

Kemisk produktdesign: forsknings- og uddannelsesmæssige udfordringer

Et stigende antal kemiingeniører arbejder med kemiske produkter, hvor tiden fra produktidé til det aktuelle salg kan være en vigtigere parameter end produktionsomkostninger

Af Søren Kiil, Institut for Kemiteknik, DTU, sk@kt.dtu.dk

Traditionelt har kemiingeniører beskæftiget sig med forskellige industrielle aktiviteter, som ikke ved første øjekast har meget tilfælles. Typiske eksempler er ølbrygning, smeltning af stål, fremstilling af papir, udvinding af metaller og produktion af ammoniak. Procesingeniører har imidlertid i de sidste århundreder haft held til at afdække lovmæssigheder og udvikle beregningsværktøjer, udtrykt ved f.eks. termodynamik, masse- og energibalancer samt reaktionskinetik, der kan anvendes på alle disse processer. De har også udviklet standardudstyr såsom varmevekslere, destillationstårne og kemiske reaktorer, der bruges i mange forskellige processer. Denne generaliserede indgangsvinkel har bevirket, at erfaring fra en proces kan anvendes i andre, og at det således ikke er nødvendigt at uddanne ingeniører i hver enkelt proces. Imidlertid har det også ført til at procesingeniører, til en vis grad, har mistet interessen for de produkter, de producerer og de kunder, som aftager deres produkter [1].

Det har ikke den store betydning for simple produkter som sukker eller ammoniak, men det kan være uheldigt, hvis

produktet har en mere kompliceret struktur og opførsel. Det gælder for mange nutidige kemiske produkter som f.eks. skibsmaling, flødeis, antidepressionsmidler, katalysatorer eller sårplejeprodukter (figur 1). Fælles for produkterne er, at de typisk indeholder mange enkeltkomponenter med hver deres funktion, at det er svært at give dem den rette struktur (enkeltkomponenterne kan ikke bare blandes), og de færdige produkter skal anvendes af mange forskellige brugere. Komplexiteten af de produkter, som den kemiske industri fremstiller, har motiveret universiteter i den vestlige verden, især i England og USA, til at opdyrke forskningsområder og indføre kurser i kemisk produktdesign.

Et historisk tilbageblik

For at forstå ændringerne i den kemiske industri må vi se tilbage i tiden. I 1950 til 1970 var den kemiske industri inde i en rivende udvikling. Produktionen på verdensplan af f.eks. syntetiske tekstilfibre steg meget dramatisk (tabel 1). Kapaciteten af naturlige fibre var stort set konstant, mens produktionen af syntetiske fibre voksede med 20% pr. år. En sådan vækst kan sammenlignes med 90'ernes IT-boom. Den amerikanske virksomhed DuPont var således 1950'ernes svar på Microsoft, og den kemiske industri ændrede dengang på en lang række produkter lige fra beklædningsgenstande til legetøj [2].

	År 1948	År 1969	År 1989
Bomuld, uld	1975	1944	2175
Syntetiske fibre	42	1579	3906

Tabel 1. Årlig produktion af tekstilfibre (10^6 kg/år). Gengivet efter [3].

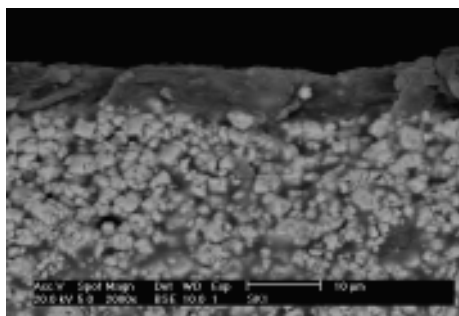
I den efterfølgende periode, fra 1970 til omkring 1990, blev industrien kraftigt konsolideret. F.eks. faldt antallet af producenter af vinylchlorid med 70%, samtidig med at produktionskapaciteten steg med 700% [2]. Industrien tjente fortsat penge, idet effektiviteten blev øget ved at koncentrere produktionen i store anlæg designet med henblik på større effektivitet i fremstillingen af et enkelt produkt. Denne periode var en guldalder for computer-baseret procesdesign. Op gennem 90'erne har den kemiske industri konsolideret sig yderligere ved bl.a. at reducere antallet af kemiingeniører knyttet til selve processerne [3].

Hvor arbejder den moderne kemiingeniør?

Hvilke type stillinger bestrider kemiingeniører så i dag? Der findes ikke umiddelbart nogen tal for danske forhold, men



Figur 1. Intelligent sårplejeprodukt i hudfarve til hurtig og skånsom heling af mindre sår og vabler (Compeed plaster fra Coloplast).



Figur 2. Mikrostruktur af skibsmaling (tværsnit), som har været udsat for havvand. På billedet, der er baseret på scanning-elektronmikroskopi (2000 x forstørrelse), kan skelnes både bindermaterialer og pigmentpartikler.

Moggridge og Cussler [3] har sammenlignet oplysninger om jobtyper for de seneste års kandidater med informationer om stillinger, kemiingeniører bestred for 25 år siden. Deres data er baseret på mere eller mindre komplette protokoller fra University of Cambridge (England) og University of Minnesota (USA). Forskellene er tydelige. I 1975 arbejdede mere end 75% med »commodity chemicals business«, som svarer til den traditionelle kemikalieindustri, hvor produkterne udelukkende sælges pga. deres molekylære struktur (f.eks. methanol og ammoniak). De resterende arbejdede enten med produkter (design eller udvikling), konsulentvirksomhed eller i den finansielle sektor.

Mere end halvdelen af de seneste års kandidater er blevet ansat i produktorienterede virksomheder. De arbejder f.eks. med katalysatorer, lægemidler, overfladebehandling eller klæbemidler. Mindre end en fjerdedel bliver ansat i den traditionelle kemikalieindustri, mens andelen, som arbejder i konsulentvirksomheder, er steget kraftigt til ca. 25%. Denne ændring i jobfunktionerne har på flere universiteter i Europa, Australien og USA ført til en fornyelse af dele af kursusindholdet på kemiingeniøruddannelserne, så kandidaterne bliver godt rustede til de nye forhold.

Kemisk produktdesign i det moderne samfund

I forbindelse med kemisk produktdesign er det vigtigt at definere, hvad der menes med »kemiske produkter«. Sidstnævnte kan inddeles i tre kategorier [4]: Den første indeholder specialkemikalier med en specifik funktion som f.eks. forskellige typer af lægemidler. Den anden kategori tæller produkter, hvis mikrostruktur snarere end deres molekylære struktur giver produktet værdi. Eksempler på dette er flødeis og maling (figur 2). Den tredje kategori af kemiske produkter er apparater, som bibringer en kemisk ændring, f.eks. hjerte-lungemaskinen, der bruges til at ilte blod under en hjerteoperation, reaktorer til kraftigt eksoterme reaktioner eller andre former for specifikt procesudstyr.

For at finde ud af om et givet produkt tilhører en af disse kategorier, kan man stille følgende tre spørgsmål formuleret af amerikaneren Ed Cussler og medforfattere [2]: Hvor meget produceres der? Hvilket udstyr anvendes? og Hvilken producent tjener flest penge?

Stilles disse spørgsmål i forbindelse med f.eks. traditionel kemikalieproduktion, får vi svarene:

1. Der produceres normalt i mængder på mere end 10.000 tons/år.
2. Der produceres typisk i udstyr designet og optimeret udelukkende til den specifikke kemiske reaktion.
3. Det er som en tommelfingerregel den producent med de laveste fremstillingsomkostninger, der vil tjene mest.

I relation til mere komplekse produkter (svarende til de tidligere tre nævnte grupper) lyder svarene:

1. Produktionen er typisk betydeligt mindre end for kemikalieproduktion.

2. Produktet fremstilles ofte i fleksibelt standardudstyr.
3. Den virksomhed, som først lancerer et produkt, vil typisk få ca. 70% af det totale salg.

Ovenstående er naturligvis en meget forenklet måde at anskue forskellene på og dækker ikke alle kemiske produktemner, men illustrerer dog den forskel i arbejdsmetode de to produkttyper kan kræve. De komplekse kemiske produkter fordrer bl.a., at kemiingeniørerne inddrages på et meget tidligt stadium af produkt- eller procesidentifikationen. Der kan nemlig være mange produktideer, som opfylder et givent behov, i modsætning til tidligere hvor det vigtigste var at producere så billigt som muligt. Derudover skal kemiingeniørerne arbejde under hensyn til, at den konkurrencemæssige fordel ofte ligger i udviklingshastighed, og først når produktet er modnet i produktionsomkostninger. Det betyder, at manglende optimering i fremstillingsprocessen måske kan tolereres i begyndelsen, fordi en større markedsandel kan sikres, hvis man er først med en produktlancering.

Grundlaget for udvikling af funktionelle kemiske produkter er stadig de klassiske kemitekniske færdigheder inden for f.eks. stofkemi, termodynamik, proces teknik, transportprocesser og reaktionsteknik, men de skal ofte anvendes på en lidt anden måde end tidligere. F.eks. er det på basis af kvantitative overslagsberegninger vigtigt at kunne vælge de bedste produktideer, og i forbindelse med fremstilling af et udvalgt produkt emne er færdigheder i teknisk kemi selv sagt også væsentlige. Matematisk modellering har sin berettigelse i forbindelse med bl.a. analyse af et produkts anvendelsesmuligheder og til accelererede tests af produktlevetider under forskellige forhold. Eksempler på produkter med krævende eksponeringstider er katalysatorer (deaktivering) og kemisk aktive bundmaling til skibe (poleringshastighed), hvor testtider ofte måles i måneder eller år. Endelig kan det være nødvendigt med yderligere færdigheder i f.eks. kolloid- og grænseflade kemi, partikelteknologi og visse typer af enhedsoperationer (krystallisation, adsorption mv.).

Procedure for kemisk produktdesign

Produkt design er som sådan ikke et nyt område. De fleste uddannelser inden for salg og marketing og visse tekniske discipliner, såsom maskinteknik, indeholder elementer af produkt design. Det er imidlertid først for nylig, med udgivelsen af bogen *Chemical Product Design* [4], at der er kommet et systematisk værktøj for kemiingeniører, der også har en vis fokus på den tekniske del. Ifølge bogens forfattere kan produkt design sammenfattes i en firetrins procedure:

1. *Behov*. Hvilke behov skal produktet opfylde?
2. *Ideer*. Hvilke forskellige produkter kan opfylde dette behov?
3. *Udvælgelse*. Hvilke ideer er de mest lovende?
4. *Fremstilling*. Hvordan kan vi frembringe produktet og foretage en kritisk test af det?

I forbindelse med identifikation af *behov* er det nødvendigt at definere kundekredsen vha. en markedsanalyse, evt. suppleret med interviews af relevante personer, og så omsætte deres ønsker til kvantitative specifikationer. Vedrørende *ideer* viser industriel erfaring (DuPont, Motorola, W.L. Gore [3]), at der typisk skal omkring 100 ideer på bordet, før man har et succesfuldt produkt. Idégenereringen kan f.eks. basere sig på brainstorming, litteraturstudier og patentundersøgelser. Til *udvælgelse* af de bedste ideer anvendes kvalitative matrix-screeningsteknikker og størrelsesordenberegninger, ikke meget detaljerede, men solidt funderet i klassisk ingeniørvidenskab. Hvad *fremstillingen* angår kan den traditionelle ingeniør-

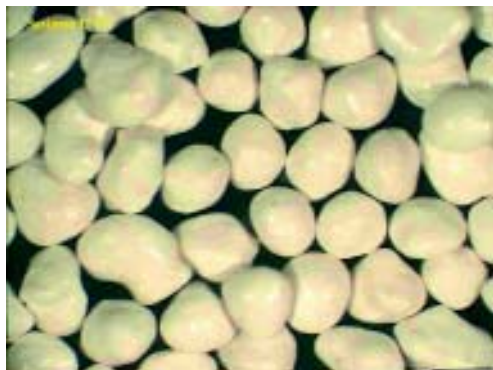


Figur 3. Studerende ved Institut for Kemiteknik arbejder, i samarbejde med Hempel's Skibsfarve-fabrik, på udvikling af effektive og miljøvenlige bundmalinger til skibe. På billedet ses en skibssimulator i form af en cylinder, som ved neddykning i den hvide plasttank kan rotere ved forskellige betingelser i kunstigt havvand.

indgangsvinkel til procesdesign anvendes, men ofte bruges standardudstyr til batchproduktion i modsætning til f.eks. kontinuert produktionsanlæg.

Aktiviteter ved Institut for Kemiteknik

De nævnte ændringer i den kemiske industri har ført til, at der på Institut for Kemiteknik for nogle år siden blev indført et kursus om produkter og processer. Kurset giver en introduktion til kemiske produkter og processer fra primært dansk industri og søger at sammenknytte de kemiske, fysiske og matematiske grundfag til de teknisk-kemiske discipliner, som kemiingeniører



Figur 4. Coatede enzymgranulater til brug i vaskemidler (Novozymes produkt).
Foto: Jon Kringelum.

skal kunne. Interessen for og vigtigheden af kemisk produktudvikling har ført til, at der også i efteråret 2002 udbydes et kursus i kemisk produktdesign. Kurset er bl.a. baseret på den omtalte lærebog, og målet er at give deltagerne en forståelse af udviklingsprocessen fra markedsanalyse, idégenerering og idésortering, over selve udviklingsfasen til test, markedsføring og salg. For at skabe en realistisk arbejdssituation indeholder kursusforløbet foredrag fra en række danske virksomheder, Novozymes, Haldor Topsøe, Lundbeck, Novo Nordisk og Hempel, og evalueringsformen består af gruppeøvelser udført i løbet af semestret samt et større afsluttende projektarbejde, der indeholder alle de nævnte udviklingsfaser. Da kemisk produkt-design i høj grad er en tværfaglig disciplin, deltager mindst fem af instituttets lærere i kursusaktiviteterne.

På forskningssiden er der på instituttet etableret projekter inden for f.eks. udvikling af effektive og miljøvenlige bundmalinger til skibe (figur 3 og Dansk Kemi 12/2001), flammesyntese af nano-strukturerede materialer (Dansk Kemi 4/2002), udvælgelse af solventer til malingsbindere, design af miljøvenlige kemikalier til forskellige kemiske processer og udvikling af fugtstabile enzymgranulater (figur 4). I projekterne deltager ph.d.- og eksamensprojektstuderende i samarbejde med instituttets stab af forskere.

Konklusion

Hurtig identifikation og udvikling af komplekse kemiske produkter kræver, at traditionelle kemitekniske kvalifikationer suppleres med teknikker i produktdesign. Færdigheder inden for innovation og kreativ tankegang er således blevet en del af den bagage, som kemiingeniører bør kunne trække på ved ansættelse i den moderne kemisk industri. En nylig udgivet lærebog inden for området [4] illustrerer pædagogisk, hvordan virksomheder, studerende, forskere og andre, som er interesserede i at designe nye kemiske produkter, kommer hurtigt i gang. Teknikkerne er eksemplificerede med et antal case-studier.

Slutteligt skal det fremhæves, at kemisk produktudvikling i meget høj grad baserer sig på de klassiske kemitekniske discipliner (termodynamik, reaktionsteknik, transportprocesser, materialelære, procesteknik, matematisk modellering mv.), og at de her skitserede værktøjer skal ses som et supplement til kerneområderne. Moderne kemisk industri har brug for kemiingeniører med både produkt- og proceskendskab.

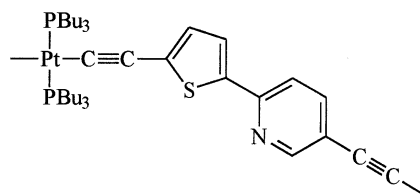
Referencer:

1. Wesselingh, J.A., Janssen, L.P.B.M. Teaching Product Engineering, ECC2 - Second European Congress of Chemical Engineering, Montpellier (1999), 1-16.
2. Cussler, E.L., Savage, D.W., Middelberg, A.P.J., Kind, M. Refocusing Engineering, *Chem. Eng. Prog.* Januar nummer (2002), 26S-31S.
3. Moggridge, G.D., Cussler, E.L. An Introduction to Chemical Product Design, *Chem. Eng. Res. Des.*, 78(A), (2000), 5-11.
4. Cussler, E.L., Moggridge, G.D., *Chemical Product Design*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, (2001).

Nyt om platinet's kemi

Muhammad S. Khan har sammen med otte kolleger fremstillet den på figuren viste polymere platinforbindelse. De har også fremstillet og undersøgt fire til denne forbindelse analoge stoffer. Muhammad Khan regner med, at det nye stof vil vise sig værdifuldt i optoelektronik, f.eks. i dioder, lasere, fotoceller og transistorer.

Bos



MUHAMMAD S. KHAN MFL. 2002: Synthesis, characterisation and electronic properties of a series of platinum(II) poly-yne containing thienyl-pyridine linking groups. *Journal of the Chemical Society, Dalton Transactions*: 2441