



Udfordringer med ”nedarvede stoffer”: En tilgang til ugiftige materialecyklusser

Shadravan, Vahid; Freiesleben, Louise la Cour; Buffel, Mélanie ; Pudi, Abhimanyu ; Chinda, Renata Carolina ; Hilstrøm, Kristine Wille; Ivar Andersen, Simon; Gernaey, Krist V.; Mansouri, Seyed Soheil

Published in:
Dansk Kemi

Publication date:
2018

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):

Shadravan, V., Freiesleben, L. L. C., Buffel, M., Pudi, A., Chinda, R. C., Hilstrøm, K. W., ... Mansouri, S. S. (2018). Udfordringer med ”nedarvede stoffer”: En tilgang til ugiftige materialecyklusser. *Dansk Kemi*, 99(7), 31-33.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

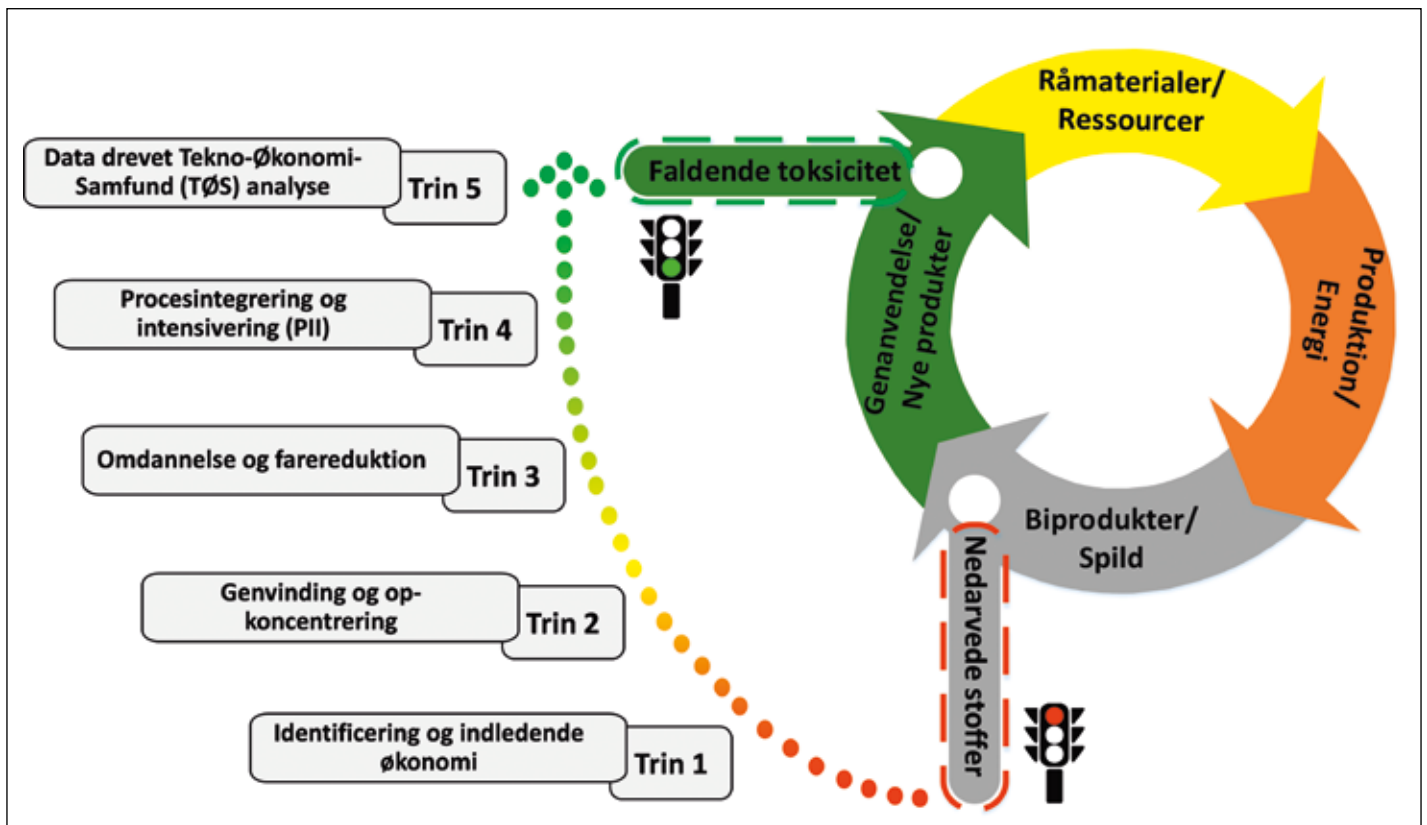
- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Udfordringer med "nedarvede stoffer":

En tilgang til ugiftige materialecykluser

Denne artikel skitserer det generelle koncept om innovative processer til værdiskabelse, der direkte eller indirekte kan oversættes til miljømæssig bæredygtighed, jobskabelse og økonomisk fordel for private/offentlige sektorer ved at fremme ugiftige materialecykluser.



Figur 1. Køreplan bestående af fem centrale trin.

Af Vahid Shadravan¹, Louise la Cour Freiesleben¹, Mélanie Buffel¹, Abhimanyu Pudi¹, Renata Carolina Chinda¹, Kristine Wille Hilstrom², Simon Ivar Andersen², Krist V. Gernaey¹ og Seyed Soheil Mansouri¹

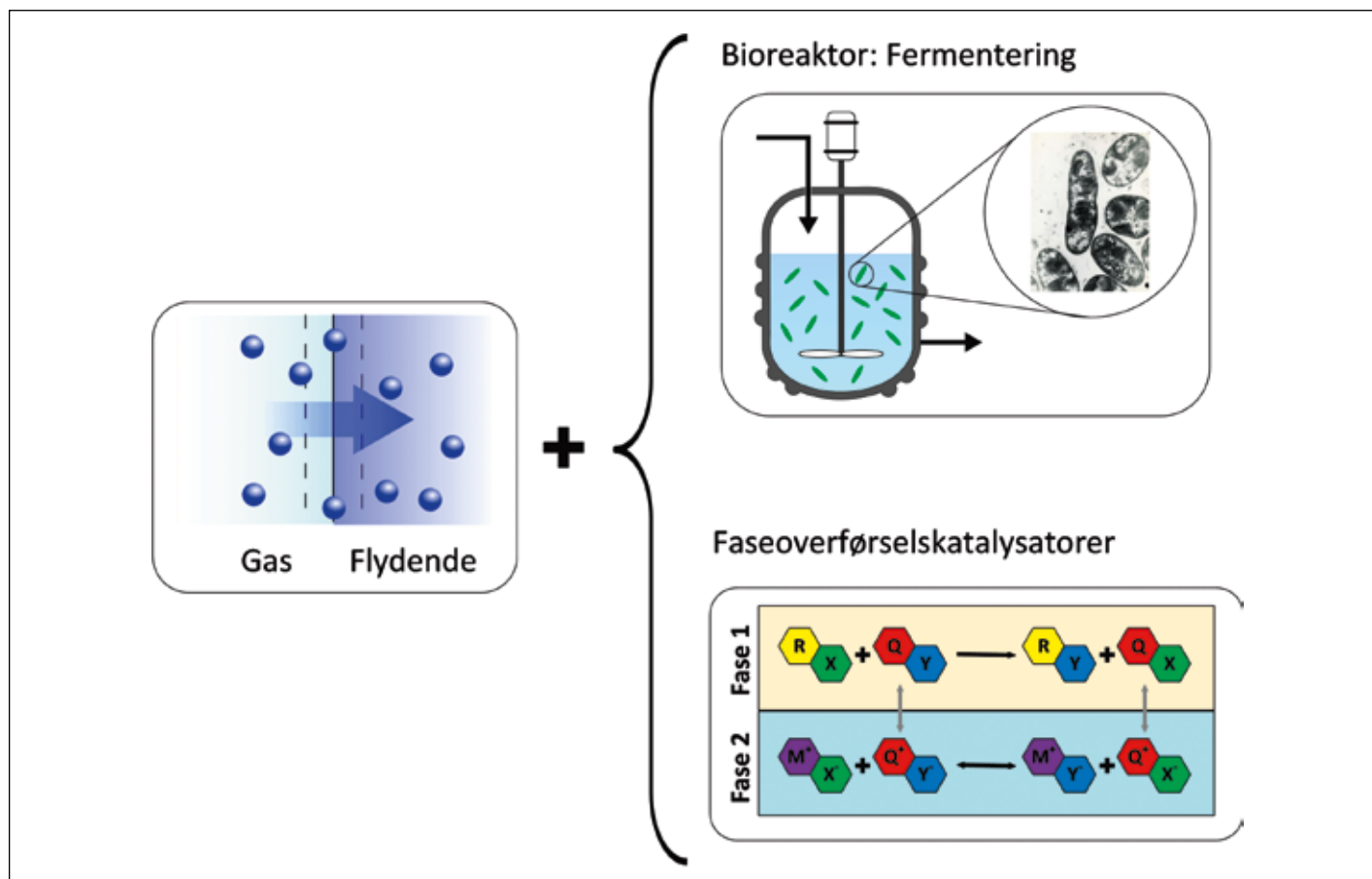
¹ PROSYS Research Center, DTU

² Danish Hydrocarbon Research and Technology Centre, DTU

Emnet vedrørende "nedarvede stoffer" fra Europa-Kommissionen er forbundet med tilstedeværelsen af farlige stoffer i materialecykluser. Nedarvede stoffer findes typisk i affaldsstrømme som enten 1) en bestanddel af bestemte råstoffer; eller 2) et biprodukt af specifikke processer. I øjeblikket mangler

det teknologiske landskab en omfattende platform, der kan bruges til samtidig genopretning og omdannelse af nedarvede stoffer til ufarlige og/eller grønne forbindelser i en enkelt enhedsoperation. Det er hensigten at anvende en systematisk beslutningstagning metode til genopretning og omdannelse af nedarvede stoffer ved brug af de tre forskelligt orienterede skalaer: Technology, Societal og Customer Readiness Level (TRL, SRL, CRL).

Disse beslutningsmetoder kan sammen med værktøjer, der er tilgængelige inden for Process Systems Engineering (PSE) og Reaction Engineering (RE), kombineres til at designe og udvikle en integreret proces, som kan omdanne nedarvede stoffer og forbedre optagelsen af nye råmaterialer ved at fremme ugiftige materialecykluser. På denne måde bliver nedarvede



Figur 2. Genudvinding og konvertering af nedarvede stoffer.

stoffer omdannet til mindre farlige, og endda økonomisk værdifulde forbindelser, som ikke længere vil udgøre en betydelig barriere for at realisere en cirkulær økonomi. Derfor tillader denne tilgang at skabe et vigtigt momentum for at understøtte overgangen til mere bæredygtige og ”nul-affald” (zero waste) produktionsprocesser. At omdanne affald/biprodukt til en ressource er en væsentlig del af at øge ressourceeffektiviteten og lukke kredsløbet i en cirkulær økonomi hen imod øget bæredygtighed.

Problemet med nedarvede stoffer

Nye kemikalier markedsføres kontinuerligt, mens andre bliver forbudt, hvis det opdages, at de udgør en risiko. Denne proces kan få stor betydning for produkter, der produceres lovligt i dag (som hovedprodukter eller biprodukter), da de kan indeholde et stof, der kan forbydes i fremtiden. Når råmaterialer omdannes i en produktionsproces, kan farlige stoffer, som enten er blevet dannet eller som var der i forvejen, være til stede i affaldet eller biprodukterne. Dette kaldes spørgsmålet om ”nedarvede stoffer”. Succesen for cirkulær økonomi afhænger på lang sigt af, at forbrugere, herunder offentligheden, er overbeviste om kvaliteten

og sikkerheden ved at bruge genbrugs-materialer. Det er desuden nødvendigt at udvikle værktøjer og teknologier for at forhindre cirkulær økonomi i at blive en måde at opretholde brugen af farlige kemikalier på. Dette mål kan opnås ved at fremme ugiftige materialecyklusser.

Nuværende landskab

Et af de mange eksempler på ”nedarvede stoffer” er hydrogensulfid (H_2S). H_2S er et biprodukt fra mange produktions- og genbrugsprocesser, der er involveret i en bred vifte af processer, herunder bio-baserede fremstillingsprocesser inden for biomasse, fødevarereindustrien og medicinalindustrien. Udover dets ætsende karakter, som reducerer levetiden for industrielt udstyr, er H_2S også et ekstremt giftigt stof og stiller krav til arbejdsmiljø i forbindelse med sygdom og sikkerhed. Desuden kan H_2S ende som en del af forbrugsprodukterne, for eksempel i form af metallsulfid (Cu_2S) i fødevarerprodukter. Oxidation af H_2S til elementært svovl eller ved anvendelse af bortskaffelsesmidler (for eksempel kobber- eller jernsalte) er to af de mest almindelige metoder til at håndtere H_2S -problemer i branchen. Begge disse processer medfører ekstra driftsomkostninger til

industrianlæg og resulterer i produktion af andet affaldsmateriale, der skal bortskaffes. De nuværende processer til at tackle H_2S -problemer i industrien har således begrænset effektivitet, er ikke i overensstemmelse med nul-affaldspolitikken og udgør en økonomisk, miljømæssig samfundsbyrde.

Vi fokuserer i øjeblikket på at udvikle en ny klasse af intensiverede og bæredygtige løsninger for at finde en ny teknologi til løsning af H_2S -problematikken i dansk olie- og gasindustri. Dette projekt finansieres gennem Radical Innovation Sprint (RIS) programmet hos Danish Hydrocarbon Research and Technology Center (DHRTC) på DTU. I modsætning til traditionelle metoder for håndtering af H_2S i industrien, fokuserer vores projekt på nye muligheder for design og udvikling af enhedsoperationer, som er i stand til kontinuerligt og samtidigt at fjerne og omdanne H_2S fra naturgas til materialer med høj værdi. Denne fremgangsmåde kan ligeledes benyttes til at overvinde H_2S -problemer i andre industrier (for eksempel bio-baserede processer og anaerobe processer til spildevandsrensning). Fremgangsmåden kan også i en mere generel forstand videreudvikles til en teknologisk metode, som støtter ugiftige materialecyklus-

ser, hvor nedarvede stoffer kan blive omdannet til ufarlige og værdiskabende produkter. Anvendelsen og resultatet af dette koncept kan således udvides til at behandle en række andre bioakkumulerende og giftige nedarvede stoffer som for eksempel bromerede brandhæmmere, visse additiver af PVC'er og lignende.

Køreplan for ugiftige materialecykluser

En af måderne, hvorpå ugiftige materialecykluser kan fremmes, er gennem fornyet design og udvikling af produktionsprocesser, hvor nedarvede stoffer fjernes og omdannes direkte til værdiskabende, ufarlige og bæredygtige materialer. Til dette formål har vi etableret en metode, som består af fem centrale trin, se figur 1, side 31. Værktøj og metoder fra PSE og RE, som bruges til for eksempel bio-baserede og katalytiske reaktioner, er nødvendige for at gennemføre hvert trin. De fem trin er beskrevet i det følgende.

Trin 1: Identificering og indledende økonomi

Der findes flere værktøjer til at udføre en bæredygtighedsanalyse som for eksempel Gross Sustainability Potential (GSP) og Life Cycle Assessment (LCA). Disse analyseværktøjer kan bruges til at identificere nøglekomponenter med potentiale for at blive oprenset og omdannet til ufarlige stoffer. Værktøjerne repræsenterer den økonomiske og miljømæssige værdiskabelse, som en interessent kan få gavn af, hvis genvinding af givet affald eller et farligt stof bliver gennemført. Analysen er en funktion af markedsværdien (Market Value = MV) for et specifikt kemikalie og dens potentielle behandlingsomkostninger. Denne tilgang er beregnet til at tilbyde en potentiel værdi, der kan bruges af interessenter eller virksomheder på et tidligt stadium i beslutningsprocessen, når tekniske detaljer stadigvæk er usikre.

Trin 2: Genvinding og op-koncentrering

Efter at have identificeret de potentielle nedarvede stoffer, er det nødvendigt at undersøge genvindingsteknologierne vha. metoder og værktøjer, som er udviklet inden for PSE, såsom termodynamiske modeller og softwareværktøjer. Formålet med dette trin er at identificere en egnet separationsteknologi baseret på karakteristiske egenskaber af rene stoffer og blandinger af flere stoffer, dvs. stofegenskaberne udnyttes i forbindelse med brug af en række separationsprincipper. For eksempel kan et egnet bæredygtigt opløsningsmiddel hurtigt identificeres gennem en ekstraktionsproces base-

ret på opløselighed af den nedarvede forbindelse under anvendelse af computerbaserede molekylære teknikker (for eksempel Density Functional Theory og COSMO-RS). Genvindingsprocessen kan opnås ved både kemisk (for eksempel gas-væske absorption) og biokemiske (for eksempel biofiltre og bioskrubber) processer.

Trin 3: Omdannelse og farereduktion

Omdannelse af det genvundne nedarvede stof er kernen i trin 3, hvor en reaktionsvej (kemisk eller bio-baseret) vil blive designet og udviklet vha. RE-metoder. Dette opnås ved at udføre eksperimentel katalytisk eller biologisk aktivitetsanalyse og anvende teoretiske beregningsmetoder (herunder men ikke begrænset til Density Functional Theory modellering) med henblik på at bestemme det bedste produkt og den passende katalysator eller mikroorganisme der kan omdanne det nedarvede stof. Anvendelse af Phase Transfer Catalysis (PTC) for at reagere det opløste nedarvede stof med en organisk forbindelse til fremstilling af et værdiskabende produkt er et eksempel på den kemiske vej til at omdanne nedarvede stoffer. Når den biologiske vej vælges, kan fermenteringsprocesser med egnede mikroorganismer benyttes til at forbruge det indfangede H₂S til dannelse af forskellige produkter, figur 2.

Trin 4: Procesintegrering og intensivering (PII)

Trin 4 fokuserer på design og udvikling af samtidig genopretning og katalytisk omdannelse af det nedarvede stof i en enhedsoperation. Den forurenede strøm er indgangen til enhedens drift, mens en uforurenede strøm og ufarlige stoffer forlader processen i udløbet. Detaljerede eksperimentelle analyser af denne intensiverede enhed accelererer udviklingsproceduren. Forskellige værktøjer, såsom avancerede fuldautomatiserede flowkemiske platforme til høj gennemløbsscreening og avancerede flowreaktorer eller fermentorer, er tilgængelige for at udføre denne type analyser.

Trin 5: Datadrevet Tekno-Økonomi-Samfund (TØS) analyse

Den potentielle teknologiske, økonomiske og samfundsmæssige effekt i forbindelse med omdannelse af det nedarvede stof vha. den udviklede teknologi, kvantificeres som Resource Recovery Net Present Value (RRNPV). Definitionen af RRNPV er baseret på tre nøgleparametre: Net Present Value: NPV, TRL-SRL-CRL og kapitalinvesteringer.

Baseret på tilgængelige offentlige

databaser vedrørende omkostninger, informationer fra Dansk Industri (DI) og Miljøstyrelsen, er det muligt at oprette generiske data-drevne TØS-modeller, der let kan retfærdiggøre anvendelse af den udviklede teknologi til forskellige industrier, hvor det nedarvede stof er et problem. Disse udvikles blandt andet ved brug af potensfaktor-tabeller for hver miljøbelastning svarende til respektive nedarvede stoffer.

Indvirkning

Anvendelsen af dette grundlæggende koncept er meget relevant og kan bruges til at håndtere problemer med forskellige nedarvede stoffer. Specielt vil udviklingen af en så omfattende avanceret teknologiplatform gøre den danske industri i stand til effektivt at udvikle "nul-affald" koncepter og værditilvækst i form af ekstra indtægter ved at sælge de producerede ugiftige strømme, hvilket gør industrien mere ressourceeffektiv og globalt konkurrencedygtig, samtidig med at der opnås cirkulær økonomi i en bredere sammenhæng. Denne konceptuelle undersøgelse har potentiale til at bidrage til de strategiske rammer for at gøre Danmark til det globale knudepunkt for skabelse af bæredygtige løsninger.

Funding

Forskningsarbejdet er udført som en del af DHRTC - Radical Innovation Sprint programmet.

E-mail:
Seyed Soheil Mansouri:
seso@kt.dtu.dk

Kilder

European Commission D-GfE. On the implementation of the circular economy package: options to address the interface between chemical, product and waste legislation. Strasbourg 2018.
European Parliament CotEU. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 Nov 2008 on waste and repealing certain Directives. Official Journal of the EU Union. 2008:L 312/3 - L /29.
Mansouri SS, Cignitti S, Udugama I, Mitić A, Flores Alsina X, Bryde-Jacobsen J, et al. Ressourcegenvinding - vejen til øget bæredygtighed i biobaserede produktionsprocesser. Dansk Kemi. 2017;98(4):18-21.
Jiang J, Chan A, Ali S, Saha A, Haushalter KJ, Lam W-LM, et al. Hydrogen Sulfide Mechanisms of Toxicity and Development of an Antidote. Scientific Reports. 2016;6:20831.
Abolhasani M, Bruno NC, Jensen KF. Oscillatory three-phase flow reactor for studies of bi-phasic catalytic reactions. Chemical Communications. 2015;51(43):8916-9.