

ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD Z VÝROBY RECYKLOVANÉHO PAPIRU

KAROLÍNA KEPRTOVÁ^a a JAN BINDZAR^b

^a Ústav chemie ochrany prostředí, ^b Ústav technologie vody a prostředí, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Technická 5, 166 28 Praha 6
keprtovk@vscht.cz

Došlo 9.11.20, přijato 4.5.21.

Klíčová slova: recyklovaný papír, odpadní vody, čištění odpadních vod, bisfenol A

Obsah

1. Úvod
2. Výroba recyklovaného papíru
3. Složení odpadních vod z výroby recyklovaného papíru
4. Čištění odpadních vod z výroby recyklovaného papíru
5. Kaly z výroby recyklovaného papíru a čištění odpadních vod
6. Případové studie z ČR
7. Závěr

1. Úvod

Recyklace papíru je zásadním příkladem environmentálně šetrného využívání zdrojů. Historie výroby recyklovaného papíru sahá až do úplných počátků výroby papíru. První papír byl vyroben v Číně ze směsi rostlin a hadrů kolem roku 100 n.l. Čínským způsobem výroby papíru se inspirovali i Arabové, kteří jako základní surovinu pro výrobu papíru používali lněná lana a lněné hadry. Jejich zásluhou se tento způsob výroby papíru rozšířil i do Evropy¹.

Papír patří mezi základní komodity odděleného komunálního sběru a ročně se takto do modrých popelnic dostane průměrně 160 tis. tun papíru². Způsob výroby papíru ze sběrového papíru je pro životní prostředí šetrnější než výroba papíru přímo z dřevní hmoty. Pomáhá chránit lesy, šetří přírodní zdroje a produkuje méně znečištění během výroby, protože vlákna byla již jednou zpracována³. Každá tuna recyklovaného papíru, která nahrazuje tunu papíru z primárních surovin, má za následek snížení celkové spotřeby energie až o 27 % a snížení produkce odpadních vod až o 33 % (cit.⁴).

Ačkoliv je odpadní vody ve srovnání s běžnou výrobou papíru méně, je třeba ji čistit a popřípadě, pokud to výrobní proces umožňuje, recirkulovat. Současná literatura věnující se čištění odpadních vod z výroby papíru však většinou nerozlišuje mezi výrobou z primárních surovin

a výrobou ze sběrového papíru, i když jsou odpadní vody i přístupy k jejich čištění zásadně rozdílné.

2. Výroba recyklovaného papíru

Pro správné navržení a provoz čistíren odpadních vod je zásadní pochopení vzniku odpadních vod ve výrobním procesu^{3,4}. Obecně může výroba zahrnovat následující operace:

- třídění sběrového papíru,
- rozvláknění sběrového papíru,
- čištění a síťování suspenze,
- odinkoustování,
- aditivace,
- zpracování v papírenském stroji.

Roztříděný sběrový papír je dávkován do bubnu s horkou vodou, ve kterém je na dně rotor s noži nebo lopatkami, který svým otáčením napomáhá rozvláknění. Rozvláknění probíhá mechanicky sekacími noži, mícháním lopatkami a vlivem horké vody. Po rozvláknění následuje odstranění zbylých nežádoucích složek, plastů a lepidla. Čištění probíhá síťováním nebo odstředováním, při kterém jsou oddělovány frakce nežádoucích velikostí.

Po čištění rozvlákněné směsi probíhá její odinkoustování (deinking). Proces je prováděn nejčastěji flotací za přídavku látek na bázi mýdel. Vyflotovaný kal je směsí inkoustů, pomocných látek a krátkých celulosových vláken. Kromě částic inkoustu jsou v této fázi úpravy směsi odstraněny i zbytky lepidel.

Vyčištěná suspenze může být podle účelu použití vzniklé směsi bělena nebo mohou být přidány chemické látky zlepšující vlastnosti následného potisku, popřípadě obarvení výrobku.

Po dokončení přípravy vláken je k suspenzi přidáno množství aditiv, která se liší podle účelu použití výrobku a výrobní společnosti.

Posledním krokem je lisování suspenze a následné vysušení vzniklého papíru nebo výrobků z recyklovaného papíru.

3. Složení odpadních vod z výroby recyklovaného papíru

Odpadní voda z procesu výroby recyklovaného papíru se od odpadních vod vznikajících při výrobě primární buničiny liší nejen množstvím, ale i složením.

Odpadní voda z výroby papíru obsahuje až 700 organických a anorganických sloučenin, např.: adsorbovatelné organicky vázané halogeny (AOX), hydroxidy a fenoláty, přičemž složení odpadní vody se logicky odvíjí od způsobu výroby papíru⁵⁻⁷. V případě výroby papíru z primárních

surovin obsahuje odpadní voda látky přirozeně se vyskytující ve dřevě, jako jsou mastné kyseliny, pryskyřice, terpeny a lignin^{8–10}.

Základní složení a vlastnosti odpadních vod z výroby recyklovaného papíru jsou uvedeny v tab. I.

Odpadní vody z výroby recyklovaného papíru obsahují látky obsažené v rozvláknovaném sběrovém papíru i přidaná aditiva. Jedná se zejména o škrob, plnivo CaCO₃, lepidla, inkousty, barviva, rezidua bělicích činidel a krátkých vláken^{11,12}. Nezanedbatelná je i přítomnost biocidních přípravků, jejichž přídavek je nutný pro snížení potenciálních problémů s nežádoucím mikrobiálním růstem ve vodním okruhu papírenského stroje. V malém množství lze identifikovat i látky obsažené ve dřevě^{13,14}. Složení odpadních vod se liší dle druhu použitého odpadního papíru. V případě, že je recyklovaný papír vyráběn z LWC (light-weight coated paper, papír používaný pro reklamní letáky), je v odpadní vodě vysoký podíl organických polutantů, které jsou obsaženy v povrchových nátěrech papíru. Je-li papír vyráběn z laserově potíštěného papíru, obsahuje odpadní voda termoplastické pryskyřice obsažené v toneru jako adhezivum¹².

Jedním z polutantů, který je v odpadních vodách z výroby recyklovaného papíru identifikován, je bisfenol A (BPA). Hlavním důvodem, proč je BPA věnována zvýšená pozornost, je skutečnost, že se jedná o endokrinní disruptor, tedy látku napodobující hormony lidského těla. BPA je tzv. xenoestrogen, neboť napodobuje přírodní ženské hormony, estrogeny. Má schopnost vázat se místo estrogenů na estrogenní receptory a vyvolat nežádoucí odezvu, a to již při velmi nízké koncentraci. Mezi účinky BPA patří regulace růstu, vývoje a fungování mužského reprodukčního systému, během nitroděložního vývoje ovlivňuje vývoj prsní tkáně plodu, fungování štítné žlázy, má vliv na vývoj, diferenciaci a fungování centrálního nervového systému. Dále je BPA podezřelý ze zvýšení rizika vzniku rakovin reprodukčních orgánů (varlat, prostaty, prsu, dělohy, vaječníků atd.) a ze způsobování problémů s plodností (nízký počet spermií a jejich snížená kvalita)¹⁵. Rizika spojená s účinky BPA reflektuje i legislativa ČR, konkrétně nařízení vlády č. 401/2015 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových

vých vod a odpadních vod, které stanovuje normu environmentální kvality pro bisfenol A na 0,035 μg l⁻¹ (cit.¹⁶).

Přítomnost BPA v odpadních vodách je způsobena zejména příměsí termopapíru v recyklované směsi. Při výrobě termopapíru je BPA používán jako vývojka, která pomáhá vystoupení tištěného inkoustu na povrch. Termopapír je používán pro tisk jízdenek a účtenek. Zásadním problémem je, že BPA je přenášen kontaktem, dochází tedy ke křížové kontaminaci papíru bez obsahu BPA i při pouhém kontaktu s papírem s BPA. Ačkoliv v průběhu posledních let je vyvíjeno úsilí o nahrazení BPA jinou látkou, byly možné substituenty shledány stejně nebo více nebezpečnými pro endokrinní systém jako BPA^{17–20}. Aerobní čištění odpadních vod je pro odstraňování BPA z odpadních vod z výroby recyklovaného papíru efektivní z asi 74 % a při použití kombinace anaerobně-aerobní čištění ze 79 % (cit.²¹). Avšak vzhledem k povaze látky není úroveň odstranění dostatečná, zvýšení účinnosti odstraňování BPA lze docílit použitím oxidačních procesů, adsorpcí na vhodném sorbentu, použitím membránové technologie i intenzifikací biologického čištění^{22,23}. V mnoha případech však nejsou tyto postupy aplikovány, nejčastěji z finančních důvodů a chybějících legislativních požadavků.

Dalším polutantem, který představuje riziko nikoliv environmentální, ale technologické, je vápník. Jedná se o vápník přítomný v již výše zmíněných plnivech, který je při rozvláknování sběrového papíru uvolňován do vody. V závislosti na stupni uzavřenosti systému opětovného použití vody může být koncentrace vápníku vyšší než 1500 mg l⁻¹. V důsledku této koncentrace dochází ke srážení a tvorbě usazenin, zejména uhličitanu vápenatého ve vodních systémech, např. ve válcích, sítích, sprchovacích tryskách, systémech tepelných výměníků i čistírnách odpadních vod²⁴. V anaerobním procesu čištění odpadních vod mohou mít sraženiny uhličitanu vápenatého katastrofické účinky na výkon reaktoru, způsobovat cementování kalového lože a v případě čištění odpadních vod membránovým bioreaktorem dochází k inkrustaci membrán^{25–27}.

Srážení uhličitanu vápenatého a tvorby inkrustací lze zabránit různými opatřeními, jako je např. dávkování fosfonátů, inhibitorů srážení. Dalším způsobem snižování koncentrace vápníku je řízené srážení uhličitanu vápenatého. Řízené srážení vyžaduje zvýšení hodnoty pH přidáváním hydroxidu sodného, avšak jeho dávkování také zvyšuje hodnotu ukazatele RAS (rozpuštěné anorganické soli). Proto je obecně vyvíjena snaha omezit dávkování NaOH. Požadované snížení obsahu vápníku může být dosaženo i pouhým provzdušňováním. Vysrážený uhličitán vápenatý může být opětovně použit v procesu výroby papíru, nebo dodáván jiným spotřebitelům²⁴.

4. Čištění odpadních vod z výroby recyklovaného papíru

Prvním stupněm čištění je mechanické předčištění, při kterém jsou odstraněny pevné částice, jako jsou vlákna papíru, suspendované částice barev aj. Jejich odstranění

Tabulka I

Základní charakteristika odpadních vod z výroby recyklovaného papíru⁹

Ukazatel	Hodnota
pH	6,2–7,8
CHSK, mg l ⁻¹	3380–4930
BSK ₅ , mg l ⁻¹	1650–2565
BSK ₅ /CHSK	0,488–0,52
NL, mg l ⁻¹	1900–3138 ^a

^a Obsah nerozpuštěných látek se zásadně liší dle použité výrobní technologie, byly sledovány i hodnoty 245–267 mg l⁻¹ (cit.¹⁰)

přispívá k ochraně mechanických částí čistírny, zároveň je snižována energetická náročnost následné aerace v případě čištění odpadních vod za použití aerobních biologických procesů a snižována hodnota CHSK. Mezi tyto postupy patří zejména filtrace a sedimentace^{28–31}. Specificky se v českém papírenském průmyslu používá k sedimentaci nádrž JOSTON, vyvinutá na začátku druhé poloviny 20. století, která je svým provedením velmi podobná usazovací nádrži s vertikálním průtokem^{32,33}. Dosahuje velmi vysoké účinnosti, což je způsobeno především vhodným umístěním přepadových žlabů. Filtrace se v primárním stupni čištění používá pro odstranění pevných částic z odpadních vod na základě jejich velikosti. Je aplikována zejména v případech, kdy je cílem získání dostatečně dlouhých vláken pro jejich recyklaci nebo v případech opětovného použití odpadní vody. K tomuto účelu jsou používány diskové nebo bubnové filtry²⁴. Tento proces je na rozdíl od sedimentace investičně i provozně náročnější na údržbu a čištění filtračního zařízení.

Před nátokem do sekundárního stupně čištění může být zařazena nádrž pro homogenizaci a úpravu pH, která může být v případě oteplených odpadních vod doplněna stupněm chlazení. Dalším krokem předcházejícím biologickému čištění je koagulace a flotace³⁰. Koagulace slouží k odstranění koloidních a makromolekulárních látek z vody. Po přidání koagulantu se koloidní částice shlukují do větších vloček, a tím jsou lépe separovatelné. Princip flotace je založen na separaci dispergovaných částic z kapaliny jemnými bublinkami vzduchu na hladinu. Na hladině je postupně vytvářena kompaktní vrstva zhuštěného kalu, která je stírána.

Vzhledem k příznivému poměru BSK₅/CHSK jsou odpadní vody z výroby recyklovaného papíru vhodné pro biologické čištění, které je nejčastěji sekundárním stupněm čištění. Běžně jsou používány aerobní, anaerobní i kombinované procesy – anaerobní s aerobním dočištěním³⁴. V praxi ovšem převládá aplikace aerobního způsobu čištění z důvodu nižší citlivosti systému na změnu teploty, kvality vstupní vody, přítomnosti toxických látek a z důvodu pomalého růstu methanogenních bakterií. Anaerobní čištění odpadních vod je vhodné, pokud surové odpadní vody obsahují vysoké množství organického znečištění. Mezi anaerobní postupy čištění odpadních vod z výroby recyklovaného papíru patří nejběžněji používaný reaktor ABR – přepážkový anaerobní reaktor, dále např. reaktor UASB, ve kterém je kultivována anaerobní biomasa ve formě kompaktních dobře sedimentujících granulí. S vývojem dalších anaerobních technologií byl aplikován i reaktor IC s vnitřní cirkulací, který je v podstatě anaerobní kolonou s vnitřní cirkulací kalu a třířázkovou separací^{35,36}.

Nejpoužívanějším aerobním čištěním je proces s aktivovaným kalem, kdy je biomasa aktivovaného kalu v suspenzi s čištěnou vodou v aktivačních nádržích. Nádrže jsou aerovány a aktivovaný kal je separován v dosazovací nádrži a vrácen zpět do aktivační nádrže, popřípadě je jako přebytečný kal odváděn do kalového hospodářství.

Avšak konvenční procesy s aktivovaným kalem se často potýkají s řadou problémů. Nemusí být dostatečně účinné v případě obsahu obtížně rozložitelných organických látek vyžadujících vysoké hodnoty stáří kalu či vysoké hydraulické doby zdržení. Dalším problémem může být nedostatek nutrientů, fosforu a dusíku, které musí být do vody dávkovány, nebo špatná sedimentace a bytnění aktivovaného kalu zapříčiněné extenzivním růstem nežádoucích vláknitých mikroorganismů³⁷. Problémy konvenčních procesů s aktivovaným kalem jsou řešeny modifikací, např. použitím imobilizované biomasy v membránových biofiltrech, které jsou méně náročné na prostor a zaručují vyšší stáří kalu a malou produkci přebytečného kalu⁷, avšak dochází k jejich zanášení nerozpustnými anorganickými látkami, např. uhličitany. Další modifikací je použití granulovaného aktivního uhlí a sekvenčního vsádkového biofilmového reaktoru, který spojuje procesy adsorpce a biologického rozkladu³⁸.

Za biologický stupeň je zařazeno terciární čištění, závislé na požadavcích na výstupní kvalitu vyčištěné vody. Jako terciární stupeň může být zvolen proces koagulace nebo membránové filtrace²⁸, která je vysoce efektivní, avšak finančně nákladná a má za následek tvorbu retentátu, který je nutné dále čistit nebo zneškodňovat. Alternativně lze použít adsorpci, při které jsou polutanty odstraňovány na povrchu adsorbentu, který je po vyčerpání kapacity nutné regenerovat nebo zlikvidovat, což značně zvyšuje náklady na provoz. Dalším terciárním způsobem dočištění mohou být oxidační jednotky pro štěpení složitějších struktur organických polutantů, Fentonova reakce nebo fotokatalytické oxidace³².

5. Kalý z výroby recyklovaného papíru a čištění odpadních vod

Výroba recyklovaného papíru má za následek násobně vyšší produkci kalů než výroba papíru z primárních surovin³⁹. Kalý vznikají už při přípravě papíru, při již zmiňovaném „deinkingu“. Tento kal je zpracováván odděleně od kalu vznikajícího biologickým čištěním odpadních vod. Neobsahuje totiž přebytečnou biomasu a je na rozdíl od přebytečného čistírenského kalu častěji skládkován nebo spalován. Lze jej ale i kompostovat⁴⁰, využívat jako aditivum do cementové malty⁴¹, popřípadě jej využít jako alternativní podestýlku pro hospodářská zvířata⁴².

Primární a přebytečný aktivovaný kal jsou často společně odvodňovány a výsledná směs je běžně kompostována nebo spalována⁴⁰. Samotný primární kal je díky vysokému obsahu krátkých celulosových vláken také vhodným substrátem pro výrobu ethanolu enzymatickou konverzí a fermentací⁴³.

6. Případové studie z ČR

Byly vybrány dvě papírny zpracovávající sběrový papír.

Zařízení A

Zařízení A (cit.⁴⁴) vyrábí hygienické papíry (toaletní papíry, ubrousky) ze 100% sběrového papíru.

Čištění odpadní vody probíhá na dvou čistírenských zařízeních. Mechanicko-chemická čistírna odpadních vod slouží k předčištění technologických odpadních vod, které jsou poté zčásti vedeny na biologickou čistírnu odpadních vod.

Technologické odpadní vody jsou svedeny do akumulární nádrže, část odpadní vody je používána na rozvláknování sběrového papíru. Zbytek je čerpán s přídavkem koagulantu a flokulantu na jednotku tlakové flotace kruhového typu. Ve flotační nádrži vzniklé mikrobubliny vynášejí na hladinu separované částice nečistot za vzniku flotačního kalu. Most se sběračem odebírá kal a podává jej do středu nádrže. Předčištěná voda je odváděna třemi kanály taktéž do středu flotační nádrže. Kal je z flotátoru odveden do akumulární nádrže a odtud čerpán vřetenovým čerpadlem na sítopásový lis, na který je automaticky dávkován flokulant. Odvodněný kal je dopravován šnekovým dopravníkem k uskladnění před předáním ke zpracování.

Předčištěná voda z flotačního zařízení je odváděna do rozdělovací nádrže, kde je rozdělena na tři sekce. První sekce slouží k využití předčištěné odpadní vody v technologii, druhá sekce odvádí předčištěné technologické odpadní vody na mikrofiltr, odkud je čerpána do jednotlivých technologických jednotek, třetí sekce odvádí předčištěné technologické odpadní vody na dočištění na biologické čistírně odpadních vod.

Biologický stupeň je aerobní aktivace s regenerací kalu s řízenou jemnobublinnou aerací. Obdobně je vybavena i regenerační nádrž kalu. Z aktivace je aktivační směs vedena přes uzavírací armaturu do dosazovací nádrže, jejíž kapacita není dostatečná, proto zahrnuje monoblok aktivace další dva vertikální dosazovákы, do nichž je veden zbylý podíl aktivační směsi. V dosazovacích probíhá separace aktivovaného kalu, který je kontinuálně čerpán ve stanoveném množství jako recirkulovaný do regenerace, odkud kal přepadá zpět do aktivace. Přebytný kal je občas odtahován z kalového systému do nádrže JOSTON spolu se zvlákněnými vodami. Z nádrže jsou kaly čerpány do flotátoru. Přebytný kal je ve flotátoru separován a zahuštěn společně s papírenským kalem, odtahován a odvodňován na sítopásovém lisu. Odvodněný kal je předáván k odstranění v cihelnách.

Vyčištěná odpadní voda je z dosazovací nádrže vedena do odtokové kanalizace a vypouštěna do povrchových vod.

Zařízení B

Zařízení B vyrábí obaly na potraviny způsobem nasávané kartonáže⁴⁵. Původně mělo instalovanou aerobní čistírnu s membránovou mikrofiltrací (systém MBR – Membrane Bioreactor). V aerační nádrži byla odpadní voda míchána s vratným kalem a provzdušňována. Oddělování vyčištěné vody od biomasy bylo prováděno přes membrány mikrofiltrů. Membránová čistírna se potýkala s problémy inkrustace CaCO₃, a proto byla nahrazena aktivací s dvouliniovým moderním systémem R-S-A (aerace

A s oxickým selektorem S a oddělenou regenerací kalu R). Toto uspořádání zajišťuje omezení přemnožení vláknitých mikroorganismů a bytění kalu. Zařazení regenerace se zvýšenou koncentrací kalu umožňuje lepší využití sorpčních schopností aktivovaného kalu i odbourání obtížněji degradovatelných organických látek, což se projevuje i snížením zbytkové koncentrace CHSK v odtoku.

K vyrovnávání hydraulických výkyvů nátoky odpadních vod slouží nádrže JOSTON, ze kterých vody natékají na flotační jednotku sloužící pro předčištění technologických odpadních vod z výroby před jejich opětovným využitím ve výrobě nebo biologickým čištěním.

Necirkulované vody z flotace jsou akumulovány v čerpací jímce, sloužící k řízenému čerpání odpadních vod po jejich předčištění flotací a fungující zároveň jako vyrovnávací nádrž. Teplotu vody natékající do aktivace reguluje otevřená chladicí věž. Samotná biologická čistírna je koncipována jako monoblok aerobní aktivace se dvěma linkami aerace zahrnujícími aeraci, oddělenou regeneraci kalu a horizontální dosazovací nádrže. Před linkami aktivace je umístěn rozdělovací objekt s rovnoměrným rozdělením nátoky na jednotlivé linky. Vstupní část aerace tvoří tříkomorový oxický selektor. Jako terciární stupeň čištění je na odtoku z dosazováků zařazena mikrofiltrace. Odpadní vody přečištěné na biologické čistírně odpadních vod jsou čerpány přes tlakovou nádobu do rozvodu technologické vody pro potřeby výroby, přebytečná vyčištěná voda je odváděna do recipientu.

7. Závěr

Úspora přírodních zdrojů a výroba z recyklovaných surovin je aktuální celosvětovou problematikou. Týká se to i výrobků z recyklovaného papíru, které jsou používány ve stále větší míře. Zajištění ekologicky šetrné výroby s sebou nese i vysoké požadavky na kvalitu vypouštěných odpadních vod. Ačkoliv se přístupy k čištění odpadních vod z výroby recyklovaného papíru liší podle individuálních potřeb jednotlivých papíren, všechny čistírny se musí vypořádat se specifickými rysy těchto odpadních vod (např. vysokou koncentrací vápníku) a jejich ústředním prvkem jsou, z důvodu vysokého obsahu organického znečištění, biologické procesy. Zároveň však není třeba zvýšené odstraňování nutrientů. Přestože použití biologického čištění odpadních vod není zcela efektivní pro odstraňování obtížně rozložitelných polutantů, jako jsou adsorbovatelné organicky vázané halogeny a bisfenol A, jsou v současné době instalované technologie schopné plnit předepsané limity pro kvalitu vypouštěné vody, nicméně neřeší problém specifických polutantů (např. zmíněného bisfenolu A). Protože hlavní hnací silou pro modernizaci čistíren odpadních vod (a příslušné investice) jsou legislativní požadavky na kvalitu vypouštěné vody, musí první impuls ke změně vyjít právě z této strany.

Tento výstup vznikl v rámci projektu Specifického vysokoškolského výzkumu – projekt A1_FT0P_2021_003.

Seznam zkratek

ABR	anaerobní přepážkový reaktor (Anaerobic Baffled Reaktor)
AOX	adsorbovatelné organicky vázané halogeny
BČOV	biologická čistírna odpadních vod
BPA	bisfenol A
BSK ₅	pětidenní biochemická spotřeba kyslíku
CHSK	chemická spotřeba kyslíku
IC	reaktor s vnitřní cirkulací (Internal Circulation)
LWC	lehce natíraný dřevitý papír (light-weight coated paper)
MBR	membránový bioreaktor
OV	odpadní voda
RAS	rozpuštěné anorganické soli
UASB	anaerobní reaktor se vzestupným tokem (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)

LITERATURA

- Zuman F.: *Knížka o papíru*. Společnost přátel starožitností, Praha 1947.
- Český S. Ú.: *Produkce, využití a odstranění odpadů za období 2018, 2019*.
- Virtanen Y., Nilsson S.: *Environmental impacts of waste paper recycling*. Earthscan Publications Ltd., London 1993.
- Bajpai P.: *Recycling and deinking of recovered paper*. Elsevier, Amsterdam 2013.
- Kamali M., Zahra K.: *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 114, 326 (2015).
- Zazouli M. A., Ahmadi M., Charati J. Y.: *J. Mater. Environ. Sci.* 8, 2140 (2017).
- Izadi A., Hosseini M., Darzi G. N., Bidhendi G. N., Shariati F. P.: *Water Resour. Ind.* 21, 100111 (2019).
- Karrasch B., Parra O., Cid H., Mehrens M., Pacheco P., Urrutia R., Valdovinos C., Zaror C.: *Sci. Total Environ.* 359, 194 (2006).
- Zwain H. M., Hassan S. R., Zaman N. Q., Aziz H. A., Dahlan I.: *J. Environ. Chem. Eng.* 1, 61 (2013).
- Birjandi N., Younesi H., Bahramifar N.: *Appl. Water Sci.* 6, 339 (2016).
- Al-Shannag M., Lafi W., Bani-Melhem K., Gharagheer F., Dhaimat O.: *Sep. Sci. Technol. (Philadelphia, PA, U. S.)* 47, 700 (2012).
- Balabanič D., Hermosilla D., Merayo N., Klemenčič A. K., Blanco Á.: *J. Environ. Sci. Health, Part A: Toxic/Hazard. Subst. Environ. Eng.* 47, 1350 (2012).
- Rigol A., Latorre A., Lacorte S., Barceló D.: *J. Chromatogr. A* 963, 265 (2002).
- Pivnenko K., Eriksson E., Astrup T. F.: *Waste Manage. (Oxford, U. K.)* 45, 134 (2015).
- Vandenberg L. N., Hauser R., Marcus M., Olea N., Welshons W. V.: *Reprod. Toxicol.* 24, 139 (2007).
- Nářízení vlády č. 401/2015 Sb., *o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech* (Příloha č. 2, Tabulka 1c). Sbírka zákonů 2015, částka 166.
- Geens T., Goeyens L., Kannan K., Neels H., Covaci A.: *Sci. Total Environ.* 435, 30 (2012).
- Pivnenko K., Laner D., Astrup T. F.: *Resour., Conserv. Recycl.* 133, 278 (2018).
- Lacorte S., Latorre A., Barcelo D., Rigol A., Malmqvist A., Welander T.: *TrAC, Trends Anal. Chem.* 22, 725 (2003).
- Gehring M., Vogel D., Tennhardt L., Weltin D., Bilitewski B.: *Waste Manage. Environ. II, Int. Conf.*, 2nd 78, 293 (2004).
- Balabanič D., Krivograd Klemenčič A.: *Fresenius Environ. Bull.* 20, 86 (2011).
- Monteagudo J. M., Duran A., Chatzisyneon E., San Martín I., Naranjo S.: *Sol. Energy* 174, 1035 (2018).
- Liu G., Ma J., Li X., Qin Q.: *J. Hazard. Mater.* 164, 1275 (2009).
- JRC SCIENCE AND POLICY REPORTS, Referenční dokument o nejlepších dostupných technikách (BAT) pro výrobu buničiny, papíru a lepenky Směrnice o průmyslových emisích 2010/75/EU (integrované prevenci a omezování znečištění), str. 599 (2015).
- Batstone D. J., Landelli J., Saunders A., Webb R. I., Blackall L. L., Keller J.: *Water Sci. Technol.* 45, 187 (2002).
- Kim Y. H., Han K. C., Lee W. K.: *Process Biochem.* 38, 925 (2003).
- Hammes F., Seka A., Van Hege K., Van De Wiele T., Vanderdeelen J., Siciliano S. D., Verstraete W.: *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 78, 670 (2003).
- Pizzichini M., Russo C., Di Meo C.: *Desalination* 178, 351 (2005).
- Pokhrel D., Viraraghavan T.: *Bioresour. Technol.* 333, 37 (2004).
- Rahman M. M., Kabir K. B.: *Chem. Eng. Res. Bull. (Dhaka)* 14, 65 (2010).
- Izadi A., Hosseini M., Darzi G. N., Bidhendi G. N., Shariati F. P.: *J. Environ. Health Sci. Eng.* 16, 257 (2018).
- Mazel L., Pokorný M.: *Vodárny a čistírny*. VUT Brno, Brno 1992.
- Blažej A., Krkoška P.: *Technológia výroby papiera*. Alfa, Bratislava 1989.
- Elserygan M., Ahsan A., Aziz M. M. A.: *Sains Malays.* 44, 101 (2015).
- Driessen W. J. B. M., Habets L. H. A., Zumbrägel M., Wasenius C. O.: *Proceedings of the 6th IWA Symposium on Forest Industry Wastewaters Tampere, Finland, 6-10 June 1999*.
- Zwain H. M., Dahlan I., v knize: *Wastewater Engineering: Advanced Wastewater Treatment*, kap. 3, str. 71. International Journal of Scientific Research (IJSR) Publications 2014.
- Thompson G., Forster C.: *Water Res.* 37, 2636 (2003).
- Osman W. H. W., Abdullah S. R. S., Mohamad A. B., Kadhum A. A. H., Rahman R. A.: *J. Environ. Manage.* 121, 80 (2013).
- Likon M., Trebše P., v knize: *Industrial waste* (Show,

- K. Y., Guo, X., ed.), kap. 4, str. 73. InTech, Rijeka 2012.
40. Gea T., Artola A., Sánchez A.: *Bioresour. Technol.* 96, 1161 (2005).
 41. Yan S., Sagoe-Crentsil K., Shapiro G.: *J. Environ. Manage.* 92, 2085 (2011).
 42. Villagrà A., Olivas I., Benitez V., Lainez M.: *Poult. Sci.* 90, 953 (2011).
 43. Marques S., Alves L., Roseiro J. C., Gírio F. M.: *Biomass Bioenergy* 32, 400 (2008).
 44. <https://www.mzp.cz/ipcc/ipcc4.nsf/%24%24OpenDominoDocument.xsp?documentId=D31E&action=openDocument>, staženo 15. 4. 2020.
 45. <https://www.mzp.cz/ipcc/ipcc4.nsf/%24%24OpenDominoDocument.xsp?documentId=A776&action=openDocument>, staženo 15. 4. 2020.

K. Keprtová^a and J. Bindzar^b (^a *Department of Environmental Chemistry*, ^b *Department of Water Technology and Environmental Engineering, Faculty of Environmental Technology, University of Chemistry and Technology Prague*): **Treatment of Wastewaters from Recycled Paper Production**

Paper recycling is an essential element of the circular economy. The recycled paper production saves natural resources, but a large amount of water is required to process the waste paper. The substances present in the waste paper, as well as the additives added, pass into water during the pulping. Due to the increasing demands on the environmental friendliness of the production and the ambitions of the zero pollution policy, an effective way of removing pollutants from wastewater is a fundamental requirement of recycled paper producers. Approaches to the wastewater treatment from the production of recycled paper vary according to the processed raw materials and the output product. In general, however, biological processes represent the most widely used wastewater treatment.

Keywords: waste water treatment, recycled paper, bisphenol A

Acknowledgements

This work was supported from the grant of Specific university research – grant No A1_FTOP_2021_003.