

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

Přírodovědecká fakulta

Katedra rozvojových a environmentálních studií



Bakalářská práce

Kamila Balogová

Hormonální antikoncepce a její vliv na životní prostředí

Vedoucí práce: Mgr. et Mgr. Tomáš DANĚK, Ph.D.

Olomouc 2024

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci „Hormonální antikoncepce a její vliv na životní prostředí“ vypracovala samostatně a veškeré použité zdroje jsem uvedla v seznamu literatury.

V Olomouci dne

Kamila Balogová

.....

.....

Poděkování

Na tomto místě bych chtěla poděkovat svému vedoucímu práce Mgr. et Mgr. Tomášovi Daňkovi Ph.D. za cenné rady a připomínky, vstřícnost, trpělivost, ochotu a vlídný přístup, který věnoval mně a mé práci. Chtěla bych také poděkovat svému příteli za podporu a trpělivost, kterou se mi od něho dostalo.

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI

Přírodovědecká fakulta

Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Kamila BALOGOVÁ**
Osobní číslo: **R190485**
Studijní program: **B0588A330001 Mezinárodní rozvojová a environmentální studia**
Téma práce: **Hormonální antikoncepce a její vliv na životní prostředí**
Zadávací katedra: **Katedra rozvojových a environmentálních studií**

Zásady pro vypracování

Užívání hormonální antikoncepce, stejně jako řady jiných farmaceutických produktů, má citelný dopad na životní prostředí. Práce osvětlí způsoby, jakými se léčiva, zejména antikoncepce, dostávají do vodního koloběhu a shrne problémy, které pro čistírny odpadních vod představují. Práce dále přiblíží hlavní důsledky přítomnosti hormonální antikoncepce ve vodním koloběhu pro vodní živočichy, lidskou populaci a nastíní možná opatření na zmírnění jejich negativních dopadů.

Rozsah pracovní zprávy: **10 – 15 tisíc slov**
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

Environ. Sci. Technol. 2021, 55, 24, 16299–16312
Publication Date: December 2, 2021 <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c04724>
LARSSON, D. G. Joakim. Pollution from drug manufacturing: review and perspectives. The Royal Society Publishing [online]. 2014 [cit. 2022-11-28].
Dostupné z: <https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rstb.2013.0571>
Kotyza, J., et al.; Léčiva – nový environmentální polutant; Chemické listy; 2009
AHUJA, Satinder. Monitoring Water Quality: Pollution Assessment, Analysis, and Remediation. 2013
Hormonální látky ve vodách Martina Jánišová Lipka – školské zařízení pro environmentální vzdělávání, 2013 ISBN 978-80-87604-59-

Vedoucí bakalářské práce: **Mgr. Tomáš Daněk, Ph.D.**
Katedra rozvojových a environmentálních studií

Datum zadání bakalářské práce: 3. května 2024
Termín odevzdání bakalářské práce: 31. července 2024

L.S.

doc. RNDr. Martin Kubala, Ph.D.
děkan

doc. Mgr. Zdeněk Opršal, Ph.D.
vedoucí katedry

V Olomouci dne 25. května 2024

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou hormonální antikoncepce a jejím vlivem na životní prostředí. Hlavním cílem práce je systematicky prozkoumat a analyzovat současné poznatky týkající se uvolňování hormonální antikoncepce do životního prostředí a potenciálních dopadů na ekosystémy a biodiverzitu. Práce se zaměřuje na různé aspekty této problematiky, včetně chemického složení antikoncepčních přípravků, cest uvolňování těchto látek do prostředí, mechanismů účinků na organismy a možných ekologických důsledků.

V hlavní části jsou popsány způsoby expozice hormonální antikoncepce a jiných farmaceutických léčiv do životního prostředí a mechanismy čištění odpadních vod. Následně je přiblíženo, jaké problémy mohou léčiva představovat pro půdu, vodu a jaký vliv má na vodní organismy, ptáky a další živočichy. Dále jsou diskutovány možné ekologické dopady na lidské zdraví a případná opatření k minimalizaci těchto dopadů.

V závěru jsou shrnuty hlavní poznatky z literatury a jsou navrženy směry dalšího výzkumu v této oblasti. Tato práce přispívá k lepšímu porozumění vlivu hormonální antikoncepce na životní prostředí a poskytuje základ pro budoucí studie a případné regulační opatření.

Klíčová slova: hormonální antikoncepce, životní prostředí, čistírny odpadních vod

Abstract

This bachelor thesis addresses the issue of hormonal contraception and its impact on the environment. The main objective of the thesis is to systematically explore and analyze current knowledge regarding the release of hormonal contraception into the environment and its potential effects on ecosystems and biodiversity. The thesis focuses on various aspects of this issue, including the chemical composition of contraceptive preparations, the pathways through which these substances are released into the environment, their mechanisms of action on organisms, and possible ecological consequences.

The main section describes the ways in which hormonal contraception and other pharmaceuticals are exposed to the environment, as well as the mechanisms of wastewater treatment plants. It further explores the problems that pharmaceuticals can pose to soil and water, as well as their effects on aquatic organisms, birds, and other wildlife. Additionally, the possible ecological impacts on human health and potential measures to mitigate these effects are discussed.

In conclusion, the main findings from the literature are summarized, and directions for future research in this area are proposed. This thesis contributes to a better understanding of the impact of hormonal contraception on the environment and provides a foundation for future studies and potential regulatory measures.

Keywords: hormonal contraception, environment, wastewater treatment plants

Seznam zkratk

| | |
|------|--|
| AOP | Advanced Oxidation Process |
| COC | Combined oral contraception |
| CPCB | Central Pollution Control Board |
| ČOV | Čistírny odpadních vod |
| DES | Diethylstilbestrol |
| E2 | Estradiol |
| EE2 | Ethinylestradiol |
| EPA | U. S. Environmental Protection Agency |
| EU | Evropská Unie |
| IPCS | International Programme On Chemical Safety |
| OSN | Organizace Spojených Národů |
| POP | Progestin only pill |
| pH | Potential of hydrogen |
| SPCB | State Pollution Control Board |
| US | United States |
| VTG | Vitellogenin |

Obsah

| | |
|---|----|
| Úvod..... | 8 |
| Cíle a metody práce | 9 |
| 1 Přehled hormonální antikoncepce..... | 10 |
| 1.1 Motivace užívání hormonální antikoncepce u žen..... | 10 |
| 1.2 Mechanismus účinku | 11 |
| 2 Historie problematiky hormonální antikoncepce..... | 14 |
| 3 Jak se hormonální antikoncepce dostává do životního prostředí | 15 |
| 3.1 Čistírny odpadních vod a jejich fungování | 16 |
| 3.2 Čistírny odpadních vod a problematika léčiv | 16 |
| 3.3 Metody odstraňování estrogenů z vody | 17 |
| 4 Ekologické dopady hormonální antikoncepce | 19 |
| 4.1 Endokrinní systém | 19 |
| 4.2 Endokrinní disrupce..... | 19 |
| 4.3 Vliv na jednotlivé skupiny živočichů | 21 |
| 4.3.1 Obratlovci | 21 |
| 4.3.1.1 Ryby | 22 |
| 4.3.1.2 Obojživelníci | 24 |
| 4.3.1.3 Plazi..... | 26 |
| 4.3.1.4 Ptáci..... | 27 |
| 4.3.1.5 Savci..... | 28 |
| 4.3.2 Bezobratlí..... | 29 |
| 4.4 Vliv na lidskou populaci | 29 |
| 5 Právní a regulační aspekty | 32 |
| 6 Možnosti snižování vlivu hormonální antikoncepce na životní prostředí | 34 |
| 6.1 Moderní technologie a ČOV..... | 34 |
| 6.1.1 Fotokatalýza estrogenu | 36 |
| 6.1.2 Mikrobiální degradace estrogenních sloučenin | 36 |
| 6.2 Využití ekologicky šetrnějších antikoncepčních metod..... | 37 |
| 6.2.1 Zodpovědnější likvidace farmaceutických odpadů..... | 38 |
| 6.2.2 Vzdělávání veřejnosti | 39 |
| Závěr | 40 |
| Seznam literatury a internetových zdrojů | 43 |

Úvod

Hormonální antikoncepce představuje jednu z nejběžnějších a nejefektivnějších metod regulace reprodukce, kterou využívají miliony žen po celém světě. Její výhody, zejména v oblasti plánování rodičovství a kontroly nad vlastním tělem, jsou nezpochybnitelné. Nicméně v posledních desetiletích se začínají intenzivně diskutovat také její negativní dopady na životní prostředí. Látky obsažené v hormonální antikoncepci, zejména syntetické estrogeny a progestiny, se po konzumaci vylučují do odpadních vod a přes čistírny odpadních vod často pronikají do přírodních vodních ekosystémů. Tam mohou narušovat endokrinní systém vodních organismů a vyvolávat řadu ekologických problémů, jako je endokrinní disrupce, ovlivňující jak zvířata, tak i lidskou populaci. Tato bakalářská práce si klade za cíl shrnout dostupné poznatky o hormonální antikoncepci a jejím vlivu na životní prostředí. V první části se věnuje přehledu hormonální antikoncepce, motivacím k jejímu užívání a jejímu mechanismu účinku. Dále práce mapuje historii hormonální antikoncepce a problematiku jejích účinků na životní prostředí, přičemž podrobně popisuje cesty, jakými se hormony z antikoncepce dostávají do přírody. Jedním z klíčových témat je fungování čistíren odpadních vod a jejich schopnost eliminovat léčiva, včetně hormonálních látek. Práce také rozebírá ekologické dopady hormonální antikoncepce, přičemž se zaměřuje na její vliv na endokrinní systém a různé skupiny živočichů. V neposlední řadě se věnuje vlivu na lidskou populaci a právním a regulačním aspektům této problematiky. V závěru práce budou navrženy možnosti, jak snížit negativní vliv hormonální antikoncepce na životní prostředí, včetně potenciálu mikrobiální degradace estrogenních sloučenin. Cílem práce je přispět k lepšímu pochopení této důležité otázky a nabídnout možná řešení, jak minimalizovat ekologické dopady této rozšířené metody kontroly plodnosti.

Cíle a metody práce

Cílem této bakalářské práce je analyzovat vliv hormonální antikoncepce na životní prostředí, se zaměřením na její ekologické dopady, zejména na vodní ekosystémy a lidskou populaci. Práce si klade za úkol:

1. Poskytnout přehled o hormonální antikoncepci, jejích typech a mechanismech účinku, včetně motivací k jejímu užívání.
2. Prozkoumat cesty, jakými se hormonální látky z antikoncepce dostávají do životního prostředí s důrazem na úlohu čistíren odpadních vod.
3. Vyhodnotit ekologické důsledky přítomnosti hormonálních látek v životním prostředí, zejména z hlediska endokrinní disrupce u vodních organismů a potenciálních dopadů na lidské zdraví.
4. Prozkoumat právní a regulační rámec spojený s ochranou životního prostředí před hormonálními látkami.
5. Navrhnout možné způsoby snižování negativních dopadů hormonální antikoncepce na životní prostředí, včetně možností mikrobiální degradace estrogenů.

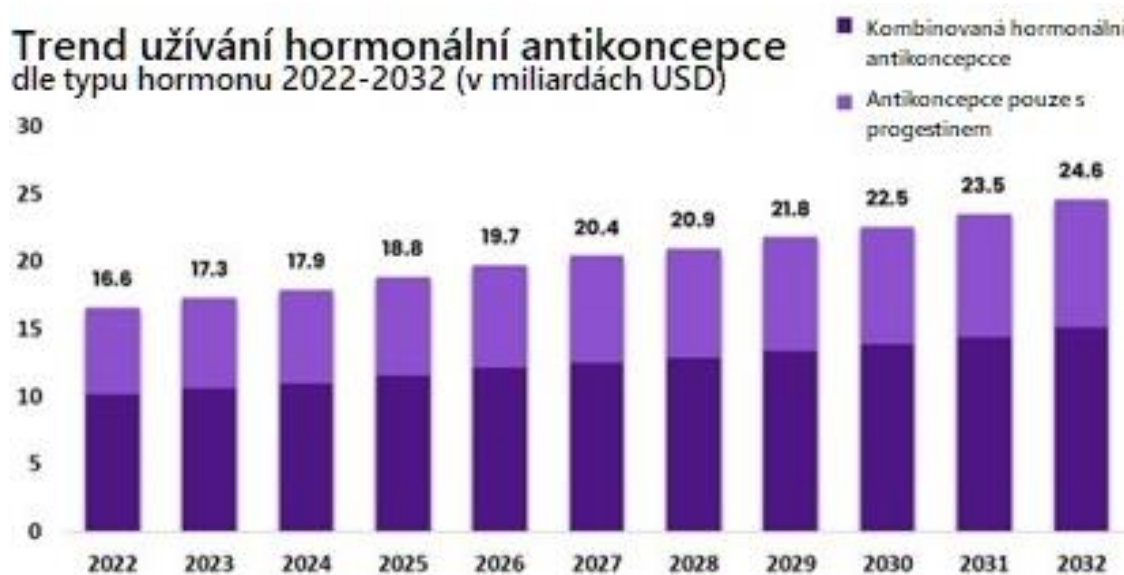
Práce je zpracována na základě literární rešerše odborné literatury k danému tématu. Vzhledem k absenci zdrojů v českém jazyce, se čerpalo především ze zahraničních zdrojů, převážně anglických odborných článků, knižních publikací a z databází elektronických zdrojů. Odkazy na literaturu jsou uvedené a kompletní seznam použité literatury, uspořádaný podle abecedy, se nachází na konci této bakalářské práce.

1 Přehled hormonální antikoncepce

Hormonální antikoncepce představuje jednu z nejrozšířenějších metod regulace plodnosti, kterou využívají ženy po celém světě. Jedná se o důležitý zdravotnický a ekonomický pokrok 20. století. (Schuh, Tronson, 2022)

1.1 Motivace užívání hormonální antikoncepce u žen

Dle průzkumu provedeného Organizací spojených národů užívá pravidelně hormonální antikoncepci přibližně 44 milionů žen ve věkové kategorii 15 až 49 let v Severní Americe a Evropě. Tato čísla představují více než 18 % celkového počtu žen v tomto věkovém rozmezí v těchto regionech. (Jentsch, et. al., 2022) Obrázek 1 zobrazuje predikci užívání hormonální antikoncepce u žen v USA za časový úsek deseti let.



Obrázek 1.: Trend užívání hormonální antikoncepce v USA v letech 2022-2032 (Hormonal Contraceptives Market To Reach USD 24.6 billion by 2032 | North America Dominates with 37.5 % of the Market Share, 2023)

Většina žen užívá perorální antikoncepční pilulky s cílem zabránit otěhotnění, nicméně až 14 % žen je užívá z jiných než antikoncepčních důvodů. Antikoncepční pilulky bývají lékaři předepisovány k léčbě různých zdravotních problémů, především pak poruch spojených s menstruačním cyklem. Mezi tyto stavy patří například menstruační bolesti, nepravidelná menstruace, myomy, bolesti spojené s endometriózou a migrény provázející menstruaci. Některé značky hormonální antikoncepce mají také řešit problémy s akné. (Cooper, Patel, 2024) Hormonální antikoncepce může být poskytována ve formě pilulek,

náplastí, injekcí, implantátů nebo nitroděložních tělísek. Tyto metody umožňují ženám efektivně kontrolovat svou plodnost a plánovat rodinu podle svých individuálních potřeb a preferencí. (Jentsch, et. al., 2022) Nicméně, jako každá léčba, i hormonální antikoncepce má svá rizika a vedlejší účinky, které je důležité vzít v úvahu při výběru nejvhodnější metody antikoncepce.

1.2 Mechanismus účinku

Existují dva hlavní typy perorálních antikoncepčních pilulek: kombinované estrogen-progesteron (též nazývané kombinované perorální antikoncepční pilulky nebo COC a progesteronové pilulky (POP). (Cooper, Patel, 2024)

Kombinovaná estrogen-progestinová hormonální antikoncepce prošla od vývoje a schválení první kombinované perorální antikoncepce významným vývojem. Tento proces byl charakterizován přechodem od přípravků s vysokými dávkami estrogenu, obsahujících 150 mikrogramů, k preparátům s velmi nízkými dávkami estrogenů, okolo 10 a 20 mikrogramů. Tato transformace byla motivována nejen snahou minimalizovat rizika nežádoucích účinků spojených s vysokými dávkami estrogenů, jako jsou zdravotní problémy způsobené krevními sraženinami, ale také snahou dosáhnout účinné antikoncepční ochrany při co nejnižších dávkách hormonů. Což snižuje i rizika spojená s dlouhodobým užíváním. (Roe, et. al., 2022)

Kombinované perorální antikoncepční pilulky obsahují jak estrogen, tak progesteron, zatímco progesteronové pilulky obsahují pouze progesteron. Nejběžněji předepisovanou formou je kombinovaná hormonální pilulka, která kombinuje oba hormony. Progesteron působí jako hormon, který brání otěhotnění tím, že ovlivňuje procesy v těle, které jsou nezbytné pro úspěšné těhotenství. Estrogenní složka reguluje menstruační cyklus a krvácení. Primárním účelem antikoncepčních pilulek je zabránit otěhotnění, a to buď potlačením ovulace, zahuštěním děložního hlenu nebo změnou vnitřní vrstvy dělohy, čímž se výrazně ztěžuje možnost oplodnění vajíčka spermií. (Cooper, et. al., 2024) Princip fungování hormonální antikoncepce tedy spočívá v tom, že obsahuje synteticky vytvořené formy estrogenů a/nebo progestinů, které zasahují do fyziologického cyklu reprodukčního systému. Tyto látky regulují či potlačují přirozenou funkci pohlavních hormonů. (Jentsch, et. al., 2022)

Estrogeny patří do rodiny organických sloučenin známých jako steroidy. To znamená, že mají potenciál ovlivnit endokrinní systém živočichů, což může vést k narušení hormonální rovnováhy a zdravotním problémům. Estrogeny a hormonální antikoncepce jsou známy zejména svým vlivem na vodní prostředí jakožto endokrinní disruptory. Mezi ně patří různé typy estrogenů. (Torres, et. al., 2021)

Estron (E1), estradiol (E2), estriol (E3) a ethinylestradiol (EE2) mají největší vliv na životní prostředí.

Ethinylestradiol (EE2) je syntetický estrogen, který je široce spojovaný s hormonální antikoncepcí a také v přírodě často detekován. Jedná se o silný estrogení kontaminant. (Miyagawa, et. al. 2021)

V životním prostředí se objevuje v nemalém množství a jeho čas rozkladu může být až 81 dní. (Adeel, et. al., 2017)

Některé formy hormonální antikoncepce obsahují estradiol (E2), což je hormon přirozeně produkován tělem. V porovnání s ethinylestradiolem má estradiol relativně krátký poločas rozkladu, obvykle maximálně 24 dní. Rychlost jeho rozkladu závisí na podmínkách prostředí. (Adeel, et. al., 2017)

Dalším hormonem, který se přirozeně nachází v lidském těle je estron. Vznikat ale může také jako produkt rozkladu estradiolu. V odpadních vodách se tedy může nacházet velké množství estronu, které pochází právě z degradace estradiolu. (Nghiem, et. al., 2002)

Přirozený hormon též nesoucí podíl na znečišťování životního prostředí je estriol. Jedná se o hormon, který hraje důležitou roli v regulaci mnoha fyziologických procesů během těhotenství a ve vodě se špatně rozpouští. (Braga, et. al. 2010)

Jak již bylo zmíněno, v hormonální antikoncepci se nacházejí také progestogeny, které se vážou na receptory pro hormon progesteron. Tyto látky se mohou navázat nejen na lidské receptory, ale i na receptory u ryb a jiných živočichů. Progesteron je pro ryby důležitý, protože hraje klíčovou roli v jejich rozmnožování – jak u samců, tak u samic. (Baker, M., Katsu Y., 2020) U mnoha druhů ryb dokonce slouží i jako feromon, tedy látka, kterou mezi sebou komunikují. Je pravděpodobné, že syntetické progestogeny mohou ovlivňovat reprodukci ryb při nízkých koncentracích stejně jako EE2. (Levesque, Sorensen, 2021)

Až s odhalením konkrétních případů negativních dopadů na životní prostředí se začal lépe chápat rozsah vlivu hormonální antikoncepce, který přesahuje hranice lidského zdraví.

2 Historie problematiky hormonální antikoncepce

O negativním vlivu hormonální antikoncepce na životní prostředí se poprvé začalo diskutovat již v roce 1978 na jihovýchodě Anglie u ústí řeky Temže, kde sídlí několik čistíren odpadních vod. Při monitoringu rybích společenstev byly totiž nalezeny oboupohlavní ryby. Vzhledem k tomu, že řeka fungovala jako zdroj pitné vody pro severní Londýn, nastaly obavy kvůli riziku endokrinní disrupce na člověka. To je důvodem, proč se začala problematika hermafroditů, neboli oboupohlavních živočichů, zkoumat. Společnost Thames Water na základě výzkumu zjistila intersexualitu u 5 z 26 dospělých ryb plotic z povodí řeky Temže pod čistírnou. Jelikož docházelo k podobným výsledkům také pod jinými čistírnami na též řece, předpokládalo se, že chemické složení vypouštěného odpadu z čistíren může být příčinou těchto jevů. V roce 1981 se dle dalších vzorků zjistila opětovná přítomnost oboupohlavních ryb, celkové naměření bylo přibližně 5 %. Časem se tato problematika uznala jako globální problém. (Johnson, Sumpter, 2008)

Mezi chemické látky, které narušují hormonální systém živočichů, patří kromě hormonální antikoncepce a farmaceutik například i průmyslové chemikálie, pesticidy a plasty. O problematice těchto látek se v roce 1998 se začalo diskutovat více. Dokonce se užívalo označení „The endocrine disruption decade“. Jako podstatný milník lze také označit vytvoření metodiky testování pro vyhodnocení endokrinních účinků různých chemikálií pod institucí U. S. Environmental Protection Agency. Jedná se o významný krok, protože tato metodika umožňuje hodnotit, zda určité chemikálie narušují funkci endokrinního systému, a tedy mohou být považovány za endokrinní disruptory. (Bila, et. al. 2023, Stiefel, Constanze, 2023)

Identifikace a testování endokrinních disruptorů představují klíčové kroky pro pochopení jejich vlivu, ale stejně důležité je i zmapování cest, jakými se tyto látky, včetně hormonů, dostávají do životního prostředí.

3 Jak se hormonální antikoncepce dostává do životního prostředí

Významnou cestou, jak se hormonální antikoncepce může dostat do životního prostředí, je nesprávné likvidování léčiv. Lidé často vyhazují nepoužité či prošlé léky do toalety nebo odpadkového koše, což je nebezpečný způsob likvidace. Při spláchnutí do toalety se tyto léky dostanou přímo do kanalizace a následně do čistíren odpadních vod. Tyto čistírny nejsou navrženy k tomu, aby účinně odstraňovaly farmaceutické látky, včetně hormonů obsažených v antikoncepci. Výsledkem je, že hormony zůstávají v odpadních vodách a následně se dostávají do povrchových vod, jako jsou řeky, jezera a oceány. (Rogowska, Zimmermann, 2022)

Další cestou hormonální antikoncepce do životního prostředí je prostřednictvím čistírenských kalů. Čistírenské kaly se často používají jako hnojivo v zemědělství, protože jsou bohaté na živiny a mohou zlepšovat úrodnost půdy. Avšak při tomto procesu dochází k přenosu neodstraněných farmaceutických látek do zemědělské půdy. Hormony z kalů se tak mohou postupně hromadit v půdě a poté pronikat do podzemních vod, odkud mohou dále kontaminovat řeky a jezera. (Jabłońska-Trypuć, et. al. 2023).

Dalším důležitým faktorem kontaminace životního prostředí je spojen s ukládáním odpadů z farmaceutického průmyslu na skládky. Tyto odpady mohou obsahovat různé farmaceutické látky, které se mohou vylučovat do okolní půdy a postupně kontaminovat podzemní vody v blízkosti skládky. Léčiva na skládkách včetně hormonální antikoncepce se za pomoci deště mohou dostat do okolních podzemních a povrchových vod. (Olutona, et. al., 2023)

Hormonální antikoncepce, stejně jako mnoho dalších farmaceutických látek putují i do vod odpadních. Po požití se léčiva vstřebávají do lidského organismu, kde plní svou funkci. Poté, co je účinná látka zpracována, dochází k jejímu vyloučení z těla. Tento proces probíhá především skrze moč, do které se zbytky hormonů a dalších léčiv dostávají. Moč, která obsahuje tyto látky, se následně spláchně do kanalizačního systému. Zde se dostává do čistíren odpadních vod, které často nejsou schopny farmaceutické zbytky zcela odstranit. (Bin, et. al., 2023)

3.1 Čistírny odpadních vod a jejich fungování

Čistírny odpadních vod jsou složité systémy navržené k odstraňování nečistot z odpadních vod, aby bylo možné bezpečně vrátit vodu do životního prostředí nebo znovu využít pro další účely. Většina čistíren funguje nepřetržitě 24 hodin denně. Čistí vodu z toalet, ale i ze sprch, myček, umyvadel, praček. (Dewangan, et. al., 2023)

Odpadní voda nejprve prochází procesem předčištění, kde jsou odstraněny větší částice a těžší látky, jako je například písek. Odpadní voda je poté převedena do primární nádrže, kde dochází k separaci pevných částic od kapaliny. Tento proces se nazývá sedimentace, kdy se těžší látky usadí na dně nádrže a čistá voda je odvedena dál. Čištěná voda je poté v rámci sekundárního čištění biologicky a chemicky upravena. Využívají se mikroorganismy k rozkladu rozpuštěného oleje a dalších organických znečišťujících látek. (Gerba, Pepper, 2009)

Z důvodu nedostatku vody, zajištění pitné vody, zavlažování, rychlé industrializace, využívání regenerované vody, ochrany přírodních zdrojů, přelidnění a ochrany životního prostředí se často provádí také proces dezinfekce, kde je voda ošetřena chemikáliemi nebo jinými metodami. (Amin, et. al., 2013).

3.2 Čistírny odpadních vod a problematika léčiv

Čistírny odpadních vod jsou obvykle navrženy tak, aby efektivně zpracovávaly tradiční formy znečištění, jako jsou fekální znečištění neboli výkaly a moč. Poradí si také s pevnými látky, organickým uhlíkem, živinami, anorganickou solí, s kovy, patogeny. (Dewangan, et. al., 2023) Čistírny ale nejsou příliš zaměřeny na odstranění moderních polutantů. (Awasthi, et. al., 2021)

Od doby, kdy začala masivní výroba chemických látek, které neexistují v přírodě, se problémy spojené s čištěním odpadních vod staly závažnějšími. Výroba syntetických chemikálií začala nabírat na tempu již v průběhu 40. let 20. století. Vodní prostředí začalo být denně obrovským objemem chemického znečištění. (Carson, 2000)

Pro měření léčiv obsažených ve vodě se používají metody jako pasivní vzorkování a bodový odběr vody. Bodovým odběrem vody se dají zjistit hodnoty pouze pro daný moment, zatímco způsobem pasivního vzorkování je nutno měřit po dobu 14-28 dní. Ale vzhledem k tomu, že pasivní vzorkovače mají pro jednotlivé látky různé parametry,

vyhodnocení je velmi komplikované. Nejvyšší koncentrace léčiv bývá v odpadních vodách a menší toky, kam vede odtok z čistíren, jsou též znečištěné. V pitné vodě je vzhledem k přísným hygienickým standardům a regulacím množství léčiv nejnižší. (Grabic, et. al., 2021)

3.3 Metody odstraňování estrogenů z vody

Přítomnost hormonální antikoncepce a jiných farmaceutických látek ve vodách, představuje pro čistírny odpadních vod významný problém. Jedním z hlavních způsobů, které čistírny využívají pro čištění polutantů toho typu, je biodegradace. Tento proces zahrnuje mikroorganismy, které tyto chemikálie přeměňují na jednoduché a neškodné látky, jako je oxid uhličitý a voda. Nastane tedy mineralizace, což je žádoucí proces, který znamená úplné rozložení látek na neškodné komponenty. Avšak v některých případech dochází k neúplnému rozkladu farmaceutických látek, což může vést k tvorbě metabolitů nebo k procesu zvanému konjugace, který zahrnuje chemické spojení léku s jinou látkou. Konjugace obvykle nastává před vyloučením léku z těla. Čistírny tento proces často znovu napodobují nebo rozšiřují, aby léčiva dále rozkládaly a minimalizovaly jejich negativní vliv na životní prostředí. (Aswal, et. al., 2016)

Biologické metody jsou při odstraňování estrogenů velmi efektivní a dosahují snížení jejich koncentrace o 67 až 80 %. (Crisanto-Perrazo, et. al., 2023)

Další již běžně používanou metodou k odstraňování polutantů jako jsou estrogeny, je adsorpce. Odstraňování estrogenů z vody pomocí pevných látek (adsorbentů) je praktická a ekonomicky výhodná metoda díky své účinnosti. Pro zhodnocení jejího výkonu se nejprve měří množství estrogenu, které se naváže na adsorbent, a kolik zůstává rozpuštěného ve vodě. (Adeel, et. al., 2022)

Existuje mnoho materiálů, které lze použít k odstranění estrogenů, jako je aktivovaný kal, aktivní uhlí, uhlíkové nanotrubičky, grafenový oxid a jiné. Více jsou tyto metody pospány v kapitole č. 6. (Adeel, et. al., 2022)

Aktivovaný kal například odstraňuje estrogeny tím, že je zachytí a poté rozloží, což se osvědčilo jako jedna z hlavních metod čištění odpadních vod běžně využívaných v českých čistírnách. Tento proces však zahrnuje dvě různé metody – adsorpci a rozklad, takže není vždy jasné, která z nich je při odstraňování estrogenů hlavní. (Adeel, et. al., 2022)

Rozdíl v odstraňování estrogenů může být způsoben různými podmínkami experimentu, jako je velikost částic, teplota, obsah organického uhlíku, koncentrace iontů, slanost a pH.

Další v Česku již využívanou metodou je metoda aktivního uhlí. Aktivní uhlí je účinný adsorbent pro odstranění organických i anorganických estrogenů z vody. Je populární díky své vysoké účinnosti, dostupnosti a přijatelnému cenovému rozmezí. Granulované aktivní uhlí má dobrou schopnost adsorpce, ale její účinnost závisí na okolních podmínkách. Větší póry v aktivním uhlí mohou ztěžovat zachycení estrogenů, protože tyto látky se špatně rozpouštějí. Rychlost pohybu jiných látek k aktivnímu uhlí může také ovlivnit, kolik estrogenů se na něj naváže, protože tyto látky mohou obsadit volná místa dříve než estrogeny. (Adeel, et. al. 2022)

Za účelem odstranění polutantů také dochází v čistírnách odpadních vod k procesu dezinfekce. Při dezinfekci se využívá metody ozonizace. Účinnost dezinfekce závisí na citlivosti cílových organismů, době kontaktu a koncentraci ozonu. Problematické je, že během procesu ozonizace mohou vznikat některé toxické vedlejší produkty dezinfekce. Tyto problémy může do určité míry překonat proces katalytické ozonizace, kterému je v posledních letech věnována stále větší pozornost. (Joshi, Kumari, 2023)

Ozonizace se ukázala jako účinná při eliminaci estrogenů. Dokáže vyčistit až 90 % z nich. (Brückner, et. al., 2022) Účinnost této metody se však u různých ČOV liší, přičemž některá zařízení dosahují vyšší rychlosti odstraňování než jiná. (Abusam, et. al., 2022)

Biologické testy ukázaly, že ozonizace ve spojení s vhodnými následnými úpravami může výrazně omezit ekotoxikologické dopady ve vyčištěné odpadní vodě. To zahrnuje zlepšení růstu řas, snížení toxicity pro bakterie a snížení koncentrací hormonálně aktivních látek. (Besselink, et. al., 2022)

Co se týče odstraňování progestinů z odpadních vod, také to není jednoduché. Čistírny odpadních vod vykazují různou účinnost odstraňování různých progestinů v rozmezí 68–99 %. (Chang, et. al., 2019)

Primárním mechanismem jejich odstraňování je biodegradace a ve srovnání s estrogeny vykazují progestiny obecně vyšší účinnost odstraňování v ČOV. Nicméně, i přesto, že některé z těchto látek mohou být odstraněny biologickými procesy, mnohé z nich stále unikají do životního prostředí. (Chang, et. al., 2011)

4 Ekologické dopady hormonální antikoncepce

Hormonální antikoncepce, zejména syntetické estrogeny a progestiny se, jak již bylo zmíněno, po vyloučení z lidského těla dostávají do odpadních vod, kde často unikají běžným čistícím procesům. Tyto látky pak pronikají do vodních ekosystémů, kde působí jako endokrinní disruptory, což představuje problém pro živočichy. Živočichové jsou úzce propojeni se svým prostředím a závisí na něm pro potravu, úkryt, rozmnožování a mnoho dalších aspektů života. Veškeré aktivity způsobené lidskou populací, které narušují životní prostředí, mají dopad i na živočichy. Stejně jako chemické látky, které mohou narušit zdraví nejednoho živého organismu. (Araújo, et. al., 2022)

4.1 Endokrinní systém

Aby byli živé organismy schopni života a reprodukce, mají nervový, imunitní a endokrinní systém. (Kittnar, Mlček, 2009). Imunitní systém chrání tělo před infekcemi a nemocemi. Nervový systém přenáší signály v podobě elektrických impulzů mezi mozkiem, míchou a ostatními částmi těla. Ovládá pohyb, myšlení, vnímání a mnoho dalších tělesných funkcí. (Masarykova univerzita, 2005)

Endokrinní systém řídí v těle mnoho funkcí pomocí hormonů, které jsou vylučovány do krevního oběhu a ovlivňují tkáně a orgány. Tento mechanismus může ovlivňovat syntézu, sekreci, transport, vazbu nebo eliminaci přirozených hormonů v těle, které jsou zásadní pro udržení potřebné rovnováhy, správného fungování reprodukce, vývoje a chování. (Druga, et. al. 2022) Endokrinní systém označuje širokou škálu hormonálních systémů v těle savců, včetně hormonů produkovaných štítnou žlázou, slinivkou břišní, vaječníky, varlaty, nadledvinkami a mozkiem. (Borgert et. al., 2013)

4.2 Endokrinní disrupce

Přítomnost reziduálních léčiv v životním prostředí, včetně hormonálních antikoncepcí, může negativně ovlivnit vodní i suchozemské organismy na různých úrovních biologické hierarchie. Tyto látky, působící jako endokrinní disruptory, mohou narušit normální hormonální procesy, což vede k poruchám reprodukce a jiným ekologickým problémům. (Kaushik, et. al., 2021)

Vzhledem k nalezení intersexuálních ryb byla uspořádána vědecká konference v USA v roce 1991, kde se sešli experti různých oborů, kteří se shodli na určitých podobnostech v abnormalitách, které vykazovaly kontaminanty naměřené v lidské tkáni stejně tak jako u populace volně žijících živočichů. Vědci se shodli, že společným činitelem těchto nálezů je endokrinní systém, proto nový fenomén pojmenovali jako endokrinní disrupce. (Colborn, Clement, 1992)

Kromě přírodních hormonů, jako je estrogen, progesteron a testosteron, mohou mít na fungování endokrinního systému člověka a zvířat vliv také jiné látky, jako fytoestrogeny, což jsou látky přítomné v určitých rostlinách, například v sójových semenech. (Torres et. al. 2021) Ale i například uměle vytvořené a běžně používaná průmyslová rozpouštědla a maziva (polychlorované bifenoly, polybromované bifenoly, dioxiny), různé typy plastů (bisfenol A), změkčovadla (ftaláty), pesticidy (methoxychlor, chlorpyrifos, dichlordifenyltrichlorethan, vinclozolin), těžké kovy (rtuť, olovo), farmaceutika (diethylstilbestrol, paracetamol) a mnohé další. Všechny tyto látky jsou považovány za endokrinní disruptory neboli chemické látky narušující činnost žláz s vnitřní sekrecí, které mohou narušovat různé aspekty hormonálního systému v těle. Tyto látky mohou interferovat s tvorbou, uvolňováním, transportem, metabolismem, vázáním, účinky nebo eliminací přirozených hormonů, které jsou klíčové pro udržení homeostázy a regulaci vývojových procesů v organismu. Jelikož hormony hrají důležitou roli v mnoha biologických funkcích, jak zdraví dospělých jedinců, tak i vývoje plodu, jakákoli porucha v jejich fungování může mít široké negativní důsledky, které jsou podrobněji popsány v následující kapitole. (Kiran, et. al. 2009, Nohynek, et. al. 2013)

Současné poznatky o mechanismech spojených s endokrinním narušením jsou stále poměrně omezené. Avšak je známo, že endokrinní disruptory vykazují podobné vlastnosti jako přirozené hormony a mohou tak ovlivnit různé procesy v hormonálním systému. Endokrinní disruptory simulují funkci přirozeného hormonu. Obvykle se projevují ve výrazně vyšších koncentracích než endogenní hormony, což jsou hormony, které pocházejí zevnitř živého systému. S nimi endokrinní disruptory mohou vykazovat aditivní nebo synergické účinky. (Hye et al., 2015). Endokrinní disruptor je tedy vnější látka, která vyvolává nepříznivé účinky na zdraví v celém organismu nebo na jeho potomstvu a způsobuje sekundární změny v endokrinních funkcích. (Nohynek, et. al. 2013)

Endokrinní disruptory mají vliv na živé organismy a kumulují se v životním prostředí. Jejich metabolismus bývá často komplikovaný, protože vzniklé metabolity mohou být toxicitější než mateřská látka a u některých sloučenin neprobíhá metabolismus vůbec. To znamená, že nedochází k rozkladu a látky zůstávají v organismu nebo v prostředí beze změny. To zvyšuje jejich toxicitu a riziko dlouhodobého působení. Z důvodu migrujících zvířat můžeme najít endokrinní disruptory na místech, které v blízkosti nemají žádný zdroj kontaminace. (Bourguignon. 2009) Vzhledem k těmto vlastnostem představují endokrinní disruptory velkou hrozbu nejen pro jednotlivé organismy, ale i pro celé ekosystémy. Jejich přetrvávání v prostředí a neefektivní metabolismus znamenají, že i nízké koncentrace mohou mít kumulativní a škodlivé účinky.

4.3 Vliv na jednotlivé skupiny živočichů

Jak již bylo uvedeno v předchozí kapitole, endokrinní disruptory ovlivňují různé skupiny živočichů, a to různými způsoby, což může mít vliv na jejich zdraví, rozmnožování a chování. Tyto látky zasahují do přirozených biologických procesů, a proto představují hrozbu pro rovnováhu celých ekosystémů. Podobně jako estrogény, i progestiny obsažené v hormonální antikoncepci mají významný vliv na organismy, zejména v oblasti reprodukce. U mnoha živočišných druhů, včetně bezobratlých, obojživelníků a ryb, se prokázalo, že přirozené progestiny hrají klíčovou roli ve vývoji reprodukčních systémů a dalších biologických procesech. Syntetické progestiny, které se dostávají do vodních ekosystémů, mohou narušovat hormonální funkce organismů, což má za následek negativní dopady na jejich růst, vývoj a reprodukci, podobně jako tomu je u estrogenů. (Rocha, Rocha, 2022)

4.3.1 Obratlovci

U obratlovců, kteří kladou vajíčka, hrají estrogény zásadní roli v určování pohlaví, protože ovlivňují vývoj pohlavních orgánů během embryonálního vývoje. U těchto druhů, jako jsou ryby, obojživelníci, plazi a ptáci, rozhodují estrogény, zda se gonády promění na vaječníky (samičí orgány) nebo varlata (samčí orgány). Hlavním enzymem je aromatáza, která mění mužské hormony (androgény) na ženské hormony (estrogény). Když je hladina estrogenů během vývoje vysoká, podpoří to vznik vaječníků a určí samičí pohlaví. Naopak nízká hladina estrogenů vede k vývoji varlat a určuje samčí pohlaví. Tento

proces může být ovlivněn vnějšími faktory, jako je teplota, která může měnit aktivitu aromatazy a tím i pohlaví embryí. (Baccari, et. al. 2021)

4.3.1.1 Ryby

Problematika oboupohlavních ryb je předmětem vědeckého zkoumání již po mnoho desetiletí. Již okolo 1950 byly nalezeny intersexuální ryby v řece Temži v Londýně, a to v místě, kam se vypouštěly odpadní vody. Některé druhy ryb se vyvíjely jako hermafroditi, tedy se samčími a zároveň i samičími reprodukčními orgány. (Jobling, et. al., 2008)

Například Petersen diskutuje o reprodukční biologii hermafroditních ryb již v roce 1987, což naznačuje, že tento jev byl již nějakou dobu znám. (Petersen, 1987) V roce 2002 vyšla studie, kde bylo zjištěno, že populace ryb v oblastech podél řeky Temže, také vykazují nižší úroveň plodnosti. O pět let později, v roce 2007, byla publikována sedmiletá kanadská výzkumná studie. V této studii bylo do jezera rozptýleno přibližně stejné množství estrogenu, které by se v oblasti s 200 000 obyvateli se splašky dostalo do vodního prostředí. U samců ryb došlo k bezprostřední změně pohlaví, což téměř vyhladilo kaprovité ryby. Po zastavení přidávání estrogenu do vody se stav ryb zlepšil. Studie provedené v Denveru, Boulderu a Colorado Springs ukázaly, že u 20 % zbývajících samců byly pozorovány intersexuální znaky, jako jsou vajíčka v oblasti varlat a přítomnost vitellogeninu, který je běžně jen u samic. VTG je protein, který sehraává klíčovou roli v reprodukčním systému samic vejcorodých obratlovců. (Blanchfield, et. al., 2007, Aït-Aïssa, et. al., 2020)

Právě díky měření hladiny vitellogeninu v krevní plazmě organismů se rybí samci se stále častěji používají jako biologické testy pro detekci estrogenních látek ve vodě kvůli jejich citlivosti na sloučeniny narušující endokrinní systém. VTG Vyrábí se v játrech a poté je přes speciální vitellogeninový receptor přenášen do vyvíjejících se vajíček (oocytů). (Arendt, et. al., 2023, Asturiano, et. al. 2020)

Například u pstruhů byly zaznamenány velmi vysoké hladiny VTG, za dva týdny zvýšeny 100.000krát. Tento obrovský nárůst vedl k celonárodnímu průzkumu čistíren odpadních vod v letech 1987 a 1990 a později výzkum směřoval k identifikaci látek, které tuto problematiku iniciují. Veškeré indicie tehdy ukazovaly na látku ethinyloestradiol (EE2), která je obsažena v hormonální antikoncepci, proto se začalo s výzkumem citlivosti samečků ryb na estrogenu. (Sumpter, Johnson, 2005) Vlivem antikoncepčních pilulek

ve vodě se snižuje plazmatická hladina testosteronu u dospělých jedinců ryb, což má, jak bylo zjištěno již dříve, za dopad pokles plodnosti. Snižuje se aktivita páření u samců a je potlačena reprodukční schopnost samic. (Dierkes, et.al., 2021) Samečci mění své chování a samičky mají problém zaujmout jejich pozornost k páření. Tyto látky mohou vést ke snížení produkce mužských hormonů a vyvolat ženské charakteristiky. Naopak, u samic může docházet k defeminizaci a maskulinizaci, což může narušit normální reprodukční procesy. (Colborn, et. al. 1992) Vlivem estrogenů dochází ke snížení hladiny testosteronu, a tedy i nižší zájem samců o samice. (Cai-Yun et. al., 2020)

Studie zabývající se feminizací ryb zjistila, že tyto feminizované jedince mohou vykazovat různé morfologické odchylky v reprodukčních orgánech. Například, mohou mít typicky samičí reprodukční kanálky, jako jsou ovariální dutiny, ale současně udržovat normálně vypadající varlata, což jsou obvykle samčí reprodukční orgány. Alternativně mohou mít intersexuální gonády, což jsou orgány kombinující jak samčí, tak samičí tkáně, což představuje morfologickou intersexualitu. A existuje i variabilita, kdy některé ryby mohou mít normální morfologii reprodukčních orgánů bez feminizovaných kanálků, zatímco jiné mohou mít jak samčí, tak samičí reprodukční kanálky. Tyto rozdíly v morfologii reprodukčních orgánů naznačují, že u ryb žijících ve volné přírodě, které jsou vystaveny výtokům z čistíren odpadních vod a obsahu estrogenů, mohou působit různé mechanismy účinku. Jejich účinky závisí nejen na množství, ale i na dalších faktorech, jako je například to, jak dlouho se v těle udrží a jak snadno se hromadí. Ryby jsou na tyto látky obzvláště citlivé, což může vést k narušení jejich rozmnožování a snížení biodiverzity ve vodních ekosystémech. (Adolfi, et. al., 2023)

U sladkovodních ryb z jihovýchodní Asie, zebříček, zase bylo zjištěno, že jejich embrya byla zejména při vyšších koncentracích EE2 výrazně menší. A také u zebříček došlo ke změně plaveckého chování. Byly méně aktivní a častěji se zdržovaly v klidu, držely ve středu prostoru, kde byly nečinné, místo aby zůstávaly na okrajích, kde by byly lépe chráněné před predátory. (Beyrem, et. al., 2021)

Endokrinní poruchy u sladkovodních ryb, zejména feminizace jsou rozšířeným fenoménem, a to v mnoha zemích včetně Velké Británie, Itálie, Španělska, Nizozemska, Dánska, Severní Ameriky. (Sumpter, et. al. 2005) Ale bylo zjištěno, že dokonce i mořské ryby vykazují známky narušeného endokrinního systému, obvykle zvýšenou koncentrací VTG, někdy také intersexualitou. Bylo tomu tak ve Velké Británii a Japonsku.

Identifikovat chemické látky zodpovědné za účinky u mořských ryb je však mnohem obtížnější než u sladkovodních druhů. (Sumpter et. al., 2005)

Koncentrace estrogenu ve vodě se pohybují mezi 1 a 10 ng/l, ale v hustě osídlených oblastech může dosáhnout až 50-60 ng/l. Umělé hormony se rozkládají pomaleji než přírodní steroidy a vodní organismy jsou na ně velmi citlivé. U některých ryb byla zaznamenána bio akumulace estrogenů, přičemž jejich koncentrace dosahovala až 300krát vyšší hodnoty, než bylo původně. Vlivem chemikálií může docházet k poruše činnosti štítné žlázy, která je klíčová pro regulaci metabolismu a růst u živočichů. Poruchy štítné žlázy mohou vést kromě poruch reprodukčních funkcí také k poruchám vývoje a chování, což může ovlivnit jejich schopnost lovit potravu, vyhýbat se predátorům nebo interagovat s ostatními členy svého druhu. Chemické látky mohou narušovat reprodukční procesy a vést k nedostatečnému rozvoji vajec, spermatu nebo embryí, což má za následek snížení úspěšnosti líhně u postižených jedinců a také sníženou schopnost jedinců rozmnožovat se a udržovat populaci. Některé látky mohou také způsobit výrazné vrozené deformity u nově narozených jedinců. Tyto deformity mohou ovlivnit jejich schopnost přežít v přírodě a přispívat k poklesu populace. Vliv na imunitní systém je také významný, protože oslabený imunitní systém může zvýšit náchylnost k infekcím a nemocem. (Sumpter et. al., 2005)

Ryby jsou jednou z nejdětalněji studovaných skupin organismů, pokud jde o vliv látek s estrogení aktivitou na výskyt abnormalit v reprodukčním systému. (Bila et. al., 2003) Přesto se tato problematika rozhodně týká i jiných živočichů.

4.3.1.2 Obojživelníci

Například obojživelníci po celém světě rychle ubývají a jedním z faktorů, které mají na ztrátě počtu této populace vliv, jsou právě estrogeny a jejich přítomnost v životním prostředí. Ovlivňují totiž pohlavní vývoj a narušují proces metamorfózy, což může vést až k narušení klíčových hormonálních procesů až k úhynu jedinců, nižší šanci na přežití a omezení plodnosti. (Bradley, Kidd, 2009)

Při metamorfóze se živočich mění z larválního stadia do dospělého jedince. U obojživelníků, jako jsou žáby, se například pulci, kteří žijí ve vodě a dýchají žábami, mění na dospělé žáby, které žijí na souši a dýchají plicemi. Rychlost růstu a vývoje pulců je pro obojživelníky ve volné přírodě velmi důležitá. Pulci musí dosáhnout určité velikosti,

aby mohli projít metamorfózou. Větší pulci mají lepší šanci na přežití a plodnost jako dospělí. Vývoj larev závisí hlavně na hormonech ze štítné žlázy, které mohou ovlivnit estrogény. Obojživelníci, kteří byli vystaveni přírodním a syntetickým hormonům, často vykazovali změny v pohlaví, například nevyvážené poměry pohlaví nebo intersexuální gonády. (Bradley, Kidd, 2009)

Intersexuální gonády jsou pohlavní orgány, které vykazují znaky obou pohlaví, tedy jak mužské, tak ženské. To znamená, že jedinec má buňky nebo struktury, které jsou typické pro obě pohlavní kategorie. (Nakamura, 2008)

Proces určování pohlaví u obojživelníků je složitý a probíhá ve dvou krocích: genetická výbava a vývoj pohlavních orgánů. U mláďat žab může být tento proces narušen vnějšími hormony, které žabám brání správně určit pohlaví. Dle studií má EE2 nepříznivý vliv již na pulce, kteří mají znaky obou pohlaví. Kvůli vysoké hladině hormonu EE2 v odpadní vodě dochází k problémům s vývojem jejich pohlavních orgánů. V některých případech mají pulci vajíčka přímo na varlatech nebo mají poškozené pohlavní buňky. Objevují se i případy, kdy mají více než dvě pohlavní žlázy, což normálně nebývá. (Dorobisz, et. al., 2021)

U ropuchy hnědé proběhla studie o účincích estrogenu (konkrétně 17 α -ethinylestradiolu) na jejich zdraví. Zjistilo se, že estrogen snižuje počet neutrofilů, což jsou buňky imunitního systému. Oslabuje tedy imunitní odpověď, čímž zvyšuje náchylnost žab k infekcím. Estrogen také vedl ke zvýšení síly srdečního stahu, což je přirozený účinek hormonu. Z dlouhodobého hlediska je pro jedince vyčerpávající, zvláště pokud zároveň bojují s infekcí nebo jiným stresem. Zvýšená námaha srdce také může způsobit, že žáby budou mít méně energie pro činnosti, jako je rozmnožování nebo boj proti nemocem. U samců vystavených estrogenu došlo ke zmenšení obou varlat a k feminizačním změnám, kdy se ženské buňky začaly přesouvat do varlat, což naznačuje možnou sexuální reverzi, což může narušit reprodukční schopnosti a pohlavní poměr v populaci. V rámci feminizačního procesu u samců docházelo i k tmavší pigmentaci kůže. (Abdalla, et. al., 2024)

Zvýšená hladina estrogenů v prostředí často způsobuje, že se obojživelníci začínají více podobat samicím, a to v různých fázích jejich vývoje. Kanadská studie, která se zaměřila na rané vývojové fáze skokana severního a skokana skřehotavého, zkoumala vliv syntetického hormonu EE2. Výsledky ukázaly, že u druhu skokana skřehotavého se výrazně snížil počet úspěšně vylíhnutých mláďat. (Dorobisz, et. al., 2021)

Vliv estrogenů na samce byl zjištěn i u drápatky vodní. Ve výzkumu došlo ke zjištění, že samci při páření vydávají méně zvuků a také zvuk není v takové kvalitě jako dříve. Často se jedná spíše o „skřípání“, které je typické pro nezaujaté samce, tedy o takové, které o páření nemají zájem. Samice si méně často vybíraly samce, kteří byli tímto hormonem ovlivněni. Předpokládá se, že podobné problémy se zpracováním zvuků se objevují i u dalších obojživelníků. Estrogeny ovlivňují části jejich mozku, což způsobuje, že samci méně často vydávají zvuky a samice snižují své reakce na páření. U žab *Rhinella itcetrica* také proběhla studie o účincích estrogenu (konkrétně 17α -ethinylestradiolu) na jejich zdraví a zjistilo se, že i u tohoto druhu dochází kvůli estrogenu ke snížení imunitní odpovědi, čímž zvyšuje náchylnost žab k infekcím. Estrogen také vedl ke zvýšení síly srdečního stahu, což je přirozený účinek hormonu. Z dlouhodobého hlediska je pro jedince vyčerpávající, zvláště pokud zároveň bojují s infekcí nebo jiným stresem. Zvýšená námaha srdce také může způsobit, že žáby budou mít méně energie pro činnost, jako je rozmnožování nebo boj proti nemocem. U samců vystavených estrogenu došlo ke zmenšení obou varlat a k feminizačním změnám, kdy se ženské buňky začaly přesouvat do varlat, což naznačuje možnou sexuální reverzi, která může narušit reprodukční schopnosti a pohlavní poměr v populaci. V rámci feminizačního procesu u samců docházelo i k tmavší pigmentaci kůže. (Abdalla, et. al., 2024)

4.3.1.3 Plazi

Vliv estrogenů na endokrinní systém se prokázal i u plazů. A to i přesto, že se jedná o skupinu ze všech obratlovců nejméně často testovanou na toxikologická rizika v životním prostředí. Plazi žijí v různých prostředích, mají dlouhý životní cyklus a jejich pohlaví může být určeno jak geny, tak i vlivy okolí. Tyto faktory mohou způsobit, že znečišťující látky se v jejich tělech dlouhodobě hromadí a vedou k morfologickým změnám v různých vývojových stádiích. (Dorobisz, et. al., 2021)

Není mnoho výzkumů o vlivu estrogenu na plazy, ale například vazba mezi estrogeny a vývojem vaječníků u želvy malované a želvy pižmové byly prokázány. Také produkce vitellogeninu způsobená zvýšenou hladinou estrogenů (E2) se projevila u čínských želv (želva Reevesova) a u želvy nádherné. (Dorobisz, et. al., 2021)

U želv bylo také prokázáno, že samice, které jsou vystaveny estrogenům, vykazovaly významné zvýšení hladiny VTG v jejich krevní plazmě. Tato zjištění naznačují,

že expozice estrogenům může významně ovlivnit reprodukční systém i u želv. Vysoké hladiny VTG v plazmě mohou mít různé dopady. Jedním z možných efektů je změna v reprodukčních funkcích, včetně produkce vajec. Zvýšené množství VTG může ovlivnit vývoj a kvalitu vajec, což může mít důsledky pro reprodukční úspěšnost želv a případně i pro přežití a vitalitu jejich populací. (Akashi, et. al., 2020)

Studie amerických aligátorů z jezera Apopka na Floridě ukázala, že mladé samice aligátorů, které byly kontaminovány vnějšími látkami ze zemědělství, měly téměř dvojnásobné množství estrogenu v krvi. To vedlo k abnormálnímu vývoji vaječníků, kdy měly příliš mnoho folikulů a mnohonásobná vajíčka. Mladí samci zase měli nižší hladinu testosteronu, což se projevilo zmenšenými varlaty a penisem. Další výzkumy ukázaly, že steroidní hormony včetně estrogenů vedly k poškození jater u aligátorů z jezera Apopka a také, že estrogeny ovlivnily strukturu kostí. U aligátorů se výrazně zvýšila hustota a tuhost měkké vnitřní části dlouhých kostí, což způsobilo, že jejich kostra byla těžší. (Dorobisz, et. al., 2021)

4.3.1.4 Ptáci

Výběr partnera je klíčovým aspektem reprodukčního chování u mnoha živočichů, včetně ptáků. Samice často hodnotí potenciální partnery podle jejich schopnosti a ochoty se podílet na péči o potomstvo, což může zahrnovat stavbu hnízda, sběr potravy nebo ochranu mláďat. Samci naopak často preferují samice na základě vzhledu a tělesných rysů, které mohou signalizovat jejich zdraví a reprodukční kvalitu. Estrogeny, jakožto hormony přítomné v životním prostředí z různých zdrojů, mohou zásadním způsobem ovlivňovat tento přirozený proces pohlavního výběru. Celkově lze tedy říct, že estrogeny mohou významně narušovat přirozený proces pohlavního výběru u ptáků, což může mít negativní dopady na jejich reprodukční úspěch a dlouhodobou stabilitu populací. (Cram et. al., 2019). A protože se hormony také hromadí v tělech dospělých ptáků a ve vejcích, mohou negativně ovlivnit vývoj embryí a zvýšit úmrtnost. (Dorobisz, et. al., 2021)

U chovaných ptáků může zvýšená hladina estrogenů škodit také skrze jejich trus, který je významným zdrojem estrogenů v životním prostředí. Když se trus drůbeže dostane na pole, kontaminuje povrchové vody estrogeny, což může špatně ovlivnit reprodukční chování volně žijících ptáků. Citlivost ptáků na estrogeny v životním prostředí se liší podle druhu a věku, zejména v různých vývojových fázích. Příliš vysoké hladiny estrogenů mohou

narušit chování ptáků, zvyšovat riziko agresivity a oslabovat imunitní systém (Dorobisz, et. al., 2021)

Nejen estrogény mohou negativně ovlivňovat ptactvo. V létě roku 1960 bylo například nalezeno stovky mrtvých či umírajících ptáků u Jezera Tule a Dolního Klamathu, především druhů jako volavky, pelikány a racci. Příčinou byly pesticidy, které se dostaly do vod prostřednictvím zpětného zavlažovacího toku ze silně postříkaných zemědělských pozemků. Tyto látky se bioakumulovaly v rybách a planktonu, což vedlo k intoxikaci ptáků lovících ryby (Carson, 2000). Podobný vliv měl i insekticid, jehož chemická struktura byla podobná syntetickému estrogenu (Diethylstilbestrol). V 60. letech byla pozorována feminizace mladých kohoutů vystavených této látce – jejich varlata byla nedostatečně vyvinutá a hřebeny a laloky zůstaly zakrnělé. Tyto případy ukazují, že i jiné látky s hormonálními účinky, mohou mít závažné dopady na reprodukční schopnosti a fyzický vývoj živočichů, podobně jako hormonální antikoncepce (Colborn et. al., 1996)

4.3.1.5 Savci

Syntetické estrogény z hormonální antikoncepce se mohou dostat také do těla savců, a to prostřednictvím kontaminované vody nebo kontaktem s kůží. Kromě toho však hormonálně aktivní látky v prostředí pocházejí i z dalších zdrojů, například z živočišné výroby (mléko či maso) nebo z kontaminovaných rostlin a ryb. Estrogény z hormonální antikoncepce a přirozené estrogény z jiných zdrojů se v prostředí mohou kumulovat, což zvyšuje celkovou estrogenní zátěž a následné negativní dopady na živočichy i ekosystémy. Estrogény mohou u savců způsobit problémy s reprodukcí a zhoršit zdraví. Vysoké hladiny estrogenů jsou spojovány se zvýšeným rizikem rakoviny, například prsu, plic nebo prostaty. Také mohou ovlivnit chuť k jídlu a energetickou rovnováhu, což může vést k nadváze nebo obezitě u zvířat i lidí. Studie na myších ukázala, že podání 17β -estradiolu zvyšuje produkci estrogenního receptoru v kostech, mozku a játrech, což souvisí s problémy v játrech. Vědci také zkoumají, jak hormony z prostředí ovlivňují pokles počtu zdravých spermií u samců savců, včetně lidí. Dle výzkumu mohou tyto látky po vstupu do těla způsobit různé problémy ve varlatech mužů, což vede k jejich poškození. Nejvýrazněji estrogény narušují signály, které ovlivňují správný vývoj varlat, což má vliv na jejich strukturu, funkci a plodnost. Studie ukazují, že příliš vysoké hladiny estrogenů mohou snižovat plodnost u samců savců. (Dorobisz, et. al., 2021)

4.3.2 Bezobratlí

Bylo zjištěno, že estrogen může ovlivnit i životy bezobratlích živočichů. Nezmar obecný, blešivec obecný, pakomár říční, mexický blešivec a plovatka bahenní jsou druhy, u kterých byla z důvodu estrogenů zhoršena schopnost líhnutí, růstu, svlékání kůže, rozmnožovacího chování a snížil se počet nakladených vajíček. U pakomárů říčních (*Chironomus riparius*) se i při nižších koncentracích ukázaly problémy s dobou líhnutí a objevilo se více jedinců s deformacemi.

U buchanek bylo zjištěno zpomalení vývoje mladých jedinců z důvodu estrogenu. U plovatky bahenní, ústřice přilnavé a u slávek byly pozorovány účinky na mladé jedince již při nízkých koncentracích (3,5–130 ng/l). Byly zaznamenány změny na úrovni genů spojených s reprodukcí. Výzkum na hrotnatce velké, která se většinou rozmnožuje nepohlavně, zjistil, že hormon nemá vliv na počet jedinců či rychlost jejich růstu. Jedním z pozorovaných účinků bylo zvýšení produkce bílkoviny zvané ovovitelin u skupiny, která byla vystavena nejvyšší koncentraci EE2 (1000 µg/L). Tyto hladiny hormonů však byly mnohem vyšší, než na jaké bezobratlí obvykle narazí v přírodním prostředí. Někteří vědci však nepovažují ovovitelin za vhodný indikátor expozice estrogenům a k takovým výsledkům přistupují s obezřetností.

Co se týče vlivu látek narušujících endokrinní systém na bezobratlé, tak se úroveň našeho poznání prakticky nezměnila za posledních 30 let. Dle výzkumů různé druhy vodních živočichů reagují odlišně na přítomnost estrogenů v prostředí. Některé druhy reagují již na menší hladiny estrogenů, jiné až při vyšších koncentracích. Bezobratlí jsou velmi rozmanití a na každý druh může mít estrogen úplně jiné vliv. (Dorobisz, et. al., 2021)

4.4 Vliv na lidskou populaci

Jak již bylo zmíněno, k prvním důkazům o endokrinní disrupci došlo v Anglii, ale o endokrinní disrupci a případném dopadu na lidskou populaci se v tu dobu veřejně nejednalo. Vzhledem k tomu, že o této problematice nevěděli ani lidé a ani vědecké instituce, tak výzkumy začaly až přibližně o 15 let později, kdy došlo k prvním publikacím ve vědeckých časopisech. (Sumpter, 1995)

Zákon o ochraně kvality potravin (The Food Quality Protection Act) a pozměněný zákon o nezávadné pitné vodě z roku 1996 uložily Agentuře pro ochranu životního prostředí Spojených států (EPA) povinnost vytvořit program pro identifikaci látek narušujících endokrinní systém a testovat přítomnost těchto látek v pitné vodě, aby se zjistil případný dopad látek na lidskou populaci. Na základě tohoto mandátu EPA o několik let později vyvinula metody a postupy pro detekci a hodnocení endokrinní aktivity pesticidů a dalších chemických látek (Maciorowski, Timm, 1999). Podobné obavy ohledně endokrinních disruptorů se objevily také v Evropě. V roce 1999 přijala Evropská komise „strategii Společenství pro endokrinní disruptory“, která si kladla za cíl zvyšovat povědomí veřejnosti, prohlubovat znalosti v této oblasti a vyvíjet pokročilejší metody identifikace těchto látek. Na mezinárodní úrovni pak Světová zdravotnická organizace (WHO) a Program OSN pro životní prostředí (UNEP) v roce 2002 v rámci společného programu chemické bezpečnosti (IPCS) vydaly první ucelený dokument shrnující poznatky o endokrinních disruptorech a stanovující jejich definici. O deset let později, v roce 2012, bylo publikováno aktualizované vydání „Stav vědy o endokrinních disruptorech“, které přineslo nové poznatky o vlivu těchto látek na lidské zdraví a životní prostředí. Také Americká Endokrinologická společnost přispěla k této oblasti, když v roce 2009 vydala vědecké prohlášení o endokrinních disruptorech. V roce 2015 pak navázala dalším prohlášením, které rozšířilo pohled na jejich vliv na různé zdravotní problémy, jako jsou obezita, diabetes, reprodukční poruchy, dysfunkce štítné žlázy, neurovývojové poruchy a různé typy rakoviny. Tento vývoj ilustruje postupné zvyšování zájmu o endokrinní disruptory, stejně jako snahu o hlubší pochopení jejich účinků na zdraví a životní prostředí. (Fenton et al., 2015)

I stopová množství léčiv v pitné vodě mohou mít dlouhodobé nepříznivé účinky na lidské zdraví. Koncentrace léčiv v pitné vodě mohou být nebezpečné a představovat různé zdravotní problémy. Uvolňování endokrinních disruptorů do životního prostředí může vést k poruchám spojeným s endokrinní činností u lidí, což zahrnuje klesající plodnost u mužů, vrozené vady a jiné krátkodobé či dlouhodobé problémy. (Rodprasert et. al., 2021) Byla provedena studie, kde bylo zjištěno, že došlo k výraznému poklesu mužské plodnosti ve srovnání s údaji ze 40. let 20. století. Z celkem 4867 zkoumaných mužů měl optimální kvalitu spermií pouze každý čtvrtý. Příčinou tohoto poklesu může být vystavení mužů různým látkám narušujícím endokrinní systém, včetně estrogenů. Dalším důsledkem těchto environmentálních expozic je klesající věk nástupu puberty u dívek. Zvýšené hladiny

estrogenů u lidí jsou rovněž spojovány s vyšším rizikem vzniku rakoviny prostaty, plic, endometria a prsu. Navíc studie ukazují, že narušené hladiny estrogenů mohou přispívat k nadváze a obezitě. Tyto zdravotní problémy, vyplývající z vystavení hormonálním disruptorům, mají významné důsledky nejen pro jednotlivce, ale i pro veřejné zdraví jako celek. Vzhledem k jejich potenciálnímu dopadu na zdraví se problematika těchto látek stává předmětem sledování na různých úrovních, včetně legislativní. (Císlak, et. al. 2023)

5 Právní a regulační aspekty

V současné době neexistují závazné limity pro vypouštění estrogenů do odpadních vod, které by byly platné na národní či evropské úrovni. Problematika je však kvůli jejich škodlivým účinkům monitorována, a to jak na úrovni členských států, tak prostřednictvím programů Evropské unie, které sledují výskyt endokrinních disruptorů. (Benešová, 2023)

Podobný přístup k monitorování estrogenů zaujala i Agentura pro ochranu životního prostředí (EPA) ve Spojených státech. V rámci zákona o bezpečné pitné vodě schválila pravidlo, které vyžaduje, aby vodárenské systémy monitorovaly přítomnost estrogenních hormonů jako součást programu sledování neregulovaných kontaminantů. Tento krok byl reakcí na rostoucí obavy z estrogenního znečištění ve vodních zdrojích. (Adeel, et. al., 2022)

Ze stejného důvodu Agentura pro ochranu životního prostředí (EPA) schválila v rámci zákona o bezpečné pitné vodě nové pravidlo, které vyžaduje, aby vodárenské systémy monitorovaly přítomnost estrogenů jako součást programu sledování neregulovaných kontaminantů. (Adeel, et. al., 2022)

Strategie Evropská Unie je také aktivní v oblasti výzkumu a regulace endokrinních disruptorů, mezi které se řadí i estrogeny. V roce 2020 Evropská komise představila Strategii pro chemické látky pro udržitelnost, která je součástí širší politiky Evropské komise zaměřené na ochranu zdraví lidí a životního prostředí před nebezpečnými chemikáliemi. Strategie se zaměřuje na regulaci, řízení a omezování škodlivých chemických látek, včetně endokrinních disruptorů, perzistentních látek a dalších nebezpečných chemikálií, které mohou mít negativní dopad na zdraví a ekosystémy. Jedná se o strategii, která je součástí Evropské Zelené dohody a která má za cíl zlepšit regulaci chemikálií, včetně endokrinních disruptorů, a chránit zdraví občanů EU i životní prostředí. (Ekotox, 2024)

I když estrogeny nejsou přímo regulovány v rámci konkrétních limitů, jsou zahrnuty na tzv. seznam sledovaných látek v rámci Evropské směrnice 2013/39/EU. To znamená, že jejich výskyt ve vodních systémech je pravidelně monitorován. Tento seznam se průběžně aktualizuje, aby bylo možné sledovat látky, které by mohly ohrožovat životní prostředí. (Kuklíková, 2014)

Kromě strategických cílů se EU zaměřuje i na specifickou regulaci kvality vody. V tomto směru byla přijata Směrnice (EU) 2020/2184, která přímo upravuje kvalitu pitné vody

v celé Evropské unii. Tento právní předpis stanovuje limity pro znečišťující látky a další parametry kvality vody, aby byla pitná voda bezpečná pro lidskou spotřebu. Směrnice zahrnuje přísné požadavky na monitorování a regulaci znečišťujících látek, jako jsou bakterie, chemické látky, těžké kovy a další kontaminanty, mezi které patří i endokrinní disruptory. Prostřednictvím mechanismu sledovaného seznamu směrnice zajišťuje, že mohou být dohlíženy a případně regulovány i nově vznikající znečišťující látky, které představují zdravotní riziko. Tento právní rámec je zaměřen na ochranu veřejného zdraví a zavádí povinnosti pro členské státy, které mají za úkol monitorovat a regulovat kvalitu pitné vody na svém území. (ESIPA, 2020)

V rámci Farmaceutické strategie pro Evropu z roku 2020 se EU snaží snížit negativní dopad léků, včetně hormonálních látek, na životní prostředí. Zlepšením pravidel pro výrobu a distribuci léků se mohou lépe řídit odpadní produkty farmaceutických firem, včetně estrogenů. To by mělo pomoci snížit množství těchto látek, které se dostávají do životního prostředí. (EUR-lex, 2020)

Výzkumy zaměřené na endokrinní disruptory jsou Evropskou unií značně financovány. Například projekty jako NORMAN Network se snaží zjistit, jaké nové znečišťující látky se objevují a jak ovlivňují kvalitu vody. Tímto způsobem EU monitoruje a zkoumá, jak tyto látky ovlivňují naše zdraví a životní prostředí. (Bert, et. al., 2018)

Z hlediska ochrany životního prostředí je nezbytné provádět průzkumy léčiv v prostředí, abychom mohli stanovit maximální přípustné koncentrace a podpořit udržitelnost ekosystémů. Studie a monitorování léčiv v životním prostředí umožňují identifikovat potenciální rizika pro ekosystémy a lidské zdraví a vyvinout opatření ke snížení jejich negativních dopadů. Je zapotřebí kombinovat znalosti z oblasti chemie, biologie, ekologie a toxikologie, aby bylo možné účinněji porozumět dopadům léčiv na životní prostředí a navrhnout vhodná opatření pro ochranu biodiverzity a lidského zdraví. Tato integrace znalostí a metod může vést k efektivnějšímu monitorování a regulaci léčiv v prostředí, což přispívá k udržitelnějšímu hospodaření s životním prostředím a ochraně ekosystémů pro budoucí generace. (Babic, et. al., 2016).

Poskytnutí jasných pravidel ohledně maximálního povoleného množství estrogenů v odpadních vodách z čističek by mohlo výzkumníkům usnadnit používání různých chemických a biologických metod k odstranění těchto látek. (Adeel, et. al., 2017)

6 Možnosti snižování vlivu hormonální antikoncepce na životní prostředí

Protože hormonální antikoncepce patří mezi významné farmaceutické produkty, které mají vliv na lidské zdraví i na životní prostředí, potřeba tyto negativní dopady minimalizovat. Tato kapitola se zaměřuje na možné způsoby, jak zmírnit vliv hormonální antikoncepce na životní prostředí.

6.1 Moderní technologie a ČOV

Jedním z perspektivních přístupů k minimalizaci znečištění životního prostředí polutanty je zavedení moderních technologií, které by dokázaly účinněji omezit nebo odstranit kontaminaci.

Kromě již výše zmíněného filtru na bázi aktivního uhlí existují i jiné metody k odstraňování estrogenů z vody. Elektrochemické metody, jako jsou AOP (elektrochemické pokročilé oxidační procesy) a elektrokoagulace, využívají silné oxidační částice, zejména hydroxylové radikály, které dokážou rozložit škodlivé látky na neškodné složky. Tyto procesy jsou pro odstraňování estrogenů důkladně zkoumány a prokázaly vysokou účinnost. I přes slibné možnosti, které AOP nabízejí, jsou stále brzděny několika nevýhodami, jako jsou vysoké náklady, otázky udržitelnosti a experimentální povaha technologie. Proto, aby bylo možné široce využívat tyto technologie v praxi, je nezbytné využít obnovitelné zdroje energie, vyvinout levnější hardware a elektrody a vylepšit celkové systémy. To vede k tomu, že metody jako elektroremediace elektrokoagulací jsou stále více preferovány. Proces elektrokoagulace probíhá tak, že se na elektrodách vytváří látky, které vážou nečistoty. Ty se poté shluknou a lze je snadno odstranit. (Boniek et. al. 2019)

Samotná úprava běžného provozu čistíren odpadních vod nestačí ke snížení obsahu estrogenů. K tomu jsou potřeba pokročilé technologie, jako nanofiltrace, membránové bioreaktory, reverzní osmóza, ultrafiltrace a pokročilé oxidační procesy, které jsou v odstraňování estrogenů účinné. Tyto pokročilé procesy na odstranění estrogenů z vody jsou cenově nákladné, a tak se pro efektivnější čištění začaly používat integrované systémy, které kombinují fyzikální, chemické a biologické metody. Uhlíkové nanotrubičky mají mimořádné vlastnosti. Estrogeny se na nanotrubičky vážou díky speciálním typům přitažlivých sil, které fungují podobně jako magnety na molekulární úrovni. Tyto vazby

dělají z nanotrubic velmi účinný materiál pro zachycování estrogenů. Nanofiltrace je technologie používaná k čištění odpadní a pitné vody od organických látek a mikroznečištění, jako jsou estrogény. Funguje tak, že membrána zachycuje škodlivé látky podle jejich velikosti a náboje. Výzkumy ukazují, že estrogény lze touto metodou efektivně odstraňovat. Jak dobře to funguje, závisí na faktorech, jako je koncentrace solí ve vodě, pH a samotné membrány. Estrogény, které nanofiltrace odstraní, se může pohybovat od 1 do 1000 nanog (Nghiem et.al. 2003).

Vědci zjistili, že velikost otvorů v membráně je důležitá pro snížení množství nečistot ve vodě. I když tato metoda funguje dobře, není schopná odstranit všechny typy znečištění sama. Proto se nanofiltrace často kombinuje s dalšími způsoby čištění vody, aby se voda mohla co nejlépe vyčistit postupně, krok za krokem.

Ultrafiltrace je další technologie s membránami, která se využívá k čištění vody od estrogenů. Podobně jako u nanofiltrace se nečistoty zachytávají na membráně během filtrování. Tento proces lze přizpůsobit tím, že se změní velikost otvorů, elektrický náboj na povrchu membrány nebo její schopnost odpuzovat vodu, v závislosti na druhu nečistot, které chceme odstranit. (Baranov, et. al., 2020)

U ultrafiltračních membrán jde hlavně o přichytávání na povrch. Proto se UF membrány často kombinují s reverzní osmózou, která dokáže odstranit menší znečištění, které UF membrány propustí. Výzkum ukázal, že větší částice zůstávají na membráně, zatímco ty menší projdou spolu s odpadními vodami přes reverzní osmózu. (Adeel, et. al., 2017)

Metoda ultrazvukové sonikace je moderní a účinný způsob, jak odstranit kontaminanty, včetně estrogenů. Pomocí ultrazvukových vln vznikají malé bublinky, které rozkládají škodlivé látky a vytvářejí chemikálie jako H_2O_2 a OH . Výhodou je, že k tomu nejsou potřeba další chemikálie a dokáže odstranit i velmi malé množství nečistot. (Adeel, et. al., 2017)

Účinnost čištění vody závisí na věcech jako je velikost estrogenů, pH vody a teplota. Pokročilé oxidační procesy využívají volné radikály, což jsou velmi reaktivní částice, které rozkládají škodlivé látky na neškodné části. Mezi tyto metody patří Fentonova reakce, kde se používá železo a peroxid vodíku, a její verze s pomocí světla (foto-Fentonova reakce) nebo elektrického proudu (elektro-Fentonova reakce). Další metoda, fotokatalýza, používá světlo k aktivaci katalyzátoru, který vytváří volné radikály. (Adeel, et. al., 2017)

6.1.1 Fotokatalýza estrogenu

Fotokatalýza je proces, při kterém světlo urychluje rozklad škodlivých látek, například estrogenů, pomocí speciální látky zvané katalyzátor. Tento katalyzátor nezmizí ani se nespotřebuje, ale pomáhá reakci probíhat rychleji. Obsahuje malé částice polovodičů, které při vystavení světlu absorbují energii. Tato energie vytváří volné radikály, což jsou velmi reaktivní částice schopné rozkládat znečišťující látky na jednodušší a neškodné složky. Mezi nejčastěji používané fotokatalyzátory patří oxid titaničitý (TiO₂), známý pro svou stabilitu a nízkou toxicitu. Dalším významným katalyzátorem je oxid zinečnatý (ZnO), který je hned po TiO₂ nejrozšířenější. Výzkumy ukazují, že kombinace TiO₂ a ZnO může být ještě účinnější. Například při nízkých koncentracích estrogenů došlo díky této kombinaci k jejich téměř 100% rozkladu. (Adeel, et. al., 2017)

Kromě fotokatalýzy existují i další metody, které se ukázaly jako účinné při rozkladu škodlivých organických látek ve vodě. Jednou z nich je Fentonova metoda, která využívá železo a peroxid vodíku k produkci silných hydroxylových radikálů. Tyto radikály jsou schopné rozkládat organické látky na neškodné produkty. Úspěšnost této metody závisí na faktorech, jako je množství železa a peroxidu, teplota a pH prostředí. (Adeel, et. al., 2017)

Ještě efektivnější variantou Fentonovy metody je foto-Fentonova reakce, která kombinuje železný síran, peroxid vodíku a LED světlo. Bílé LED světlo urychluje proces rozkladu, což umožňuje odstraňovat estrogenu z odpadních vod. Výzkumy ukázaly, že v optimálních podmínkách lze tímto způsobem odstranit až 62 % estrogenní aktivity. Studie tak naznačují, že LED světlo může být slibným nástrojem pro čištění odpadních vod obsahujících estrogenu. (Adeel, et. al., 2017)

Ačkoli metody jako fotokatalýza a foto-Fentonova reakce nabízejí efektivní způsoby rozkladu estrogenů, významnou roli při odbourávání těchto látek v přírodním prostředí hrají také biologické procesy, které zajišťují mikroorganismy.

6.1.2 Mikrobiální degradace estrogenních sloučenin

Stále více pozornosti se dostává biodegradaci, což je proces, při kterém bakterie a houby pomáhají rozkládat škodlivé chemikálie, které narušují hormony, a další znečišťující látky v přírodě. Je to klíčový způsob, jakým se tyto látky v životním prostředí přirozeně odbourávají. V posledních letech se vědci hodně zabývali tím, jak různé mikroorganismy

dokážou rozložit chemikálie narušující endokrinní systém. Například bílé hnilobné houby dokážou velmi účinně rozložit EE2 (17 α -ethinylestradiol). Zjistili, že houby myceliophora teplomilná a hřib křovák i při velmi nízkých koncentracích účinně odstraňují estrogeny a hormony. (Adeel, et. al., 2017)

Pro nepřetržité odstraňování estrogenů E1 a E2 byl vytvořen enzymatický membránový reaktor, který využívá komerční lakázu z houby myceliophora teplomilná. Tento systém dosáhl vysoké účinnosti degradace, která se pohybovala mezi 64 a 100 %. Díky tomu se estrogenní aktivita ve vodě snížila o více než 95 %. (Adeel, et. al., 2017)

Mikroorganismy by mohly být účinnou volbou pro úpravu odpadních vod a pro odstraňování hormonů, jako jsou estrogeny. Tyto metody by měly efektivně pomáhat snižovat množství léků a dalších škodlivin ve vodě, čímž by se chránilo životní prostředí. (Adeel, et. al., 2017)

Kvůli složitosti a množství estrogenních sloučenin je nutné vyvinout efektivní metody na jejich odstranění z vody. Je potřeba provést další výzkum, aby se našly pokročilé oxidační postupy, které budou užitečné v průmyslu. (Adeel, et. al., 2017)

Kromě technologických řešení pro odstraňování estrogenů z vody se nabízí i možnost omezit jejich vstup do životního prostředí prostřednictvím změny používaných produktů, jako jsou antikoncepční metody.

6.2 Využití ekologicky šetrnějších antikoncepčních metod

Jedním z klíčových způsobů, jak omezit množství estrogenů v životním prostředí, je snížit jejich produkci – například prostřednictvím ekologicky šetrnějších antikoncepčních metod. Existují metody, které nezahrnují estrogeny.

Nejvíce účinná ale zároveň nevratná metoda zabraňující otěhotnění je sterilizace. Jedná se o lékařský postup, kdy u žen dojde k uzavření nebo přerušení vejcovodů. Tím se zabrání tomu, aby vajíčko putovalo do dělohy a mohlo být oplodněno spermií. U mužů Sterilizace jde o vasektomii neboli zákrok, při kterém lékař přeruší nebo zablokuje chámovody neboli trubičky, kterými putují spermie. Tím se zabrání spermiím dostat se do ejakulátu. (Howard, Benhabbour, 2023)

Dlouhodobé metody pro ženy, které plánují v budoucnu otěhotnět, zahrnují například nehormonální nitroděložní tělíčko. Měděné nitroděložní tělíčko je obvykle vyrobeno z polyethylenu ve tvaru „T“ a obalené měděným drátkem. Je schválené k použití na 5–10 let a jedná se o spolehlivou metodu antikoncepce. Uvolněné ionty mědi vyvolávají v děloze zánětlivou reakci, která brání pohybu a přežití spermií. Tento účinek nastupuje rychle, takže měděné tělíčko je účinné hned po zavedení. (Howard, Benhabbour, 2023)

Dalším antikoncepčním způsobem mohou být spermicidy, které fungují jako chemické bariéry proti oplodnění tím, že obsahují látky škodlivé pro spermie. Bývají dostupné v různých formách, jako jsou krémy, gely, filmy nebo čípky, a většina z nich obsahuje látku, která narušuje membrány spermií, což je znehybňuje a nakonec zabíjí. Nově schválený antikoncepční gel Phexxi také brání otěhotnění tím, že udržuje kyselé prostředí v pochvě, což zabraňuje spermiím přežít. Spermicidy mají při správném používání 70-80% účinnost. (Howard, Benhabbour, 2023)

Antikoncepční metody, které také chrání před pohlavně přenosnými nemocemi, jsou kondomy, diafragmy, houby a cervikální čepice. Mužský kondom, externě nošené pouzdro obvykle vyrobené z latexu, patří mezi nejvíce používané metody nehormonální antikoncepce, zřejmě díky své jednoduchosti, nízké ceně a široké dostupnosti. Mužské kondomy mají při běžném používání poruchovost asi 15 %. Diafragmy, houby a cervikální čepice vytvářejí mechanickou překážku, jež brání spermiím v proniknutí do děložní dutiny, a tím snižují riziko těhotenství. Jedná se tedy o metody fyzické bariéry používané ženami. (Howard, Benhabbour, 2023)

Další přístup k antikoncepci se zaměřuje na identifikaci plodných a neplodných dní v menstruačním cyklu ženy. Tato metoda zahrnuje sledování různých příznaků ovulace a plodnosti skrz změny tělesné teploty, sledování hlenu a zaznamenávání délky menstruačního cyklu pro předpověď ovulace. Metoda sledování plodnosti je přírodní způsob, jak sledovat plodnost, a i když může být účinná, není zcela bez rizika, zejména pokud se nedodrží správné postupy. (Howard, Benhabbour, 2023)

6.2.1 Zodpovědnější likvidace farmaceutických odpadů

Dalším klíčovým aspektem pro ochranu životního prostředí před touto problematikou byla efektivnější správa farmaceutických odpadů. Regulační orgány farmaceutického

průmyslu musí zajistit, že jsou pravidelně monitorovány a prosazovány zákony, které upravují likvidaci těchto odpadů, s cílem minimalizovat jejich negativní dopad na životní prostředí. Centrální úřad pro kontrolu znečištění (CPCB) a státní výbory pro kontrolu znečištění (SPCB), které vycházejí z právního rámce stanoveného v zákonech o vodě z let 1974 a 1977, hrají klíčovou roli v monitorování a regulaci farmaceutického průmyslu. Tyto orgány mají pravomoc vyměřovat pokuty či daně uživatelům vody, kteří nedodržují předpisy týkající se likvidace farmaceutických odpadů. Centrální úřad pro kontrolu znečištění vydal minimální národní přijatelné normy, na jejichž základě jsou SPCB povinny uplatňovat zákony a normy týkající se farmaceutického průmyslu. V případě porušení těchto předpisů mají SPCB široké pravomoci, včetně možnosti přerušit dodávky elektřiny a vody do podniku či dokonce uzavření provozu, a to v souladu s veřejným zájmem a právními předpisy. Tato opatření mají za cíl ochránit životní prostředí a zajistit soulad s regulačními standardy v oblasti ochrany přírody. (Aswal et. al., 2016)

6.2.2 Vzdělávání veřejnosti

Abychom se se znečištěním léčiv vypořádali, je vhodné zvážit opatření již u zdroje. To může zahrnovat optimalizaci používání léků, což by mohlo snížit jejich nadměrnou spotřebu a následné vylučování do životního prostředí. Dále by bylo vhodné upřednostňovat vývoj a používání léků s nižším ekologickým dopadem, ať už z hlediska výroby či jejich rozkladu v přírodě. Rovněž by se mohlo hledat řešení ve vývoji léčiv s vyšší biologickou odbouratelností, což by pomohlo minimalizovat jejich akumulaci v životním prostředí. Důležité je také zvýšit úroveň osvěty a vzdělávání jak zdravotníků, tak široké veřejnosti o správném užívání léků a jejich dopadu na životní prostředí. Informovaní jednotlivci by mohli lépe pochopit důležitost prevence znečištění léčiv a přijmout opatření k jeho omezení. (Jevtić, et. al., 2022)

Kromě toho by měla být posílena koordinace a spolupráce mezi obory ekologie a zdravotnictví. Tato interdisciplinární spolupráce by umožnila lépe porozumět dopadům znečištění léčiv na životní prostředí i lidské zdraví a efektivněji vyvíjet a implementovat opatření k ochraně obou oblastí. Zlepšení komunikace a sdílení informací mezi těmito obory může vést k výraznějším pokrokům v prevenci a snižování dopadů znečištění léčiv. (Jevtić, et. al., 2022)

Závěr

Hormonální antikoncepce (HA) je významným prvkem moderního zdravotnictví a reprodukčního zdraví žen. Přináší řadu výhod, včetně prevence nežádoucího těhotenství a léčby menstruačních poruch, ovšem její vliv na životní prostředí se stává čím dál tím důležitější otázkou. V rámci této bakalářské práce jsme analyzovali komplexní problematiku hormonální antikoncepce, její fungování, způsoby, jakými se dostává do životního prostředí, a její ekologické dopady.

První část práce je zaměřena na motivaci žen k užívání hormonální antikoncepce. Důvody pro její užívání jsou rozmanité a zahrnují jak zdravotní, tak sociální faktory. Mnoho žen užívá HA nejen jako prostředek k prevenci těhotenství, ale také k regulaci menstruačního cyklu, zmírnění menstruačních bolestí a léčbě hormonálních poruch. Tímto způsobem HA hraje klíčovou roli v kvalitě života žen a jejich schopnosti plánovat rodinu.

Dále bakalářská práce přibližuje mechanismus účinku hormonální antikoncepce, která inhibuje ovulaci a mění strukturu děložní sliznice, což zabraňuje implantaci oplodněného vajíčka. Hormonální antikoncepce tedy obsahuje účinné látky, jako jsou estrogeny a progestiny. Tyto látky mohou mít negativní dopady na životní prostředí.

Zatímco hormonální antikoncepce přináší výhody, její uvolnění do životního prostředí představuje vážný problém. Hlavní cestou, jak se tyto hormony dostávají do životního prostředí, je přes odpadní vody. Práce se zabývá čistírnami odpadních vod a jejich schopnostmi tyto kontaminanty odstranit. Zatímco některé čistírny využívají technologie, jako je aktivní uhlí nebo ozonizace, mnoho z nich není dostatečně vybaveno na to, aby zajistily úplné odstranění hormonálních látek. To vede k tomu, že zbytkové hormony pronikají do vodních toků a ekosystémů, kde mohou mít negativní dopady na faunu i flóru.

Ekologické dopady hormonální antikoncepce na životní prostředí jsou závažné a mnohvrstevné. Endokrinní disruptory, které se dostávají do životního prostředí právě i vlivem hormonální antikoncepce, mohou narušovat hormonální rovnováhu u mnoha druhů živočichů. Důsledky expozice těmto látkám mohou zahrnovat změny v reprodukčním chování, pokles plodnosti, a dokonce i změny ve vývoji organismů.

Například u ryb byly zaznamenány změny v pohlaví a snížení reprodukčních schopností. Tím se potvrzuje, že chemikálie, které jsou běžně používány v HA, mají potenciál měnit biologické procesy u různých živočichů.

Dalším závažným problémem, který práce zkoumá, je vliv hormonální antikoncepce na lidskou populaci.

V rámci právních a regulačních aspektů se došlo k závěru, že stávající normy a legislativa často nedokážou adekvátně reflektovat komplexní dopady hormonální antikoncepce na životní prostředí. Je nutné přehodnotit a přizpůsobit právní rámec tak, aby zahrnoval environmentální aspekty a ochránil ekosystémy před negativními vlivy farmaceutických produktů. Efektivní legislativa by mohla zahrnovat povinnosti pro výrobce, aby zahrnovali environmentální posouzení ve svých procesech, a mohlo by dojít ke zvýšení investic do výzkumu a vývoje technologií, které by účinněji odstraňovaly hormonální látky z odpadních vod.

Možnosti snižování vlivu hormonální antikoncepce na životní prostředí se ukazují jako důležité a nezbytné. Výzkum by měl směřovat k efektivnímu odstranění hormonálních látek z odpadních vod a k implementaci udržitelných strategií, které minimalizují negativní dopady na životní prostředí. Mezi možné přístupy patří rozvoj inovativních technologií čištění, jako jsou pokročilé oxidační procesy a biologické metody založené na enzymatických reakcích, které by mohly efektivněji degradovat hormonální látky.

V budoucnu by měla být věnována pozornost také vzdělávání a informovanosti veřejnosti o problematice hormonální antikoncepce a jejím vlivu na životní prostředí. Vyšší povědomí by mohlo podpořit odpovědné užívání HA a její bezpečné nakládání, včetně řádného vyhazování nevyužitých či prošlých přípravků. Spolupráce mezi zdravotnickými a ekologickými odborníky bude klíčová pro dosažení rovnováhy mezi zdravím a ochranou přírody.

Závěrem lze říci, že hormonální antikoncepce zůstává důležitým nástrojem pro zajištění reprodukčního zdraví, ale je nezbytné brát v úvahu i její ekologické důsledky. S ohledem na rostoucí obavy o životní prostředí je klíčové pokračovat ve výzkumu, vývoji a implementaci řešení, která umožní snížit negativní vliv HA na životní prostředí a přispět tak k udržitelné budoucnosti. Toto úsilí si žádá interdisciplinární přístup, který

zahrnuje spolupráci různých odborníků a institucí, a zároveň zahrnuje i aktivní zapojení společnosti jako celku.

Seznam literatury a internetových zdrojů

Abdalla, F. C., Boeing, G. A. N. S., Carvalho, T., Costa, M. J., Oliviera, C. R., Prado, J., Rebouças, R., Ribeiro, L. P., Salla, R. F., Toledo, L. F., Tsukada, E., 2024 [Estrogen contamination increases vulnerability of amphibians to the deadly chytrid fungus](#). Science of The Total Environment. Brazil. Universidade Estadual de Campinas

Abusam, A., Al-Jandal N., Saeed T., 2022 [Fate of estrogens in Kuwaiti municipal wastewater treatment plants](#). Desalination and Water Treatment. Water Research Centre. Kuwait Institute for Scientific Research

Adeel, M., Awad Y. A., Barceló, D., Bilal, M., Iqbal, H. M. N., Rizwan, K., 2022 [Robust strategies to eliminate endocrine disruptive estrogens in water resources](#). Environmental Pollution. China. School of Life Science and Food Engineering

Adeel, M., Song X., Wang Y., Francis D., Yang Y., 2017 [Environmental impact of estrogens on human, animal and plant life: A critical review](#) Environment International. Shenyang, China. Ministry of Education

Adolfi, M. C., Depincé A., Herpin A., Pan Q., Wen M., 2023 [Development of Ovaries and Sex Change in Fish: Bringing Potential into Action](#) Sexual Development 17, 84-98

Aït-Aïssa S., Brack W, Brion F, Budzinski H, Chardon C., Budzinski H, Serra H, Schulze T., 2020 [Estrogenic activity of surface waters using zebrafish- and human-based in vitro assays: The Danube as a case-study](#). Environ Toxicol Pharmacol

Akashi H., Hiroshi A., Masuda S., Miyaoku K., Miygawa S., Toyota K., Sugita S., Yamagishi G. 2020 [Estrogen Receptor 1 \(ESR1\) Agonist Induces Ovarian Differentiation and Aberrant Müllerian Duct Development in the Chinese Soft-shelled Turtle, Pelodiscus sinensis](#) Zoological studies 59

Amin, M. M., Hashemi, H., Mohammadi, A., 2013 [A review on wastewater disinfection](#) International Journal of Environmental Health Engineering. 2, 1-9

Araújo, R. G., Barceló D., Iqbal H. M. N., Sosa-Hernández J. E., López-Pacheco I. Y., Rodríguez-Hernández J. A., Rodas-Zuluaga L. I., González-González R. B., Parra-Arroyo L., Melchor-Martínez E. M., Martínez-Ruiz M., Pastrana L. M., Parra-Saldívar R. 2022. [Environmental persistence, detection, and mitigation of endocrine disrupting contaminants in wastewater treatment plants – a review with a focus on tertiary treatment technologies](#) Tecnológico de Monterrey, School of Engineering and Sciences, Monterrey, Mexico. October. Environmental Science: Advances

Arendt M. D, Braun-McNeill J., Corniuk R. N., Kucklick J. R., Lynch J. M., McClellan-Green P. D., Owens D. W., Valverde R. A., 2023 [Using Plasma Vitellogenin in Loggerhead Sea Turtles to Assess Reproductive Maturation and Estrogen-Like Contaminant Exposure](#). Environ. Toxicol. Chem. 42, 1309-1325

Asturiano, J. F., Baloche, S., Dufour S., Lafont A. G., Maugars, G., Morini M., Pérez, L., 2020 [Identification and stable expression of vitellogenin receptor through vitellogenesis in the European eel](#). Animal 14, 1213-1222

Aswal, R., Dobhal, R., Chander V., Negi V., Sharma, B., Singh P., Singh R., 2016 [Pharmaceutical compounds in drinking water](#). Journal of Xenobiotics, 6, 1-7

Awasthi, M., Chang, S., Chozhavendhan, S., Manikandan, S., Karmegam, N., Karthigadevi, G., Ravindran, B., Subbaiya, R., 2021. [Chemico-nanotreatment methods for the removal of persistent organic pollutants and xenobiotics in water - A review](#). March. Bioresource technology

Babic S., Perisa M., 2016 [Pharmaceuticals in the Environment](#). Kemija u industriji, 65, 471-482

Baccari, G. C., Di Fiore M. M., Falvo S., Santillo, A., Rosati L., 2021 [The Aromatase-Estrogen System in the Testes of Non-Mammalian Vertebrates](#) Animals

Baker M., Katsu Y., 2020 [Progesterone: An Enigmatic Ligand for the Mineralocorticoid Receptor](#) Biochemical Pharmacology. Preprints 2020, 2020010231

Baranov O., Déon S., Fiévet D., Korzhova E., Koubaa Z., Lopatin D., 2020 [Modification of commercial UF membranes by electrospray deposition of polymers for tailoring physicochemical properties and enhancing filtration performances](#) Institut UTINAM. France. Université de Bourgogne-Franche-Comté

Benešová T., 2023 [Léčiva v pitné vodě a jejich odstraňování](#) Ústav pro životní prostředí, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova

Bert B., Dulio V., Harmsen, J., Hollender J., Koschorreck J., Lundén, E. B., Schlabach M., Slobodnik J., Thomas K., 2018 [Emerging pollutants in the EU: 10 years of NORMAN in support of environmental policies and regulations](#) Environmental Sciences Europe volume 30, 5

Besselink, H., Fischer S., Kienle C., Langer M., Lüthi Ch., McArdell Ch. S., Schifferli A., Vermeirssen E. L. M., Werner I., 2022 [Evaluation of a full-scale wastewater treatment plant with ozonation and different post-treatments using a broad range of in vitro and in vivo bioassays](#). Water Research. Switzerland. Swiss Centre for Applied Ecotoxicology

Beyrem, H., Clair P., Cubedo N., Harrath A. H., Lafon P., Mezni A., Nasri A., Perrier V., Rossel M., Wahbi A., 2021 [Ethinylestradiol \(EE2\) residues from birth control pills impair nervous system development and swimming behavior of zebrafish larvae](#). Science of The Total Environment, Tunisia, Faculty of Sciences of Bizerte, University of Carthage

Bila M. D., Carvalho, D. G., Fonseca E. M., Freitas A. S., Hauser-Davis R. A., Nascimento M. T. L., Neto J. A. B., Santos, A. D. O. 2023 [The evolution of endocrine disruptor chemical assessments worldwide in the last three decades](#) Marine Pollution Bulletin

Bin W., Feng L., Gang Y., Xiaolin L., 2023 [Occurrence and Removal of Pharmaceutical Contaminants in Urine: A Review](#) Suzhou, China. School of Environmental Science and Engineering

Blanchfield, P. J., Evans, R. E., Flick, R. W., Kidd K. A., Lazorchak J. M., Mills K. H., Palace V. P., 2007 [Collapse of a fish population after exposure to a synthetic estrogen](#) 104, 8897-8901

Boniek G. V., Brito, L. B., Gil E. S., Rodrigues de Oliveira G. A., Rodrigues M., F., Germán S. L., Morais R. L.; Garcia, L. F, Moreno, E. K. G., Thomaz D. G., Rodrigues L. B., [Electrochemical remediation of industrial pharmaceutical wastewater containing hormones in a pilot scale treatment system](#). Eclética Química 44, 45-57

Borgert, Ch. J., Dietrich, D., Nohynek, G. J., Rozman, K. K., 2013 [Endocrine disruption: Fact or urban legend?](#) Toxicology Letters, roč. 223, 295-305

Bourguignon J, Giudice L. C., Gore A. C., Diamanti-Kandarakis E., Hauser R., Soto, A. M., Prins G. S., Zoeller T. 2009 [Endocrine-Disrupting Chemicals: An Endocrine Society Scientific Statement](#) Endocrine Reviews 4, 293–342

Bradley J. P., Kidd Karen, 2009 [Effects of the synthetic estrogen ethinylestradiol on early life stages of mink frogs and green frogs in the wild and in situ](#). Environmental Toxicology and Chemistry 24, 1837-2105

Braga, O. C., Santos K. D., Spinelli A., Vieira I. C., 2010 [Electroanalytical determination of estriol hormone using a boron-doped diamond electrode](#) Brazil. March. Grupo de Estudos de Processos Eletroquímicos e Eletroanalíticos

Brückner I., Dolny R., Hollert H., Oster S., Linnemann V., Shuliakovich A, , Schiwy S., Pinnekamp J., Wolf Y., 2022 [Improvement of wastewater and water quality via a full-scale ozonation plant? - A comprehensive analysis of the endocrine potential using effect-based methods](#). Science of The Total Environment. Germany. Department of Ecosystem Analysis. University Aachen

Cai-Yun, J., Heng-Yi S., Chic-Chieh, Ch., Chien-Wei, Ch., Fu-Kong, L., Kai-Lee, W., Tsung-Hsien, K., Shih-Min, S., Paulus S. W., Shyi-Wu W. 2020 [Downregulation of testosterone production through luteinizing hormone receptor regulation in male rats exposed to 17 \$\alpha\$ -ethynylestradiol](#) Scientific Reports 1576

Carson, R., 2000 *Silent spring*. London: Penguin Books

Ciślak, M., Ginter-Kramarczyk, D., Kruszelnicka, I., Zembruska J., 2023 [Estrogen pollution of the European aquatic environment: A critical review](#) Water Research, Poland, Poznan University of Technology

Colborn, T., Clement C., 1992 *Chemically-induced alterations in sexual and functional development*. Princeton Scientific Publication

Colborn, T., Dumanoski, D., Mayers, J. P., 1996 *Our Stolen Future*. Penguin Publishing Group

Cooper D. B, Patel P. 2024 [Oral Contraceptive Pills](#), Treasure Island, Florida, LSU Health Center

Cram, R. A., Lawrence, J. M., Dzieweczynski, T. L. [Mating under the influence: male Siamese fighting fish prefer EE2-exposed females](#). Ecotoxicology 28, 201–211

Crisanto-Perrazo, T., Guerrero-Gualan, D., Toulkeridis, T., Valdez-Castillo, E., 2023 [Methods of Removal of Hormones in Wastewater](#). Ecuador. Department of Earth Sciences and Construction, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

Dewangan, S., Dhurve, M., Dhruw S., Jain M., Jaiswal S., Pandey S. K., 2023 [Case study on sewage treatment plant](#) Durg, Chhattishgarh, India. International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science

Dierkes G., Schlüsener M. P., Tiernes, T. A., Weizel, A., Wick A., 2021 [Fate and behavior of progestogens in activated sludge treatment: Kinetics and transformation products](#). Water Research. Germany. Federal Institute of Hydrology, Department of Aquatic Chemistry

Dorobisz, K., Cholewińska, Podobiński, P., Smoliński J., Wojnarowski, K., 2021 [Impact of Estrogens Present in Environment on Health and Welfare of Animals](#). Animals 11, 2152

Druga, R., Grim, M., Naňka O., 2022. *Základy anatomie*. Druhé vydání, Nakladatelství Galén Praha

EKOTOX CZ, Ekotoxikologické centrum. 2024. Chemická strategie pro udržitelnost <https://ekotox.cz/css-chemicka-strategie-pro-udrzitelnost/>

ESIPA, 2020 Zákony online, vyhlášky, nařízení vlády a jiné právní předpisy <https://esipa.cz/sbirka/sbsrv.dll/sb?DR=SB&CP=32020L2184>

EUR-lex, 2020, An official website of the European <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0761>

Fenton S. E, Flaws J. A., Gore, A. C., Chappell V. A., Nadal A., Prins G. S., Toppari J., Zoeller R. T., 2015 [The Endocrine Society's Second Scientific Statement on Endocrine-Disrupting Chemicals](#). *Endocrine Reviews* Endocrine Society

Gerba, Ch. P., Pepper, I. L., 2009 [Chapter 24 - Wastewater Treatment and Biosolids Reuse](#) Environmental Microbiology (Second Edition) 58, 503–530

Grabic R., Grabicová, K., Randák, T. 2021 [Léčiva a další psychoaktivní látky ve vodním prostředí](#). Faculty of Fisheries and Protection of Waters. České Budějovice. University of South Bohemia in České Budějovice

Howard, S. A., Benhabbour, S. R, 2023 [Non-Hormonal Contraception](#), Journal of Clinical Medicine, Division of Pharmacoengineering and Molecular Pharmaceutics, University of North Carolina at Chapel Hill

Hye L. K., Jong-Il W. a Yang, O Young R. S. 2015 [Endocrinedisrupting Chemicals: Review of Toxicological Mechanisms Using Molecular Pathway Analysis](#). Journal of Cancer Prevention 1, 12-24

Chang H., Wan Y., Wu S., Fan Z., Hu J., 2011 [Occurrence of androgens and progestogens in wastewater treatment plants and receiving river waters: Comparison to estrogens](#). Water Research. China. College of Urban and Environmental Sciences, Peking University

Chang, H., Shao B., Shen X., Sun F., Wu F., 2019 [Occurrence and mass balance of sixty-two progestins in a municipal sewage treatment plant](#). Water Research. China. College of Environmental Sciences & Engineering, Beijing Forestry University

Jabłońska-Trypuć, A., Luarasi, L., Wołejko, E., Wydro, U., Puto, K., Tarasevičienė, Ž., 2023 [A Review on Pharmaceuticals and Personal Care Products Residues in the Aquatic Environment and Possibilities for Their Remediation. Sustainability](#). Białystok, Poland. Department of Chemistry, Biology and Biotechnology

Jentsch, V. L., Pötzl L., Wolf, O. T., Merz, Ch. J. 2022 [Hormonal contraceptive usage influences stress hormone effects on cognition and emotion](#). Frontiers in Neuroendocrinology. October. Bochum, Germany. Department of Cognitive Psychology

Jevtić, M., Kusturica M. P., Ristovski J. T., 2022 [Minimizing the environmental impact of unused pharmaceuticals: Review focused on prevention](#) Faculty of Medicine. Serbia. University of Novi Sad

Jobling S., Notes, A., Tyler C. S., 2008 [Roach, Sex, and Gender-Bending Chemicals: The Feminization of Wild Fish in English Rivers](#) BioScience 58, 1051-1059

Johnson, A. C., Sumpter J. P., 2005 [Lessons from Endocrine Disruption and Their Application to Other Issues Concerning Trace Organics in the Aquatic Environment](#) Environmental Science & Technology 39, 12

Johnson, Sumpter, 2008 10th [Anniversary Perspective: Reflections on endocrine disruption in the aquatic environment: from known knowns to unknown unknowns \(and many things in between\)](#) Journal of Environmental Monitoring. Institute for the Environment. Uxbridge. Brunel University

Joshi S, Kumari A., 2023 [Ozonation and its Application in Wastewater Treatment](#) India. Chemical Engineering Department, Thadomal Shahani Engineering College

Kaushik G., Sharma K., Thakur I. S., 2021 [Occurrence and distribution of pharmaceutical compounds and their environmental impacts: A review](#) Bioresource Technology Reports. India. Department of Environmental Science, Central University of Rajasthan

Kiran A., Kumar A., Mohan, S., Sarma P. N., Venkata, S. 2009 [Sorptive removal of endocrine-disruptive compound \(estriol, E3\) from aqueous phase by batch and column studies: Kinetic and mechanistic evaluation.](#) Journal of Hazardous Materials 164, 820-828.

Kuklíková Š., 2014 [Monitorování osudu farmaceutických látek v procesu čištění odpadních vod.](#) Přírodovědecká fakulta, Masarykova Univerzita

Maciorowski A., Timm G., 1999 [Endocrine Disruptor Screening and Testing : The U. S. Approach](#) Environmental Science

Miyagawa, S., Sato, T., Iguchi T., 2021 [Subchapter 129E - 17 \$\alpha\$ -Ethinylestradiol](#) Comparative Endocrinology for Basic and Clinical Research. Tokyo, Japan. Department of Biological Science and Technology

Nakamura, M., 2008 [Sex determination in amphibians](#) Seminars in Cell & Developmental Biology 20, 271-282

Nhgiem, L. D., Schäfer A. I., Waite T. D., 2002 [Removal of the Natural Hormone Estrone from Aqueous Solutions Using Nanofiltration and Reverse Osmosis](#) Environ. Sci. Technol. 2003, 37, 1, 182–188

Olutona, G. O., Sanusi I. O., Watawa, I. G. 2023 [Occurrence, environmental impact and fate of pharmaceuticals in groundwater and surface water: a critical review](#) Environ Sci Pollut Res 30, 90595–90614

Petersen, C. W., 1987 [Reproductive behaviour and gender allocation in *Serranus fasciatus*, a hermaphroditic reef fish](#), Animal Behaviour 35, 1601-1614

Rodprasert W., Toppari J., Virtanen H., 2021 [Endocrine Disrupting Chemicals and Reproductive Health in Boys and Men](#) Frontiers in Endocrinology. Finland. Department of Pediatrics, Turku University Hospital

Roe, H. A., Bartz, A. D., Douglas S. P., 2024 [Combined estrogen-progestin contraception: Side effects and health concerns.](#)

Rogowska, J., Zimmermann, A., 2022 [Household Pharmaceutical Waste Disposal as a Global Problem—A Review.](#) Gdańsk, Poland. International Journal of Environmental Research and Public Health

Rocha, E., Rocha M. J., 2022 [Synthetic Progestins in Waste and Surface Waters: Concentrations, Impacts and Ecological Risk](#) Toxics 10, 163

Skripta 2.P65 [Nervová soustava](#). 2005. Brno, Česká republika. Masarykova Univerzita

Stiefel, C., Stintzing, F., 2023 [Endocrine-active and endocrine-disrupting compounds in food – occurrence, formation and relevance](#) NFS Journal 31, 57-92

Sumpter, J. P. 1995 [Feminized responses in fish to environmental estrogens](#). Toxicology Letters 82-83

Torres, N. H., Santos, G. de O. S., Ferreira, L. F. R., Américo-Pinheiro, J. H. P., Eguiluz, K. I. B., Salazar-Banda G. R., 2021 [Environmental aspects of hormones estriol, 17 \$\beta\$ -estradiol and 17 \$\alpha\$ -ethinylestradiol: Electrochemical processes as next-generation technologies for their removal in water matrices](#). Chemosphere. March. Brazil. Institute of Technology and Research

Tronson, N. C., Schuh, K. M. 2022. [Hormonal contraceptives, stress, and the brain: The critical need for animal models](#). Frontiers in Neuroendocrinology, October. Ann Arbor, MI, USA: Department of Psychology, University of Michigan

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY U PŘÍLOH

GlobeNews Wire 2023 [Hormonal Contraceptives Market To Reach USD 24.6 billion by 2032 | North America Dominates with 37.5% of the Market Share](#)

