P.; Wynn, M. G. The Circular Economy, Natural Capital and Resilience in Tourism and Hospitality. *International Journal of Contemporary Hospitality Management* **2019**, *31* (6), 2544 – 2563. <https://doi.org/10.1108/IJCHM-05-2018-0370>.
- (21) Rodríguez Antón, J. M.; del Mar Alonso-Almeida, M. The Circular Economy Strategy in Hospitality: A Multicase Approach. *Sustainability* **2019**, *11* (20), 5665. <https://doi.org/10.3390/su11205665>.
- (22) Osiako, P. O.; Kummitha, H. R. Environmental Management Practices among Coastal Beach Hotels in Kenya. *African Journal of Hospitality, Tourism and Leisure* **2020**, *9* (1), 1 – 18.
- (23) Vargas-Sánchez, A. The Unavoidable Disruption of the Circular Economy in Tourism. *Worldwide Hospitality and Tourism Themes* **2018**, *10* (6), 652–661. <https://doi.org/10.1108/WHATT-08-2018-0056>.
- (24) Siti-Nabiha, A. K.; Wahid, N. A.; Ariffin, N. S. K. The Drivers and the Outcomes of Environmental Management Practices in the Hotel Industry: A Proposed Framework. *TEAM Journal of Hospitality and Tourism* **2010**, *7* (1), 13 – 26.
- (25) Erdogan, N.; Baris, E. Environmental Performance of Tourism Accommodations in the Protected Areas: Case of Goreme Historical National Park. *Tourism Management* **2007**, *28* (2), 604 – 614. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2006.07.003>.
- (26) Montabon, F.; Sroufe, R.; Narasimhan, R. An Examination of Corporate Reporting, Environmental Management Practices and Firm Performance. *Journal of Operations Management* **2007**, *25* (5), 998 –1014. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2006.10.003>.
- (27) Scholz, P.; Veverková, K. Environmentální Strategie v Hotelnictví: Případová Studie. In *Sborník z 13. mezinárodní konference*; Linderová, I., Pachrová, S., Eds.; Vysoká škola polytechnická Jihlava: Jihlava, 2018; pp 403 – 412.

- (28) Sangeetha, R.; Rebecca, J. What Makes More Positive Thinking and Implementation towards Green and Environment Sustainable Practices: An Observation among Selected Star Hotels from Chennai Using Multiple Regression Model. *Malaya Journal of Matematik* **2020**, 8 (2), 1482 – 1485.
- (29) Omune, B.; Kambona, O.; Wadongo, B.; Wekesa, A. Environmental Management Practices Implemented by the Hotel Sector in Kenya. *World Leisure Journal* **2021**, 63 (1), 98 – 108. <https://doi.org/10.1080/16078055.2021.1888001>.
- (30) Ali, Y.; Mustafa, M.; Al-Mashaqbah, S.; Mashal, K.; Mohsen, M. Potential of Energy Savings in the Hotel Sector in Jordan. *Energy Conversion and Management* **2008**, 49 (11), 3391 – 3397.
- (31) Cembruch-Nowakowski, M. Green Hotels – Exception or Norm? *Prace KGP PTG* **2019**, 33 (3). <https://doi.org/10.24917/20801653.333.11>.
- (32) Chan, W. W.; Lam, J. C. Energy-Saving Supporting Tourism Sustainability: A Case Study of Hotel Swimming Pool Heat Pump. *Journal of Sustainable Tourism* **2003**, 11 (1), 74 – 83.
- (33) Cingoski, V.; Petrevska, B. Making Hotels More Energy Efficient: The Managerial Perception. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja* **2018**, 31 (1), 87 – 101. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2017.1421994>.
- (34) Della Volpi, Y.; Paulino, S. R. The Sustainability of Services: Considerations on the Materiality of Accommodation Services from the Concept of Life Cycle Thinking. *Journal of Cleaner Production* **2018**, 192, 327 – 334. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.166>.
- (35) Khemiri, A.; Hassairi, M. Development of Energy Efficiency Improvement in the Tunisian Hotel Sector: A Case Study. *Renewable Energy* **2005**, 30 (6), 903 – 911. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2004.09.021>.
- (36) Misila, P.; Winyuchakrit, P.; Limmeechokchai, B. Thailand's Long-Term GHG Emission Reduction in 2050: The Achievement of Renewable Energy and Energy Efficiency beyond the NDC. *Heliyon* **2020**, 6 (12), e05720. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05720>.
- (37) Oruç, E.; Gümüş, İ.; Soyhan, G. D. The Perceptions of Hotel Managers on Using Renewable Energy in Turkey. *Dumlupınar University Journal of Social Sciences* **2020**, 63, 246 – 255.
- (38) Özder, C. G. A. Energy Saving Efforts in the Hospitality Sector. *TurkishStudies* **2021**, 16 (1), 23 – 42. <https://doi.org/10.7827/TurkishStudies.48849>.
- (39) Pan, S.-Y.; Gao, M.; Kim, H.; Shah, K. J.; Pei, S.-L.; Chiang, P.-C. Advances and Challenges in Sustainable Tourism toward a Green Economy. *Science of The Total Environment* **2018**, 635, 452 – 469. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.134>.
- (40) Scholz, P. Uplatňování Prvků Ekologického Managementu v Ubytovacích Zařizováních v České Republice. *Ekonomická revue cestovního ruchu* **2014**, 47 (1), 42 – 52.
- (41) Scholz, P.; Linderová, I.; Konečná, K. Green Management Tools as a Way to Sustainable Behaviour in the Hotel Industry: Case Study from Czechia. *Sustainability* **2020**, 12 (23), 10027. <https://doi.org/10.3390/su122310027>.
- (42) Shehu, A. I.; Inuwa, I. I.; Hussein, I. U.; Yakubu, I. Hotel Energy Application Practices in Abuja Nigeria. *JSD* **2019**, 12 (6), 27. <https://doi.org/10.5539/jsd.v12n6p27>.
- (43) Tourkoulas, C.; Kontogianni, A.; Damigos, D.; Skourtos, M. Exploring the Factors Influencing Energy Efficiency in the Greek Hotel Sector. *Acta Innovations* **2020**, No. 37, 5 – 20. <https://doi.org/10.32933/ActaInnovations.37.1>.
- (44) Wan, Y. K. P.; Chan, S. H. J.; Huang, H. L. W. Environmental Awareness, Initiatives and Performance in the Hotel Industry of Macau. *Tourism Review* **2017**, 72 (1), 87 – 103.
- (45) Abdallah, A. L.; Antary, T. M. A. Key Discriminant Factors Affecting Hotels Owners and Managers Tendencies towards Implementation of Water Conservation Measures, and Rainwater Harvesting Systems Installation at Hotels in Jordan. *Fresenius Environmental Bulletin* **2021**, 30 (01), 779 – 789.
- (46) Adebitan, E. O. Classified Hotels Awareness and Practice of Environmentally Sustainable Tourism in Bauchi State, Nigeria. *HATMAN Journal of Hospitality and Tourism* **2021**, 11 (1), 20 – 35.

- (47) Akoteyon, I. S. Factors Affecting Household Access to Water Supply in Residential Areas in Parts of Lagos Metropolis, Nigeria. *Bulletin of Geography. Socio-economic Series* **2019**, 43 (43), 7 – 24. <https://doi.org/10.2478/bog-2019-0001>.
- (48) Deng, S.-M.; Burnett, J. Water Use in Hotels in Hong Kong. *International Journal of Hospitality Management* **2002**, 21 (1), 57 – 66. [https://doi.org/10.1016/S0278-4319\(01\)00015-9](https://doi.org/10.1016/S0278-4319(01)00015-9).
- (49) Garay, L.; Font, X.; Corrons, A. Sustainability-Oriented Innovation in Tourism: An Analysis Based on the Decomposed Theory of Planned Behavior. *Journal of Travel Research* **2019**, 58 (4), 622 – 636. <https://doi.org/10.1177/0047287518771215>.
- (50) Giurea, R.; Precazzini, I.; Ionescu, G.; Ragazzi, M.; Schiavon, M. Circular Economy, Waste and Energy Management for a Sustainable Agro-Tourism; AIP Publishing: Athens, Greece, 2022; p 020097. <https://doi.org/10.1063/5.0093290>.
- (51) Gössling, S. New Performance Indicators for Water Management in Tourism. *Tourism Management* **2015**, 46, 233 – 244. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2014.06.018>.
- (52) Iorgulescu, M.-C. Consumers' Perception on Green Hotels. *Ovidius" University Annals, Economic Sciences Series* **2020**, 20 (1), 408 – 414.
- (53) Murimi, M. Determinants of Green Management Practices in Hotels in Kisumu City, Kenya - a Theoretical Framework. *JSM* **2020**, 5 (1), 47 – 63. <https://doi.org/10.47672/jsm.531>.
- (54) Perdana, M. C.; Hadisusanto, S.; Purnama, I. L. S. Implementation of a Full-Scale Constructed Wetland to Treat Greywater from Tourism in Suluban Uluwatu Beach, Bali, Indonesia. *Heliyon* **2020**, 6 (10), e05038. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05038>.
- (55) *Tourism in the Green Economy*; Reddy, M. V., Wilkes, K., Eds.; Routledge: London, 2015. <https://doi.org/10.4324/9781315885681>.
- (56) Martin-Rios, C.; Demen-Meier, C.; Gössling, S.; Cornuz, C. Food Waste Management Innovations in the Foodservice Industry. *Waste Management* **2018**, 79, 196 – 206. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.07.033>.
- (57) Singh, R.; Tandon, P. A Sustainable Approach to Develop Universal Products; University of Leeds: United Kingdom, 2016.
- (58) Amicarelli, V.; Aluculesei, A.-C.; Lagioia, G.; Pamfilie, R.; Bux, C. How to Manage and Minimize Food Waste in the Hotel Industry: An Exploratory Research. *IJCTHR* **2021**, ahead-of-print (ahead-of-print). <https://doi.org/10.1108/IJCTHR-01-2021-0019>.
- (59) Benson, N. U.; Basse, D. E.; Palanisami, T. COVID Pollution: Impact of COVID-19 Pandemic on Global Plastic Waste Footprint. *Heliyon* **2021**, 7 (2), e06343. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06343>.
- (60) Castiglioni Guidoni, L. L.; Peruchin, B.; Bilhalva Corrêa, L.; Vasques Marques, R.; Andrade Vieira, L.; Moreira Siqueira, T.; Kunde Corrêa, É. Solid Waste Generation in a Hotel Event Service. *Rev. Int. Contam. Ambie.* **2018**, 34 (2), 237 – 247. <https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.02.05>.
- (61) Filimonau, V.; De Coteau, D. A. Food Waste Management in Hospitality Operations: A Critical Review. *Tourism Management* **2019**, 71, 234 – 245. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2018.10.009>.
- (62) Filimonau, V.; Sulyok, J. 'Bin It and Forget It!': The Challenges of Food Waste Management in Restaurants of a Mid-Sized Hungarian City. *Tourism Management Perspectives* **2021**, 37, 100759. <https://doi.org/10.1016/j.tmp.2020.100759>.
- (63) Kilibarda, N.; Djokovic, F.; Suzic, R. Food Waste Management — Reducing and Managing Food Waste in Hospitality. *Meat Technology* **2019**, 60 (2), 134 – 142. <https://doi.org/10.18485/meattech.2019.60.2.8>.
- (64) Lewandowska, A.; Szymańska, D. Municipal Waste Recycling in Big Cities in Poland in the Context of Ecologisation. *Bulletin of Geography. Socio-economic Series* **2019**, 43 (43), 131 – 141. <https://doi.org/10.2478/bog-2019-0009>.
- (65) Obersteiner, G.; Gollnow, S.; Eriksson, M. Carbon Footprint Reduction Potential of Waste Management Strategies in Tourism. *Environmental Development* **2021**, 39, 100617. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2021.100617>.

- (66) Pham Phu, S. T.; Hoang, M. G.; Fujiwara, T. Analyzing Solid Waste Management Practices for the Hotel Industry. *GJESM* **2018**, 4 (1). <https://doi.org/10.22034/gjesm.2018.04.01.003>.
- (67) Rume, T.; Islam, S. M. D.-U. Environmental Effects of COVID-19 Pandemic and Potential Strategies of Sustainability. *Heliyon* **2020**, 6 (9), e04965. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04965>.
- (68) Tansel, T.; Yeshenkulova, G.; Nurmanova, U. Analysing Waste Management and Recycling Practices for the Hotel Industry. *Journal of Environmental Management and Tourism* **2021**, 12 (2), 382 – 391.
- (69) Bohdanowicz, P. European Hoteliers' Environmental Attitudes: Greening the Business. *Cornell Hotel and Restaurant Administration Quarterly* **2005**, 46 (2), 188 – 204. <https://doi.org/10.1177/0010880404273891>.
- (70) Chan, W. W.; Lam, J. Environmental Accounting of Municipal Solid Waste Originating from Rooms and Restaurants in the Hong Kong Hotel Industry. *Journal of Hospitality & Tourism Research* **2001**, 25 (4), 371 – 385. <https://doi.org/10.1177/109634800102500402>.
- (71) Chen, H. S.; Hsieh, T. F. An Environmental Performance Assessment of the Hotel Industry Using an Ecological Footprint. *Journal of Hospitality Management and Tourism* **2011**, 2 (1), 1–11.
- (72) Hillary, R. Environmental Management Systems and the Smaller Enterprise. *Journal of Cleaner Production* **2004**, 12 (6), 561 – 569. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2003.08.006>.
- (73) Mensah, I. Environmental Management Practices among Hotels in the Greater Accra Region. *International Journal of Hospitality Management* **2006**, 25 (3), 414 – 431. <https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2005.02.003>.
- (74) Patúš, P.; Gúčik, M. *Manažment Ubytovacej Prevádzky Hotela*; Slovensko-švajčiarske združenie pre rozvoj cestovného ruchu: Banská Bystrica, 2005.
- (75) Sinha, M.; Fukey, L. N. Assessing a Progress of Resources Efficient Practices in Hotel Industry. In *Circular Economy for the Management of Operations*; Kumar, A., Garza-Reyes, J. A., Khan, S. R., Eds.; CRC Press: Oxon, 2021; pp 89 – 117.
- (76) Wie, S.; Shanklin, C. W. Cost Effective Disposal Methods and Assessment of Waste Generated in Foodservice Operations. *Foodservice Research International* **2001**, 13 (1), 17–39. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4506.2001.tb00027.x>.
- (77) Bansal, P.; Roth, K. Why Companies Go Green: A Model of Ecological Responsiveness. *The Academy of Management Journal* **2000**, 43 (4), 717 – 736. <https://doi.org/10.2307/1556363>.
- (78) Ispas, A.; Untaru, E. N.; Candrea, A. N. Environmental Management Practices within Agritourism Boarding Houses in Romania: A Qualitative Study among Managers. *Sustainability* **2019**, 11 (14), 3887.
- (79) Khatter, A.; White, L.; Pyke, J.; McGrath, M. Barriers and Drivers of Environmental Sustainability: Australian Hotels. *International Journal of Contemporary Hospitality Management* **2021**, 33 (5), 1830 – 1849.
- (80) Al Ghazali, A.; Zaloumis, B.; Khan, F. R. Sustainable Practices in International Chain Hotels in Muscat, Sultanate of Oman. *International Journal of Research in Entrepreneurship & Business Studies* **2021**, 2 (2), 17 – 28.
- (81) Moise, M. S.; Gil-Saura, I.; Ruiz-Molina, M.-E. “Green” Practices as Antecedents of Functional Value, Guest Satisfaction and Loyalty. *Journal of Hospitality and Tourism Insights* **2021**, 4 (5), 722 – 738.
- (82) Paudel, T.; Li, W. Y.; Kim, Y. G. Examining Trekkers' Environmentally Friendly Behavior Using an Extended Model of Goal-directed Behavior (MGB) and a New Ecological Paradigm Scale (NEP). **2022**.
- (83) Calisto, M. de L.; Umbelino, J.; Gonçalves, A.; Viegas, C. Environmental Sustainability Strategies for Smaller Companies in the Hotel Industry: Doing the Right Thing or Doing Things Right? *Sustainability* **2021**, 13 (18), 10380.

Uplatňování opatření environmentálního managementu v ubytovacích zařízeních: Důkaz z Česka

Petr SCHOLZ^a, Ivica LINDEROVÁ^b, Pavla VRABCOVÁ^{c*}

^a Vysoká škola ekonomická v Praze, nám. W. Churchilla 1938/4, 130 67 Praha 3, Česko

^b Vysoká škola polytechnická Jihlava, Tolstého 16, 586 01 Jihlava, Česko

^c Technická univerzita v Liberci, Ekonomická fakulta, Voroněžská 13, 460 01 Liberec, Česko

* korespondenční autor: e-mail: pavla.vrabcova@tul.cz

Souhrn

K trendům v ubytovacích službách v posledních letech patří přístup k ekologii a zásadám udržitelného rozvoje. Tyto trendy se projevují především u velkých hotelových společností, ale o ekologizaci se snaží i nezávislé hotely a penziony s menší lůžkovou kapacitou. Cílem tohoto článku je analyzovat uplatňování environmentálních opatření ve vybraných ubytovacích zařízeních v České republice (ORP Žďár nad Sázavou). Jako nejvhodnější metoda sběru dat pro zodpovězení výzkumných otázek byl vyhodnocen dotazník. Ubytovací zařízení (n = 47) byla oslovena od listopadu 2022 do března 2023 a výběrový soubor tvořilo 33 ubytovacích zařízení. Pro vyhodnocení byla použita metoda korespondenční analýzy, pro grafické znázornění byl použit software STATISTICA 12.

Výsledky ukazují minimální rozdíly v počtu zavedených environmentálních opatření mezi hromadnými ubytovacími zařízeními, tj. hotely a penziony. Přiměřených výsledků dosáhly kategorie apartmánů a kategorie chat a chalup. Neuplatnily však více než polovinu ekologických opatření týkajících se zaměstnanců a hostů. Na druhou stranu hvězdičkové hodnocení ubytovacích zařízení není klíčovým parametrem při posuzování vlivu na životní prostředí.

Výsledky výzkumu jsou užitečné pro praxi národních profesních asociací, které podporují ochranu zdrojů, a tím ovlivňují celé odvětví hospitality. Dále je mohou využít další ubytovací zařízení k získání informací o problematice udržitelnosti nebo příkladů osvědčených environmentálních postupů.

Klíčová slova: hospitality, ubytovací zařízení, environmentální management, Česko.

Bridging the gaps: recommendations for improving the status quo pertaining to textile waste data discrepancies in the Czech Republic

Soňa Klepek JONÁŠOVÁ^a, Bedřich MOLDAN^a, Andrea VESELÁ^b

^a Faculty of Humanities, Charles University, Pátkova 2137/5, 182 00 Prague 8, Czech Republic, e-mail: sona.jonasova@gmail.com

^b Institute of Circular Economy (INCIEN), Hybernská 998/4, 110 00 Prague, Czech Republic, e-mail: andrea.vesela@incien.org

Summary

This article provides an in-depth analysis of textile waste streams and pertaining data gaps at various levels in the Czech Republic, focusing on identifying and quantifying data gaps that hinder accurate material flow analyses. The research was conducted through a combination of existing data collection from available statistics and semi-structured interviews with 25 key stakeholders across the textile supply chain, including manufacturers, waste managers, and recycling entities. The study uncovered significant data gaps in areas such as textile waste from producers generating less than 100 tons per year, deadstock disposal, and textile waste in mixed municipal waste. These gaps present challenges to effective waste management and the implementation of the European Union's Strategy for Sustainable and Circular Textiles. The findings also highlight the critical need for standardised data collection methodologies and enhanced collaboration among stakeholders to improve data accuracy and support the transition to a circular economy in the textile sector. The article concludes with targeted recommendations for improving data collection practices and policy frameworks to address these gaps and facilitate better decision-making for sustainable textile management in the Czech Republic

Keywords: Textile waste, data gaps, textile waste management, circular economy, circular waste management

Introduction

The textile industry, alongside textile waste management are extremely complex ecosystems, which historically lack transparency and are entrenched in major social and environmental issues, including large amounts of emissions, land use, and water degradation, as well as dire human rights infringements, unfit working conditions and issues of child labour. It is difficult to approach the topic holistically due to the aforementioned lack of transparency, but it is also impossible to focus only on a certain part of it without underlining the importance of the bigger picture. Hence, though this publication's main area of focus is textile waste and data gaps in the Czech Republic, this topic is approached within the larger framework of a problematic global textile sector.

The Circular Economy (CE) is perceived as a means to move beyond the linear approach of producing and consuming, which involves taking, making, and disposing of products, and instead implementing a circular system that preserves the value of materials, products, and resources within the economy for as long as possible¹. A simpler definition is used by the consultancy Material Economics, which states that they "include under the umbrella of 'circular economy' any opportunity to provide the same economic service with less primary material"². With the aim of operationalizing these definitions through concrete steps, the European Union (EU) has decided to promote circularity by embedding it

within the European Green Deal. Specifically, the EU has taken a significant step towards sustainability in the textile industry with the introduction of the EU Strategy for Sustainable and Circular Textiles which was released in 2022, underscoring the pressing need to identify and regulate the social and environmental impacts caused by the fashion and textile sectors. The Commission emphasizes that addressing these issues is now more urgent than ever before³.

The implementation of CE in the textile industry encompasses not only environmental impacts, but also social aspects across the entire supply and distribution chain. These social aspects involve challenges that begin at the very outset of raw material cultivation, extending through manufacturing facilities, and are closely linked to working conditions, fair wages, and occupational health and safety. This also includes minimising health risks associated with the use of harmful chemicals, thereby protecting both workers and end consumers⁴. A key approach within this framework is the extended producer responsibility (EPR), which obligates manufacturers to manage the entire lifecycle of their products, aiming to promote circularity and enhance end-of-life management⁵. The activities associated with CE also pose a threat to occupational health and safety due to the global waste trade, which tend to flow from Global North countries to the Global South. These waste streams are driven by the high costs of waste management in domestic markets and gaps in global waste legislation. In the countries of the Global South, the most disadvantaged population groups are exposed to this waste, creating significant health and safety risks⁶.

One of the reasons why the EU focuses on textiles is the fact that annually approximately 2.1 million tonnes of consumer clothing and home textiles for recycling or sale on global reuse markets are collected in the EU. This accounts for roughly 38% of the textiles introduced to the EU market, leaving the remaining 62% to be disposed of as mixed waste, according to research conducted by Kohler et al. (2021)⁷ and the European Commission (2022)³. The EU Strategy for Sustainable and Circular Textiles acknowledges the harmful environmental effects of the textile sector and aims to transform textiles into more durable, repairable, reusable, and recyclable products. Its implementation will have implications for consumers and businesses alike, both within and outside of the EU, with a focus on enhancing transparency, sustainability, and accountability throughout the textile supply chain. By embracing this strategy, the European Commission seeks to engage designers, manufacturers, retailers, advertisers, and citizens in reshaping the fashion industry. The main objectives of the EU Strategy for Sustainable and Circular Textiles are as follows:

- Improving the sustainability of the textile industry: The aim is to reduce the environmental impacts of the textile industry, including greenhouse gas emissions reduction, increased resource utilisation, and waste generation reduction, while promoting sustainable production and consumption of textile products.
- Supporting the transition to a circular economy: The strategy focuses on promoting the adoption of circular models in the textile industry. The goal is to, amongst others, support reuse, upcycling and recycling of textile products.
- Increasing transparency and awareness: The strategy aims to enhance transparency throughout the textile supply chain, provide consumers with information about the sustainability and composition of products, and promote conscious decision-making when purchasing textile goods.
- Supporting innovation and digitalization: The strategy emphasises the support for innovation and digitalisation in the textile industry to achieve sustainable and efficient solutions. It also promotes research and development of new technologies and materials.

To effectively achieve the set environmental objectives and benchmarks of the EU Strategy for Sustainable and Circular Textiles, it is imperative for policy-makers and all relevant stakeholders to employ strategies grounded in solid, empirical data. Yet, the gap in data on textile waste is significant at the moment. It is precisely for the positive political decisions related to measures in the area of the circular economy that the analysis of material flows is promoted as a tool. It is evident that mapping data gaps and the conduction of material flow analyses of textile waste for individual countries in the future will be crucial for fulfilling the objectives of the EU Strategy for Sustainable and Circular Textiles. Achieving effective combined CE monitoring will require harmonisation of data reporting across the supply chain and a more intensive dialogue between stakeholders involved in data provision, collection, and dissemination at the EU level. Current studies of material flow analyses in the EU textile industry

have highlighted significant data gaps and a lack of alignment of definitions for individual processes⁸. Some of the significant data gaps are the absence of data on the exchange and consumption of textiles due to stockpiling by consumers and non-uniform consumption practices of individuals, the distribution between private and institutionalised users, and recycling or downcycling according to the method of material use⁸. Additionally, data on the flow of exported textiles are also missing. Overall, filling these data gaps and aligning definitions for individual processes are necessary steps to promote sustainability and circularity in the textile industry.

Some data on textile waste streams are available upon request from the Czech Statistical Office, as can be seen on the table below, however these are not sufficient nor complete. This insufficiency is due to the absence of specific data, as the Czech Statistical Office does not publish waste management values according to individual catalogue numbers but only according to European Waste Classification codes (EWC-STAT).

Table 1: Data on textile waste streams from the Czech Statistical Office

Waste production (year / tons)							
Catalogue number	Waste type / category	2017	2018	2019	2020	2021	2022
040221	Waste from unprocessed textile fibres	321	202	278	175	124	161
040222	Waste from processed textile fibres	43 245	41 544	31 574	26 284	23 834	22 988
150109	Textile packaging	804	621	248	241	265	283
191208	Textile	3 819	6 701	7 743	5 610	6 364	5 932
200110	Clothing	19 631	20 188	23 525	22 852	18 660	24 443
200111	Textile materials	12 156	12 764	12 783	17 848	16 842	14 534
Handling of textile waste (year / percentage)							
	Dispose methods	2017	2018	2019	2020	2021	2022
	Energy recovery	19,1	11,8	14,7	20,0	22,9	22,9
	Material recycling	50,7	45,4	45,6	42,5	53,3	36,6
	Composting	1,8	2,4	2,0	1,3	2,9	2,7
	Landfilling (covering) / backfilling	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
	Incineration	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3
	Landfilling	28,3	40,3	37,6	35,9	20,7	37,6

The importance of material flow analyses and future legislation

The topic of reducing the environmental impact of textile production throughout its life cycle is not new^{9,10}. However, until 2022, no study utilised a Material Flow Analysis (MFA) in the European context in accordance with the EU Waste Framework Directive¹¹. The most recent work of this kind has produced a quantification of textile flows using an MFA, including basic theoretical and policy recommendations¹². An MFA is a methodological tool used to quantify material and energy flows within social-metabolic systems, providing a systematic assessment of the inputs, outputs, and stocks of materials within a defined system boundary (e.g., a city, country, or industrial sector). A "social-metabolic system" refers to the complex interactions between human societies and their material and energy flows. This concept is rooted in the analogy to biological metabolism, where an organism processes nutrients to sustain its functions. Similarly, social-metabolic systems analyse how human societies extract, transform, use, and dispose of natural resources to maintain socio-economic activities. An MFA identifies the most critical flows of the entire system, such as barriers to recycling or missing data, which represents a suitable policy-making tool in the management of resources and waste^{13,14}.

Europe is preparing to tighten the collection of data on textile waste as part of a broader effort to increase the sustainability and circularity of the textile industry. A key action proposed in the EU Strategy for Sustainable and Circular Textiles is to stop the destruction of unsold and returned textiles¹⁵. On December 5, 2023, the Council of the European Union and the European Parliament reached a provisional political agreement on a proposed regulation establishing a framework for setting eco-design requirements for sustainable products (ESPR). This new regulation replaces the existing Ecodesign Directive from 2009 and extends its scope beyond energy-related products to significantly enhance circularity, energy efficiency, resource efficiency, and other environmental sustainability aspects for specific product categories placed on the EU market. Article 20 of the proposed ESPR establishes a general obligation of transparency for economic operators who discard unsold consumer products, including disclosing information on the number of unsold consumer products discarded per year. It also opens the possibility of adopting specific actions to prohibit the destruction of specific groups of unsold consumer products. The EU co-legislators are deciding on a direct prohibition of the destruction of unsold textile products. Small and micro companies would be exempted from this ban, while medium-sized companies would benefit from a six-year exemption. This ban would be applicable two years after the regulation comes into force¹⁶.

Currently, there is no specific information available on additional Czech national legislation aimed directly at the acquisition and refinement of data on textile waste. However, ongoing efforts to implement and develop strategies for sustainable and circular textiles will undoubtedly lead to further initiatives and legislative actions in this area. This comprehensive approach to data collection and legislative action underscores the importance of accurate material flow analyses and highlights the need for robust data to support the transition to a more sustainable textile industry.

The first steps towards mapping the disposal of textile waste in the Czech Republic

In the Czech Republic, the responsibility for waste management, including textile waste, falls primarily on municipalities rather than individual households. This is because Czech law mandates that municipalities are responsible for organising and ensuring the collection, transportation, and disposal of municipal waste, which includes waste generated by households. The relevant legislation is Act No. 185/2001 Coll. on Waste, which clearly defines the role of municipalities as waste managers within their jurisdictions. The Ministry of the Environment of the Czech Republic imposed the obligation to create a "methodology for a qualified and quantified assessment of textile production and the flow of worn and reused clothing and textile waste in order to determine the current state, obtain primary data and monitor the effectiveness of preventive measures in the following years" in the Government Regulation 352/2014 on the Waste Management Plan of the Czech Republic for the period 2015 – 2024. However, methodologies are still not available and data gaps are not addressed. The Ministry of Industry and Trade (MIT) stated in the document "The update of the Secondary Raw Materials Policy of the Czech Republic for the period 2019 – 2022"¹⁷ that there is currently not enough basic information about the flow of raw materials in this area. For this reason, MIT has set as one of its main goals the monitoring of the textile industry and the creation of a body that will cover the industry. Currently, however, this has not yet started happening. Cooperation between ministries and the fulfilment of these methodologies is a key aspect for the availability of data for future MFA processing. This is why this article focuses on mapping the current gaps, so that in the near future, these gaps can be bridged by changing data recording obligations for companies and organisations involved in textile management throughout its life cycle. The need for the exploration of this article's topic was confirmed by a roundtable organised in the Czech Republic by Deloitte in 2021. Key stakeholders gathered to address the fundamental question: "What steps can we take today to prevent the waste management system from collapsing due to textiles in municipalities by 2025?" The main responses were two-fold:

1) Acquire comprehensive data and map the material flow: We possess only fragmented information, lacking a basic overall market mapping. It is therefore essential to first acquire comprehensive data and map the material flows of textile materials in the Czech Republic.

2) Support for products made from recycled materials: The support for products utilising secondary raw materials should begin with the state¹⁸.

The quest for relevant data and the effort to map current data led the Ministry of the Environment to announce a grant call through the Technology Agency of the Czech Republic, resulting in the establishment of CEVOOH (Center for Environmental Research: Waste and Circular Economy and Environmental Safety). The centre, formed by a consortium of eight research organisations and universities, focuses on conducting research in thematic areas related to the Czech Republic's transition from a linear to a circular economic model. One of the first outcomes of the research of CEVOOH is the Analysis of Textile Waste Issues in the Czech Republic, which provided preliminary modelling and the visualisation of textile material flows¹⁹. However, a significant portion of data that enters the analysis is either inaccurate or missing due to non-existent statistics or the absence of an obligation to report data on textile flows, for example in the prevention regime. The response rate of stakeholders involved in textiles is also low, making such a visualization merely a hypothetical framework and, without accurate data, an unusable political tool. Therefore, another aim of this work is to build upon this visualization and use it to illustrate where data gaps arise.

Different approaches to manage data uncertainty in material flow analyses

Analyses of material flows (MFA) of textiles and other waste materials at the EU level face several challenges related to data uncertainties, including the lack of standardisation, where different countries use varying methods for data collection, complicating comparisons. Another challenge is the quality and availability of data, as obtaining reliable information on textile flows is often difficult, with many countries lacking comprehensive data on textile consumption and waste management. Additionally, the opacity of supply chains, where the complex and global nature of the textile industry makes tracking materials difficult, leads to frequent inaccuracies. The lack of data on waste flows is not only a problem for the Czech Republic. Numerous MFA studies emerging from EU countries highlight similar issues. In 2015, Seigné-Itoiz et al.²⁰ conducted a general material flow analysis (MFA) of plastics in Spain, but without confronting official data, which were considered significantly insufficient. Pimentel et al.²¹ emphasised the lack of data on material consumption and waste management in the EU, mirroring the situation in countries of the Global South. They also pointed out that MFA has significant potential in designing circular economy management policies. This was confirmed by research in southern European countries, where Lombardi et al.²² stated that while it is important to conduct national studies to understand the reality in different countries, as the authors emphasise, a major problem in plastic MFA studies is the lack of data and the difficulty of obtaining it²². Specifically, in MFA, rather than preparing precise MFA models, basic schemes are often created, or attention is focused on individual sorting centres. Nynne Nørup followed this approach for a specific sorting centre in Sweden, where it was possible to obtain specific data for the facility²³. In Switzerland, a sectoral analysis specifically for workwear in textiles was also recently conducted, identifying data gaps as a challenge for other countries²⁴. Generally, it can be said that thanks to the increasing scientific activity highlighting these data gaps, discussions are currently taking place at the European Commission level not only about common circularity goals but also about data harmonisation. Activities at the level of individual states seem ineffective, uncoordinated, and dysfunctional for meeting common commitments.

Although it is known that MFAs need to be supported by a precise definition of data uncertainties according to known methodologies²⁵, often the only available data are individual measurements, interviews, or historical sources. In such cases, uncertainties need to be "roughly estimated" by analysing the data source. The results can be influenced by the method used and the data collected²⁶, and it has been shown that the data available in the Czech Republic are insufficient despite the possible additional calculation methods. A concrete possible solution is the Mathematical Material Flow Analysis methodology developed by Baccini and Bader²⁷, which is a systematic approach to quantify and analyse the flows and stocks of materials within a defined system. This method involves creating a detailed accounting of all inputs, outputs, and accumulation of materials to understand the behaviour of the system. When data is incomplete or uncertain, mathematical models can be employed to estimate missing values and simulate the system's behaviour under various conditions. This allows for a comprehensive assessment of material cycles, helping to identify inefficiencies and opportunities for improvement. By using mathematical modelling to address uncertainties, the MFA method enhances the accuracy and robustness of environmental and resource management strategies.

Missing data can be modelled mathematically to handle uncertainties by stimulating the behaviour of the system under various conditions. However, the preliminary data collection process uncovered a significant number of missing data points, leading to a pivot towards addressing these gaps.

It is clear that if we want to make good decisions fulfilling the vision of the Strategy for Sustainable Textiles, we need to have as accurate a picture of reality as possible in future MFAs. Evaluating the uncertainty within data is a crucial component of all MFA processes. This ensures that any conclusions drawn can be critically assessed, allowing users and decision-makers to consider the importance of any variances found in the results²⁸. And so the research team decided to answer the following basic research questions:

- 1) What are the biggest data gaps in the current management of textile waste in the Czech Republic?
- 2) How can these gaps be quantified?

The aim at this stage was to identify and justify, and ideally quantify data uncertainties, to achieve the highest possible accuracy and relevance of the future MFAs of textile material flow in the Czech Republic.

Experimental part

In order to obtain a reliable picture of data gaps in the management of textile waste in the Czech Republic, thorough qualitative research was necessary. The first step was to create a list of key actors covering the entire life cycle of textiles, from producers, designers, processors, users, institutions to waste companies or organisations involved in cleaning up trash in nature, as well as research and institutional players. The basic identification of actors was done through snowball sampling, whereby interviewees suggest further relevant stakeholders to get in touch with²⁹. The initial identification of actors prioritised those with a link to the circular economy – for research purposes, we identified participants from working groups, platforms, conferences and other programs dedicated to the above-mentioned thematic areas of textile material flows (from production to disposal). We attempted to identify those who play key roles in the textile material flow cycle across the entire lifecycle. This thus included a wide range of stakeholders partaking in activities such as production, collection, recycling or disposal system operation. In total, 25 in-depth semi-structured interviews were conducted. The goal was to find the most significant data gaps in the current system.

In order to comprehensively capture the various stakeholders involved in the textile circular economy, we conducted a structured selection process targeting key actors across the entire "circular cycle" from production to waste management. Initially, we approached members of the Czech Circular Hotspot, leveraging their established interest and active participation in circular economy initiatives. These stakeholders included textile material manufacturers, distributors, collectors, waste management platforms, and non-governmental organisations (NGOs). The selection was based on their visible engagement through media outputs and their demonstrated commitment to circular practices. Furthermore, we employed the snowball sampling method³⁰, requesting recommendations from initial participants to identify additional relevant stakeholders. This approach ensured a thorough representation of entities involved in the circular management of textiles, encompassing both well-known and emerging actors within the sector. Some actors wished to remain anonymous.

Table 2: Overview of interviewees

Category	Selected actors for in-depth interviews	Number of in-depth interviews
Textile material manufacturers (fibre producers, fabric manufacturers, weavers, dyers, etc.) and garment manufacturers	Toray (yarn production), Anonymous #2 (Large textile manufacturer), Anonymous #3 (SME, textile manufacturer), Cirkulo (clothing company)	4
Distributors / retailers (textile brands distributing clothes to the Czech market)	Anonymous #1 (Wholesale seller of children's clothing), H&M fashion clothing distributor	2
Users (Households, municipalities, public and private institutions)	The City of Prague (waste department), SAKO Brno, Anonymous #4 mayor of a municipality (less than 5,000 inhabitants)	3
Organisations involved in textile reuse (second hand, exchange, resale)	SWAP Prague (organising clothing exchanges among household users), MOMENT charity shop selling vintage clothing	2
Collectors (companies ensuring take-back – both in the EPR scheme and waste management) and sorting lines	DIAKONIE BROUMOV (cooperative ensuring collection, sorting, redistribution of textiles), COMPAG Mladá Boleslav (textile collection)	2
Waste management platforms	CYRKL (digital waste marketplace)	1
Recyclers	Dimatex (textile collection, recycling), Retex	2
Disposal (energy recovery, landfilling)	ZEVO Prague, SAKO Brno (waste-to-energy facility),	2
Organisations involved in nature cleanup	Uklidme Česko(Let's Clean Up Czechia), Trash Hero	2
Research organisations / NGOs	INCIEN (NGO in the field of CE creating the platform Czech Circular Hotspot), RREUSE (think tank focused on reuse, operating at the EU level)	2
Associations, clusters, etc.	SOTEX (association), CLUTEX (association)	2
Government organisations (ministries, etc.)	Ministry of Industry and Trade (responsible for integrating the Strategy for Sustainable Textiles at the national level of the Czech Republic)	1
Total number of actors		25

An existing MFA would be an ideal basis for semi-structured interviews. However, since the data for that is currently insufficient, we have complemented the use of an existing visualisation created by the CEVOOH research team¹⁹ with stakeholder consultations. This can then provide a basis or add legitimacy to MFA study results. A similar approach of combining an MFA with stakeholder consultations has been taken by Volk et al.³¹. Furthermore, the interviews conducted in this research had a semi-structured nature, which allowed the participants to freely engage in a debate after the initial introduction of the interviewee and the researcher in order to create mutual trust and obtain basic information³². Interviews are the most common data collection method used³³, and these semi-structured formats are the most commonly used interview technique in qualitative research³⁴. Based on semi-structured interviews, the basic categories of interested parties were determined. The method of collecting and reporting data on textile waste was discussed with individual representatives, including their personal expert experience in the field. The participants were invited into a general conversation on the topic of textile waste management. The individual questions were chosen according to whether they were waste producers or just interested players in the field. The general list of questions was as follows:

- Are you one of the companies that deal with textile materials in the form of physical handling? (production, logistics, recycling, waste management)

- Do you know the data gaps in the current data collection system on the production of textile waste?
- Do you know the exact amount of waste you produce?
- Are you required to report this data?
- Can you estimate the degree of uncertainty that arises when reporting data in the system?
- Do you know other actors who could share their relevant opinion on the subject of data gaps?

In conclusion, in order to visualize the findings in the area of post-consumer waste, a basic conception scheme of an MFA created using the STAN (subSTance flow ANalysis) software was developed according to the Austrian Standard ÖNORM S 2096, allowing consideration of data uncertainties³⁵. The MFA methodological framework was applied using widely accepted guidelines based on the work of Brunner & Rechberger¹⁴. A production approach that uses physical inputs (textile waste) as opposed to monetary inputs (consumption-based approach) was used for quantification³⁶. To measure circularity, the input and output flows of the system were aggregated over the entire estimated waste production, and the total regeneration flows were divided by the total output. This method is also used in the Circular Gap Reports studies³⁷. The overall circularity rate is subsequently defined by the breakdown of material flows in tons.

Basic definitions and terms in MFAs

The following relevant definitions and terms for processing an MFA in the above scope and with the given intention were taken from the work of Brunner and Rechberger²⁵. Material is a common term in MFAs denoting both a substance and a product. The material in this analysis is the textile waste flow generated at the level of municipalities or textile production enterprises. A process is defined as the transformation, transport or storage of materials. The transformation of materials occurs during primary production processes, such as the production of textiles or the processing of textile waste. Usually, a process is defined as a black box, which means that internal processes within the black box are not considered. Only inputs and outputs are considered. If an internal process is important and should be included in the MFA, then it must be split into two or more subprocesses. Stock is the total amount of material that is in stock for a given process. Flow is defined as "the proportion of the material flow", eg. the proportion of the material flow per time between individual parts of textile processing. The physical unit in this MFA is the amount of tons per year. A system is defined as a group of elements and as relationships between these elements. In an MFA, system elements are called processes or flows. The system can be a company (e.g. a textile production company, a sorting line, a facility for the energy use of textiles), a region or a state. In the MFA system, each product is clearly identified through the origin and destination process. System boundaries for our model are defined within one year, space boundaries are represented by the Czech Republic. Flows within the system that enter individual processes are called inputs and flows that leave the process are called outputs. The STAN system is software used for analysing material flows in various systems, such as the waste textile flow analysis presented here. This software allows for the modelling of material flows and stocks within a specific system, taking into account data gaps and uncertainties in the measured values. The STAN system operates based on the principle of mass balance, meaning that total inputs must equal total outputs (including losses). When only limited or imprecise data is available, STAN allows for their supplementation through estimates or assumptions, which can lead to varying levels of uncertainty that are continuously recalculated and updated.

For this research approach, the principle of so-called emergent design was also used, which is based on the ability to adapt to new ideas, concepts, and findings that emerge during the exploration³⁸. Unlike more deductive and structured approaches, emergent design works inductively, adapting to changes in conceptualization, data collection, data analysis, and the composition of research phases. Ongoing proposals facilitate adjustments when participants, events, or data present unexpected information^{39,40}. A typical example where emergent design research makes sense is in qualitative interviews or focus groups³⁹. At the same time, it is an interactive and situational research where the researcher

continuously evaluates fresh developments and progress and includes new and research-relevant inputs into them⁴¹. Given the research team's previous experience with material flow analyses, where it was often necessary to change the research approach and supplement data with qualitative research and investigation in practice, the principles of emergent design were chosen as a continuous agile approach to the work in preparing this paper.

Results

In-depth discussions with key stakeholders revealed a list of fundamental data gaps that need to be addressed in the near future. Only by covering these gaps is there a chance for modelling an accurate analysis of material flows, which can become a relevant basis for sound decision-making by government organisations in the future. To clarify the individual data gaps, a visualisation of each gap is set within the already used scheme by the CEVOOH research team. Although, for example, the CEVOOH team did an excellent job in mapping the current state of textile handling and collecting available data, it turns out that a number of data points are not only missing, but even with maximum effort to obtain data through direct questioning, this approach proves unworkable. Specifically, despite directly contacting stakeholders, some actors (e.g., textile collectors) are not obligated to respond. Consequently, only two textile collectors participated, which is insufficient to cover the entire sector comprehensively. This lack of participation is particularly problematic, as precise information on collection and subsequent handling is crucial for accurate mapping and analysis. These data gaps will be further elaborated in the individual sections detailing the discovered deficiencies.

Given the clarity and quality of the groundwork provided by this study, this schematic diagram was utilised to visualise missing data for a better understanding of the complexity of the entire situation in the experimental part of this work.

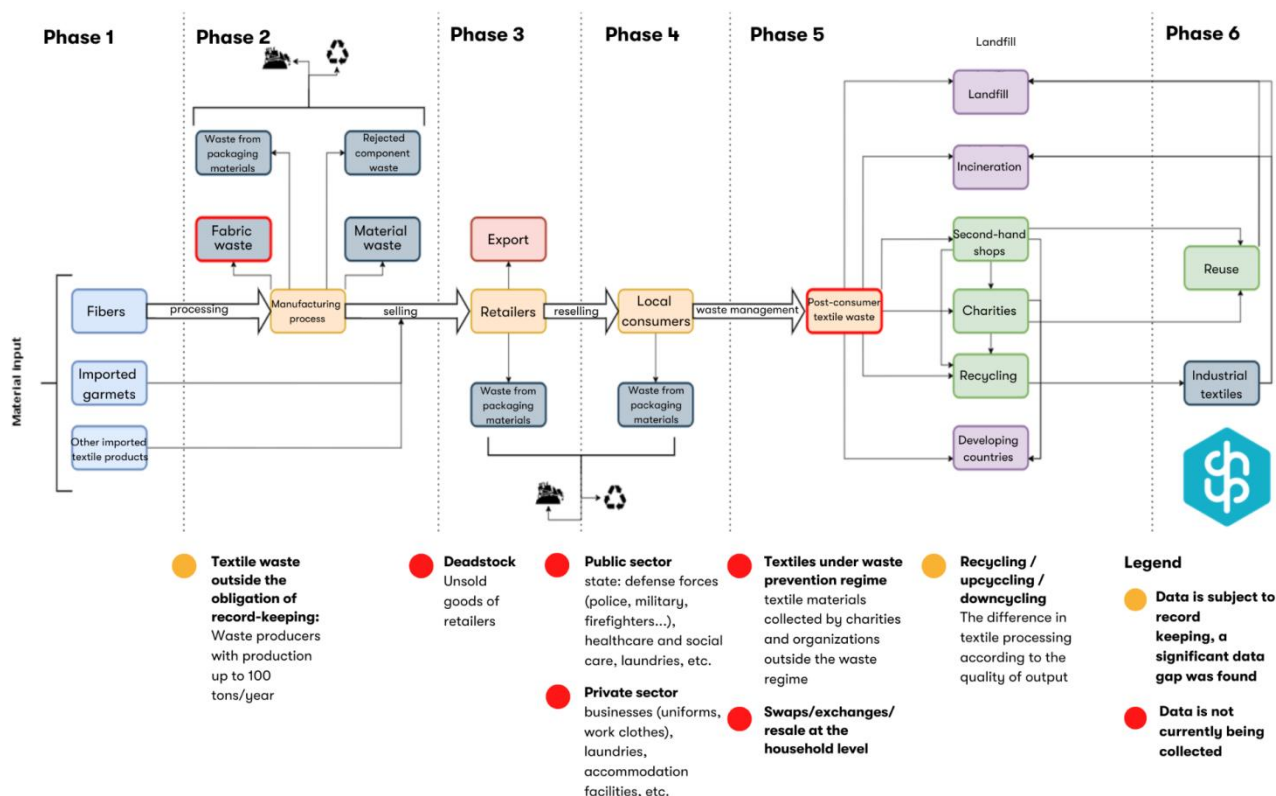


Figure 1: Material Flow Analysis of the Textile Industry (CEVOOH¹⁹) with Indicated Data Gaps by Degree of Accuracy

Absence of data on textile waste for producers under 100 tons/year: The absence of data on textile waste from producers under 100 tons/year was one of the valuable inputs for identifying gaps. The possibility of working with data collected from interviews conducted by Veronika Marešová from the company Cirkulo, whose business model is based on the principle of utilising textile remnants from textile companies, was instrumental. Veronika mapped the activities of 50 companies (knitters, weavers, clothing manufacturers, fabric stores, etc.) with inquiries about the quantity of available textiles and their qualities. The transcripts of the interviews were made available for this research and provide insight into the quantity of textiles produced, how they are further utilised, and in some cases, their estimated amount. About 90% of the respondents in this study deal with textile waste outside the reporting obligations arising from Czech legislation, the Waste Act No. 541/2020 Coll., which mandates reporting waste after exceeding the limit of 600 kg for hazardous waste or 100 tons/year for other wastes (including textiles). These companies thus do not report their data, creating a data gap in otherwise available data in the ISOH database (Information System of Waste Management). These producers often talk about quantities on a weekly level (which can also be estimated considering the export of textile waste by waste companies, transfer for processing to other entities, or donations for charitable or creative purposes to local charities or schools). These companies produce textiles in the range of approximately 50 kg - 4 tons/month. In annual totals, these could be lower tens of tons, which although not subject to registration, could in the final estimated total constitute thousands of tons outside of waste records.

Deadstock: Discussions with representatives of waste-to-energy facilities confirmed that their facilities carry out material disposal (albeit with energy recovery) of unsold textiles or other stock from private entities. This is new merchandise, which the producer has no interest in reselling or donating to charities or other organisations. This issue is actively addressed by the EU within the new EU Ecodesign Regulation, which concerns a direct ban on the destruction of unsold textiles and footwear. The estimated amount of textiles based on qualitative interviews is in the range of thousands of tons annually within the Czech Republic.

Textiles in waste prevention mode: The collection of sorted textiles is carried out in the Czech Republic within a decentralised system of textile collection containers. Currently, about 20 companies collect used textiles in the Czech Republic, which, according to earlier estimates by the Ministry of the Environment, have about ten thousand containers across the country¹⁸. This data is partially confirmed by an interview with representatives of the organisation Clean Up Czechia (Uklid'me Česko), which operates the "Kam s ním" ("Where to with it?") portal, aiming to map all the places where it is possible to sort waste or return unused products to the cycle in the Czech Republic, with more than 7500 containers or places for textile disposal. It is worth noting that the organisation collects data on textile disposal sites on its own and thus does not provide a completely exhaustive list. Representatives of Clean Up Czechia confirm that the data contains about 80% of the sites. The list is not complete, as many organisations have little interest in visualising collection sites due to competition, not always authorised places for container placement, and also because they are not obliged to provide such complete information. However, textile containers are intended for good quality textiles (damaged textiles should be within mixed municipal waste collection). This material is then transported by the collection system operator to the sorting line, where individual materials are sorted depending on the needs of further processors⁴². Households that currently sort textiles thus practically contribute to two systems: the waste system and waste prevention, although they are not always sufficiently informed about this issue.

Organisations operating a textile collection system can be divided into two groups according to how they handle used material:

- 1) Companies that are authorised to deal with textile waste and used clothing (recorded in the ISOH CENIA database) and
- 2) charitable organisations that collect worn clothing in a waste prevention scheme.

Companies are not legislatively required to record the amount of textiles and report it to the relevant authorities. However, the amount of textiles collected for prevention is a significant part of the collected textiles and remains outside of records, thus representing a data gap and a source of discrepancy in data on total production. Organisations such as Diakonie Broumov, Potex, Dimatex, Czech Red Cross,

Textil Eco, Klok Tex, and Coretex are considered charitable because they collect used textiles and redistribute them to those in need, support various social programs through the proceeds of textile sales, and promote environmental sustainability through recycling efforts. By providing essential clothing to vulnerable populations, funding social and community projects, creating employment opportunities for marginalised groups, and engaging the public in responsible consumption and recycling practices, these organisations deliver significant social, economic, and environmental benefits, thereby embodying the essence of charitable work. The largest collectors include Diakonie Broumov, Dimatex, Potex, and Textil Eco. However, only two organisations provided data, despite high efforts to involve as many organisations as possible.

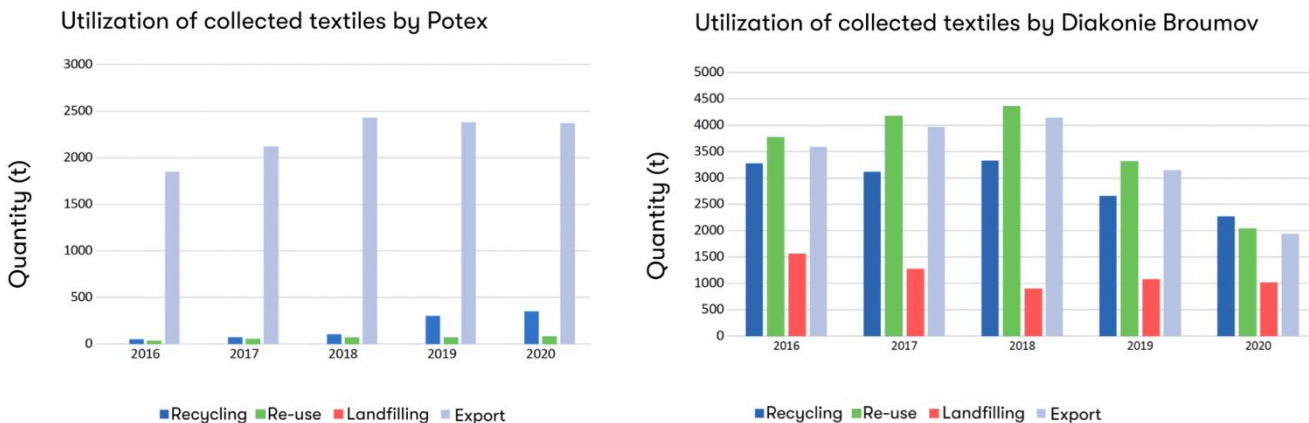


Figure 2: Graphs 1 and 2 from CEVOOH defining the amount of textiles collected by survey respondents and the paths of its further utilisation

When comparing the charts on textile management between two organisations, both of which focus on waste prevention, it is also important to highlight the differences in how they handle this material. It is evident that Potex is highly focused on export (over 90% of the collected textiles), while Diakonie Broumov strives to find ways to recycle or reuse the textiles locally (primarily within the Czech Republic). Two-thirds of the textiles collected by the organisation are processed or utilised in this way. In the future, it will be essential to accurately monitor not only the quantity collected by these organisations but also how the textiles are subsequently managed. The CEVOOH study also states that: "The social cooperative Diakonie Broumov has 852 containers and employs 105 employees, Potex has 11 employees, operates as a private entity, and services 600 containers. Currently, Potex does not charge fees for container collection, while Diakonie Broumov mentioned that they do collect a fee, but its amount is voluntary and depends on the size of the municipality and the number of installed containers." When converting the total amount of collected textiles according to available data (the total amount is not mentioned precisely in the text, therefore the sum is estimated based on visual graphs and the y-axis representing the amount of textiles) and using the knowledge of the number of containers for each company, the amount of textiles collected by other collectors was also estimated. For the company TextilEco a.s., information about the number of containers was found on the website. The company states on its website that it operates more than 7000 collection containers in the Czech Republic, and for the calculation of average yield based on data from POTEX and Diakonie Broumov, it can be assumed that the company annually handles approximately 30 000 - 40 000 tons of textiles.

Absence of data on textile waste from public and private institutions: Public institutions (hospitals, hospices, children's homes, other social security institutions, police, military, etc.) and private enterprises (accommodation institutions, companies providing workwear to their employees, etc.) can also potentially be considered significant producers of textile waste. However, data on the amount of textile waste disposed of is not available at all. The data could potentially be mapped through organisations providing garment care (laundries, etc.), but even these entities do not provide data, as they are private entities without a recording obligation. These could amount to lower thousands of tons

annually. Due to the lack of further research focused on mapping textile waste generated by institutions, we can at this point estimate the amount of textile waste from workwear in the Czech Republic by extrapolating from data provided for Switzerland, which is the only relevant study available.²⁴ In 2019, Switzerland consumed approximately 3,200 tons of workwear, equating to 0.4 kg per capita and 1.6 kg per worker annually. By applying these figures to the Czech Republic, with a population of approximately 10.7 million in 2019, the estimated consumption of workwear would be around 4,280 tons per year based on per capita consumption. Alternatively, considering the approximately 5.3 million economically active individuals in the Czech Republic, the estimated consumption could reach up to 8,480 tons annually based on per worker consumption. This range highlights the potential variation in workwear textile waste generation, emphasising the need for more precise data tailored to the specific economic and occupational conditions in the Czech Republic.

Textile waste in mixed communal waste: One of the most significant material flows outside official statistics of standard catalogue numbers is textile waste contained in mixed municipal waste (MMW). Data on textile waste in municipal waste have only been measured in a few scientific projects, with the most extensive dataset provided by The Institute of Circular Economy (INCIEN). The first set of data has already been published and demonstrates that this material flow is evidently substantial in volume. According to the Czech Statistical Office (CSO), the average amount of MMW produced in the Czech Republic between 2018 and 2020 is 2,798,126.67 tons. The average share of textile waste during this period, based on analysed locations, is 6.56%, equating to 183,557 tons. However, this amount is adjusted using a coefficient of 0.74 to account for moisture content, reducing the final amount of textile waste in MMW to 4.86%, or 135,989 tons. In its latest statements, the Ministry of the Environment also indicates that, according to expert estimates, the amount of textiles in mixed municipal waste may reach up to 180,000 tons, highlighting that this data gap is by far the most significant⁴³. This highlights the considerable presence of textile waste in MMW and underscores the need for comprehensive data to inform waste management and recycling strategies.

Data on textile exchange, reuse and further sale: Another data gap can be identified in the area of clothing reuse. According to the platform "Where to with it?" (and discussions with representatives of Clean Up Czechia, which stands behind it), there are about 50 reuse centres in the Czech Republic, and about 80% of them state on their websites that they accept textiles. This information is also confirmed by the CEVOOH survey. However, reuse centres do not record the amount of textiles reused. Charities also focus on reuse, sorting usable and saleable textiles (see Graphs 1 and 2) and record it as part of reuse (Diakonie Broumov and Potex together state that they return about 1000 tons of textiles to circulation per year through this method). Given the low level of available data and the high number of organisations operating in the waste prevention regime, it is possible that further thousands of tons of textiles are reused annually.

Similarly, other textile sellers are not obliged to record the amount of textiles resold. However, a good practice example is the charitable shop MOMENT, which keeps meticulous records that could serve as a model for implementing systemic changes. In the most recent data available from the year 2023, MOMENT is reported to have sold a total of 66 tons of textiles, amounting to 199,632 individual items. Cumulatively, since they began detailed record-keeping in 2017, they have sold a total of 612 tons of textiles, equating to 1,499,251 pieces. These sales were conducted through seven different outlets in 2023. MOMENT stands out as the only seller that has maintained a detailed and specific record of their textile sales since 2017, demonstrating their commitment to transparency and precise inventory management. This meticulous tracking allows for an accurate assessment of their contributions to textile recycling and reuse efforts.

However, it is necessary to mention that reuse does not only occur after the collection phase within the container system mentioned in the previous chapter. An interesting trend in recent years is the exchange of clothing at the local, community level. From discussions with organisers of so-called SWAP events (clothing exchange events), it was found that since 2017, when these events began being organised in the Czech Republic, about 13,000 visitors have attended, and 115 tons of textiles have been returned to circulation. However, the measurements also include small items such as toys or other household equipment. About 80% of textiles are returned to circulation on-site, and the rest is given to the textile collection company at the event site, especially charitable organisations. The usability rate can

reach up to 97% if it is clearly communicated before the event that only textiles in excellent condition without signs of damage are suitable for exchange. (Note: One of the authors of this work participated in the introduction of a system for weighing garments for pilot testing the amount of textiles returned to circulation at these events).

Repairs and donations should also be mentioned in the category of reuse. In a consumer behaviour study in the field of textile management by Nencková⁴⁴, it was found that only 26% of respondents repair, darn, or re-sew unnecessary clothing, with older people and people from low-income groups doing it most often. However, clothing repairs are crucial in terms of compensating for the environmental impact during the product life cycle: if the average number of times a piece of clothing is worn were to double, then greenhouse gas emissions would be 44% lower⁴⁵. Worn and no longer needed pieces of clothing and other textiles are also further traded on online platforms, which have been gaining users' interest in recent years. In the Czech Republic, the platform Vinted is most widely used, with the international platform Sellpy gaining popularity last year. Sellpy, an online platform for second-hand clothing, has seen a notable increase in popularity in recent years. As of 2023, Sellpy has facilitated the sale and reuse of numerous textile items, contributing to the reduction of textile waste. The platform has garnered attention for its role in promoting sustainable fashion by allowing users to buy and sell pre-owned clothing items. Sellpy operates primarily in Europe and has been expanding its user base, making it a significant player in the second-hand market alongside other platforms like Vinted.

However, data on the amount of textiles reused and resold through these platforms are not available. Further sale and reuse are mainly motivated by economic factors and environmental interests⁴⁶. In recent years, platforms like Vinted have also played an increasingly significant role in the resale and redistribution of textiles. Vinted, a major online marketplace for second-hand clothing, has facilitated the circulation of millions of textile items. As of 2023, Vinted has over 105 million registered users and generated €596 million in revenue, indicating its substantial impact on reducing textile waste by promoting reuse^{47,48}. The platform's extensive user base and significant volume of transactions contribute to diverting textiles from landfills and encouraging a circular economy in fashion.

Overview of upcycling, recycling, and downcycling: In the Czech Republic, textile upcycling, recycling, and downcycling are key components of sustainable textile management. Upcycling is primarily facilitated by companies such as Cirkulo, which transforms old garments into new, high-quality products, often through creative redesign and repurposing. This process not only extends the life of textiles but also adds value by creating unique, desirable items. Fibre-to-fibre recycling, which involves the mechanical processing of textiles back into fibres for the production of new textiles, is still emerging. Companies like NILMORE are pioneering this method, producing new fibres from recycled materials, although detailed data on the scale and output are limited. Downcycling is more prevalent, where mixed textile waste is mechanically recycled into lower-quality products such as insulation materials or industrial rags. According to the Ministry of the Environment and CENIA, basic aggregated data from individual producers and waste management entities are available, though comprehensive data on fibre-to-fibre recycling and downcycling stages are sparse. This highlights the need for enhanced data collection to better understand these material flows and set targets for continuous improvement in textile recycling practices.

Textile fibre recycling in the Czech Republic mainly occurs in the so-called "downcycling" category. Recycling in such low-value applications can be referred to as downcycling, which is the practice of using recycled material for an application of lower value than the original purpose of the material⁴⁹. Respondents of in-depth interviews focus on mechanical recycling.

The table below shows a summary of the main data gaps and an estimated quantification of the total amounts of various textile streams based on the interviews carried out.

Table 3: A summary of the main data gaps and their estimated quantification based on interview findings

Data gap	Quantification of the total amount (t/year)
Textile waste for which there is no reporting obligation (below 100 t/year/producer)	3000 – 10 000
Deadstocks	< 1000
Textiles in waste prevention mode	30 000 – 40 000
Absence of data on textile waste from public and private institutions	4 000 – 8 000
Textile waste in mixed communal waste	135 000 – 180 000
Data on textile exchange, reuse, and further sale	< 5000

The data gaps identified in table 3 reflect significant challenges in accurately quantifying textile waste management within the European Union. The most substantial gap lies in the textile waste found in mixed communal waste, with estimates ranging from 135,000 to 180,000 tons per year, highlighting a critical need for better waste sorting and data collection. Similarly, the absence of data on textiles in waste prevention mode, estimated between 30,000 to 40,000 tons annually, emphasises the importance of capturing the full spectrum of textile reuse and recycling efforts. Additionally, non-reported textile waste due to lack of reporting obligations (3,000 to 10,000 tons) and the lack of data from public and private institutions (4,000 to 8,000 tons) further complicate efforts to develop comprehensive waste management strategies. The smaller yet still significant gaps in deadstocks (less than 1,000 tons) and data on textile exchange, reuse, and further sale (less than 5,000 tons) indicate the need for more precise data to support circular economy initiatives and improve textile waste management practices across the EU. For the purpose of visualising the total amount of waste material flows, the following visual scheme was also created. This scheme, along with the subsequent MFA model for municipalities, can assist users—particularly policymakers—in defining priorities to focus their attention on addressing these flows.

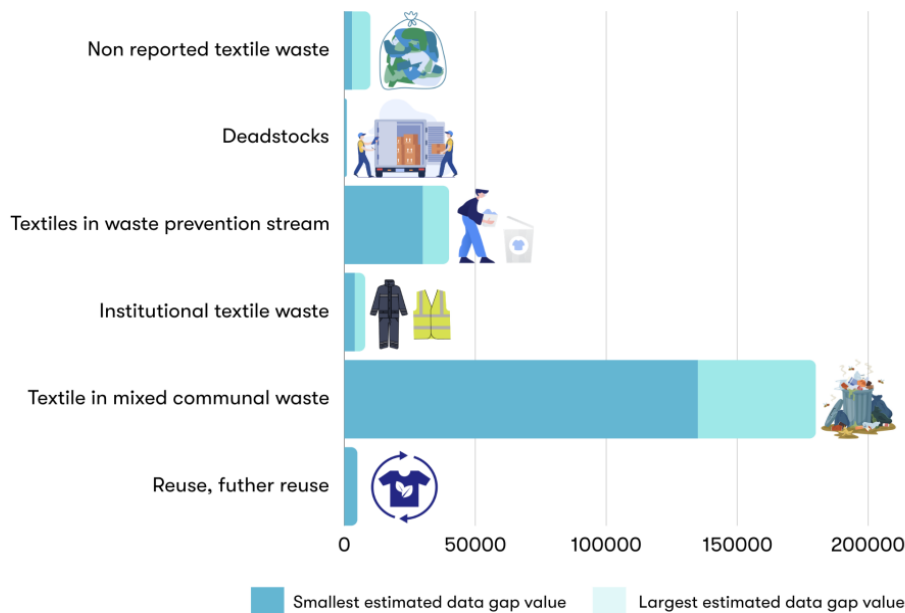


Figure 3: Visualisation of textile data gaps (their median values) of textile waste in the Czech Republic (original work of the authors)

The final step in the creation of an MFA diagram is the visualisation of waste material flows. The visualisation in figure 4 was created for the municipal level, with a breakdown into individual processes. This diagram presents a comprehensive overview of the material flow analysis (MFA) for textile waste at the municipal level in the Czech Republic. It illustrates the movement of textile waste (TO) from its initial generation to its final disposal or reuse, highlighting key processes and material losses.

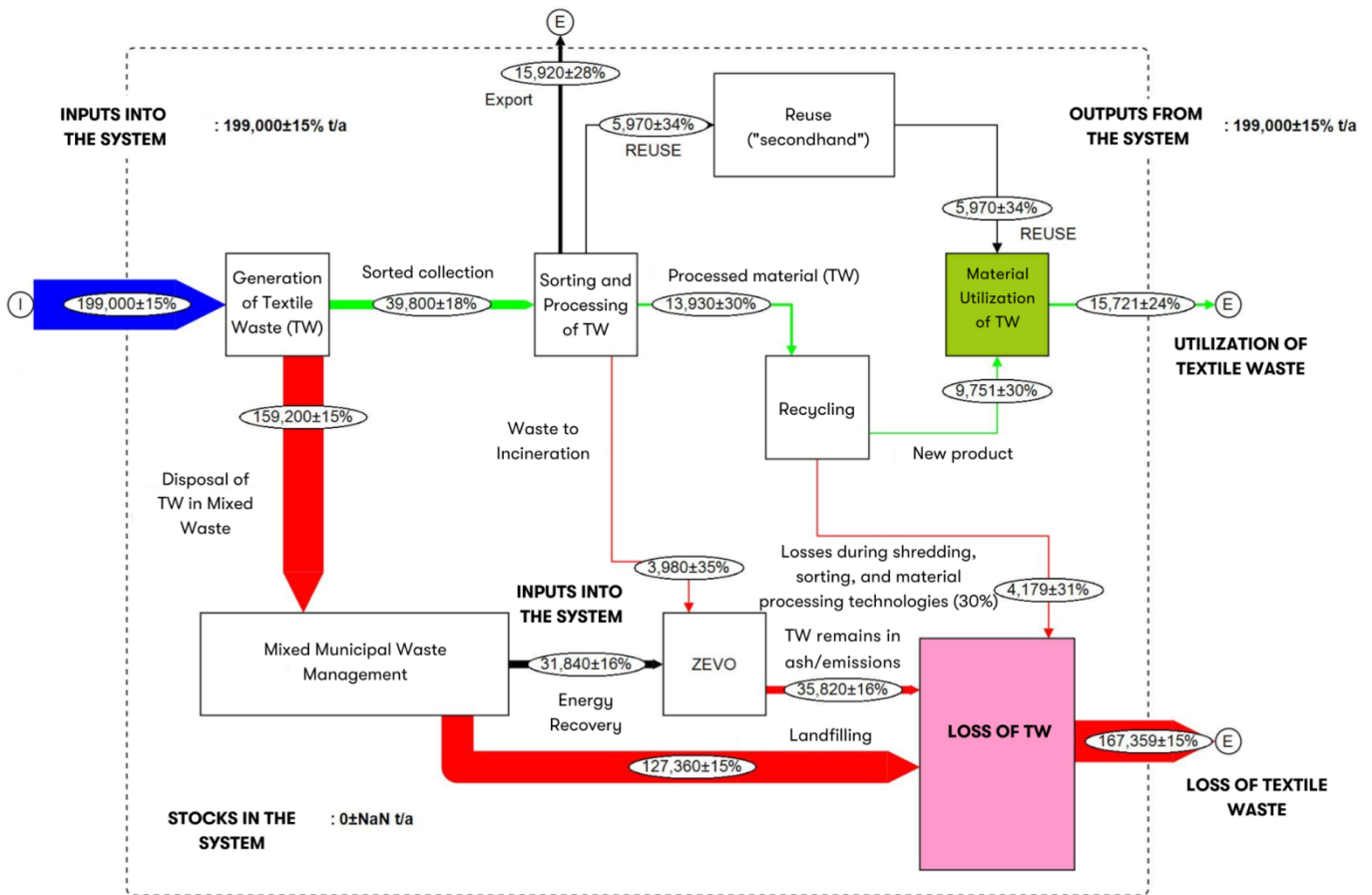


Figure 4: Material flow analysis (MFA) for municipal textile waste in the Czech Republic

The uncertainty rates (in percentages) are an expert estimate derived from the opinions of respondents during semi-structured interviews. The system begins with the sale of textiles, representing the primary input into the system at 199,000 ± 15% tons per year. From this input, textile waste (TO) is generated, amounting to 159,200 ± 15% tons per year, with a portion of this waste entering the mixed municipal waste stream. A segment of this textile waste is collected through sorted collection systems, accounting for 39,800 ± 18% tons, which is then subjected to further sorting and processing. A portion of the sorted waste is reused, amounting to 5,970 ± 34% tons, either through second-hand markets or by being exported, with exports reaching 15,920 ± 28%. Textile waste that undergoes processing is transformed into recycled material, contributing 9,751 ± 30% tons to the production of new products. However, during this stage, there are losses primarily due to the inefficiencies in shredding, sorting, and material preparation technologies, resulting in a 30% loss. A significant portion of the textile waste that cannot be reused or recycled is either sent to incineration plants (ZEVO) for energy recovery or ends up in landfills. The incineration process contributes to energy production, but a notable quantity of textile waste remains as ash or emissions, amounting to 35,820 ± 16%, which leads to further losses totaling 167,359 ± 15% tons. The total outputs from the system are balanced with the inputs, ensuring that all material flows are accounted for. The MFA diagram in figure 5 emphasises the material losses that occur throughout the system, whether through disposal, energy recovery, or processing inefficiencies. In conclusion, this MFA diagram provides valuable insights into the lifecycle of textile waste at the municipal level in the Czech Republic. It highlights the challenges in achieving higher rates of reuse and recycling, pointing out significant losses during the waste management process. The diagram serves as a crucial tool for policymakers and stakeholders to identify key areas where improvements can be made to enhance the circularity of textile waste management.

Discussion

The previous chapter highlighted a critical lack of data on textile flows in certain areas, or the absence of harmonised data among different organisations. A reliable source of data is the Czech Statistical Office, where data on the import and export of clothing (both new and used), including export and import destinations, are recorded within the goods movement database. However, what is missing are the weight expressions of the quantity of clothing produced in the Czech Republic, as well as data on e-commerce. The amount of textiles representing stocks in the system and a detailed description of the user phase are also unknown. Data on the amount of textiles that are part of mixed municipal waste vary significantly depending on the organisation conducting the data collection. To eliminate this problem, inter-organizational cooperation and the unification of the methodology for analysing the composition of mixed municipal wastes are essential. Another significant data gap is the absence of diversified statistics on the amount of clothing undergoing mechanical recycling and data on the export of these products abroad.

Data on the amount of collected and sorted clothing within the textile collection container system are inconsistent, stemming from the nature of reporting obligations in various waste management regimes or its prevention.

Recording textile flows outside the waste regime: For the creation of a detailed Material Flow Analysis (MFA), recording just the catalogue numbers of waste is insufficient. It will be necessary to set a harmonised policy also for recording material flows outside the waste regime, whether in the context of waste prevention (online and offline platforms for textile reuse, recycling, etc.) or in the context of secondary raw materials (definition of secondary raw materials stated in the Glossary of Terms and Abbreviations) arising within industrial processing enterprises and exempt from the waste management regime. Quantification should be based on the amount of waste (in tonnes).

Introduction of digital product passports: The recording of textile material flows should also be in line with the proposals of the EU Strategy for Sustainable and Circular Textile Products¹². Quantification should also comply with the new requirements of "digital tags" or "digital product passports", introduced by the new EU Strategy for Sustainable and Circular Textile Products¹⁵, which mentions the introduction of a digital product passport for textile products in accordance with the regulation on the ecodesign of sustainable products. The digital product passport will contain mandatory information requirements on circularity and other key environmental aspects. The Commission also plans to review the regulation on the labelling of textile products, "which requires that textile products sold in the EU market be labelled with a clear identification of material composition and indicating all non-textile parts of animal origin"⁵⁰.

Data gaps: The identified data gaps can be divided into the following areas:

a) Poor data quality: Data on textile waste material flows are often incomplete and inconsistent, which can cause inaccuracies in analysis and decision-making based on this data.

b) Lack of harmonised data standards: Currently, there is no uniform standard for collecting and processing data on material flows of textile waste, which can lead to loss of information and the impossibility of comparing data from different sources.

c) Lack of transparency: Some sources of data on the material flows of textile waste may be restricted due to trade secrets and the competitiveness of companies, which may cause a lack of transparency in the analysis and decision-making based on this data. However, data openness at national level can help optimise textile waste flows and truly deliver on the essence of the Green Deal for Europe.

The lack of data extensively described in this paper has also commonly been identified as a barrier to greater circularity, according to 59.32% of the respondents in questionnaires and interviews⁵¹. Individual stakeholders often do not sufficiently collect their own data in cases where they are not required to do so, and they struggle with the lack of coordination of public data. The situation is worsened by the globalised nature of the textile industry, due to which companies commonly lack information on their own material flows (e.g. where fibres come from, what happens to their waste, etc.). Moreover, insufficient data makes setting and enforcing any targets on improving the situation difficult. This contributes to the uncertainty experienced by the stakeholders and their perception of the policy environment as unclear.

Only 5.26% of the respondents reported having all the information that they need on 'changes to environmental policy at the EU level and the implications of the Green Deal', with over half being unaware of the implications that these policies would have on them. This can be related to insufficient communication of the upcoming legislation, as well as the lack of certainty and ambitiousness around some of it⁵¹.

The final challenge associated with legal measures is a clear definition of the methods of collection and measurement of textile waste. These should be improved both locally and globally. Similar methodologies have already been proposed in the area⁵² and similarly European institutions should propose appropriate measurement methodologies for data collection and comparison of results between Member States in the areas of waste registration or direct measurement at the point of origin (e.g. flow analysis based on mass balance sheets or waste composition analyses). Data availability (preferably with the highest possible level of detail within open access) is a prerequisite for setting specific goals, but also for evaluating the effectiveness of individual interventions⁵³.

It has been demonstrated that companies handling used textiles, such as MOMENT, are highly proficient in recording both the weight and the number of items sold. If such detailed record-keeping were mandated by legislation, it would significantly enhance the transparency and understanding of textile data management. This regulatory requirement could provide a comprehensive overview of how textiles are processed and recycled, facilitating better planning and goal-setting for sustainable practices in the industry.

Recommendations for further research

This comprehensive analysis of textile waste data in the Czech Republic reveals several key areas for future academic research. Firstly, it is crucial to develop standardised data collection methods, including mandatory reporting for all textile producers. Accurate and comprehensive data is essential for effective waste management and policy-making. Secondly, exploring technological innovations like digital product passports and blockchain for tracking textile waste can enhance transparency and efficiency in the supply chain. Thirdly, fostering stakeholder collaboration through regular engagement can help harmonise data collection standards and address data gaps.

Additionally, research should investigate consumer behaviours promoting the repair and reuse of textiles, supporting platforms like Vinted and Sellpy for second-hand textile redistribution. Conducting detailed Material Flow Analyses (MFAs) to identify inefficiencies and model policy impacts is also essential. Targeted research should address specific data gaps, particularly in underreported areas such as small producers, public and private institutions, and textile waste in mixed municipal waste. Lastly, investigating new recycling technologies, including fibre-to-fibre recycling, and supporting innovative upcycling and downcycling methods can extend textile lifecycles and enhance industry sustainability.

Currently, the Institute of Circular Economy (INCIEN) is carrying out a project focusing on the quantification of textile waste streams in the Czech Republic, as part of a larger European consortium, in which analyses of separately collected textile and mixed municipal waste are taking place in order to present a representative sample and gain more insight into amounts of waste nationally. This project aims to address the data gaps, which are present at the moment, and its results will be available this year. Such further research is an example of what needs to be done at local, national and EU levels.

Conclusion

The fact that data is necessary for measuring the circular economy is evergreen. In order for data to be socially beneficial, it must be easily accessible, shared across the entire network of actors, and used for decision-making⁵⁴. This article identifies and delves into significant data gaps within the Czech Republic's textile waste streams, highlighting the need for a more robust and circular material flow. It emphasises the necessity of accurate data collection and the implementation of the European Union's Strategy for Sustainable and Circular Textiles to ensure the industry's transition towards sustainability and circularity.

The key data gaps identified include the absence of detailed information on textile waste from both public and private institutions, including significant producers like hospitals and accommodation facilities. Moreover, the lack of data on the amount of textiles reused, recycled, or disposed of, particularly from smaller producers generating under 100 tons/year, presents a significant challenge to achieving a comprehensive understanding of the textile lifecycle and waste management practices.

To address these gaps, several recommendations have been proposed. These encompass the enhancement of data collection methods, such as leveraging in-depth interviews with stakeholders and utilising existing data sources more effectively. The establishment of clear and mandatory reporting requirements for all textile producers, regardless of their size, could significantly improve data accuracy and availability. Additionally, fostering collaboration between government bodies, research institutions, and the textile industry is crucial for developing a cohesive and effective approach to textile waste management. It is also necessary to mention that the identified data gaps range from a few tons to hundreds of thousands of tons of waste, highlighting the significance of addressing this material flow, which should receive adequate attention from policymakers in the future. The quantity can be compared to the data on e-waste collection, which amounted to 170,000 tons in the Czech Republic in 2023⁵⁵. For e-waste, there are already functioning organisations for its collection as well as a financial participation system through extended producer responsibility (EPR). This EPR system could play a key role in the future in building and financing a robust textile collection network, which will become mandatory for municipalities starting in 2025.

The recent legislative developments in the EU, aimed at tightening the handling and reporting of textile waste, offer a valuable framework for national efforts. The introduction of a direct ban on the destruction of unsold textiles and footwear, as part of the EU's broader strategy to promote circularity and sustainability in the textile sector, sets a precedent for the Czech Republic to follow. Implementing similar regulations at the national level, alongside the EU's ecodesign requirements for sustainable products, could drive significant progress in addressing the identified data gaps and enhancing the circularity of the textile industry. And therefore, one of the goals of this article is to assist local policymakers by providing the necessary groundwork to identify priority areas for bridging data gaps in the coming years. Although key documents such as the Strategy for Secondary Raw Material Management by the Ministry of Industry and Trade define areas for material analysis, this goal cannot be achieved without accurate data. A deeper understanding of the origins of these gaps, including their quantification, can significantly aid in this prioritisation.

Ultimately, bridging these data gaps requires a concerted effort from all stakeholders involved in the textile lifecycle, from production to disposal. By aligning national strategies with the EU's legislative direction, the Czech Republic can significantly improve its textile waste management practices, paving the way for a more sustainable and circular textile industry. This endeavour not only aligns with the global push towards environmental sustainability but also offers economic opportunities by promoting the reuse and recycling of textiles, thereby reducing waste and fostering innovation in the sector.

Acknowledgements

A special thanks to Professor Bedřich Moldan for his help with the formulation of research questions, as well as with focusing attention on the most essential aspects of the research in the field of circular economy and textiles. The article was supported by the Grant Agency of Charles University for the project entitled Mapping of waste textile material flows in the Czech Republic and number 265021.

Literature

1. Merli, Roberto; Preziosi, Michele; Acampora, Alessia. *How do scholars approach the circular economy? A systematic literature review*. Journal of cleaner production, 2018, 178: 703 – 722. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.112>
2. The Circular Economy - A Powerful Force for Climate Mitigation. Material Economics, 2018. <https://materialeconomics.com/node/14>
3. European Commission: *First circular economy action plan*. European Commission, 2022. https://environment.ec.europa.eu/topics/circular-economy/first-circular-economy-action-plan_en?prefLang=cs
4. Srivastava, Mansa. *The Social Impact of Sustainable Textiles: Empowering Communities*. Fibre2fashion, 2023. <https://www.fibre2fashion.com/industry-article/9851/the-social-impact-of-sustainable-textiles-empowering-communities>
5. Bergmann, Emily. *Textiles Extended Producer Responsibility (EPR) in Europe: A Sustainable Shift*. H2 Compliance, 2024. <https://www.h2compliance.com/2024/05/28/textiles-extended-producer-responsibility-epr-in-europe-a-sustainable-shift/>
6. International Labour Organization. *Decent Work in the Circular Economy: An Overview of the Existing Evidence Base*. Geneva: International Labour Office, 2023. <https://www.ilo.org/publications/decent-work-circular-economy-overview-existing-evidence-base>
7. Köhler, A., Watson, D., Trzepacz, S., Löw, C., Liu, R., Danneck, J., Konstantas, A., Donatello, S., Faraca, G. *Circular Economy Perspectives in the EU Textile sector*. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2021. ISBN 978-92-76-38646-9. DOI 10.2760/858144.
8. Tojo, Naoko. *Prevention of Textile Waste: Material flows of textiles in three Nordic countries and suggestions on policy instruments*. Nordic council of ministers, 2012. <https://doi.org/10.6027/TN2012-545>
9. Roos, S.; Jönsson, C. *Life cycle assessment and textile chemicals. Chemical Management in Textiles and Fashion*. Woodhead Publishing, 2021. p. 155-176. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820494-8.00008-3>
10. Patti, Antonella; Cicala, Gianluca; Acierno, Domenico. *Eco-sustainability of the textile production: Waste recovery and current recycling in the composites world*. Polymers, 2021, 13(1), 134. <https://www.mdpi.com/2073-4360/13/1/134>
11. European Union: Official Journal of the European Union, L 96, 16 April 2018. Vol. 61. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/536e4d37-4140-11e8-b5fe-01aa75ed71a1>
12. Amicarelli, Vera; Bux, Christian. *Quantifying textile streams and recycling prospects in Europe by material flow analysis*. Environmental Impact Assessment Review, 2022, 97:106878. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2022.106878>
13. Haberl, Helmut, et al. *A socio-metabolic transition towards sustainability? Challenges for another Great Transformation*. Sustainable development, 2011, 19.1: 1-14. <https://doi.org/10.1002/sd.410>
14. Brunner, Paul H.; Rechberger, Helmut. *Handbook of material flow analysis: For environmental, resource, and waste engineers*. CRC press, 2016. <https://doi.org/10.1201/9781315313450>
15. European Commission: *Proposal for a regulation of the European parliament and of the council establishing a framework for setting ecodesign requirements for sustainable products and repealing Directive 2009/125/EC*. 2022. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52022PC0142>

16. Council of the European Union: *Products fit for the green transition. Council and Parliament conclude a provisional agreement on the Ecodesign regulation*. Consilium, 2023. <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2023/12/05/products-fit-for-the-green-transition-council-and-parliament-conclude-a-provisional-agreement-on-the-ecodesign-regulation/>
17. Ministerstvo průmyslu a obchodu. *Aktualizace politiky druhotných surovin České Republiky pro období 2019 – 2022*. Prosinec, 2018. https://www.mpo.gov.cz/assets/cz/prumysl/politika-druhotnych-surovin-cr/2019/1/IV_Politika-druhotnych-surovin-CR.pdf
18. Hloušek, Filip. *Udržitelnost textilního průmyslu a regulace textilního odpadu - Závěry kulatého stolu. Zajímej.se*, 2021. <https://zajimej.se/textile-roundtable/>
19. CEVOOH 2022. *Konference Životní prostředí – prostředí pro život 2022 | CEVOOH*. <https://cevooh.cz/2022/09/30/konference-zivotni-prostredi-prostredi-pro-zivot-2022/>
20. Seigné-Itoiz, Eva; Gasol, Carles M.; Gabarrell, Xavier. *Contribution of plastic waste recovery to greenhouse gas (GHG) savings in Spain*. *Waste Management*, 2015, 46: 557 – 567. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.08.007>
21. Pincelli, Isabella Pimentel, et al. *Post-consumer plastic packaging waste flow analysis for Brazil: The challenges moving towards a circular economy*. *Waste Management*, 2021, 126: 781 – 790. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.04.005>
22. Lombardi, Mariarosaria; Rana, Roberto; Fellner, Johann. *Material flow analysis and sustainability of the Italian plastic packaging management*. *Journal of cleaner production*, 2021, 287: 125573. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125573>
23. Nørup, Nynne, et al. *Evaluation of a European textile sorting centre: Material flow analysis and life cycle inventory*. *Resources, Conservation and Recycling*, 2019, 143: 310 – 319. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.01.010>
24. Malinverno, Nadia, et al. *Identifying the needs for a circular workwear textile management – A material flow analysis of workwear textile waste within Swiss Companies*. *Resources, Conservation and Recycling*, 2023, 189: 106728. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106728>
25. Brunner, Paul H.; Rechberger, H. *Practical Handbook of Material Flow Analysis: Advanced Methods in Resource and Waste Management Series*. Lewis Publishers: Boca Raton, FL, USA, 2004, 34 – 166.
26. Fischer-Kowalski, Marina, et al. *Methodology and indicators of economy-wide material flow accounting: State of the art and reliability across sources*. *Journal of Industrial Ecology*, 2011, 15.6: 855-876. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2011.00366.x>
27. Baccini, Peter; Bader, Hans-Peter. *Regionaler Stoffhaushalt: Erfassung, Bewertung und Steuerung*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, 1996.
28. Laner, David; Rechberger, Helmut; Astrup, Thomas. *Systematic evaluation of uncertainty in material flow analysis*. *Journal of Industrial Ecology*, 2014, 18.6: 859-870. <https://doi.org/10.1111/jiec.12143>
29. Patton, Michael Quinn. *Qualitative evaluation and research methods*. SAGE Publications, inc, 1990.
30. Goodman, L. A. *Snowball sampling*. *The Annals of Mathematical Statistics*, 1961, 32(1), 148 – 170.
31. Volk, Rebekka, et al. *An integrated material flows, stakeholders and policies approach to identify and exploit regional resource potentials*. *Ecological economics*, 2019, 161: 292 – 320.
32. Jacob, S. A., & Furgerson, S. P. *Writing Interview Protocols and Conducting Interviews: Tips for Students New to the Field of Qualitative Research*. *The Qualitative Report*, 17(42), 1 – 10. 2012. <https://doi.org/10.46743/2160-3715/2012.1718>
33. Taylor, J. *The role of interviews in qualitative research*. *Journal of Qualitative Methods*, 2024, 32(1), 45 – 58.
34. Diccio-Bloom, Barbara; Crabtree, Benjamin F. *The qualitative research interview*. *Medical education*, 2006, 40.4: 314 – 321. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2929.2006.02418.x>
35. Cencic, Oliver; Rechberger, Helmut. *Material flow analysis with software STAN*. *EnvironInfo*, 2008, p. 440 – 447. <http://enviroinfo.eu/sites/default/files/pdfs/vol119/0440.pdf>
36. Jacobi, Nikolai, et al. *Providing an economy-wide monitoring framework for the circular economy in Austria: Status quo and challenges*. *Resources, Conservation and Recycling*, 2018, 137: 156 – 166. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.05.022>

37. De Wit, Marc, et al. *The Circularity Gap Report 2018: An analysis of the circular state of the global economy*. Netherlands: Circle economy, 2018.
https://policycommons.net/artifacts/3370340/ad6e59_c497492e589c4307987017f04d7af864/4169004/
38. Pailthorpe, Brittany C. *Emergent design*. The international encyclopedia of communication research methods, 2017, 1-2. <https://doi.org/10.1002/9781118901731.iecrm0081>
39. Davis, Christine S. *Conversations about qualitative communication research: Behind the scenes with leading scholars*. Routledge, 2014.
40. Davis, Christine S.; Gallardo, Heather Powell; Lachlan, Kenneth A. *Straight talk about communication research methods*. Kendall Hunt Publishing Company, 2017.
41. Schwandt, Thomas A. *The SAGE dictionary of qualitative inquiry*. SAGE publications, Inc., 2014.
42. Vashkevich, Stepan. *Analýza současného stavu nakládání s textilním odpadem v České Republice a identifikace příležitostí uplatnění principů cirkulární ekonomiky v tomto odvětví*. Online. Diplomová práce. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, Faculty of Science, 2020.
<https://theses.cz/id/77gqig/>.
43. Ministerstvo životního prostředí. *Povinný sběr textilu začne platit od roku 2025. První volbou by ale měla být cirkulární druhá šance*. 2023. https://www.mzp.cz/cz/news_20231204_Povinnny-sber-textilu-zacne-platit-od-roku-2025-Prvni-volbou-by-ale-mela-byt-cirkularni-druha-sance
44. Nencková, L. *Současný stav a nakládání s textilním odpadem z domácností v ČR*. Doctoral dissertation, Vysoká škola ekonomická in Prague, 2017.
45. MacArthur, E. *Foundation a new textiles economy: Redesigning fashion's future*. London, UK, 2017.
<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/a-new-textiles-economy>
46. Joung, Hyun-Mee; Park-Poaps, Haesun. *Factors motivating and influencing clothing disposal behaviours*. International Journal of consumer studies, 2013, 37.1: 105 – 111.
<https://doi.org/10.1111/j.1470-6431.2011.01048.x>
47. Business of Apps. *Vinted Revenue and Usage Statistics*, 2024.
<https://www.businessofapps.com/data/vinted-statistics/>
48. Cross-Border Commerce Europe. *The Rise Of The Resale Second-hand Market In Fashion*. Brussels, 2021.<https://www.cbcommerce.eu>
49. Allwood, Julian M. *Handbook of recycling. Squaring the circular economy: The role of recycling within a hierarchy of material management strategies*. Elsevier, 2014. p. 445 – 477.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-396459-5.00030-1>
50. European Union: *Regulation (EU) No 1007/2011 of the European Parliament and of the Council of 27 September 2011 on textile fibre names and related labelling and marking of the fibre composition of textile products and repealing Council Directive 73/44/EEC and Directives 96/73/EC and 2008/121/EC of the European Parliament and of the Council*. Official Journal of the European Union, L 272/1, 27 September 2011.
51. Zoumpalova, Tereza; Jonášová, Soňa Klepek; Moldan, Bedřich. *Barriers to the circular economy in textile industry: A case study of the Czech Republic*. WASTE. 2023. p. 206.
52. European Union: Official Journal of the European Union, L 111, 25 April 2019. Vol. 62. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ%3AL%3A2019%3A111%3ATOC>
53. Amicarelli, Vera; Bux, Christian. *Quantifying textile streams and recycling prospects in Europe by material flow analysis*. Environmental Impact Assessment Review, 2022, 97: 106878.
<https://doi.org/10.1016/j.eiar.2022.106878>
54. Luoma, Päivi; Toppinen, Anne; Penttinen, Esko. *The role and value of data in realising circular business models—a systematic literature review*. Journal of business models, 2021, 9.2: 44 – 71.
<https://doi.org/10.5278/jbm.v9i2.3448>
55. Zajímej.se. *Sběr a recyklace elektroodpadu v ČR rok od roku roste, s více než 170 000 tunami padaly rekordy*. 2024. <https://zajimej.se/sber-a-recyklace-elektroodpadu-v-cr-rok-od-roku-rostes-vice-nez-170-000-tunami-padaly-rekordy/>

Překlenutí mezer: Komplexní analýza nesrovnalostí v datech o textilním odpadu v České republice

Soňa Klepek JONÁŠOVÁ^a, Bedřich MOLDAN^a, Andrea VESELÁ^b

^a *Fakulta humanitních studií, Univerzita Karlova, Pátkova 2137/5, 182 00 Praha 8, Česká republika, e-mail: sona.jonasova@gmail.com*

^b *Institut cirkulární ekonomiky (INCIEN), Hybernská 998/4, 110 00 Praha, Česká republika, e-mail: andrea.vesela@incien.org*

Souhrn

Tento článek poskytuje podrobnou analýzu toků textilního odpadu a souvisejících datových mezer na různých úrovních v České republice, zaměřuje se na identifikaci a kvantifikaci datových mezer, které brání přesné analýze toků materiálů. Výzkum byl proveden prostřednictvím kombinace sběru existujících dat z dostupných statistik a polostrukturovaných rozhovorů s 25 klíčovými aktéry v celém dodavatelském řetězci textilu, včetně výrobců, správců odpadů a recyklačních subjektů. Studie odhalila významné datové mezery v oblastech, jako je textilní odpad od producentů s produkcí menší než 100 tun ročně, likvidace neprodaného zboží (deadstock) a textilní odpad ve smíšeném komunálním odpadu. Tyto mezery představují výzvy pro efektivní nakládání s odpady a implementaci Strategie Evropské unie pro udržitelné a cirkulární textilie. Zjištění také zdůrazňují kritickou potřebu standardizovaných metodik pro sběr dat a zvýšenou spolupráci mezi zainteresovanými stranami ke zlepšení přesnosti dat a podpoře přechodu na cirkulární ekonomiku v textilním sektoru. Článek uzavírá cílenými doporučeními pro zlepšení praxe sběru dat a politických rámců k řešení těchto mezer a usnadnění lepšího rozhodování pro udržitelné řízení textilního odpadu v České republice.

Klíčová slova: *Textilní odpad, mezery v datech, management textilního odpadu, cirkulární ekonomika, cirkulární odpadové hospodářství*

TVIP 2024

Týden vědy a inovací pro praxi a životní prostředí

www.tvip.cz

Vážení příznivci aplikovaného výzkumu, dovoluujeme si vás pozvat na další ročník **Týdne výzkumu a inovací pro praxi a životní prostředí – TVIP 2024**, který proběhne ve dnech 12.–14. 11. 2024 v Hustopečích u Brna.

Letošní TVIP opět zastřešuje dvě tematicky specializovaná odborná setkání: konferenci **APROCHEM** a symposium **ODPADOVÉ FÓRUM**. Letos se k symposiu přidává samostatná konference **POTRAVINÁŘSTVÍ NA CESTĚ K UDRŽITELNOSTI**.

12.–14. 11.

Hustopeče u Brna
www.tvip.cz

ODPADOVÉ FÓRUM

Výsledky výzkumu a vývoje pro průmyslovou a komunální ekologii – 18. ročník:

- VĚDA A VÝZKUM PRO OBĚHOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ
- OVZDUŠÍ
- ODPADY
- VODA

APROCHEM

Rizikový management – 32. ročník:

- POSUZOVÁNÍ A ŘÍZENÍ RIZIK
- MANAGEMENT ŘEŠENÍ HAVARIJNÍCH SITUACÍ
- PREVENCE ZÁVAŽNÝCH PRŮMYSLOVÝCH HAVÁRIÍ
- ZKUŠENOSTI Z ODSTRAŇOVÁNÍ NÁSLEDKŮ HAVÁRIÍ
- RIZIKA VYPLÝVAJÍCÍ Z NOVÝCH VÝZEV
- BEZPEČNOST A HYGIENA PRÁCE

KONFERENCE

POTRAVINÁŘSTVÍ NA CESTĚ K UDRŽITELNOSTI

Cílem konference je zmapovat environmentální dopady potravinářských odvětví a identifikovat hlavní příležitosti k jejich nápravě. Představit dosažené pokroky i aktuální výzkum.

- Problémy, aktuální výzvy a trendy
- Výsledky VaV a příklady správné praxe
- Udržitelná výroba (ESG, LCA, uhlíková stopa...)
- Minimalizace odpadů a využívání vedlejších produktů
- Čištění odpadních vod a recyklace složek
- Kompostování a anaerobní digesce

DŮLEŽITÉ TERMÍNY

Termín konání
12.–14. 11. 2024

Termín přihlášek příspěvků
do 30. 9. 2024

Termín plných textů
do 15. 10. 2024

Termín přihlášek účasti
do 15. 10. 2024

VÁŽENÍ PŘÍZNIVCI APLIKOVANÉHO VÝZKUMU A RIZIKOVÉHO MANAGEMENTU,

dovolujeme si vás pozvat na další ročník **Týdne výzkumu a inovací pro praxi a životní prostředí** (TVIP), který letos proběhne v termínu **12. – 14. listopadu 2024 v Hustopečích** u Brna. Nový ročník opět zastřešují dvě tradiční specializovaná odborná setkání: konference APROCHEM a symposium ODPADOVÉ FÓRUM. Tyto dvě akce doplní letos konference **POTRAVINÁŘSTVÍ NA CESTĚ K UDRŽITELNOSTI**.

APROCHEM: Konference tematicky pokrývá oblast řízení rizik a bezpečnosti. Zaměřuje se zejména na **řízení průmyslových rizik a rovněž na rizika při správě regionů, měst a obcí**. Konference odráží význam výzev vyplývajících ze změn ovlivňujících naši společnost v oblasti širokého spektra rizikového managementu (mezinárodní bezpečnostní situace, bezpečnost kritické infrastruktury v souvislosti s uplatňováním nových technologií, rozšiřováním energetického mixu o alternativní zdroje energie, změnami klimatu atd.).

RIZIKOVÝ MANAGEMENT A PREVENCE A ODSTRAŇOVÁNÍ HAVÁRIÍ

<ul style="list-style-type: none"> ☐ Posuzování a řízení rizik ☐ Prevence závažných průmyslových havárií ☐ Zkušenosti z odstraňování následků havárií ☐ Rizika při nakládání s chemickými látkami a přípravky 	<ul style="list-style-type: none"> ☐ Rizika související s nanomateriály (např. ve vztahu k potravinám) ☐ Rizika vyplývající z nových výzev (změna klimatu, nástup chytrých technologií, využití alternativních zdrojů energie a dopady geopolitických změn) ☐ Bezpečnost a hygiena práce
---	---

ODPADOVÉ FÓRUM: 18. ročník symposia pokračuje v prezentaci výsledků výzkumných projektů z celé oblasti průmyslové a komunální ekologie s tím, že od letošního ročníku chceme v samostatné konferenci věnovat zvýšenou pozornost jedné významné skupině odpadů. Letos to budou Odpady z potravinářství (*více níže*).

<h4>VODA</h4> <ul style="list-style-type: none"> ☐ Čištění průmyslových odpadních vod ☐ Získávání cenných látek z odpadních vod ☐ Recyklace vody ☐ Nakládání s kaly, kapalné odpady 	<h4>OVZDUŠÍ</h4> <ul style="list-style-type: none"> ☐ Čištění odpadních plynů a spalin ☐ Snižování a měření emisí ☐ Doprava a lokální zdroje ☐ Kvalita ovzduší a zdravotní dopady znečištění ovzduší
<h4>ODPADY</h4> <ul style="list-style-type: none"> ☐ Systémové otázky odpadového hospodářství ☐ Materiálové, biologické a energetické využití ☐ Nebezpečné odpady, odstraňování odpadů ☐ Sanace ekologických zátěží a následků havárií 	<h4>VĚDA A VÝZKUM PRO OBĚHOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ</h4> <ul style="list-style-type: none"> ☐ Šance a bariéry cirkulární ekonomiky ☐ Nové zdroje surovin a energie ☐ Inovativní technologické postupy a technologie ☐ Nové materiály a jejich aplikace (bio- a nanomateriály)

POTRAVINÁŘSTVÍ NA CESTĚ K UDRŽITELNOSTI: Od minulého ročníku chceme v rámci TVIP věnovat zvýšenou pozornost některému významné skupině odpadů či průmyslovému odvětví a věnovat mu samostatnou konferenci. Letos to bude **Potravinářství**, kdy se chceme zaměřit na nejdůležitější environmentální aspekty tohoto odvětví, na snižování jeho uhlíkové a vodní stopy, využíváním vedlejších produktů a odpadů apod.

Udržení konkurenceschopnosti není jen o výrobních nákladech, ale i o společenské odpovědnosti firmy, kterou může vykazat v ESG reportu, jehož jsou environmentální dopady nedílnou součástí

KLÍČOVÉ TERMÍNY

Přihlášky příspěvků	30. 9. 2024
Zaslání plných textů do sborníku	15. 10. 2024
Přihlášky účasti	15. 10. 2024
Termín konání	12. – 14. 11. 2024

CENY VLOŽNÉHO

Plné vložné	5 600 Kč
Dvoudenní vložné	5 000 Kč
Jednodenní vložné	4 350 Kč

PŘIHLÁŠKY PŘÍSPĚVKŮ A PREZENTACE PŘEDNÁŠEK

Příspěvky na TVIP mohou mít povahu přednášky v odborné sekci (15 min. přednáška a 5 min. diskuse) nebo vývěsky. Vývěsky mohou být až do formátu A0 na výšku, větší rozměry je třeba konzultovat s pořadatelem.

Termín přihlášek příspěvků je **30. 9. 2024**. Přihlášky je možné zasílat výhradně prostřednictvím elektronického formuláře na www.tvip.cz. Pořadatel potvrzuje přijetí přihlášky a vyhrazuje si právo konečného rozhodnutí o přijetí příspěvku, formě jeho prezentace a zařazení do konkrétní sekce a programu.

Po uvedeném datu je možno přihlásit příspěvek buď po výzvě přípravného výboru, nebo do naplnění kapacity (sestavení konečného programu). Jednací jazyk je čeština a slovenština. Zahraniční přednášející (i posluchači) jsou vítáni, ale tlumočení nezajišťujeme. Komerční prezentace na konferenci je možná, více na www.tvip.cz.

PLNÉ TEXTY PŘEDNÁŠEK

Autory všech příspěvků, přednášek i vývěsek žádáme o včasné předání konečného, graficky upraveného plného textu příspěvku v elektronické podobě v MS Word nejpozději do **15. 10. 2024**. Požadavky na grafickou úpravu textů do sborníku jsou uvedeny na internetových stránkách TVIP, kde je rovněž i vzorová šablona pro psaní textů. Sborník TVIP je vydáván v elektronické formě s označením ISBN.

PUBLIKACE VE WASTE FORUM

Časopis WASTE FORUM, který je dlouholetým mediálním i odborným garantem TVIP, je od roku 2017 indexován v databázi SCOPUS. V případě zájmu o publikaci příspěvku ze symposia v časopisu je toto možné. Publikací jazyk je angličtina, čeština a slovenština. Redakční uzávěrky jsou pravidelně 8. 1., 8. 4., 8. 7. a 8. 10. Text je třeba upravit podle redakčních zvyklostí (více na www.wasteforum.cz/ v sekci Pro autory). Příspěvky jsou posuzovány minimálně dvěma nezávislými recenzenty. Hotové číslo bývá vystaveno na internetu zhruba 10 – 11 týdnů po redakční uzávěrce. Všechna čísla časopisu (aktuální i archivní) jsou volně ke stažení na stránkách www.wasteforum.cz.

V případě článků s tematikou související s odpady z potravinářství plánujeme na začátku roku vydat tematické číslo časopisu WASTE FORUM s tímto zaměřením.

PŘIHLÁŠKY ÚČASTI

K účasti na TVIP se přihlašuje prostřednictvím formuláře na www.tvip.cz. Jeho součástí je i specifikace objednaného ubytování a rozsahu stravování. Bližší informace na stránkách internetu. **Termín pro přihlášení je 15. 10. 2024** K účasti se přihlašují (a platí vložné) i autoři příspěvků, přednášky nejsou honorované. Za neodpřednášenou přednášku či za nevystavený poster fakturujeme poplatek 1000 Kč za zařazení příspěvku do programu a uveřejnění textu ve sborníku.

DRUHÝ CIRKULÁŘ A DALŠÍ INFORMACE

Druhý cirkulář s předběžným programem bude rozeslán v polovině října. Veškeré, průběžně aktualizované informace k TVIP naleznete na internetových stránkách www.tvip.cz. Konkrétní dotazy a připomínky adresujte buď na níže uvedené garanty, nebo na společnou adresu tvip@cemc.cz.

POŘADATEL

České ekologické manažerské centrum, z.s.
28. pluku 524/25, Praha 10, PSČ 101 00
www.tvip.cz, tvip@cemc.cz
Tel.: (+420) 274 784 417
IČO: 45249741, DIČ: CZ45249741
Číslo účtu: 27534061/0100

KONTAKTY

- ▣ Ing. Vladimír Študent, hlavní garant – studentv@cemc.cz
- ▣ Ing. Ondřej Procházka, CSc., programový garant OF a Potravinářství na cestě k udržitelnosti, šéfredaktor WASTE FORUM – prochazka@cemc.cz
- ▣ Ing. Jiří Študent, programový garant AP – student@cemc.cz