Oponentský posudek disertační práce

Autor: Ing. David Horňák
Název práce: *Recyklace mlékárenské odpadní vody s využitím membránových technologií*
Školitel: doc. Ing. Vítězslav Máša, Ph.D.
Pracoviště: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav procesního inženýrství

Předložená disertační práce se zabývá aktuální a společensky významnou problematikou recyklace surových mlékárenských odpadních vod pomocí tlakových membránových procesů. Autor řeší nejen vlastní separaci a dosažení požadované kvality recyklované vody, ale také provozní stabilitu technologie, zanášení membrán, automatizaci pilotní jednotky, nakládání s retentátem a ekonomickou proveditelnost celého technologického konceptu. Práce tak vhodně propojuje chemické, strojní a procesní inženýrství.

Za hlavní přínos považuji návrh, realizaci a experimentální ověření automatizované pilotní jednotky založené na kaskádě mikrofiltrace a reverzní osmózy. Na rozdíl od řady laboratorních studií byla technologie testována s reálnou surovou mlékárenskou odpadní vodou proměnlivého složení a v podmínkách blízkých průmyslovému provozu. Jednotka umožňuje dálkové ovládání, automatické přechody mezi provozními stavy a bezpečné odstavení při poruchových stavech. Provozní funkčnost byla ověřena rovněž při několikahodinových bezobslužných testech.

Významným výsledkem je dosažená kvalita permeátu z reverzní osmózy, jehož chemická spotřeba kyslíku byla nižší než 66 mg/l a elektrická vodivost nižší než 200 µS/cm. Takto upravená voda je využitelná zejména pro provozní aplikace, které nevyžadují kvalitu pitné vody, například pro čištění podlah a vnějších částí zařízení, doplňování chladicích okruhů nebo závlahu technických a krmných plodin. Autor současně správně upozorňuje na nutnost doplnění hygienizačního stupně, například UV záření, a na potřebu dalšího mikrobiologického ověření.

Pozitivně hodnotím také experimentální stanovení provozních parametrů membránových stupňů. U mikrofiltrace byla stanovena prahová intenzita toku permeátu přibližně 85–100 $l \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$. U reverzní osmózy nebylo v bezpečném provozním rozsahu do transmembránového tlaku 16 bar dosaženo prahové hodnoty, což ukazuje, že předřazená mikrofiltrace vytváří vhodné podmínky pro provoz RO při intenzitě toku přibližně 25–35 $l \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$.

Práce se nezastavuje pouze u produkce recyklované vody, ale řeší rovněž vznikající retentát. Jeho zahuštění vakuovým odpařováním a následná anaerobní digesce vedly k měrné výtěžnosti bioplynu až 32,3 Nm^3/t čerstvé hmoty. Výsledky však současně vykazovaly značnou variabilitu, přičemž v jednom případě byla dosažena výtěžnost pouze 6,3 Nm^3/t. Autor tuto skutečnost realisticky spojuje zejména s rozdílným obsahem sušiny a možným inhibičním působením zbytků čisticích prostředků.

Technicko-ekonomická analýza modelového provozu s kapacitou 100 m^3/den stanovila investiční náklady přibližně 11,3 mil. Kč a prostou dobu návratnosti 2,66 roku. Výsledek je

příznivý, avšak, jak autor správně uvádí, je silně závislý na možnosti integrace technologie do existujícího systému nakládání s odpadními vodami a na zahrnutí úspor spojených s náhradou stávající čistírny, vodným, stočným a likvidací kalů.

Připomínky a náměty k diskusi

Práce je rozsáhlá, logicky členěná a po odborné i formální stránce zpracovaná na velmi dobré úrovni. Některé výsledky je však nutné interpretovat s ohledem na omezenou délku experimentů. Převážná část provozních zkoušek měla krátkodobý nebo jednorázový charakter. Stanovené parametry proto představují především kvalifikované výchozí hodnoty pro budoucí dlouhodobé ověření v průmyslovém provozu. Autor toto omezení v závěru práce otevřeně přiznává.

Nejvýznamnějším provozním problém zůstává zanášení mikrofiltračního stupně. Přestože byla určena prahová intenzita toku, nepodařilo se jednoznačně stanovit optimální režim zpětných proplachů. Pro praktickou aplikaci bude nutné doplnit dlouhodobé testy chemicky posíleného proplachu, optimalizovat frekvenci čištění a vyhodnotit životnost membrán.

Další otázkou je mikrobiologická kvalita recyklované vody. Návrh UV hygienizace je vhodný, avšak pro konkrétní průmyslové využití bude nutné stanovit širší spektrum mikrobiologických a případně chemických bezpečnostních ukazatelů a ověřit jejich stabilitu při dlouhodobém provozu.

U zpracování retentátu by bylo vhodné v další práci podrobněji posoudit vliv čisticích chemikálií, obsahu tuků, dusíku a salinity na anaerobní digesci. Rovněž by bylo účelné porovnat samostatnou digesci retentátu s jeho kofermentací s běžnými substráty bioplynových stanic.

Ekonomické hodnocení je zpracováno přehledně, nicméně prostá doba návratnosti nezohledňuje časovou hodnotu peněz, diskontní sazbu, inflaci ani nejistotu vývoje cen energií a membrán.

Otázky k obhajobě

1. Jakým způsobem by autor navrhl dlouhodobý provozní experiment, který by umožnil spolehlivě určit životnost mikrofiltračních a reverzně osmotických membrán?
2. Které parametry složení surové mlékárenské odpadní vody považuje autor za nejvýznamnější z hlediska zanášení mikrofiltrační membrány?
3. Jak by se změnila technicko-ekonomická bilance, pokud by recyklační technologie nenahrazovala existující čistírnu odpadních vod, ale byla instalována jako samostatný dodatečný stupeň?
4. Jaké minimální hygienizační a monitorovací kroky by byly podle autora nezbytné pro využití permeátu k oplachu zařízení v potravinářském provozu?
5. Jaký způsob zpracování retentátu by autor doporučil pro mlékárnu, která nemá vlastní bioplynovou stanici ani vhodné zařízení v dostupné vzdálenosti?

Institut základů chemických procesů CAS
Rozvojová 135, 165 02 Prague 6, Česká republika
www.icpf.cas.cz | Tel: +420 220 390 111 | Fax: +420 220 920 661 | icecas@icpf.cas.cz
ID: 67985858 | Daňové ID: CZ67985858 | Banka: Československá obchodní banka, a. s., číslo účtu: 285583878/0300
IBAN: CZ82 0300 0000 0002 8558 3878 SWIFT: CEKOCZPP

ÚSTAV CHEMICKÝCH PROCESŮ AV ČR

Závěr

Disertační práce Ing. Davida Horňáka představuje hodnotný příspěvek k problematice recyklace průmyslových odpadních vod. Její přínos spočívá zejména v propojení membránové separace, provozní optimalizace, automatizace, valorizace retentátu a ekonomického hodnocení do jednoho technologického celku ověřeného na reálné mlékárenské odpadní vodě. Autor splnil stanovené cíle disertační práce, prokázal schopnost samostatné vědecké práce, experimentálního vývoje, kritického hodnocení výsledků i formulace prakticky využitelných závěrů. Jazyková úroveň celé diseratce je na velmi vysoké úrovni a výsledky práce jsou pro praxi velmi užitečné.

Konstatuji, že předložená disertační práce splňuje požadavky kladené na disertační práce, a doporučuji ji k obhajobě. Po úspěšné obhajobě doporučuji Ing. Davidu Horňákovi udělit akademický titul „Ph.D.“ ve smyslu příslušných zákonů o VŠ o doktorském studiu.

V Praze 14.8.2026

Prof. Ing. Pavel Izák, Ph.D., DSc.

Institut základů chemických procesů CAS
Rozvojová 135, 165 02 Prague 6, Česká republika
www.icpf.cas.cz | Tel: +420 220 390 111 | Fax: +420 220 920 661 | icecas@icpf.cas.cz
ID: 67985858 | Daňové ID: CZ67985858 | Banka: Československá obchodní banka, a. s., číslo účtu: 285583878/0300
IBAN: CZ82 0300 0000 0002 8558 3878 SWIFT: CEKOCZPP