



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV PROCESNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF PROCESS ENGINEERING

RECYKLACE ODPADNÍCH VOD Z MASNÉHO PRŮMYSLU

RECYCLING OF WASTEWATER FROM MEAT INDUSTRY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Píža

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Mgr. Ing. Marek Vondra, Ph.D.

BRNO 2024

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav procesního inženýrství
Student: **Jan Píža**
Studijní program: Základy strojního inženýrství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Mgr. Ing. Marek Vondra, Ph.D.**
Akademický rok: 2023/24

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Recyklace odpadních vod z masného průmyslu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Snaha snižovat dopad lidské činnosti na přírodu a být maximálně efektivní při využívání přírodních zdrojů motivuje výzkumné organizace k hledání nových a účinnějších technologií pro zpracování průmyslových odpadních vod. Hlavní pozornost je nyní upřena na recyklaci vody a záchyt a zpětné využití vybraných odpadních látek. Potravinářský průmysl patří k významným spotřebitelům vody a producentům vod odpadních. Tato práce bude zaměřena na konkrétní potravinářský segment, a to zpracování masa a výrobu masných produktů.

Práce by měla poskytnout základní přehled o dostupných recyklačních technologiích ve zvolené oblasti a popsat jejich výhody a nevýhody.

Cíle bakalářské práce:

1. Rešerše k vybrané průmyslové odpadní vodě – původ, množství, hlavní producenti, typické znečištění, povinnosti provozovatelů
2. Rešerše metod a technologií pro zpracování a recyklaci odpadní vody
3. Koncepční návrh recyklační linky pro zvolený modelový provoz a její základní bilance

Seznam doporučené literatury:

VAL DEL RÍO, Á., A. MOSQUERA CORRAL a J. L. CAMPOS GÓMEZ. Technologies for the treatment and recovery of nutrients from industrial wastewater. Hershey: IGI Global, Disseminator of Knowledge, 2017, xxiii, 390 stran. ISBN 978-1-5225-1037-6.

SUÁREZ MARTÍNEZ, S. a J. M LEMA RODICIO. Innovative Wastewater Treatment & Resource Recovery Technologies: Impacts on Energy, Economy and. London: IWA Publishing, 2017, xxxviii, 650 stran. ISBN 978-1-78040-786-9.

PHILIPP, M.; MASMOUDI J.K.; WELLMANN; AKROUT, H.; BOUSSELMI, L.; GEISSEN, S.-U. Slaughterhouse Wastewater Treatment: A Review on Recycling and Reuse Possibilities. Water 2021, 13, 3175. <https://doi.org/10.3390/w13223175>

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2023/24

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Petr Stehlík, CSc., dr. h. c.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Motivací této práce je poskytnout čtenáři náhled do problematiky recyklace odpadních vod s bližším zaměřením na odpadní vody z masného průmyslu. Práce rozebírá problematiku odpadních vod v ČR, včetně legislativy a povinností znečišťovatelů, statistiky produkce a konzumace masa v ČR, což čtenáři poskytuje představu o stavu odpadních vod. Hlavní část práce je věnována recyklaci a čištění odpadních vod. Důkladněji jsou rozebrány konvenční metody čištění odpadních vod. Práce dále rozebírá provedené studie čištění odpadních, které kombinují výše rozebrané konvenční metody, včetně jejich největších výhod a nevýhod. Poslední část je věnována koncepčnímu návrhu recyklační linky pro vybranou odpadní vodu na základě rozebraných studií. Návrh kombinuje elektrokoagulaci, ultrafiltraci a reverzní osmózu, které se na základě provedených studií jeví jako způsob recyklace odpadních vod s vysokým potenciálem.

Klíčová slova:

Odpadní vody, masný průmysl, recyklace odpadních vod, koncepční návrh recyklační linky

ABSTRACT

The motivation of this work is to provide the reader with an insight into the issue of wastewater recycling, with a closer focus on wastewater from the meat industry. The thesis discusses the issue of wastewater in the Czech Republic, including legislation and obligations of polluters, statistics of meat production and consumption in the Czech Republic, which gives the readers an idea of the state of wastewater. The main part of the work is devoted to wastewater recycling and purification. Conventional methods of wastewater treatment are thoroughly analyzed. Furthermore, the thesis examines conducted studies of wastewater treatment, which combine the aforementioned conventional methods, including their major advantages and disadvantages. The final section is dedicated to the conceptual draft of a recycling line for selected wastewater based on the discussed studies. The draft combines electrocoagulation, ultrafiltration, and reverse osmosis, which, according to conducted studies, appear to be a way of wastewater recycling with high potential.

Key words:

Wastewater, meat industry, wastewater recycling, conceptual draft of a recycling line

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PÍŽA, Jan. *Recyklace odpadních vod z masného průmyslu* [online]. Brno, 2024 [cit. 2024-05-06]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/157121>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav procesního inženýrství. Vedoucí práce Marek Vondra.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji tímto, že jsem rešeršní práci na téma **Recyklace odpadních vod z masného průmyslu** vypracoval(a) samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....
Datum

.....
Jan Píža

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé práce Ing. Marku Vondrovi, Ph.D., za vedení mé bakalářské práce, vstřícný přístup a jeho cenné poznámky a rady během vypracovávání práce. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině a přátelům za veškerou podporu v průběhu studia.

OBSAH

ÚVOD.....	10
1 Odpadní vody z potravinářského průmyslu.....	10
1.1 Složení jednotlivých vod z potravinářského průmyslu.....	10
2.1 Povinnosti znečišťovatelů odpadních vod.....	12
2.1.1 Vodní zákon.....	12
2.1.2 Nařízení vlády č. 401/2015.....	12
2.2 Integrovaný registr znečištění.....	13
3 Odpadní vody z masného průmyslu.....	14
3.1 Masný průmysl v ČR.....	14
3.2 Největší znečišťovatelé odpadních vod z masného průmyslu v ČR.....	14
3.2.1 Odpadní vody z výroby uzenin.....	15
3.2.2 Odpadní vody z jatek.....	16
3.2.3 Odpadní vody z výroby paštik.....	17
3.3 Shrnutí masného průmyslu v ČR.....	18
4 Recyklace odpadních vod z masného průmyslu.....	19
4.1 Čištění odpadních vod z masného průmyslu.....	19
4.1.1 Fyzikálně chemické čištění.....	19
4.1.2 Biologické čištění.....	21
4.1.3 Pokročilý proces oxidace.....	22
4.2 Studie recyklace odpadních vod z masného průmyslu.....	22
4.2.1 Kombinace DAF a bioreaktoru se submerzní membránou.....	23
4.2.2 Kombinace centrifugy, ultrafiltrace a reverzní osmózy/nanofiltrace.....	23
4.2.3 Přepážkový anaerobní reaktor, aerobní reaktor a AOP.....	24
4.2.4 Bioreaktor s aktivním kalem a ozonizace.....	25
4.2.5 Mikrobiální palivové články a elektro-Fentonové systémy.....	26
4.2.6 Ultrafiltrace s dopřednou a reverzní osmózou.....	27
4.2.7 Shrnutí recyklačních studií.....	29
5 Koncepční návrh recyklační linky pro vybranou odpadní vodu.....	32
5.1 Požadavky modelového provozu.....	32
5.2 Návrh recyklační linky.....	32
5.3 Bilance linky.....	33
5.3.1 Předčištění pomocí elektrokoagulace.....	33
5.3.2 Čištění ultrafiltrací.....	34
5.3.3 Čištění reverzní osmózou.....	34
5.3.4 Retentát.....	35
5.3.5 Provozní náklady.....	35
5.4 Diskuze o koncepčním návrhu.....	36
ZÁVĚR.....	37
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	39
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	42
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	44
SEZNAM TABULEK.....	45
SEZNAM PŘÍLOH PRÁCE.....	46

ÚVOD

V důsledku růstu světové populace roste poptávka po různých zdrojích a zejména po pitné vodě. Zajištění pitné vody je jednou z hlavních výzev této doby. Organizace OSN očekává, že v roce 2025 bude žít v regionech s nedostatkem vody necelých 2 miliardy lidí. Masný průmysl spotřebovává 29 % vody, která se používá v zemědělství, které představuje 92 % celkové sladkovodní stopy. Průměrná spotřeba vody při produkci 1 tuny vepřového masa je 4800 m³ pitné vody. [1]

V důsledku těchto faktů je zřejmé, že masný průmysl spotřebovává velké množství pitné vody, jejíž nedostatek je jedním z alarmujících problémů v mnoha částech světa a tudíž je třeba se jí plně věnovat a zdokonalovat se v ní.

První část této bakalářské práce obsahuje úvod do problematiky odpadních vod z masného průmyslu v České republice. Zaobírá se jejich vznikem, množstvím a složením. Podrobněji rozebírá největší znečišťovatele z masného průmyslu, jako jsou třeba Hamé, s.r.o. nebo Kostelecké uzeniny, jejich povinnosti a náležitosti povolení k provozu. V druhé části je rozebrána problematika recyklace odpadních vod z masného průmyslu. Jsou v ní představeny jak jednotlivé metody čištění odpadních vod – fyzikálně chemické čištění, biologické čištění a pokročilé oxidační procesy, tak pokročilé metody recyklace, které byly publikovány v odborných studiích. Studií na recyklaci odpadních vod bylo provedeno mnoho, proto jsou v této práci představeny a rozebrány pouze vybrané studie s vysokým potenciálem pro budoucí uplatnění v průmyslové praxi. Analyzované studie většinou vhodným způsobem kombinují výše uvedené konvenční metody čištění odpadních vod. Poslední část práce je věnována koncepčnímu návrhu recyklační linky pro vybranou odpadní vodu. Práce podrobněji rozebírá materiálovou bilanci procesu, včetně jednotlivých kroků recyklace, stanovuje množství recyklované vody a diskutuje problematiku zacházení s retentátem, tj. znečištěným kapalným zbytkem, který je vedlejším produktem recyklace.

Cílem této bakalářské práce je seznámení se s odpadními vodami z masného průmyslu, jejich vznikem, složením a hlavními producenty. Dalším cílem je rešerše metod a technologií pro zpracování a recyklaci odpadních vod a koncepční návrh recyklační linky pro zvolený modelový provoz a její základní bilanci.



Obr. 1 Recyklační linka odpadní vod společnosti CentraSep [2]

1 Odpadní vody z potravinářského průmyslu

Tato kapitola se zaměřuje na odpadní vody z potravinářského průmyslu a nabízí stručný úvod do problematiky odpadních vod. Text diskutuje rozdíly mezi jednotlivými vodami a jejich nejčastější složení.

1.1 Složení jednotlivých vod z potravinářského průmyslu

Potravinářský průmysl patří k největším producentům odpadních vod a zároveň je obrovským spotřebitelem sladké vody. S rostoucí světovou populací roste spotřeba jídla a zároveň množství odpadních vod. Důležitou roli hraje také plýtvání potravinami. Dle průzkumu Organizace pro výživu a zemědělství se ztratí přibližně třetina vyprodukovaných potravin. Odpadní vody z potravinářského průmyslu se odlišují na základě odvětví, ve kterém jsou vyprodukovány a také na základě např. ročního období. Jsou bohaté na znečišťující látky jako chemická spotřeba kyslíku (CHSK), biologická spotřeba kyslíku (BSK), nerozpuštěné látky (TSS), dusík (TN), fosfor (TP) a živiny – sacharidy, bílkoviny, lipidy a jiné látky a samotné čištění odpadních vod je důležité pouze pro jejich přímé vypouštění povrchových vod. [3]

V tab. 1 je vidět porovnání složení různých odpadních vod. Uvedené hodnoty jsou spíše orientační, protože množství obsažených látek se může lišit v řádech tisíců mg/l v závislosti na místě výskytu dané vody. Co se týče čistě množství obsažených látek, nejmenší množství jich obsahují vody z cukrovarnického průmyslu. Naopak největší množství nečistot je obsaženo ve vodách z lihovarnických procesů, které dominují ve všech aspektech s výjimkou obsahu dusíku. Toto extrémní množství obsažených znečišťujících látek je dáno hlavně přítomností organických látek – proteiny, cukry a polysacharidy. Obsah dusíku je největší u zpracování ovoce a zeleniny. [3]

Tab. 1 Jakost odpadních vod v potravinářském průmyslu [3]

Druh odpadních vod	CHSK mg/l	BSK mg/l	TSS mg/l	TN mg/l	TP mg/l	Ostatní mg/l
Odpadní vody z ovoce a zeleniny	6400	1520	-	1400	-	Cl ⁻ 31, TDC (rozpuštěný uhlík) 2400
Odpadní vody z masného průmyslu	500-15900	150-4635	270-6400	50-841	25-200	TOC (organický uhlík) 70-1200
Odpadní vody z mlékárenského průmyslu	758-9770	375-11100	200-9625	1-184	5-223	-
Odpadní vody z cukrovarnického průmyslu	110-3628	360-1090	5-1769	44-53	3-12	Ca ²⁺ 100-906, Cl ⁻ 48-559
Odpadní vody z lihovaru	320-49105	203-22418	748-18332	10-415	2,1-280	TOC 41-7463, TPC (polyfenolické sloučeniny) 0,51-1450

Odpadní vody ze zpracování ovoce a zeleniny jsou také bohaté na protein, polysacharidy či vlákninu. Tyto vody obvykle bývají bledě žluté s velkým množstvím slupek. Voda produkovaná nálevovým průmyslem má velký obsah solí. Vody z cukrovarnického průmyslu jsou dále bohaté na sacharidy, oleje, chloridy, sírany a těžké kovy (Cu, Pb, Zn), což je dáno přidáváním chemikálií během procesu jejich zpracování. Tyto vody mohou nepříjemně zapáchat. U lihovarnických vod lze vidět enormní rozdíly v obsahu látek, což je dáno různými druhy fermentace surovin. U tohoto druhu vod je typické tmavě hnědé zbarvení. Vody z mlékárenského průmyslu obsahují i pevné nečistoty a dále tuky, laktózu, či chloridy a sírany. Jsou bílého zbarvení s nepříjemným zápachem. [3]

Masný průmysl má vysoké nároky na sladkou vodou. Každá tuna vyrobeného masa vyprodukuje mezi 1,5-18 m³ odpadních vod. Množství vzniklých odpadních vod také hodně záleží na druhu poraženého zvířete. Charakteristickým znakem jatečních vod je vysoký obsah CHSK, BSK, TP, TN, TOC, či bílkovin, krve, tuků, kostí a zbytků masa. V některých případech tyto vody také obsahují veterinární léčiva či dezinfekční prostředky. [3]

2 Legislativa ochrany vod na území ČR

Legislativa má důležitou roli, která zásadně ovlivňuje množství a složení odpadních vod na území každého státu. Proto je cílem této kapitoly seznámení s legislativou o odpadních vodách na území ČR a s integrovaným registrem znečištění, což poskytne náhled k přípustným hodnotám znečištění vod a emisním limitům.

2.1 Povinnosti znečišťovatelů odpadních vod

Odpadní vody v ČR jsou chráněné prostřednictvím legislativy. V ČR je obsáhlý zákon č. 254/2001 Sb. – Zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon).

Znečišťovatelé vod na území ČR jsou dále povinni řídit se podle Nařízení vlády č. 401/2015 Sb. o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech.

2.1.1 Vodní zákon

Zákon č. 254/2001 Sb. Zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon) slouží na ochranu povrchové a podzemní vody, k zajištění zásobování obyvatelstva pitnou vodou a k ochraně vodních ekosystémů a na nich přímo závislých suchozemských ekosystémů. Definuje povrchové vody jako přirozeně se vyskytující na zemském povrchu a uvádí, že každý, kdo nakládá s povrchovými vodami, je povinen dbát o jejich ochranu. [5]

Část zákona se dále věnuje odpadním vodám. Vymezuje je jako vody, použité v obytných, průmyslových zařízeních, které po použití mají změněnou jakost. Zákon dále uvádí, že odpadní vody musí být zneškodněny nebo vyčištěny podle platných kanalizačních řádů. Reguluje vypouštění odpadních vod do vod povrchových nebo podzemních, včetně stanovení limitů znečištění. [5]

Každý, kdo vypouští odpadní vody do vod povrchových nebo podzemních, je povinen měřit jejich množství a míru jejich znečištění. Popsány jsou poté i závadné látky, které nejsou odpadními ani důlními vodami a mohou ohrozit jakost povrchových nebo podzemních vod. [5]

2.1.2 Nařízení vlády č. 401/2015 Nařízení pojednává o přípustných hodnotách znečištění odpadních vod, podmínkách povolení k vypouštění odpadních vod do povrchových vod a kanalizace. V části vymezení pojmů jsou definovány průmyslové odpadní vody, které podle tohoto nařízení zahrnují vody vypouštěné z výrobních zařízení, včetně vod vypouštěných z průmyslových areálů, které vznikají převážně jako produkt průmyslové činnosti. Dále jsou zde popsány emisní standardy jako nejvyšší přípustné hodnoty ukazatelů znečištění odpadních vod a emisní limity jako nejvyšší přípustné hodnoty ukazatelů znečištění odpadních vod, které stanoví vodoprávní úřad v povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových (pozn. emisní limity dosahují zpravidla nižších hodnot než emisní standardy). [6]

V části pojednávající o náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových nebo kanalizace je definován obsah povolení k vypouštění odpadních vod skládající se z [6]:

- Druhu vypouštěných odpadních vod.
- Charakteristiky výrobní činnosti.
- Určení místa výpusti místa výpusti odpadních vod, pro kterou je povolení vydáno.

Dále tato část obsahuje povinnosti vodoprávního úřadu, který musí k povolení k vypouštění odpadních vod vždy stanovit [6]:

- Emisní limity.
- Způsob, četnost typ a místo odběrů vzorků a způsob měření jejich objemu na výpusti.
- Způsob provádění rozborů vypouštěných odpadních vod.

Vypouštění odpadních vod s obsahem biologicky rozložitelných organických látek je povoleno pouze v případě zajištění biologického čištění. [6]

Další část tohoto nařízení se zabývá stanovením emisních limitů pro vybrané průmyslové provozy, a to včetně zpracování a konzervování masa a masných výrobků (viz tab. 2).

Tab. 2 Emisní standardy pro zpracování a konzervování masa a masných výrobků [6]

Obsažená látka	Jednotka	Přípustné hodnoty "p"
CHSK _{Cr}	mg/l	200
BSK ₅	mg/l	50
NL	mg/l	80
N-NH ₄ ⁺	mg/l	20
N-NH ₄ ⁺ (Z)	mg/l	36
N _{celk.}	mg/l	30
N _{celk.} (Z)	mg/l	50
P _{celk.}	mg/l	10
EL	mg/l	10

Při čištění odpadních vod je třeba se zaměřit zejména na hodnoty CHSK_{Cr}, BSK₅, NL, P_{celk.} a N_{celk.}

Následující oddíl se zabývá dodržováním emisních limitů. Podle něj se pro posouzení dodržení povolení k vypouštění odpadních vod využijí sledování za běžného provozu. Emisní limity nejsou dodrženy při prokázaném ředění odpadních vod. Poslední část tohoto nařízení, týkající se problematiky odpadních vod, rozebírá měření objemu vypouštěných vod a míry jejich znečištění. [6]

2.2. Integrovaný registr znečišťování

V roce 2004 vznikl na území ČR Integrovaný registr znečišťování (IRZ). Tento systém vznikl v reakci na vstup ČR do EU a na podpis mezinárodních dokumentů, které naši zemi zavazují k plnění povinností v oblasti životního prostředí. Podepsanými dokumenty byly [7]:

- Aarhuská úmluva – Úmluva o přístupu k informacím, účasti veřejnosti na rozhodování a přístupu k právní ochraně v záležitostech životního prostředí
- Protokol o registrech úniků a přenosu znečišťujících látek

Jedná se o veřejně přístupnou elektronickou databázi úniků a přenosů znečišťujících látek, jejíž cílem je prevence a omezování znečištění životního prostředí prostřednictvím usnadnění přístupu k informacím o znečištění veřejnosti [7]. V registru se nachází informace o emisích znečišťujících látek do vody, půdy a ovzduší. Povinnost ohlašovat do IRZ má uživatel registrované látky pouze při dosažení nebo překročení tzv. ohlašovacího prahu. Ohlašovací práh je přidělen emisi a přenosu každé látky a představuje kumulativní množství registrované látky v kilogramech za kalendářní rok. Po ohlášení látky do IRZ jsou spuštěny procesy ze zákona o integrované prevenci a nařízení vlády o integrovaném registru znečišťování. [8]

Kompetentními orgány jsou Ministerstvo životního prostředí, Česká inspekce životního prostředí a Česká informační agentura životního prostředí (Cenia). [7]

V tab. 3 jsou uvedeny příklady prahových hodnot pro úniky do vody.

Tab. 3 Příklady prahových hodnot pro úniky do vody [8]

Název látky	Prahové hodnoty pro únik do vody kg/rok
TN	50000
TP	5000
TOC	50000
AOX	1000
Fluroidy	2000

3.0 Odpadní vody z masného průmyslu v ČR

Tato kapitola důkladněji rozebírá masný průmysl na území ČR. Poskytuje statistiky o produkci a spotřebě masa. Dále rozebírá procesy výroby masných produktů, hlouběji se věnuje největším producentům masných výrobků a nastiňuje jejich vlastní povinnosti a emisní limity, které dávají konkrétnější obrázek o stavu odpadních vod v ČR. V České republice je velké množství znečišťovatelů odpadních vod v masném průmyslu. Do masného průmyslu řadíme jatka, výrobní uzenin či paštik. Poměrně sporné jsou velkovýkrmny na chov dobytka a drůbeže, které se spíše řadí do zemědělského průmyslu.

3.1 Masný průmysl v ČR

Podle Českého statistického úřadu zkonsumoval průměrný český obyvatel za rok 2022 82,9 kg masa. Asi polovinu z této sumy tvoří maso vepřové, na druhém místě se nachází maso drůbeží, které tvořilo přibližně třetinu ročního příjmu masa obyvatel v ČR. Za zmínku pak stojí ještě maso hovězí, které představovalo asi desetinu z celkového množství masa, které bylo ročně zkonsumováno. Statistika spotřeby druhů masa na území ČR je uvedena v tab. 4. [9]

Tab. 4 Maso spotřebované na obyvatele v roce 2022 dle Českého statistického úřadu [9]

Kilogramy masa na obyvatele/rok								
vepřové	hovězí	telecí	skopové	drůbeží	zvěřina	králíci	Vnitřnosti ¹⁾	dohromady
43,9	8,8	0,1	0,3	28,1	1,1	0,6	3,8	82,9

¹⁾ Vnitřnosti jsou zahrnuty ve spotřebě jednotlivých druhů masa, samostatný údaj je doplňující informací

V roce 2023 bylo podle Českého statistického úřadu na jatkách vyrobeno 70230 tun hovězího masa, 197859 tun vepřového masa a 167687 tun drůbežího masa [10]. Přesné hodnoty jsou znázorněny v tab. 5.

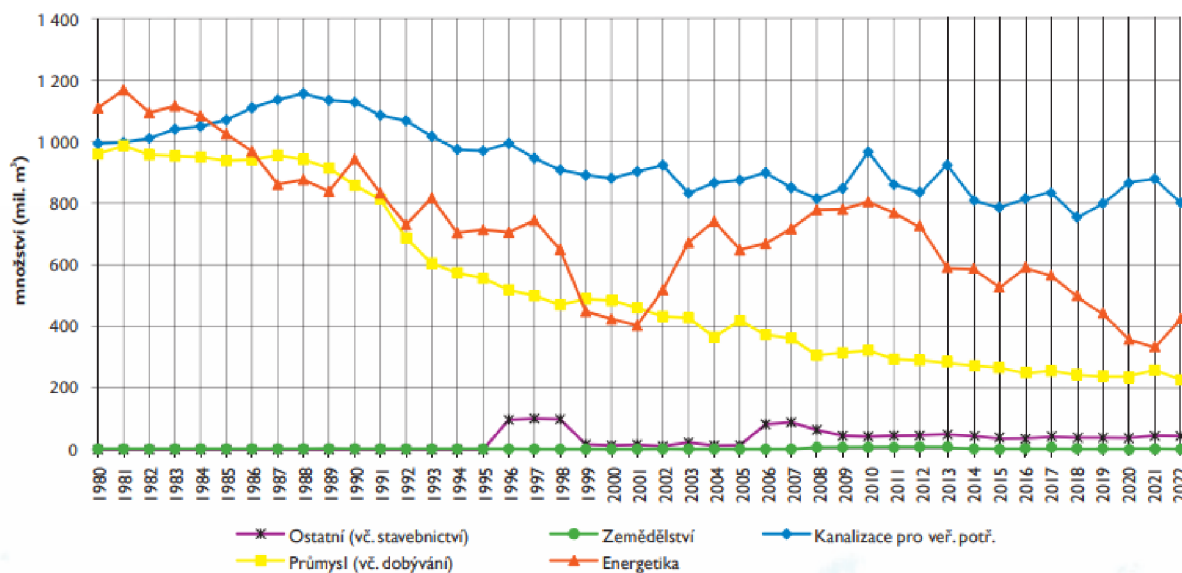
Tab. 5 Statistika výroby masa podle Českého statistického úřadu [10]

	hovězí maso		vepřové maso		drůbeží maso	
	počet zvířat (ks)	Jatečná hmotnost (tuny)	počet zvířat (ks)	Jatečná hmotnost (tuny)	počet zvířat (ks)	Jatečná hmotnost (tuny)
Porážky na jatkách	228248	70230	2146792	197859	118852	167687
Porážky mimo jatka	6936	2141	79900	7689	2765	4682
Hrubá tuzemská produkce	311704	98980	2341677	216761	134951	200874
Kalkulovaná spotřeba		99166		459979		296987

3.2 Největší znečišťovatelé odpadních vod z masného průmyslu v ČR

Ministerstvo zemědělství každý rok zveřejňuje Zprávu o stavu vodního hospodářství České republiky, jinak také známou jako Modrá zpráva, která informuje o vodním stavu a hospodaření s vodou v ČR [12]. Bohužel z této ročenky není možné získat údaje o masném průmyslu, neboť jsou zde uvedeny pouze informace o odpadních vodách ze všech průmyslových odvětví jako celku s výjimkou energetiky, která je uvedena samostatně. Z modré zprávy z roku 2022 [11] lze vyčíst, že množství vypuštěných odpadních vod se v dlouhodobém horizontu snižuje. Z údajů znázorněných v obr. 2 lze vidět, že nejvíce odpadních vod je vypuštěno z kanalizace pro veřejné potřeby, další jsou vody z energetiky a po nich následují vody z průmyslového sektoru a poté jsou v malém množství zastoupeny vody ze zemědělství a ostatních odvětví (např. stavebnictví). Konkrétně průmyslových odpadních vod bylo v roce

2022 vypuštěno přibližně 200 mil m³ [11]. Podle zdroje [1] by masný průmysl mohl mít přibližně 29% podíl na těchto vodách, což by činilo asi 58 mil m³ odpadních vod ročně. Jedná se však pouze o hrubý odhad. Odhad celkového množství vypuštěných odpadních vod z masného průmyslu v roce 22 se dá vypočítat podle rovnice (1) (pozn. Všechny rovnice použité v textu jsou uvedeny v Příloze č. 1: Rovnice použité ve výpočtech).



Obr. 2 Vypouštění odpadních vod v České republice v letech 1980-2020 [11]

Pro účely této práce je masný průmysl rozdělen na 3 oblasti:

- Výroba uzenin.
- Výroba paštik.
- Játka.

Ke každé oblasti byli vybráni jedni z největších znečišťovatelů. Na stránkách Ministerstva životního prostředí [34], v oddělení IPPC – Integrovaná prevence a omezování znečištění, jsou zveřejněna rozhodnutí o povolení k provozu pro jednotlivé znečišťovatele, ve kterých lze najít emisní limity a povinnosti, kterými se musí řídit. Tyto údaje přibližují situaci odpadních vod z výše uvedených oblastí.

3.2.1 Odpadní vody z výroby uzenin

Na úvod je třeba si nastínit proces výroby uzenin. Tato část práce podrobněji rozebírá výrobu dušené šunky. Pro výrobu dušené šunky se využívají především svaloviny ze zvířat na jatkách. Většinou se na výrobu šunky používá maso vepřové. Poté následuje kontrola jakosti pomocí například měření pH masa. Dále přichází na řadu příprava a nástřik láku. Lák je solný roztok, který se skládá se z [13]:

- Voda
- Sůl (NaCl)
- Dusitany a dusičnany
- Antioxidanty
- Cukry
- Barviva
- Škroby
- Zvýrazňovače chuti (např. glutaman sodný) atd.

Nástřikováním láku dochází k rychlému a rovnoměrnému prosolení masa a vstřebání zmíněných látek. Pak následuje tenderizace, kdy dochází ke změkčení masa. Poté se provádí tzv. masírování, jehož cílem je extrakce svalových bílkovin a rovnoměrné rozložení přidaných složek.

Následně je maso naráženo a formováno do obalů, ve kterých je tepelně zpracováno v [13]:

- nasycené páře v udírně
- varné komoře
- vodní lázni

Poslední částí procesu je chlazení a balení. Chlazení probíhá opět pomocí 3 způsobů: [13]

- proudem vzduchu
- ponořením do studené vody
- sprchováním pod studenou vodou

Po ochlazení se šunka vytáhne z formy a balí se [13].

Krahulík – MASOZÁVOD Krahulčí, a.s., provoz Studená

Pro popis odpadních vod z výroby uzeniny byl vybrán masozávod Krahulík, sídlící v Jihočeském kraji. Z rozhodnutí o změně integrovaného povolení ze dne 6.11. 2023 vyplývá, že zařízení slouží k úpravě a zpracování masa. Závod je tvořen udírnou, chladírnou, baličkou uzenin, konzervárnou a sušící komorou. Provozovatel vypouští odpadní vody do kanalizace obce Studená. Vody jsou čištěny na městské čistírně odpadních vod. Závod se musí řídit emisními limity, uvedenými v tab. 6. [14]

Tab. 6 Emisní limity pro Krahulík Masozávod Krahulčí, a.s. [14]

Látka nebo ukazatel	Roční bilance t/rok
BSK ₅	80
CHSK _{Cr}	160
NL	64
N-NH ₄	3,2
N _{celk.}	4,8
P _{celk.}	1,2
EL extrahovatelné	16
pH	Max. 6 – 8,5

3.2.2 Odpadní vody z jatek

Proces porážky zvířat na jatkách zahrnuje několik fází. První fází je příprava zvířat na porážku. Před porážkou by měla být zvířata odpočinutá z důvodu zlepšení kvality masa. Poté přichází na řadu přivedení na místo porážky a omráčení, což uvolňuje glykózu ve svalech a zajišťuje bezbolestné zabíjení. Pak následuje samotná smrt zvířat pomocí vykrvovacího řezu nebo vpichu. Po smrti nastává vnější jateční opracování (stáhnutí z kůže), vnitřní jateční opracování (vyjmutí vnitřností z tělních dutin) a púlení jatečně opracovaných těl (vyjmutí mozku a míchy). Následující fází je bourání masa, které zahrnuje dělení opracovaných těl na menší celky, jejich úpravu, vykosťování a třídění. [15]

Kostelecké uzeniny, a.s.

Kostelecké uzeniny, a.s., se sídlem Kostelec 60 spadá v IPPC do kategorie „Jatka o kapacitě porážky větší než 50 t denně“. Jedná se o jatka na porážku vepřových a hovězích jatečních zvířat. Podle integrovaného povolení z 30. září 2006 a následných změn, které nabylo právní moci dne 1. 5. 2007 a 2. 10. 2012 je účelem jatek porážka vepřového a hovězího dobytka, opracování a zchlazení těl jatečně opracovaných těl. Výstupy ze zařízení jsou zchlazené jatečně opracované hovězí a vepřové komponenty. Závod dále kromě jatek zahrnuje třeba čističku

odpadních vod, chladírny, mrazírny, pomocné prostory pro rychlochlazení, balení masa a expedici masa. Výrobky z jatečné činnosti zahrnují jatečně opracovaná těla prasat a hovězího dobytka, naporcované maso, tepelně neopracované masné výrobky (salámy) a tavený hovězí lůj. Provozovatel je povinen dodržovat navržené emisní limity uvedené v tab. 7. [16]

Tab. 7 Návrh závazných emisních limitů pro přímé vypouštění odpadních vod do recipientů pro provozovatele Kostelecké uzeniny, a.s. [16]

Látka nebo ukazatel	Přípustná hodnota „p“ mg.m ⁻³	Maximální hodnota „m“ mg.m ⁻³
BSK ₅	14	17
CHSK _{Cr}	55	65
NL	20	23
EL	3,85	4,6
N-NH ₄	10	12
N _{anorg}	28	34
P _{celk}	2	5
AOX	0,5	1,5
pH	6-8,5	-

Provozovatel dále musí vypouštět vody v tomto množství: [16]

- maximální průtok: 45 l/s
- průměrný průtok 35 l/s
- maximální měsíční průtok: 50000 m³
- maximální roční průtok: 600000 m³

3.2.3 Odpadní vody z výroby paštik

Jako první je potřeba nastinit proces výroby paštik. Na úvod se musí maso, kůže a sádlo předvařit, kvůli jejich změknutí. Poté dochází k mēlnění a míchání surovin. Po zmēlnění jsou plněny do obalů, které jsou vhodné pro tepelné opracování. Následně jsou na konci procesu paštiky tepelně opracované za účelem inaktivace mikroorganismů, zajištění příslušné struktury či úpravy chuti nebo barvy. [17]

Hamé s.r.o – Výrobní závod Babice

Hamé s.r.o. – Výrobní závod Babice společnosti Hamé s.r.o. je zařízení na úpravu a zpracování živočišných a rostlinných surovin, za účelem výroby paštik, masových a hotových výrobků, včetně jejich skladování a expedice o kapacitě 123 t/den. Provozovatel vypouští vody do Parschallova měrného žlabu ze zařízení ČOV do kanalizace ústící do Janovického potoka, který dále vtéká do řeky Sázavy a je povinen dodržovat dané emisní limity ze dne 20. 12. 2023 (viz tab. 8). [18]

Tab. 8 Emisní limity pro vypouštění odpadních vod z ČOV pro Hamé s.r.o. – Výrobní závod Babice [18]

Látka nebo ukazatel	Přípustná hodnota „p“ mg.m ⁻³	Maximální hodnota „m“ mg.m ⁻³	Bilance t/rok
pH		6-8,5	
CHSK _{Cr}	60	100	16
BSK ₅	25	40	7,5
NL	30	45	9
N-NH ₄ ⁺	20	40	6
N _{celk}	20	35	9
P _{celk}	1	6	0,3
EL	10	20	3
AOX	0,1	0,2	0,058

Měření kvality odpadních vod se stanovuje 1x za měsíc. Musí být vypouštěno určené množství vody: [18]

- maximální průtok: 30 l/s
- průměrný průtok: 16 l/s
- maximální denní průtok: 1728 m³
- maximální měsíční průtok: 34200 m³
- maximální roční průtok: 410000 m³

Tab. 9 Emisní limity pro vypouštění odpadních vod z otevřeného chlazení výroby Hamé s.r.o. – Výrobní závod Babice [18]

Látka nebo ukazatel	Přípustná hodnota „p“ mg.m ⁻³	Maximální hodnota „m“ mg.m ⁻³	Bilance t/rok
CHSK _{Cr} *	60	100	16
BSK ₅ *	25	40	7,5
NL*	30	4	9
Teplota**	Max 34°C		

* Ukazatelé CHSK_{Cr}, BSK₅ a NL jsou sledovány před zaústěním chladících vod do jednotné kanalizace

**Teplota vody je sledovaná na odtoku z areálu závodu do Janovického potoka

V tomto případě opět dochází k měření vody 1x za měsíc a musí být vypuštěno určené množství vody: [18]

- maximální průtok: 30 l/s
- průměrný průtok: 15 l/s
- maximální měsíční průtok: 40000 m³
- maximální roční průtok: 280000 m³

3.3 Shrnutí masného průmyslu v ČR

Na základě statistik, uvedených na začátku kapitoly je zřejmé, že masný průmysl má v ČR vysokou popularitu. Nejvíce konzumovaným druhem masa je maso vepřové a drůbeží. Totéž platí pro samotnou produkci masa. V roce 2022 bylo v ČR vypuštěno asi 200 mil m³ odpadních vod z průmyslu, což by mohlo odpovídat přibližně 58 mil m³ odpadních vod z masného průmyslu. Každý znečišťovatel odpadních vod má vlastní povolení k provozu, kterým se musí řídit. Povolení obsahuje jakost vypouštěných odpadních vod a jejich množství. Znečištění odpadních vod se může měnit v závislosti na typu provozu a druhu masného výrobku, který produkuje. Jsou znečištěny zejména CHSK, BSK, TSS a dusíkem. Roční objem vypouštěných vod u největších znečišťovatelů v ČR se může pohybovat mezi 280000 až 600000 m³.

4.0 Recyklace odpadních vod z masného průmyslu

V této části práce je hlouběji nahlédnuto do problematiky čištění odpadních vod z masného průmyslu. Na úvod jsou představeny konvenční metody čištění odpadních vod. Poté jsou rozebírány progresivní metody recyklace odpadních vod, a to na základě rešerše odborných studií. Kapitola dále hodnotí klady a zápory vybraných recyklačních postupů, což by mělo nabídnout širší obrázek o různých přístupech ke zpracování odpadních vod z masného průmyslu.

Procesem recyklace odpadních vod se snižuje potřeba čerpání povrchových sladkovodních zdrojů [19].

4.1 Čištění odpadních vod z masného průmyslu

Technologie čištění vod z masného průmyslu jsou podobné čištění komunálních odpadních vod a mohou obsahovat více kroků – předčištění, primární, sekundární a dokonce i terciární čištění [19]. Metody čištění se od sebe liší, ale je možné je rozdělit do 5 podskupin [19]:

- Aplikace do půdy
- Fyzikálně chemické čištění
- Biologické čištění
- Pokročilé oxidační procesy
- Kombinované procesy

4.1.1 Fyzikálně chemické čištění

Jedná se o metody, sloužící zejména k redukci tuku, BSK a nerozpuštěných látek, při které dochází k separaci pevných látek od kapaliny [19].

Membránové technologie

Metody spočívají ve vedení odpadních vod membránami, ve kterých dochází k oddělení částic od vody. Rozlišujeme několik druhů těchto technologií v závislosti na velikosti pórů membrán. Každý z těchto druhů má jiné rozměry a zachycuje jiné látky a jejich množství. [19]

Vlastnosti jednotlivých druhů membrán jsou znázorněny v tab. 10.

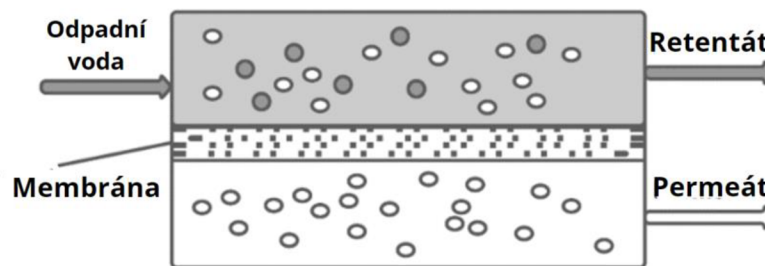
Tab. 10 Porovnání různých rozměrů membrán

Typ membrány	Velikost pórů μm
Mikrofiltrace (MF)	0,08-0,55 [19]
Nanofiltrace (NF)	0,001-0,05 [35]
Ultrafiltrace (UF)	0,01-0,1 [19]
Reverzní osmóza (RO)	0,001-0,005 [19]

Tyto metody mají nevýhodu v podobě zanášení membrán z důvodu akumulace rozpuštěných látek na povrchu membrán nebo ucpání pórů [19].

Dle studie [1] se pro masný průmysl jeví jako obzvláště výhodná ultrafiltrace, a to z důvodu ekonomické výhodnosti a umožnění redukce chemických činidel. Obvykle separuje částice o rozměru 5-100 nm (proteiny). Vhodná je také v kombinaci s biologickými procesy.

Na obr. 3 lze vidět, že po přivedení vody k membráně se odpadní voda dělí na permeát a retentát. Permeát je již vyčištěná voda, které prošla membránou a může být dále zpracována, či vypuštěna. Retentát naopak je voda, která membránou neprošla a může být opětovně čištěna. [1]



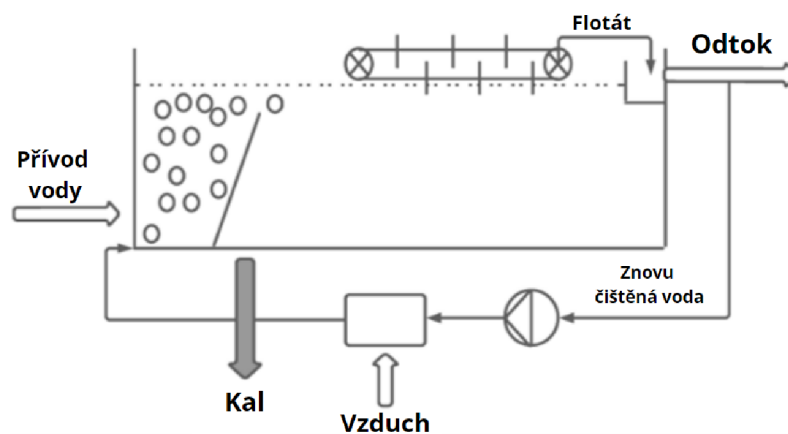
Obr. 3 Schéma membránové technologie [1]

Flotace rozpuštěným vzduchem

Dissolved air flotation (DAF) je technologie, která je typická pro primární čištění. Při této metodě je do vody vstříkován pod tlakem vzduch, jenž vytváří bubliny, jež se se přichytí k cílovým látkám a vytvoří na povrchu vrstvu nečistot. Tyto vrstvy jsou následně odstraněny a dále zpracovány. Schéma systému je znázorněno na obr. 4. Při použití tohoto systému je možno dosáhnout snížení spotřeby[1]:

- CHSK o 70 %
- TN o 55 %
- TP o 70 %
- Tukových maziv a olejů o 85 %

DAF je metoda účinná, nicméně však existují nedostatky, jako je závislost na přidání flokulantů na zlepšení účinnosti procesu a také energetická náročnost. V případě použití některých látek se může tvořit sekundární kal, čemuž se dá zabránit dávkováním přírodních přísad (např. Tanin). [1]



Obr. 4 Ilustrační schéma procesu flotace [1]

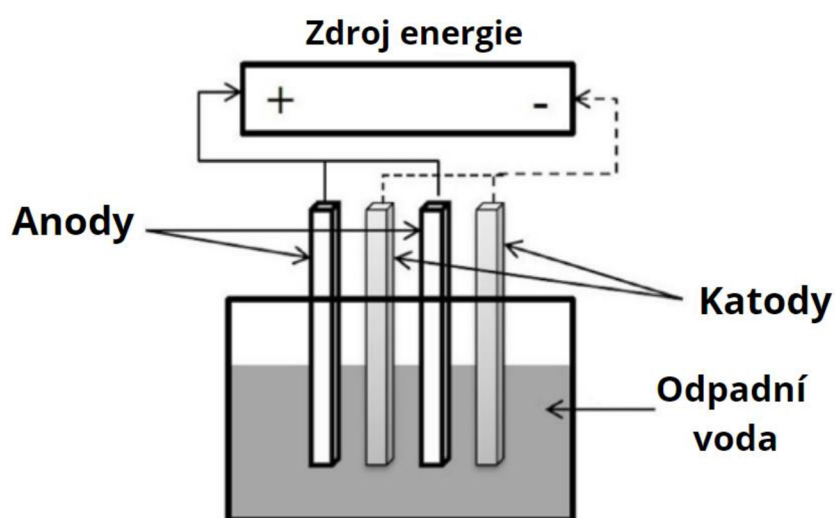
Podle údajů společnosti WesTech Engineering je přibližná instalační cena jejich produktu DAF přibližně 420000 USD. Při průtoku 1,893 m³/min odpadní vody zařízením DAF činí přibližné roční náklady na energii 66645 USD, tj cca 0,07 USD na m³ odpadní vody. [20] Náklady na 1 m³ vyčištěné odpadní vody pomocí DAF se poté dají spočítat podle rovnice (2).

Koagulace

Koagulace s flokulací jsou techniky spočívající v oddělování částic přidáním sloučenin, které mění fyzikální stav znečištěných látek. Mezi přísady patří např. různé sírany, hydrogenuhličitanů či železo nebo hliník. Koagulanty železa jako např. síran železnatý (FeSO₄) jsou účinné při odstraňování CHSK, TP, TSS, olejů a tuků. Účinnost při odstranění CHSK může být až 73 % a při TSS 93 %. Velice účinné jsou koagulanty solí, které jsou ale náchylné k problémům recyklace, protože mohou vodu kontaminovat a tvořit velké množství kalu. [3]

Elektrokoagulace je metoda koagulace, při níž se do vody, místo přidávání chemických sloučenin, zavádí elektrická energie pomocí použití elektrod Al, Fe, Pt či SnO₂ (Al a Fe se používají nejčastěji). [1]

Na obr. 5 lze vidět katody a anody, které jsou připojeny na zdroj elektrické energie, ponořené do vody. Elektrody ve vodě generují ionty, které umožňují adsorpci rozpustných organických sloučenin. Dle studie [36], která zkoumala kombinaci EC a UF při čištění odpadní vody z drůbeží farmy, za účelem snížení zanášení membrány, stoupla snížení obsahu CHSK ze 75 % na 95 % a skoro k úplnému snížení TSS (oproti samotné ultrafiltraci). Účinnost a finanční náklady metody nelze jasně určit. Záleží totiž na materiálu, velikosti plochy elektrod a také proudové hustotě. Při použití železných elektrod o velikosti plochy 50 cm² může být odstraněno 92 % CHSK a 98 % kalu. Při době 45 minut a hustotě proudu asi 35 mA/cm² můžou provozní náklady činit 1,6 USD/m³ a 0,085 USD/kWh. Při pokusech s elektrodami z hliníku bylo dosaženo snížení kalu o 99 % a CHSK o 81 %. [1]



Obr. 5 Schéma elektrokoagulace [1]

Zajímavé výsledky přinesly také bipolární elektrody z měkké oceli a hliníku, u kterých došlo k odstranění 84 % CHSK, 87 % BSK, 93 % TSS, 94 % zátoku a 99 % olejů a tuků za cenových nákladů asi 0,71 USD/m³[19].

4.1.2 Biologické čištění

Biologické procesy se většinou používají jako sekundární proces čištění odpadních vod z masného průmyslu. Prostřednictvím mikroorganismů odstraňují organické látky a umožňují snížit BSK o 90 %. Je rozlišováno několik druhů této metody. Mezi 2 základní patří aerobní čištění a anaerobní čištění. [19]

Aerobní čištění

Čištění odpadních vod pomocí aerobní technologie spočívá v odbourávání organických látek pomocí aerobních mikroorganismů za přítomnosti volného kyslíku. Použitými mikroorganismy bývají například bakterie, kvasinky či mikrořasy. Právě mikrořasy jsou považovány za vhodné mikroorganismy díky krátké životnosti, rychlému růstu a vysoké dostupnosti CO₂. Druh odbourané látky závisí na mikroorganismu. Např. mikrořasa *Chorella* dosahuje vysoké účinnosti odstranění organických látek. Filamentozní houby mohou naopak odstraňovat vysoké množství sacharidů. Slibnou metodou aerobního čištění je také co-kultivace různých druhů mikroorganismů, která může být zdrojem biomasy. Další slibnou technologií tohoto čištění je tzv. imobilizace mikroorganismů, která zvyšuje jejich stabilitu a zjednodušuje separaci látek. Dochází při ní k odstraňování CHSK a TN. Celkově se dá říct, že aerobní technologie je velice efektivní a zároveň ekologická. [3]

Anaerobní čištění

Anaerobní čištění je způsob čištění odpadních vod pomocí bakterií bez přítomnosti kyslíku. Výhodou tohoto čištění je vysoké odstranění CHSK, nižší produkce kalu (oproti aerobnímu čištění) a nižší energetické nároky. I přes tato fakta však málokdy produkuje vody odpovídající limitům a normám vypouštění. Jednou z metod anaerobního čištění jsou anaerobní laguny, do kterých jsou odpadní vody přiváděny ze dna laguny a nedochází zde k míchání, což způsobuje vznik vrstvy kalu na povrchu laguny, jež zajišťuje anaerobní podmínky [19]

4.1.3 Pokročilé oxidační procesy

Pokročilé procesy oxidace (AOP) degradují znečišťující látky, nebo je přeměňují na malé molekuly, čímž zlepšují kvalitu vody. Využívají silné oxidanty jako jsou hydroxylové radikály nebo ozón. [3]

4.2 Studie recyklace odpadních vod z masného průmyslu

Po procesu čištění odpadních vod z průmyslu se s nimi dá zacházet 4 způsoby [1]:

- Jejich vypuštění do povrchových vod.
- Opětovní využití v průmyslových vodách při kontaktu s výrobkem.
- Opětovné využití bez kontaktu s výrobkem – tímto termínem se rozumí vody např. oplachové vody nebo napájecí vody kotlů.
- Zemědělská závlaha.

Obecně lze předpokládat, že za recyklované vody se považují vody, které lze opětovně využít v průmyslových vodách nebo zemědělských závlahách. Do roku 2016 bylo možné v EU používat jako průmyslové vody v potravinářském průmyslu pouze pitnou vodu. Nicméně od roku 2016 lze použít i jiné zdroje než pitnou vodu v případě, že nedojde ke znehodnocení výrobku. [1]

Podle nařízení EU je voda na zavlažování omezena na koncentraci BSK 10 mg/l, TSS 10 mg/l a zákalu 5 NTU [21]. Požadavky na pitnou vodu jsou v ČR definovány ve vyhlášce 252/2004 (viz tab. 11) [22]:

Tab. 11 Vybrané parametry jakosti pitné vody podle Vyhlášky č. 252/2004 [22]

Parametr	Maximální hodnota koncentrace mg/l
Dusitany	50
CHSK - Mn	3
TOC	5
pH	6,5-9,5

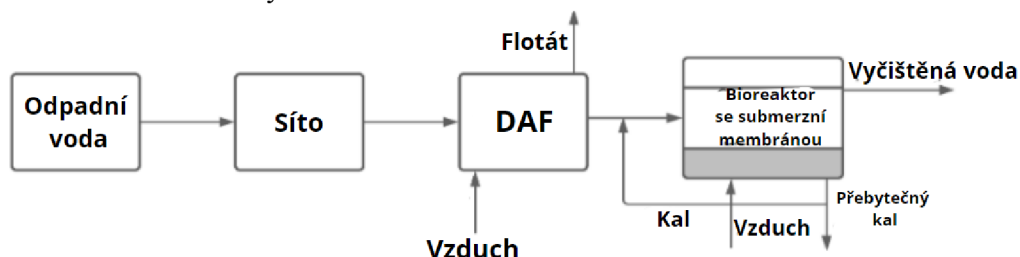
Recyklace odpadních vod probíhá pomocí kombinace různých metod čištění vod, které jsou rozebrány výše. Tato část práce se zabývá provedenými studii recyklace odpadních vod pomocí kombinovaných procesů.

4.2.1 Kombinace DAF a bioreaktoru se submerzní membránou

V této studii byla čištěna odpadní voda z jatek v Tunisku pomocí předčištění sítím a DAF. Poté probíhalo čištění v bioreaktoru se submerzní membránou. Bioreaktor s membránou je metoda kombinující 2 procesy [23]:

- biologickou degradaci organického znečištění pomocí adaptovaných mikroorganismů v bioreaktoru
- sekundární čištění pomocí membránové technologie

Schéma čistící linky z této studie lze vidět na obr. 6.

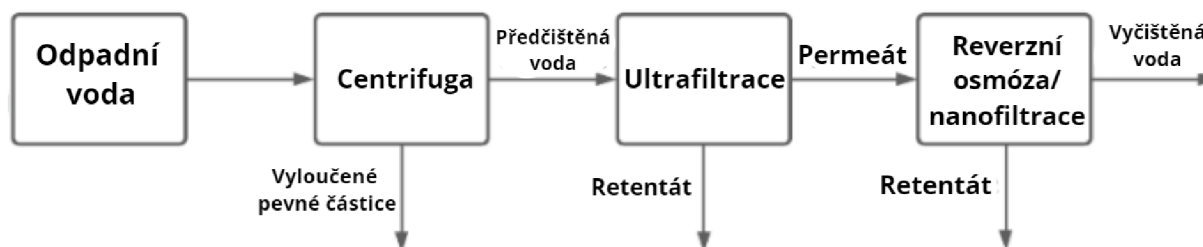


Obr. 6 Schéma čistící linky ze studie Keskes et al. z roku 2012 [1]

Membránový reaktor s objemem reaktoru 15 litrů byl v provozu 115 dnů, s tím že od 70. dne probíhal provoz bez vypouštění kalu. Typ filtrace byl UF s velikostí pórů 0,03-0,4 mm. Celá studie probíhala při membránovém tlaku 0,08-0,5 bar a konstantním toku 4,7 l/h m⁻². Hodnoty CHSK v této studii klesly z 2040 mg/l na 10 mg/l. TSS bylo sníženo z 1450 mg/l pod mez detekce. Vyčištěná voda byla hodnocena jako vhodná pro zemědělské zavlažování. Autoři však neuvádějí výslednou hodnotu TN. [1]

4.2.2 Kombinace centrifugy, ultrafiltrace a reverzní osmózy/nanofiltrace

Vhodnou metodou pro recyklaci vod se jeví kombinace membránových metod. Tuto metodu zkoumal Coskun et al. Studie byla publikována v roce 2015 a zkoumala čištění vody z jatek drůbeže v Turecku [24]. Metoda spočívala v předčištění vody v centrifuze po dobu 10 minut při 3750 otáčkách za minutu. Poté voda prošla ultrafiltrací a následně nanofiltrací (NF) nebo reverzní osmózou (RO). Dále byla zkoumaná i metoda bez využití ultrafiltrace. Nejlepších výsledků bylo dosaženo při kombinaci UF a RO. Testy byly prováděny při různých tlacích v rozmezí 5-25 bar za dobu 160 minut při toku 30 l/h m⁻². Počáteční voda měla obsah CHSK 7970 mg/l a po výstupu z čištění <10 mg/l. Bohužel však nejsou uvedeny třeba hodnoty TN. V této publikaci je však voda klasifikována jako vhodná pro opětovné procesní užití. [1] Princip čistící linky, zkoumané v této studii, je vyobrazený na obr. 7.



Obr. 7 Schéma studie recyklace odpadních vod Coskun et al z roku 2015 [1]

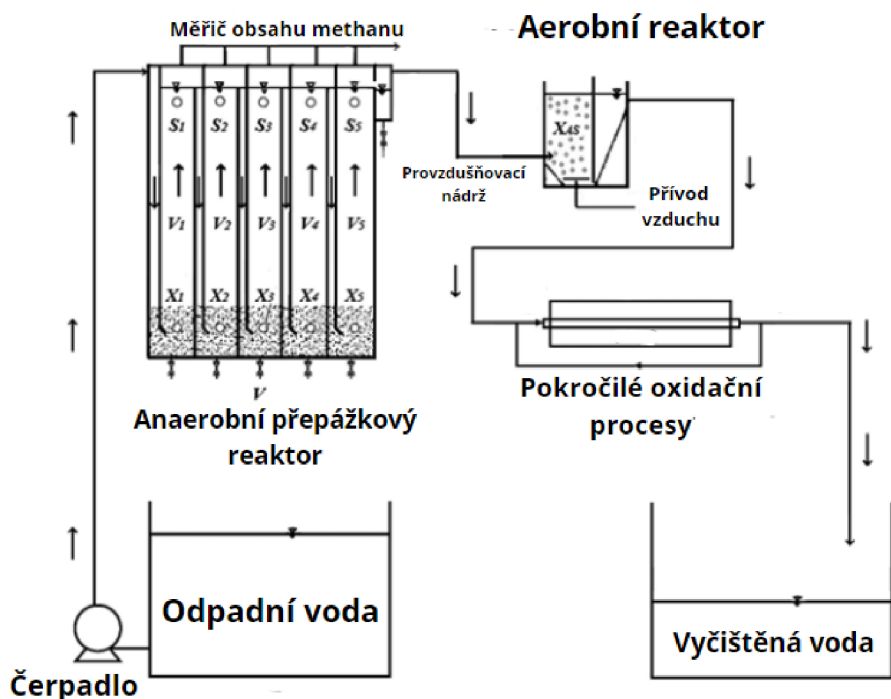
Z ekonomického shrnutí jednotlivých metod vyplývá že roční náklady na rok u kombinace UF+RO činí přibližně 164 900 USD/rok a 0,66 USD/m³ čištěné vody. [24]

4.2.3 Přepážkový anaerobní reaktor, aerobním reaktorem a AOP

Jako další vhodná metoda se jeví čištění bez použití membránových technologií. Zabývala se jí studie z roku 2017, kterou prováděl Bustillo-Lecompte a Mehrvar. V této studii byla zkoumána kombinace přepážkového anaerobního reaktoru (ABR), aerobního reaktoru (AS), po nichž byla následně voda dočištěna pomocí pokročilých oxidačních procesů UV záření/ H_2O_2 (AOP). [1] Čištěna byla voda o jakosti uvedené v tab. 12. Schéma recyklační linky je na obr. 8.

Tab. 12 Složení odpadní vody ze studie Bustillo-Lecompte a Mehrvar z roku 2018 [25]

Látka	Koncentrace látky mg/l
CHSK	1950
BSK	1400
TOC	850
TSS	750
TN	200
TP	40



Obr. 8 Schéma recyklační linky ze studie Bustillo-Lecompte a Mehrvar z roku 2018 [25]

Systém se skládal z 36litrového anaerobního přepážkového reaktoru složeného z pěti samostatných komor o stejné velikosti, kam byla přiváděna odpadní voda. Po vyčištění v reaktoru byla voda přivedena do 12,65 l aerobního reaktoru. Poté následovalo čištění pomocí pokročilých oxidačních procesů. [25]

Již po prvním kroku čištění v ABR bylo dosaženo snížení koncentrace TSS na 15 mg/l a TN na 8 mg/l. V dalším kroku v AS bylo dosaženo snížení BSK na 14 mg/l a TP na 0,04 mg/l. V posledním kroku čištění pomocí AOP bylo dosaženo koncentrace CHSK nižší než 0,4 mg/l a TOC 0,1 mg/l, což značí, že daná voda dosahuje v těchto parametrech jakosti pitné vody. Dále byly hodnoceny náklady na provoz čistící linky. Ve studii je uvedena cenová závislost na odstranění TOC a je zní možné vyčíst cenu 0,12 USD/m³ odpadní vody při snížení koncentrace TOC o více než 90 %. [25]

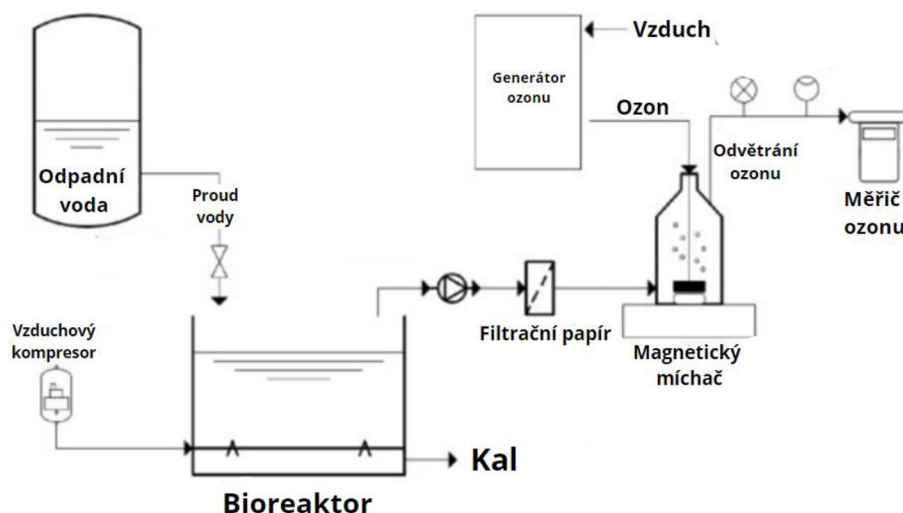
4.2.4 Bioreaktor s aktivním kalem a ozonizace

Zajímavé výsledky přinesla studie z Velké Británie, kterou provedli Alfonso et al., kde opět byla zkoumána odpadní voda z jatek. V této studii byla voda předupravena systémem na odstranění písku, koagulací pomocí roztoku chloridu železnatého, flokulací flokulačním činidlem Polygold CE662 a systémem DAF. Tato předčištěná voda byla ve studii označena jako surová odpadní voda a měla přibližné složení uvedené v tab. 13. [26]

Tab. 13 Jakost zkoumané vody ve studii Alfonso et al. z r roku 2017 [26]

Parametr	Koncentrace mg/l
CHSK	1804
BSK	651
TSS	250
P	115
pH	5,3

Odpadní voda byla přiváděna s rychlostí 1 l/den do 6litrového reaktoru s aktivním kalem (Aktivní kal je směs mikroorganismů a kalných částic, kde se mikroorganismy živí na odpadních látkách [27].). Z tohoto reaktoru byla následně voda filtrována filtračním papírem o velikosti póru 4-7 μm za účelem oddělení všech pevných látek a kalu. Poté bylo každých 400 ml vystaveno ozonizaci (metoda AOP) dávkou 71 mg O_3/l . Ozonizace byla prováděna v digestoři, aby bylo zabráněno kontaminaci vzduchem. [26] Na obr. 9 je znázorněna recyklační linka z této studie.



Obr. 9 Schéma recyklační linky ze studie Alfonso et al. z roku 2018 [26]

Studie přinesla zajímavé výsledky (viz tab. 14). Ukázalo se, že dostatečná ozonizace je přibližně 30 minut a po delší době nedochází ke změně složení. Studie totiž naměřila stejné množství bakterií ve vodě při 30minutové a hodinové ozonizaci. Naopak co se týče čistě jakosti vody. Studie neukázala rozdíly mezi 17minutovou a delší ozonizací. pH vody stoupl z hodnoty 5,3 na hodnotu 8. [26]

Tab. 14 Naměřené hodnoty ve studii Alfonso et. al z roku 2018 [26]

Parametr	Koncentrace mg/l	Snížení koncentrace %
CHSK	130	93
BSK	12	98
TSS	3	99
TP	1,9	98

Celkově studie ukázala, že má tato technologie vysoký potenciál. Výsledky ukazují, že se jedná o metodu s možností opětovného využití průmyslové vody bez kontaktu s produktem [1]. Bohužel ani tato studie neukazuje výsledky redukce TN.

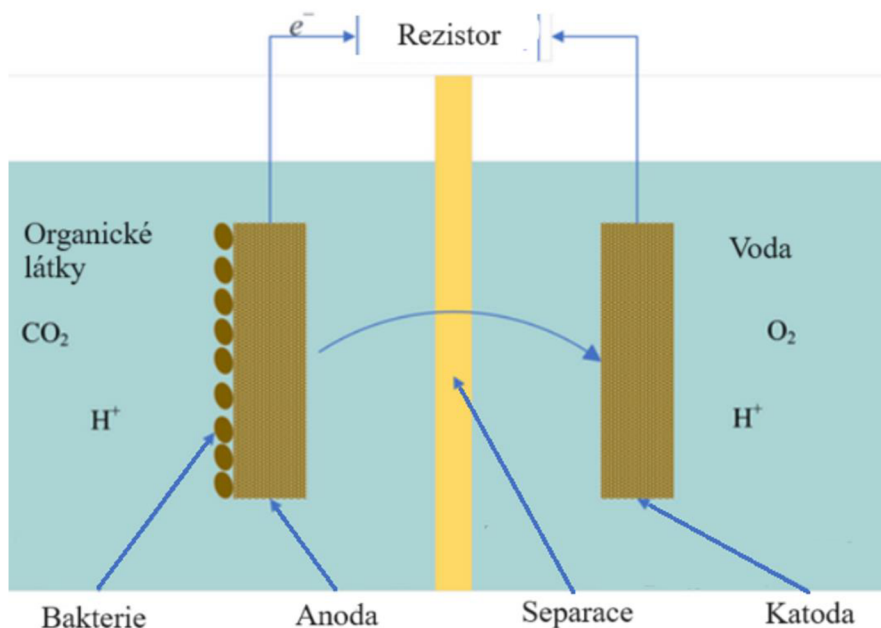
4.2.5 Mikrobiální palivové články a elektro-Fentonové systémy

Inovativní metodou čištění odpadních vod se zabývá studie zveřejněná v roce 2024 od Mkilima et al., která zkoumala vliv materiálu elektrod mikrobiálních palivových článků (MFC) a elektro-Fentonových systémů (EF). Cílem této studie bylo nalezení optimálního materiálu pro zajištění vysoké účinnosti čištění odpadních vody s co nejnižšími ekonomickými náklady. Systém MFC byl využit pro výrobu energie a čištění vody. Anodová komora byla naplněna odpadní vodou, zatímco katodová komora byla naplněna vodovodní vodou. Obě komory byly o rozměrech 0,25x0,1x0,2 m. [28]

MFC jsou bioelektrochemická zařízení proměňující, prostřednictvím aktivit mikrobů, chemickou energii na elektrickou. Jedná se o alternativní zdroj energie bez vytváření jakýchkoli nebezpečných látek. Obsahuje jednu anodovou a jednu katodovou komoru, které jsou od sebe odděleny membránou. Mikroby v anodové komoře rozkládají látky. Elektrochemicky aktivní mikroby přenášejí získané elektrony na anody. Tyto elektrony jsou následně pomocí externího obvodu přenášeny na katodu. Na katodě dochází ke sloučení protonů a elektronů, což vede ke vzniku elektrického proudu. [29]

Fentonův proces je cyklus založen na reakci Fe^{2+} a H_2O_2 za vzniku hydroxylových radikálů. Tento proces má však nedostatky v podobě neúčinnosti odstranění některých polutantů. Z tohoto důvodu byl vyvinut proces EF, který vychází z ionizace, oxidace a separace odpadních látek pomocí elektrických proudů. [30]

Na obr. 10 lze vidět schéma MFC z této studie.



Obr. 10 Schéma MFC ze studie Mkilima et al. z roku 2024 [27]

V průběhu tohoto experimentu byla použita široká škála mikroorganismů. Z počátku bylo potřeba zajistit ideální prostředí pro kultivaci mikroorganismu a po jeho zajištění mohlo započít čištění (prostředí zahrnovalo 1,5 % kravského hnoje a 0,4 % cukru) a poté přišlo na řadu měření optimálního materiálu elektrod a podmínek pro čištění. Ve studii je uvedeno přibližné složení odpadní vody: [28]

Tab. 15 Jakost odpadní vody použité ve studii Mkilima et al. z roku 2024 [28]

Parametr	Koncentrace mg/l
CHSK	1102-1308
BSK	470-601
TSS	450-683
TN	43-64
TP	13-20
Chloridy	94-197
Dusičnany	23-50

Zároveň v této studii byla provedena korelační analýza mezi různými parametry kvality vody. Výsledky ukazují, že zvýšený zákal koexistuje se zesíleným zbarvením, korelaci BSK se základem a zbarvením a CHSK a korelaci dusičnanů se zbarvením a sírany. Poté bylo provedeno měření pomocí nejprve samostatně MFC, EF a poté při jejich kombinaci. Výsledky studie jsou uvedeny v procentuálním souladu jakosti vody se standardy kvality vody stanovenými WHO. Zahrnutí negativního znaménka do výsledku značí nedodržení normy kvality pitné vody. [28]

Tab. 16 Procentuální soulad jakosti vyčištěné vody ze studie Mkilina et al. z roku 2024 s pitnou vodou [28]

Parametr	Neupravená voda	MFC grafit	MFC titan	EF grafit	EF titan	MFC+EF grafit	MFC+EF titan
CHSK	-12482	-3587	-2924	-2154	-1369	-451	-362
BSK	-10593	-2873	-2356	-1344	-970	-392	-268
TSS	-54547	-20338	-18580	-13835	-7760	-228	-89
TN	-435	-146,34	-148	-85	-4	29	46
TP	-167900	-89276	-90100	-75164	-90100	-16868	-17900
Chloridy	41	61	66	73	75	92	93
Dusičnany	-247,17	-53	-15	-86	-35	66	74

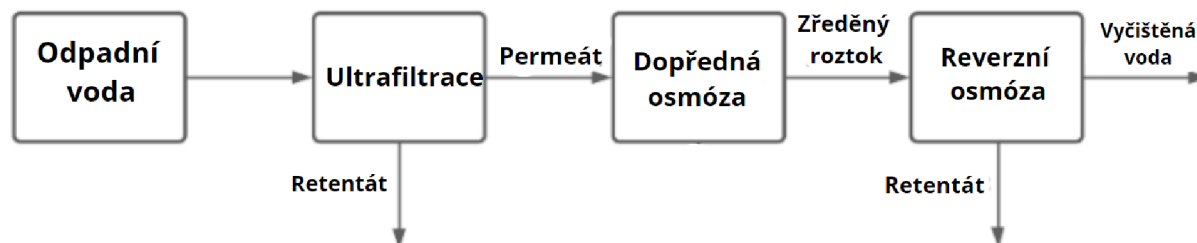
V závěru této studie je zhodnocení celého výzkumu. Porovnání grafitových a titanových elektrod odhalilo, že výhodnějším materiálem je titan z důvodu trvalé vyšší proudové hustoty a účinnosti čištění odpadních vod ve všech 3 případech. Kombinace obou procesů přinesla nejlepší výsledky, kde obě elektrody odstranily přibližně 99 % zákalu. V odstranění zbarvení vody byl účinnější titan, který odstranil 91,6 % zbarvení, grafit 90,5 %. Při odstraňování CHSK a BSK titan opět dosahoval vyšší účinnosti. U TSS na tom oba materiály byly podobně, když v obou případech došlo k odstranění přibližně 99,5 %. Tato studie přinesla výsledky, které ukazují, že se jedná o slibnou metodu recyklace odpadních vod. Ačkoliv pouze pár parametrů dosáhlo norem pro pitnou vodu, tato metoda má potenciál pro další optimalizaci pro dosažení úplné shody s normami pro pitnou vodu. [28]

4.2.6 Ultrafiltrace s dopřednou a reverzní osmózou

Studie Fatima et al. z roku 2023 se zabývala čištěním vody pomocí UF s následným čištěním dopřednou osmózou (FO) a reverzní osmózou (RO) [30]. V FO, na rozdíl od tlakově řízené RO, čerpací roztok s vyšším osmotickým tlakem čerpá přes membránu vodu s nižším tlakem [31]. Vzhledem k odlišným hnacím silám při obou procesech je i zanášení membrán odlišné a oba procesy jsou jinak energeticky náročné [31]. FO poskytuje nižší energetický vstup, menší zanášení membrány a snadnější odstraňování znečištění. Hlavní nevýhodou FO je, že jejím produktem je zředěný čerpací roztok. V tomto procesu byla zkoumána odpadní voda z jatek v Texasu, USA. V prvním kroku byla voda filtrována pomocí UF při tlaku 827 kPa a průtoku 6 l/min a po 2 hodinách, kdy byla dynamika toku snížena pod 50 %, došlo k zastavení, promytí membrány a opětovnému obnovení toku. FO probíhala za toku vody 3 l/min. Tok vody

byl každých 7 hodin zastaven, aby došlo k propláchnutí membrány. Poté následovala RO při průtoku 6 l/min a tlaku 2895 kPa. [31]

V tab. 17 je uvedena jakost nevyčištěné odpadní vody a na obr. 11 je znázorněna čisticí linka použitá v této studii.



Obr. 11 Schéma čisticí linky ze studie Fatima et al. z roku 2023

Tab.17 Jakost odpadní vody ze studie Fatima et al. z roku 2023 [31]

Parametr	Koncentrace mg/l
CHSK	30
TS	1830
TSS	-
TN	107
TP	36

Další krok UF vodu částečně vyčistil, ale protože již voda byla předčištěna, tento krok neměl příliš velkou účinnost. I přesto ale zbavil odpadní vodu veškerého zákalu. V tab. 18 a 19 jsou uvedeny účinnosti čištění jednotlivých separačních kroků. [31]

Tab.18 Účinnost UF ze studie Fatima et al. z roku 2023 [31]

Parametr	Snížení koncentrace pomocí UF v této studii v %	Snížení koncentrace pomocí UF z jiných studií v %
CHSK	36,7	95
TS	24,7	85
TN	12,1	86
TP	38,9	-

Tab.19 Účinnost FO a RO ze studie Fatima et al. z roku 2023 [31]

Parametr	Snížení koncentrace v dalším kroku pomocí FO v %	Snížení koncentrace v posledním kroku pomocí RO v %
CHSK	100	100
TS	90,5	100
TN	37,2	60
TP	100	-

V této studii byla voda zbavena všech polutantů s výjimkou TN, který měl konečnou koncentraci ve vodě přibližně 22 mg/l. Kvalita vody tudíž splňovala všechny parametry pro pitnou vodu právě s výjimkou TN. Celkově se opět dá říct, že se jedná o velice slibnou metodu, která se dá využít v procesu recyklace odpadních vod. Samotná studie doporučuje, aby v budoucnu byly provedeny studie k odstranění TN pomocí FO. [31]

4.2.7 Shrnutí recyklačních studií

Studií na recyklaci odpadních vod z masného průmyslu bylo uděláno mnoho. Pro účely této práce byly srovnávány vybrané studie, které dohromady poskytují dobrý přehled o současném stavu techniky v oboru recyklace odpadních vod z masného průmyslu. Problém těchto studií spočívá v tom, že nezmiňují veškeré parametry odpadní a recyklované vody. Zároveň každá studie zkoumá částečně odlišné parametry, a proto je jejich porovnání poměrně složité. Níže uvedené srovnání je proto nutné vnímat v kontextu omezujících podmínek jednotlivých experimentů.

Nejzajímavější výsledky přinesla studie kombinující UF, RO a FO (kap. 4.2.6). Studie popisuje, že došlo ke 100% odstranění CHSK a BSK. Navíc lze předpokládat, že u membránového čištění by mělo dojít také k úplnému odstranění TSS [32]. FO je zároveň ideální předčištění pro RO, protože snižuje zanášení membrán. Jediným nedostatkem této metody je tudíž odstranění TN, u kterého došlo ke snížení koncentrace asi o 79 %. Další zajímavé výsledky přinesla opět studie kombinující UF a RO s předčištěním centrifugou (kap. 4.2.2). Samotná studie pak uvádí >99% odstranění CHSK. Bohužel nejsou uvedeny další ukazatele, ale opět lze předpokládat úplné odstranění TSS. Pozitivní výsledky dále přineslo čištění vody pomocí ABR, AS a AOP (kap. 4.2.3), které opět přinesly >99% odstranění CHSK, 99% BSK, 98% TSS a 96 % TN. Jako nadějná metoda se jeví kombinace MFC a EF ze studie Mkilima et al. z roku 2024 (kap. 4.2.5), která zkoumala vliv materiálů článků MFC a EC. Studie sice nepřinesla požadované požadavky na pitnou vodu, ale naznačuje, že při vývoji této technologie bychom mohli dosáhnout vysoké účinnosti čištění odpadních vod při nižších nákladech na její provoz. Důležitým faktorem je také schopnost technologie fungovat v reálném provozu při velkém průtoku vod. Ze všech studií byly v reálném měřítku odzkoušeny pouze technologie zahrnující membránové technologie (kap. 4.2.2 a kap. 4.2.6), které byly schopny vyčistit odpadní vodu v řádu stovek litrů za hodinu. Ostatní studie, kombinující převážně biologické čištění vod, byly odzkoušeny v laboratorním měřítku.

Dalším důležitým aspektem porovnání studií jsou finanční náklady jednotlivých metod. Ve studii (kap. 4.2.2), kombinující UF a RO je uvedena cenová závislost 0,66 USD/m³ odpadní vody. Druhá studie, uvádějící cepové náklady je studie (kap. 4.2.4), kombinující bioreaktor s aktivním kalem a ozonizací, která uvádí cenovou závislost 0,12 USD/ m³ odpadní vody. Toto číslo však může být zavádějící, protože technologie byla zkoumána v laboratorním měřítku a ve skutečném provozu by se tyto cenové náklady mohly lišit. U ostatních metod cenové závislosti uvedeny nejsou.

Shrnutí výsledků jednotlivých studií je uvedeno v tab. 20. Shrnutí výhod a nevýhod jednotlivých metod jsou znázorněny v tab. 21.

Tab. 20 Shrnutí účinnosti jednotlivých studií recyklace odpadních vod z masného průmyslu

Studie	Technologie	Snížení CHSK v %	Snížení BSK v %	Snížení TSS v %	Snížení TN v %
Keskes et al., 2012	DAF + bioreaktor se submerzní membránou	>99	-	>99	-
Coskun et al., 2015	Centrifuga + UF + RO/NF	>99	-	-	-
Bustillo-Lecompte a Mehrvar, 2017	AS + AS + AOP	>99	99	98	96
Alfons et al., 2017	Reaktor s aktivním kalem + ozonizace	93	98	99	-
Fatima et al., 2023	UF + RO + FO	100	100	-	79

Údaje v tab. 20 jsou vypočteny z výsledků jednotlivých studií. Tyto výpočty jsou poté znázorněny v rovnici (3), (4), (5), (6).

Ostatní hodnoty uvedeny v tab. 20 převzaty ze studií. Výsledky studie, kombinující MFC a EF články, v tab. 20 nejsou uvedeny z důvodu odlišného typu výsledků ve studii, jehož výpočty by nemusely být zcela přesné. Technologie však dokázala vyčistit na požadovanou jakost pro pitnou vodu pouze TN a dusičnany.

Tab. 21 Shrnutí výhod a nevýhod jednotlivých studií recyklace odpadních vod z masného průmyslu

Studie	Technologie	Klady technologie	Zápory technologie
Keskes et al., 2012	DAF + bioreaktor se submerzní membránou	Možnost užití vody pro zemědělskou závlahu	Neodzkoušení technologie v reálném měřítku, dlouhá doba čištění
Coskun et al., 2015	Centrifuga + UF + RO/NF	Možnost užití vody jako oplachové	-
Bustillo-Lecompte a Mehrvar, 2017	AS + AS + AOP	Nízké provozní náklady	Neodzkoušení technologie v reálném měřítku
Alfons et al., 2017	Reaktor s aktivním kalem + ozonizace	Možnost užití vody na oplachy	Neodzkoušení technologie v reálném měřítku, delší doba čištění
Mkilima et al., 2024	MFC + EF	Potenciál a velký prostor k rozvoji metody	Menší množství čištěné vody, nedostatečné vyčištění pro oplachovou vodu
Fatima et al., 2023	UF + FO + RO	Zbavení se všech polutantů obsažených ve vodě (s výjimkou TN), velké množství vyčištěné vody	-

5.0 Koncepční návrh recyklační linky pro vybranou odpadní vodu

Tato část práce se věnuje koncepčnímu návrhu recyklační linky pro hypotetický průmyslový provoz, pro který byla stanovena průmyslově relevantní jakost odpadní vody a její objem. Kapitola podrobněji rozebírá jednotlivé kroky recyklace, jejich vstupy a výstupy (základní materiálovou bilanci) a uvažuje nad reálným provozem linky.

5.1 Požadavky modelového provozu

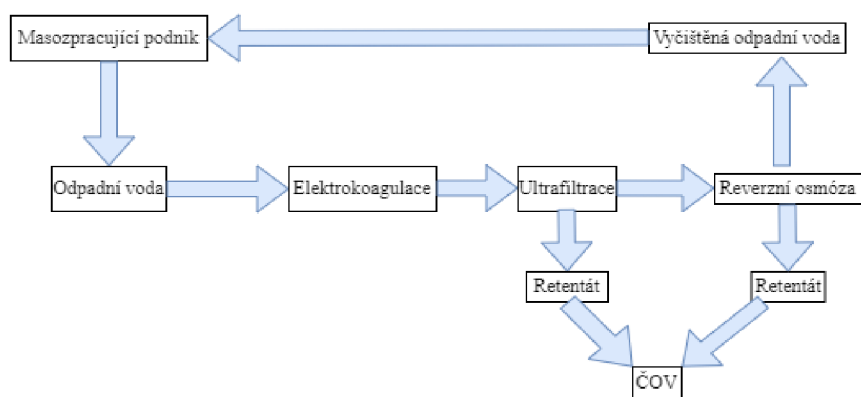
Pro účely návrhu byla stanovena jakost odpadní vody, a to na základě průměrných hodnot pro jednotlivé ukazatele znečištění, které jsou typické pro odpadní vody z masného průmyslu (viz tab. 1) [3]. V tab. 22 je uvedena jakost vybrané odpadní vody a jsou v ní také uvedeny stanovené cíle po vyčištění vody. Návrh směřuje k tomu, aby recyklovaná voda měla složením blízko k pitné vodě a dala se použít jako voda oplachová. Množství odpadní vody, které bude čištěno, bylo stanoveno na 15 m³ odpadní vody/hodinu. Toto množství by při denním 12hodinovém provozu odpovídalo 65700 m³ vody ročně. Z kap. 3.2 lze vyčíst, že největší česť znečišťovatelé dosahují vyššího množství vypuštěných odpadních vod ročně (mezi 280000-600000 m³ ročně). Z těchto údajů lze tedy usoudit, že vypuštěné množství odpadních vod by odpovídalo menšímu producentu masných výrobků a odpadních vod. Výpočet ročního množství čištěné vody je vyobrazen v rovnici (12). Hodinové množství nečistot je počítáno z rovnic (7 až 11).

Tab. 22 Jakost vybrané odpadní vody a požadavky na její jakost po vyčištění

Parametr	Jakost surové vody mg/l	Hodinové množství nečistot surové odpadní vody kg/hod	Jakost vyčištěné vody mg/l
CHSK	8200	123	10
BSK	2393	35,9	10
TSS	3335	50	10
TN	446	6,7	50
TOC	653	9,8	5

5.2 Návrh recyklační linky

Tato část práce se zaměřuje na koncepční návrh recyklační linky pro zvolený modelový provoz a výpočet materiálové bilance. Návrh vychází ze studie provedené Coskun et al. z roku 2015 (kap. 4.2.2) a využívá UF a RO jako hlavní technologické operace. Jediný rozdíl bude v předčištění, které bude probíhat pomocí technologie EC a ne centrifugy. Tato studie byla vybrána na základě poměrně vysoké efektivity. Schéma recyklační linky je znázorněno na obr. 12. Konkrétně lze tedy vidět odpadní vodu vznikající v masozpracujícím podniku, jež je čištěna v prvním kroku pomocí EC. Poté je voda čištěna prostřednictvím UF, kde je rozdělena na permeát a retentát. Následuje RO, kde je voda opět rozdělena na retentát a permeát. Retentát z tohoto kroku bude sloučen s retentátem z prvního kroku a odvezen na ČOV. V případě permeátu z RO se jedná o finální produkt, který může být opět použit v masozpracujícím podniku.



Obr. 12 Schéma koncepčního návrhu recyklační linky

5.3 Bilance linky

V této části bude blíže rozebrán proces úpravy v jednotlivých krocích a jejich základní bilance. Bilance vychází převážně z účinnosti jednotlivých separačních kroků rozebráných v kap. 4.1 a studie zkoumající kombinaci UF a RO (kap. 4.2.2). Co se týče fungování linky, proces čištění v EC by trval kontinuálně. Po tomto kroku by byla voda čištěna pomocí membrán. Tento provoz by trval 3 hodiny a poté došlo k odstranění sedimentovaných nečistot, vyčištění membrán i elektrod EC.

5.3.1 Předčištění pomocí elektrokoagulace

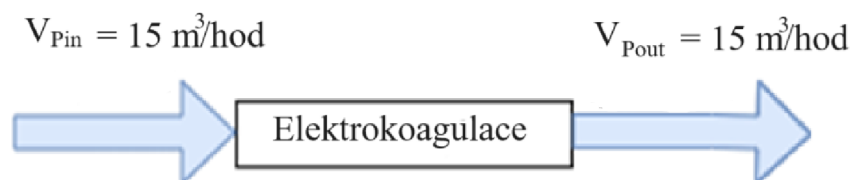
V tomto kroku dojde k předčištění vody pomocí technologie EC, tento krok předčištění byl vybrán z důvodu poměrně vysoké účinnosti, která může být následně velice užitečná pro snížení zanášení membrán v následujících krocích.

Do tohoto kroku bude použit EC pomocí bipolárních elektrod z měkké oceli, u kterých by se dalo předpokládat snížení CHSK o 84 %, BSK o 87 % a 93 % TSS a zároveň téměř odstranění zákalů a tuků [19]. Cenové náklady technologie se ve zkoumání této metody pohybují okolo 0,71 USD/m³ odpadní vody [19]. Studie [37] uvádí, že by mohlo dojít k odstranění 30 % TN a 70 % TOC.

Je ale třeba si uvědomit, že studie proběhla poměrně dávno a v dnešní době by náklady mohly být daleko vyšší. Výsledky prvního kroku čištění jsou zmíněny v tab. 23. Schéma procesu je poté zobrazeno na obr. 13. Jakost vody po tomto kroku čištění vychází z rovnic (13 až 17). Výpočet hodinového množství nečistot po EC je znázorněn rovnicemi (18 až 22).

Tab. 23 Jakost recyklované odpadní vody po předčištění pomocí EC

Parametr	Koncentrace mg/l	Hodinové množství nečistot vyčištěnou vodou po EC kg/hod
CHSK	1312	19,7
BSK	311	4,7
TSS	233	3,5
TN	312,2	4,7
TOC	195,9	2,9



Obr. 13 Schéma kroku elektrokoagulace koncepčního návrhu recyklační linky

Tento stupeň předčištění vody sice přiblížil do požadovaných hodnot, nicméně jakost vody je pořád poměrně daleko od stanovených cílů.

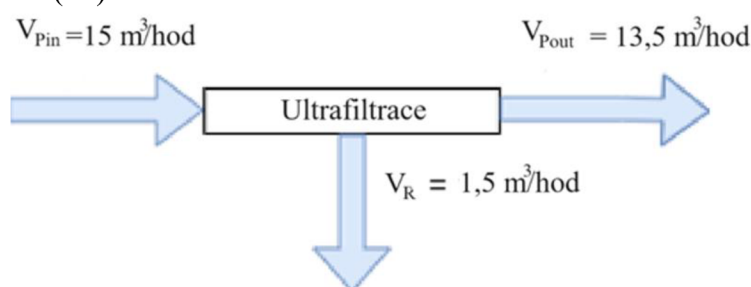
5.3.2 Čištění ultrafiltrací

Dalším krokem úpravy vody bude UF. V tomto kroku voda projde membránou o velikosti pórů mezi 0,1 – 0,3 μm . Schéma daného kroku je uvedeno na obr. 14. Dalo by se předpokládat, že z celkového množství vody vzejde přibližně 90 % permeátu [24], což činí asi 13,500 m^3/hod vody (rovnice 23). Podle kombinace různých studií (tab. 11) by se dalo předpokládat, že by v tomto kroku mohlo dojít k odstranění dalších 94 % CHSK, 97,8 % BSK, 35,5 % TN a 85,5 % TOC [19]. Zároveň podle zdroje by mělo dojít k úplnému odstranění TSS. Následná jakost vody by poté mohla vypadat takto:

Tab. 24 Jakost recyklované odpadní vody pomocí čištění vody UF

Parametr	Koncentrace odpadní vody po UF mg/l	Hodinové množství nečistot v permeátu po UF kg/hod	Koncentrace retentátu mg/l	Hodinové množství nečistot v retentátu po UF kg/hod
CHSK	79	1	12333,3	18,5
BSK	7	0,1	3066,7	4,6
TSS	0	0	2333,3	3,5
TN	201,4	2,7	1133,3	1,7
TOC	28	0,4	1666,7	2,5

Koncentrace vody je počítána z rovnic (25 až 29), hodinové množství nečistot v permeátu z rovnic (30 až 34), koncentrace retentátu z rovnic (40 až 44) a jeho hodinové množství nečistot z rovnic (35 až 39). Množství retentátu, které činí 1,5 m^3/hod je poté vypočteno z rovnice (24).



Obr. 14 Schéma kroku ultrafiltrace koncepčního návrhu recyklační linky

Po procesu UF bylo dosaženo požadovaného množství BSK. Nicméně ve zbylých parametrech pořád nebylo dosaženo požadovaných parametrů.

5.3.3 Čištění reverzní osmózou

Reverzní osmóza by měla být posledním krokem čištění vody. Schéma kroku se vstupy a výstupy je uvedeno na obr. 15. V tomto případě by měly být použity póry o velikosti mezi 0,001-0,005 μm . Z výše uvedené studie lze vyčíst, že v tomto kroku mělo být odstranění asi 90 % TN, 50 % BSK a 86 % CHSK. Zdroj [33] následně uvádí odstranění 98 % TOC. Výsledná voda by měla vypadat následovně:

Tab. 25 Jakost recyklované odpadní vody pomocí čištění vody RO

Parametr	Koncentrace mg/l	Hodinové množství nečistot v permeátu po RO kg/hod	Koncentrace retentátu mg/l	Hodinové množství nečistot v retentátu po RO kg/hod
CHSK	11	0,1	266,7	0,9
BSK	3,5	0	14,8	0,05
TSS	0	0	0	0
TN	20,1	0,2	711	2,4
TOC	0,6	0	118,5	0,4

Z obr. 15 je patrné, že se v tomto kroku voda opět rozdělí na permeát a retentát. Výpočet jakosti vody po tomto kroku čištění je vyjádřen v rovnicích (47 až 51), hodinové množství nečistot v permeátu v rovnicích (52 až 56), koncentrace retentátu v rovnicích (62 až 66) a hodinové množství nečistot v retentátu v rovnicích (57 až 61).

Hodinové množství permeátu a retentátu se dá vypočítat podle této rovnice:



Obr. 15 Schéma recyklačního kroku reverzní osmózy koncepčního návrhu recyklační linky

V tomto kroku by se dalo odhadovat, že ze zbylých 13500 l/hod vody vzejde asi 75 % permeátu [24], což činí asi 10,1 m³ vyčištěné odpadní vody každou hodinu (rovnice 45). Z výše uvedených výsledků lze vyzorovat, že bylo dosaženo 4 požadovaných parametrů z 5 (BSK, TSS, TOC a TN). Tato voda by následně mohla být upravena oxidačním procesem a dalo by se předpokládat, že by došlo k požadovanému vyčištění. Co se toku vody týče, tak z výše uvedené studie (kap. 4.2.2) vyplývá, že nejvyššího toku membránami bylo dosaženo při tlaku mezi 20 a 25 bary a zároveň lze uvažovat i zmíněné náklady při této kombinaci, které činí přibližně 0,66 USD/m³ odpadní vody [24]. Tyto hodnoty jsou ale orientační z důvodu jiného složení odpadní vody. Hodinové množství permeátu je počítáno z rovnice (45). Množství retentátu je počítáno z rovnice (46). Množství retentátu činí 3,4 m³/hod (rovnice 46).

5.3.4 Retentát

Důležitou problematikou je následné zacházení s retentátem. Recyklační linka bude mít 2 druhy retentátu po jednotlivých stupních čištění: retentát po čištění UF a po čištění RO. Oba retentáty budou každý den převezeny na ČOV, kde budou vyčištěny pro následné vypouštění do povrchových vod. Pro první druh retentátu po čištění UF by se jednalo asi o 18 m³ retentátu denně. V případě druhého retentátu by se následně jednalo o 40,5 m³ odpadní vody denně. Denní množství retentátu je vypočteno z rovnice (67).

5.3.5 Provozní náklady

Provozní náklady jsou důležitým aspektem provozu. Náklady na provoz EC by se mohly pohybovat okolo 0,71 USD/m³ odpadní vody. Náklady na provoz linky kombinující UF a RO se mohou pohybovat okolo 0,66 USD/m³ odpadní vody. Při ročním průtoku 65700 m³ odpadní vody by provozní náklady technologie daly odhadovat okolo 90009 USD. Konkrétně pro krok čištění pomocí EC by se jednalo o 46647 USD. V případě membránového čištění by náklady

byly asi 43362 USD. Každopádně je třeba brát tyto náklady s rezervou, protože mohou být značně ovlivněny cenami energií, složením odpadních vod a jejím množstvím. Pro přesnější představu o nákladech na provoz by bylo třeba technologii odzkoušet v reálném provozu s konkrétním typem membrán a EC linky.

Provozní náklady pro EC jsou vyjádřeny v rovnici (68), pro membránové čištění v rovnici (69) a odhad celkových provozních nákladů je znázorněn v rovnici (70).

5.4 Diskuze o koncepčním návrhu

Koncepční návrh recyklační linky pro vybranou odpadní vodu splňuje požadavky pro BSK, TN, TOC a TSS. CHSK je obsaženo přibližně 11 mg/l, což se přibližuje požadované jakosti 10 mg/l pro pitnou vodu. Z původních 15 m³ odpadní vody za hodinu je získáno 10,1 m³ permeátu za hodinu. Retentát po UF může být skladován a společně s retentátem po RO může být převezen na ČOV k dalšímu vyčištění. Výsledky čištění však nejsou úplně přesné. Je to dáno odlišnostmi výsledků různých studií, kvůli čemuž se výstupy čištění složitě odhadují. Pro přesné výsledky by bylo třeba provést třeba experimentální měření, které by bylo schopné nastínit účinnost jednotlivých kroků nebo poté třeba pilotní provoz v praxi, kde by bylo možné otestovat schopnost provozu v praxi v takovém množství odpadní vody za hodinu. Dále by byl tento provoz schopen otestovat účinnost jednotlivých kroků a mimo jiné také by ukázal skutečné množství retentátu a permeátu, které jsou výstupem tohoto koncepčního návrhu. Dalším důležitým aspektem jsou energetické náklady, které se z různých studií také těžko odhadují a až pilotní provoz a přesné sestavení linky by dokázalo poskytnout přesnější představu o energetické náročnosti tohoto procesu. Hrubý odhad nákladů na roční provoz činí asi 90009 USD ročně.

ZÁVĚR

Pro odpadní vody z masného průmyslu je charakteristický vysoký obsah CHSK, BSK, TSS, TN a TOC. Na území ČR jsou vody chráněny prostřednictvím zejména Nařízení vlády č. 401/2015, které vychází z Vodního zákona. Nařízení stanovuje povinnosti znečišťovatelů odpadních vod a přípustné hodnoty znečištění. Důležitou roli v oblasti znečištění odpadních vod zastává Integrovaný registr znečišťování (IRZ), který vznikl v reakci na vstup ČR do EU. Jedná se o veřejně přístupnou databázi úniků znečišťujících látek, jejíž úkolem je prevence a omezování znečištění životního prostředí.

V ČR je nejvíce konzumovaným masem vepřové maso a poté maso drůbeží a na třetím místě se nachází hovězí maso. Co se týče samotné produkce masa, tak opět platí toto pořadí. Pro tuto práci byl masný průmysl rozdělen na výrobu uzenin, paštik a jatka. Každý znečišťovatel odpadních vod se musí řídit podle vlastních emisních limitů, které lze najít na stránkách Ministerstva životního prostředí. Roční objem vypouštěných vod u největších znečišťovatelů v ČR se může pohybovat mezi 280000 až 600000 m³. V roce 2022 bylo pak vypuštěno asi 200 mil m³ odpadních vod z průmyslu, což by mohlo odpovídat přibližně 58 mil m³ odpadních vod přímo z masného průmyslu.

Oblast čištění odpadních vod se dá rozdělit do 5 podskupin: aplikace do půdy, fyzikálně chemické čištění, biologické čištění, pokročilé oxidační procesy a kombinace procesů. Mezi typické technologie fyzikálně chemického čištění patří třeba membránové technologie, ve kterých dochází k oddělení částic od vody pomocí membrány. V závislosti na velikosti pórů membrán se rozlišují 4 základní druhy membránového čištění: mikrofiltrace, nanofiltrace, ultrafiltrace a reverzní osmóza. Dalším příkladem fyzikálního čištění vod je koagulace, při které se do vody přidávají sloučeniny, nebo elektrická energie (elektrokoagulace). Tyto sloučeniny mění fyzikální stav znečišťujících látek. Mezi biologické čištění patří aerobní čištění, při kterém dochází k odbourávání látek pomocí mikroorganismu za přítomnosti kyslíku a anaerobní, které probíhá bez přítomnosti kyslíku. Pokročilé oxidační procesy vodu čistí pomocí silných oxidantů (třeba hydroxylové radikály), které degradují znečišťující látky.

Recyklace odpadních vod většinou spočívá v kombinaci výše zmíněných metod. Po vyčištění vod se s nimi dá zacházet 4 způsoby: jejich vypuštění do povrchových vod, opětovné využití při kontaktu s produktem, nebo bez kontaktu s ním a zemědělská zvlaha. Pro kontakt s produktem je vodu nutno upravit tak, aby nedošlo ke znehodnocení výrobku. Práce analyzovala několik studií, které se zabývaly recyklací odpadních vod z masného průmyslu. Mezi ty nejzajímavější patří studie Coskun et al. z roku 2015, kde byla odpadní voda čištěna pomocí centrifugy, ultrafiltrace a reverzní osmózy. Tato metoda přinesla možné využití bez kontaktu s produktem. Úplné vyčištění vody s výjimkou TN zajistila studie Fatima et al. roku 2023 pomocí ultrafiltrace, reverzní a dopředné osmózy. Jako zajímavá metoda se pak jeví metoda čištění pomocí mikrobiálních palivových článků a elektro-fentonových systémů, zkoumána v roce 2024, která má však stále nedostatky v účinnosti čištění.

Koncepční návrh recyklační linky pro modelový průmyslový provoz se skládá z elektrokoagulace, ultrafiltrace a reverzní osmózy. Návrh je navržený na 12hodinový provoz s produkcí odpadních vod v objemu 15 m³ za hodinu. Podle odhadu je schopen získat 10,1 m³ permeátu každou hodinu (tj. 65700 m³ ročně). Zbylý retentát může být převezen na ČOV pro další zpracování. Z tab. 26 lze vyzorovat, že ve 4 z 5 parametrů (BSK, TN, TOC a TSS) byl návrh úspěšný a ve zbylém parametru čištění CHSK se přiblížil požadovaným nárokům na pitnou vodu. Energetické nároky na provoz jednotlivých kroků čištění se mohou u EC pohybovat okolo 46647 USD ročně. Orientační odhad nákladů membránové technologie se pohybují okolo 43362 USD ročně. Celkové roční náklady koncepčního návrhu tak činí 90009 USD ročně.

Tab. 26 Shrnující tabulka koncepčního návrhu recyklační linky

Parametr	Jakost surové vody mg/l	Stanovený cíl vyčištěné vody mg/l	Koncentrace po vyčištění mg/l
CHSK	8200	10	11
BSK	2393	10	3,5
TSS	3335	10	0
TN	446	50	20,1
TOC	653	5	0,6

Celkově však návrh může být poměrně nepřesný z důvodu odlišností provedených studií, ze kterých práce čerpá při stanovování bilance jednotlivých kroků čištění. Pro přesné výsledky jakosti vody, množství vody a energetické náročnosti by bylo potřeba návrh otestovat v reálném provozu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Philipp, M.; Masmoudi Jabri, K.; Wellmann, J.; Akrouf, H.; Bousselmi, L.; Geißen, S.-U. Slaughterhouse Wastewater Treatment: A Review on Recycling and Reuse Possibilities. *Water* 2021, 13, 3175. <https://doi.org/10.3390/w13223175>
- [2] *Waste Water Recycling*. Online. Centrasep. 2024. Dostupné z: <https://www.centrasep.com/waste-water-recycling/>. [cit. 2024-02-27].
- [3] HE, JinTao; XIA, SuXuan; LI, Wen; DENG, Jing; LIN, QinLu et al. Resource recovery and valorization of food wastewater for sustainable development: An overview of current approaches. *Journal of Environmental Management*. 2023, č. 347, s. 1-18.
- [4] *D5 – INTEGROVANÝ REGISTR ZNEČIŠŤOVÁNÍ ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ – IRZ*. Online. Dostupné z: https://www.mzp.cz/www/dav.nsf/rocenka_06/d5.htm. [cit. 2024-02-27].
- [5] Zákon č. 254/2001 Sb.: Zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon). In: . 2001.
- [6] Nařízení vlády č. 401/2015 Sb.: Nařízení vlády o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech. In: . 2015. ISSN 1211-1244.
- [7] *O IRZ*. Online. Integrovaný registr znečišťování. 2021. Dostupné z: <https://www.irz.cz/o-irz>. [cit. 2024-02-27].
- [8] *Úniky do vody*. Online. Integrovaný registr znečišťování. 2021. Dostupné z: <https://www.irz.cz/latky-v-irz/uniky-do-vody>. [cit. 2024-02-27].
- [9] *Spotřeba potravin - 1948 - 2022: Maso v hodnotě na kosti*. PDF. Český statistický úřad, 2023.
- [10] *Doplňující informace k RI Živočišná výroba – rok 2023*. Online. Český statistický úřad. 2024. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/cri/zivocisna-vyroba-4-ctvrtleti-2023>. [cit. 2024-03-07].
- [11] *Zpráva o stavu vodního hospodářství České republiky v roce 2022*. Ministerstvo zemědělství, 2023. ISBN 978-80-7434-702-3.
- [12] *Modré zprávy*. Online. Ministerstvo zemědělství. 2021. Dostupné z: <https://eagri.cz/public/portal/mze/voda/osveta-a-publikace/publikace-a-dokumenty/modre-zpravy>. [cit. 2024-02-27].
- [13] STRAŇÁK, Lukáš. *Technologie výroby a kontrola jakosti šunek* [online]. Brno, 2016 [cit. 2024-02-17]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/69d1wn/>. Bakalářská práce. Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta. Vedoucí práce Ing. Miroslav Jůzl, Ph.D.
- [14] *Příloha k rozhodnutí o změně integrovaného povolení č.j: KUJCK 131771/2023, sp.zn.: OZZL 124564/2023/maji ze dne 06.11.2023*. Krajský úřad Jihočeského kraje, 2023.
- [15] ZUKALOVÁ, Magdaléna. *Průmyslové zabíjení zvířat z perspektivy pracovníků jatek*. Online. Diplomová práce. Brno: Masarykova univerzita, Fakulta sociálních studií. 2017. Dostupné z: <https://is.muni.cz/th/m6331/>.

- [16] *Rozhodnutí: 3. změna integrovaného povolení při podstatné změně zařízení právnické osobě: Kostecké uzeniny, a.s., se sídlem Kostelec 60, 588 61 s přiděleným IČ 46900411 (dále jen „provozovatel“) pro zařízení kategorie 6.4. a) Jatka o kapacitě porážky větší než 50 t denně: „Jatka na porážku vepřových a hovězích jatečných zvířat“ (dále jen „zařízení“).* Krajský úřad Kraje Vysočina, 2021.
- [17] NOVOTNÁ, Tereza. *Perspektivy vývoje, výroby a aplikace želatiny do jatrových paštik* [online]. Zlín, 2022 [cit. 2024-02-17]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/1raubt/>. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická. Vedoucí práce Ing. Robert Gál, Ph.D.
- [18] *Rozhodnutí: o vydání změny integrovaného povolení č. 14 pro zařízení „Hamé s.r.o. – Výrobní závod Babice“ společnosti Hamé s.r.o.* 2023.
- [19] BUSTILLO-LECOMPTE, Ciro Fernando a MEHRVAR, Mehrab. Slaughterhouse wastewater characteristics, treatment, and management in the meat processing industry: A review on trends and advances. *Journal of Environmental Management*. 2015, č. 161, s. 287-302. ISSN 0301-4797
- [20] *Reduce Energy Costs Using Dissolved Air Flotation for Waste Activated Sludge Thickening*. Online. WesTech Engineering. Dostupné z: <https://www.westech-inc.com/blog/reduce-energy-costs-using-dissolved-air-flotation-for-waste-activated-sludge-thickening>
- [21] NAŘÍZENÍ EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) 2020/741: o minimálních požadavcích na opětovné využívání vody. In: . 2020.
- [22] Vyhláška č. 252/2004 Sb.: Vyhláška, kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody. In: . 2004.
- [23] KESKES, Sajiâa; HMAIED, Fatma; GANNOUN, Hana; BOUALLAGUI, Hassib; GODON, Jean Jacques et al. Performance of a submerged membrane bioreactor for the aerobic treatment of abattoir wastewater. *Bioresource Technology*. Leden 2012, č. 103, s. 28-34
- [24] COSKUN, Tamer; DEBIK, Eyup; HABUK, Harun Akif; DEMIR, Neslihan Manav; BASTURK, İrfan et al. Treatment of poultry slaughterhouse wastewater using a membrane process, water reuse, and economic analysis. *Desalination and Water Treatment*. Leden 2015.
- [25] BUSTILLO-LECOMPTE, Ciro a MEHRVAR, Mehrab. Slaughterhouse Wastewater: Treatment, Management and Resource Recovery. In: FAROOQ, Robina a ZAKI, Ahmad (ed.). *Physico-Chemical Wastewater Treatment and Resource Recovery*. IntechOpen, 2017, s. 153-174. ISBN 978-953-51-3130-4.
- [26] ALFONSO-MUNIOZGUREN, Pello; LEE, Judy; BUSSEMAKER, Madeleine; CHADEESINGH, Ralph; JONES, Caryn et al. A combined activated sludge-filtration-ozonation process for abattoir wastewater treatment. *Journal of Water Process Engineering*. 2018, č. 25, s. 157-163. ISSN 2214-7144.
- [27] ASHANSAZAN, B.; AFRASHTEH, H.; ASHANSAZAN, N. a ASHANSAZAN, Z. Activated Sludge Process Overview. *International Journal of Environmental Science and Development*. 2014, roč. 5, č. 1, s. 81-85.

- [28] MKILIMA, Timoth; SASPUGAYEVA, Gulnur; TUSSUPOVA, Zhazgul; KALIYEVA, Gulzhan; DAKIEVA, KulzipaDakieva et al. Electrode material impact on microbial fuel cell and electro-Fenton systems for enhanced slaughterhouse wastewater treatment: A comparative study of graphite and titanium. *Water Environment Research*. 2025, roč. 2, č. 96, s. 1-19.
- [29] JHA, S.; SHARMA, P. a PRAKASH, A. Microbial Fuel Cell. *Research Journal of Biotechnology*. 2023, č. 18, s. 122-133.
- [30] AFOLABI, Oluwatosin A.; ADEKALU, Kenneth O. a OKUNADE, David A. Electro-Fenton treatment process for brewery wastewater: effects of oxidant concentration and reaction time on BOD and COD removal efficiency. *Journal of Engineering and Applied Science*. 2022, č. 69, s. 1-14.
- [31] Fatima, F.; Du, H.; Kommalapati, R.R. A Sequential Membrane Process of Ultrafiltration Forward Osmosis and Reverse Osmosis for Poultry Slaughterhouse Wastewater Treatment and Reuse. *Membranes* 2023, 13, 296. <https://doi.org/10.3390/membranes13030296>
- [32] MALMALI, Mahdi; ASKEGAARD, John; SARDARI, Kamyar; ESWARANANDAM, Satchithanandam; SENGUPTA, Arijit et al. Evaluation of ultrafiltration membranes for treating poultry processing wastewater. *Journal of Water Process Engineering*. 2018, č. 22, s. 218-226.
- [33] HU, Jianguo; HU, Jianguo; HU, Jianguo a , Say-Leong Ong. Reclaiming Biologically Stable Water from Treated Secondary Effluent Using a Dual-Membrane System. *Environmental Engineering Science*. 2005, roč. 22, č. 4, s. 525-534.
- [34] IPPC - Integrovaná prevence a omezování znečištění. Online. Ministerstvo životního prostředí. 2024. Dostupné z: <https://ippc.mzp.cz/>. [cit. 2024-02-27].
- [35] BHAUMIK, Sutariya a KARAN, Santanu. A realistic approach for determining the pore size distribution of nanofiltration membranes. *Separation and Purification Technology*. 2022, č. 293.
- [36] SARDARI, Kamyar; ASKEGAARD, John; CHIAO, Yu-Hsuan; DARVISHMANESH, Siavash; KAMAZ, Mohanad et al. Electrocoagulation followed by ultrafiltration for treating poultry processing wastewater. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2016, roč. 6, č. 4, s. 4937-4944.
- [37] The Performance of Electrocoagulation Process in Removing Organic and Nitrogenous Compounds from Landfill Leachate in a Three-Compartment Reactor. *Journal of Ecological Engineering*. 2022, roč. 23, č. 2, s. 235-245.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

OSN	Organizace spojených národů
CHSK	Chemická spotřeba kyslíku
BSK	Biologická spotřeba kyslíku
TSS	Total suspended solids (Celkové zákalné látky, nerozpuštěné látky)
TN	Celkový dusík
TP	Celkový fosfor
Cl ⁻	Chloridové ionty
Ca ²⁺	Vápníkové ionty
TOC	Celkový organický uhlík
TPC	Polyfenolické sloučeniny
Cu	Měď
Pb	Olovo
Zn	Zinek
Al	Hliník
Fe	Železo
Pt	Platina
N-NH ₄ ⁺	Amoniakální dusík
EL	Extrahovatelné látky
NL	Nerozpuštěné látky
IRZ	Integrovaný registr znečišťování
CENIA	Česká informační agentura životního prostředí
AOX	Halogenové organické sloučeniny
IPPC	Integrovaná prevence a omezování znečišťování
NaCl	Chlorid sodný
pH	Potenciál vodíku
MF	Mikrofiltrace
UF	Ultrafiltrace
NF	Nanofiltrace
RO	Reverzní osmóza
DAF	Dissolved air flotation (Flotace rozpuštěným vzduchem)
SnO ₂	Oxid cíničitý
USD	Americký dolar
CO ₂	Oxid uhličitý
OH·	Hydroxylové radikály
AOP	Pokročilé oxidační procesy
NTU	Nephelometric Turbidity Unit (Jednotka zakalenosti vody)
CHSK-Mn	Chemická spotřeba kyslíku manganistanem
H ₂ O ₂	Peroxid vodíku
ABR	Anaerobní překážkový reaktor
AS	Aerobní reaktor
O ₃	Ozon
MFC	Mikrobiální palivová články
EF	Elektrofentonový systém
ČOV	Čistička odpadních vod
Fe ²⁺	Železný iont
WHO	Světová zdravotnická organizace
FO	Dopředná osmóza
EC	Elektrokoagulace
ČR	Česká republika

EU

Evropská unie

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Recyklační linka odpadních vod společnosti Centrasep.....	10
Obr. 2: Vypouštění odpadních vod v České republice v letech 1980-2020.....	15
Obr. 3: Schéma membránové technologie.....	20
Obr. 4: Ilustrační schéma procesu flotace.....	20
Obr. 5: Schéma elektrokoagulace	21
Obr. 6: Schéma čistící linky ze studie Keskes et al. z roku 2012	23
Obr. 7: Schéma čistící linky ze studie Coskun et al. z roku 2015	23
Obr. 8: Schéma recyklační linky ze studie Bustillo-Lecompte a Mehrvar z roku 2018	24
Obr. 9: Schéma recyklační linky ze studie Alfonso et al. z roku 2018	25
Obr. 10: Schéma MFC ze studie Mkilima et al. z roku 2024	26
Obr. 11: Schéma čistící linky ze studie Fatima et al. z roku 2023	28
Obr. 12: Schéma koncepčního návrhu recyklační linky.....	33
Obr. 13: Schéma kroku elektrokoagulace koncepčního návrhu recyklační linky.....	34
Obr. 14: Schéma kroku ultrafiltrace koncepčního návrhu recyklační linky.....	34
Obr. 15: Schéma recyklačního kroku reverzní osmózy koncepčního návrhu recyklační linky...35	

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Jakost odpadních vod v potravinářském průmyslu.....	11
Tab. 2: Emisní standardy pro zpracování a konzervování masa a masných výrobků.....	13
Tab. 3: Příklady prahových hodnot pro úniky do vody.....	13
Tab. 4: Maso spotřebované na obyvatele v roce 2022 dle Českého statistického úřadu	14
Tab. 5: Statistika výroby masa podle Českého statistického úřadu.....	14
Tab. 6: Emisní limity pro Krahulík Masozávod Krahulčí, a.s.....	16
Tab. 7: Návrh závazných emisních limitů pro přímé vypouštění odpadních vod do recipientů pro provozovatele Kostecké uzeniny, a.s.....	17
Tab. 8: Emisní limity pro vypouštění odpadních vod z ČOV pro Hamé s.r.o. – Výrobní závod Babice.....	17
Tab. 9: Emisní limity pro vypouštění odpadních vod z otevřeného chlazení výroby Hamé s.r.o. – Výrobní závod Babice.....	18
Tab. 10: Porovnání různých rozměrů membrán.....	19
Tab. 11: Jakost pitné vody podle Vyhlášky č. 252/2004.....	22
Tab. 12: Složení odpadní vody ze studie Bustillo-Lecompte a Mehrvar z roku 2018.....	24
Tab. 13: Jakost zkoumané vody ve studii Alfonso et al. z r roku 2017.....	25
Tab. 14: Naměřené hodnoty ve studii Alfonso et. al z roku 2018.....	25
Tab. 15: Jakost odpadní vody použité ve studii Mkilima et al. z roku 2024.....	27
Tab. 16: Procentuální soulad jakosti vyčištěné vody ze studie Mkilina et al. z roku 2024 s pitnou vodou.....	27
Tab. 17: Jakost odpadní vody ze studie Fatima et al. z roku 2023.....	28
Tab. 18: Účinnost UF ze studie Fatima et al. z roku 2023.....	28
Tab. 19: Účinnost FO a RO ze studie Fatima et al. z roku 2023	28
Tab. 20: Shrnutí účinností jednotlivých studií recyklace odpadních vod z masného průmyslu.....	30
Tab. 21: Shrnutí výhod a nevýhod jednotlivých studií recyklace odpadních vod z masného průmyslu.....	31
Tab. 22: Jakost vybrané odpadní vody a požadavky na její jakost po vyčištění.....	32
Tab. 23: Jakost recyklované odpadní vody po předčištění pomocí EC.....	33
Tab. 24: Jakost recyklované odpadní vody pomocí čištění vody UF.....	34
Tab. 25: Jakost recyklované odpadní vody pomocí čištění vody RO.....	35
Tab. 26: Shrnující tabulka koncepčního návrhu recyklační linky.....	38

SEZNAM PŘÍLOH PRÁCE

Příloha č. 1: Rovnice použité ve výpočtech (formát PDF)