

Dette er femte artikel i en serie om vaskemidler anno 2005(-6). Serien startede i Dansk Kemi, 86, nr. 8, 9, 10 og 12 og fortsætter i kommende numre her på midtersiderne. Det overordnede formål er at gøre unge kolleger, elever og lærere opmærksomme på, at det er et interessant og udfordrende fagområde. Serien beskriver bl.a. vaskemiddelmarkedet, vaskemidler i dag, kemien i blegesystemer, tensider, øvrige ikke-enzymatiske ingredienser og udviklingen af enzymer til vaskemidler.

# Frustrerede molekyler i centrum af vaskeprocessen

**Tensiderne er en essentiel ingrediensgruppe i vaskemidler. De har både hydrofob og hydrofil karakter og opsøger derfor grænseflader. Det kan bl.a. udnyttes til emulgering af hydrofobt smuds som fedt og olie og til suspension af partikulært smuds som ler og sod**

Af Thomas Callisen og Ture Damhus, Novozymes A/S

Sæber i betydningen basehydrolyserede fedtstoffer (se boks 1) har mennesket kendt siden oldtiden. Sæber var længe de eneste tensider, der var til rådighed for vask af mennesker, tøj og service/køkkengrej. Det var luksusmaterialer, som det krævede en god opskrift og gode råvarer at fremstille [1,2], og som mange derfor måtte klare sig foruden.

Henkels *Bleichsoda* (soda + vandglas, se foregående artikel) blev brugt i 1800-tallet sammen med sæbe som tøjvaskemiddel. I første halvdel af 1900-tallet fandt man på at fremstille tensider ved *sulfatering* [ $\rightarrow$  alkylsulfater (AS)], *sulfonylering* [ $\rightarrow$  alkylbenzensulfonater (ABS)], senere også alkansulfonater og »methylestersulfonater« (MES)] og *ethoxylering* [kondensering med ethylenoxid  $\rightarrow$  alkoholethoxylater (AE eller AEO) og senere andre ethoxylerede produkter]. Udgangsmaterialerne til nogle af disse, især langkædede alifatiske alkoholer, alkenier og alkylbenzener, kunne udvindes af jordolie, hvorved man blev uafhængig af dyriske og plantebaserede fedtstoffer. Til gengæld endte man, navnlig med de tidlige ABS-typer med stærkt forgrenede alkylgrupper, i nogle voldsomme miljøproblemer.

## Boks 1: Terminologi

Termen *tensider* = *overfladeaktive stoffer* og den mere omfattende *detergenter* er allerede diskuteret i boks 1 i den første artikel i serien.

*Sæber* er salte af fedtsyrer, dvs. de i animalske og vegetabiliske fedtstoffer (som er tri-*O*-acylglyceroler) forekommende syrer. Det er normalt underforstået, at det er natrium- eller kaliumsalte, hvis ikke andet specificeres. 'Sæber' er absolut ikke synonym for hverken tensider i almindelighed eller vaskemidler i almindelighed.

*Syndéter* betyder syntetiske tensider, altså syntetiske overfladeaktive stoffer. Traditionelt henregnes sæberne som de simple hydrolyseprodukter, der er, ikke hertil.

Procter & Gambles berømte vaskemiddel *Tide* indeholdt i 1946 sulfater af fedtalkoholer, alkylbenzensulfonater og i øvrigt triphosphat som builder. Det var givetvis *state of the art* på det tidspunkt. I dag er paletten af tensider, der er til rådighed for vaskemiddelindustrien, omfattende. De vigtigste typer blev opregnet allerede i boks 2 i den første artikel og vil ikke alle blive nævnt igen. Mange tensidtyper har i øvrigt talrige anvendelser, dels i mere generelle vaskesammenhænge (industriel tøjvask, bilvask, rengøring osv.), dels i helt andre industrier

(tekstil, papir, olieudvinding m.m.), som vi ikke kan gå nærmere ind på [3].

## Fysisk-kemiske karakteristika ved tensider

Det alternative navn *overfladeaktive stoffer* og dets engelske pendant *surfactants* refererer til denne classes karakteristiske (og definerende) egenskab, nemlig at molekylerne »opsøger« (opkoncentrerer i) grænseflader mellem den væske, de er opløst i, og tilstødende medier. I relation til en vaskeproces kunne sådanne grænseflader være mellem den vandige vaskemiddelopløsning og fibre i vasketøjet eller smudsemner på stoffet/i suspension samt diverse luft/vand-grænseflader, der optræder i systemet.

Årsagen til overfladeaktiviteten skal findes i molekylernes indbyggede frustration eller dilemma mht. at være opløst i vand. Tensidmolekyler består groft sagt af to typer segmenter: polære med *hydrofil* karakter og apolære med *hydrofob* karakter. For de mest almindelige vaskemiddeltensider er denne struktur vist i boks 2. Tensider siges at være *amfifile* som følge af deres splittede natur. Studerer man den fri energi forbundet med at opløse tensider i et vandigt system, ser man, at blandingsentropien favoriserer, at molekylerne forbliver som frie opløste enkeltmolekyler, mens kontakten mellem vand og de



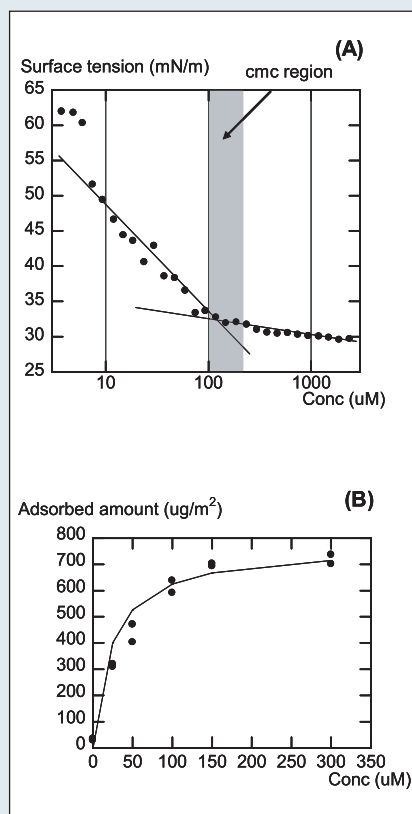
Figur 1. Lene Bjørg Cesar, Novozymes, betjener vores SPR-instrument, et Biacore 3000, jf. boks 3.

Foto: Leigh Murphy.

hydrofobe segmenter af molekylerne vil presse systemet i retning af aggregering eller fase separation. (Dette scenario er et eksempel på den *hydrofobe effekt*. Argumentet er, at solvatiseringsenergien, som indebærer en grad af organisering af vandmolekylerne, kan minimeres ved, at de hydrofobe segmenter indesluttet i aggregater.)

Den aggregerede tilstand af tensiderne kan antage forskellige rumlige strukturer alt afhængig af molekylernes pakningsgeometri (som er en funktion af bl.a. deres hydrofile/hydrofobe balance, pH og ionstyrke af opløsningsmidlet samt temperaturen). Er den resulterende pakningsgeometri overvejende konisk for de enkelte tensidmolekyler, vil aggregaterne, kaldet *miceller*, ofte være sfæriske. Er molekylernes pakningsgeometri i middel mere cylindrisk, ser man tilsvarende *mesofaser*, hvori krumningen af det aggregerede lag af tensider er mindre: såkaldte *mikroemulsioner* og *lamellære faser*. Aggregaterne er typisk fra 5 til 50 nm i diameter. Tensidernes struktur har også betydning for, hvor *dynamisk* den aggregerede tilstand er mht. at udveksle molekyler med monomerer i det vandige medium. Koncentrationen af tensiderne og tilstedeværelsen af andre komponenter, som kan indlejres i aggregaterne, giver desuden anledning til endnu et niveau af faserigdom i denne type selvorganiserende systemer styret af ikke-kovalente kræfter [4]. Mere eksotiske mesofaser har visse anvendelser, f.eks. hvor man påfører et lag skum på et besmudset emne, der skal afrens.

Det punkt, hvor tilsætningen af yderligere overfladeaktive molekyler fører til en vækst i antallet af aggregater, og hvorfra antallet af opløste monomerer er uforandret, benævnes sædvanligvis *den kritiske micellekoncentration* af tensidet (forkortet *CMC*) uden skelen til typen af aggregater. Boks 3 angiver udvalgte metoder til at studere tensiders fysiske kemi, og figur 2 og 3 giver konkrete eksempler. I relation til en vaskeproces kan



Figur 2. (A) Overfladespændingen som funktion af tensidkoncentrationen i en vandig opløsning i kontakt med luft, målt ved tensiometri. (B) Effektiv masse af molekyler som adsorberer til en hydrofob overflade bestemt ved overfladeplasmonresonans, SPR. I begge eksperimenter er der brugt en tensidopløsning bestående af  $C_{12}E_6$  (se boks 2, fodnote 3) og LAS (i molforholdet 1:2) i en pH 9-glycinpuffer indeholdende 10 mM NaCl. Overfladespændingen (A) falder brat og når et nyt plateau, når den kritiske micellekoncentration passerer, og tensiderne befugter luft/vand-grænsefladen (i området 100-200  $\mu\text{M}$ ). Analogt ser man, at densiteten af tensid, som adsorberer til den hydrofobe overflade i SPR-eksperimentet (B), nærmer sig et konstant niveau ved koncentrationer over 150  $\mu\text{M}$ , svarende til densiteten af et tætpakket monolag af tensidmolekyler. Resultater fra [7].

man opfatte de aggregerede tensidmolekyler som en mulig bærefase for komponenter, man kunne ønske at transportere væk fra vasketøjet. Det kunne f.eks. være hydrofobe olier eller farvestoffer oprindeligt indlejret i spaghettisovs.

## Boks 2: Byggesten for de vigtigste vaskemiddeltensider

Flere tensidtyper er at finde i boks 2 i artikel 1. Industrielle produkter, som de anvendes i vaskemidler, er stort set altid isomerblandinger (med en fordeling af alkylkædelængder og, hvor relevant, en fordeling af antal oxyethylengrupper). Molekylstrukturen er ikke altid så enkel. Der kan være flere hydrofobe dele, der hver for sig er sat sammen med hovedgruppen, eksempelvis bis(acyloxyalkyl)(2-hydroxyethyl)methylammoniumforbindelser (typiske »ester quats«)

med to lange acylkæder. Der kan også være to hydrofile grupper (*gemini*-tensider). Man kan have polymerer, hvor hydrofobe og hydrofile partier veksler, som i blokcopolymerer af ethylenoxid (EO, oxiran) og propylenoxid (PO, methyloxiran). Sådanne regnes ofte med under tensiderne. I det hele taget bliver polymerer med tensidegenskaber nok en del af billedet i fremtiden [6].

| Hydrofob del                                                                      | Hydrofil del                                                 | Samlet tensidstruktur             | Tensidtype              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| Alkylbenzen <sup>1)</sup>                                                         | $-\text{SO}_3^-$ <sup>2)</sup>                               | alkylbenzensulfonater             | anionisk                |
| $\text{CH}_3[\text{CH}_2]_n\text{CH}_2-$ , hvor $n$ normalt er i intervallet 8-16 | $-\text{OSO}_3^-$ <sup>2)</sup>                              | alkylsulfater (»alkoholsulfater«) | anionisk                |
|                                                                                   | $-\text{COO}^-$ <sup>2)</sup>                                | sæber                             | anionisk                |
|                                                                                   | $-\text{[OCH}_2\text{CH}_2]_m\text{OSO}_3^-$ <sup>2)3)</sup> | »alkoholethersulfater«            | anionisk                |
|                                                                                   | $-\text{CH(SO}_3^-)\text{C(O)OCH}_3$ <sup>2)</sup>           | »methylestersulfonater«           | anionisk                |
|                                                                                   | $-\text{[OCH}_2\text{CH}_2]_m\text{OH}$ <sup>3)</sup>        | »alkoholethoxylater«              | nonionisk               |
|                                                                                   | $-\text{N}^+(\text{CH}_3)_2(\text{CH}_2\phi)$ <sup>4)</sup>  | alkylbenzyltrimethylammonium      | kationisk               |
|                                                                                   | $-\text{[N(CH}_3)_2]\rightarrow\text{O}$                     | alkyldimethylaminoxider           | nonionisk <sup>5)</sup> |
|                                                                                   | $-\text{N}^+(\text{CH}_3)_2\text{CH}_2\text{COO}^-$          | betainer                          | zwitterionisk           |

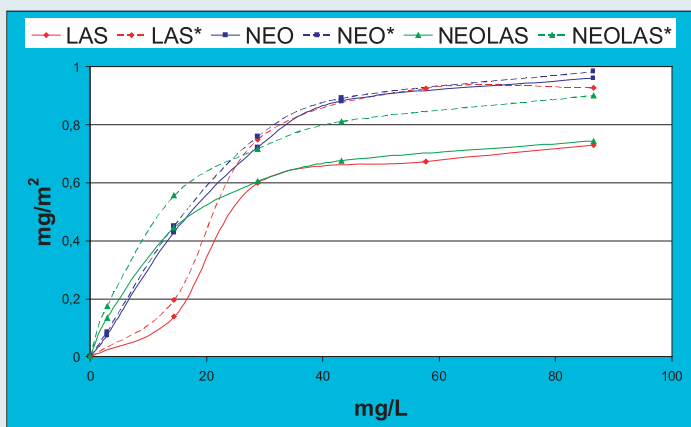
1) Sædvanligvis er alkylgruppen lineær med 10-13 carbonatomer og binder til benzenringen ved et ikke-terminalt carbon. I nyere typer (»M-LAS« for »modified linear alkylbenzenesulfonate«) er der en enkelt forgrening i form af en methylgruppe et passende sted på kæden [5].

2) Sædvanligvis som natriumsalt.

3) Der er i praksis vide grænser for den gennemsnitlige værdi af kædelængden  $n$  og spredningen på den i et givet produkt. Typisk er  $m$  mellem 3 og 9. Ofte anvendes indlysende forkortelser for de rene tensider, som f.eks.  $C_{12}E_6$  for alkoholethoxylatet med  $n = 10$  og  $m = 6$ .

4) Sædvanligvis som chlorid.

5) Eller zwitterionisk (svarende til repræsentationen  $-\text{[N}^+(\text{CH}_3)_2]\text{O}^-$ ).



Figur 3. Densiteten af tensidlag ( $\text{mg/m}^2$ ) målt med SPR-teknikken som funktion af koncentrationen af tensider ( $\text{mg/L}$ ). SPR-forsøget er udført med det anioniske LAS og det nonioniske AEO-produkt Neodol 25-7 (koden betyder:  $\text{C}_{12}\text{-C}_{15}$ -alkylkæder og i snit 7 oxyethylengrupper pr. molekyle), her kaldet NEO; begge af teknisk kvalitet. Grænsedensiteten på ca.  $1 \text{ mg/m}^2$  svarer til densiteten af et tætpakket monolag af opretstående amfifile molekyler. Alle systemerne har en CMC i omegnen af  $30 \text{ mg/L}$ . Imidlertid er der stor forskel på pakningstætheden af de lag, som tensiderne danner på underlaget. Kurverne for de nonioniske systemer stiger mere brat og når et højere niveau, uafhængigt af tilstedeværelsen af (kunstig) vandhårdhed (markeret med \*). De udelukkende anioniske systemer viser en langsommere stigning i densiteten samt en plateauværdi, som afhænger af vandhårdheden. Calcium- og magnesiumioner skærmer ladningen på LAS-molekylerne, således at de kan pakke tættere på overfladen. I det blandede system 1:2 NEO/LAS (w/w), der kunne være en model for et europæisk vaskemiddel, observeres en kombination af effekterne set i de anioniske og nonioniske systemer. Resultatet for NEOLAS\* set ift. de øvrige resultater kræver yderligere diskussion, se [4].

### Tensidernes rolle i vaskeprocessen

Vi har allerede været inde på to aspekter af tensidernes funktion under vask: *emulgering* af hydrofobe smudsemner som fedt og olie samt *suspension* af partikulært smuds, hvor ler og sod er typiske eksempler. Hensigten er at skabe et system (tøj + vaskemiddelopløsning), der består af elektrostatisk frastødende legemer (hvor aniontensiderne indgår i dynamiske lag på alle grænseflader). Formålet er altså at kunne holde smudsemnerne i opløsning, så de siden kan skylles væk i slutningen af vaskeprocessen uden at blive genafsat, *redeponeret*, på tøjet. Figur 4 giver et eksempel på redeposition i en vaskeproces, som er stresset pga. højt niveau af smuds ift. vaskemiddel. Man ser, at olie og carbon black (som kunne hidrøre fra sod, slidte bildæk, printertonere mv.), som er påført nogle stoflapper, overføres til andre lapper under vaskeprocessen.

Redeposition er et reelt problem, som stort set alle ingredienser i vaskemidler har mere eller mindre direkte indflydelse på.

Men hvordan kommer tensiderne så i gang med at fjerne smuds fra tekstiloverfladerne? Det kan man få en bedre forståelse af ved at betragte et system bestående af en oliedråbe, der sidder på en idealiseret stofoverflade i kontakt med en vaskemiddelopløsning, se figur 5.

Tensidernes befugtning af grænseflader har også den funktion at fortrænge eventuelle »isolerende« lag af luft, som kan være fanget på (hydrofobe) overflader og i hulrum i tekstilfibre. Herefter kan alle vaskeaktive komponenter bringes effektivt i kontakt med tøjet.

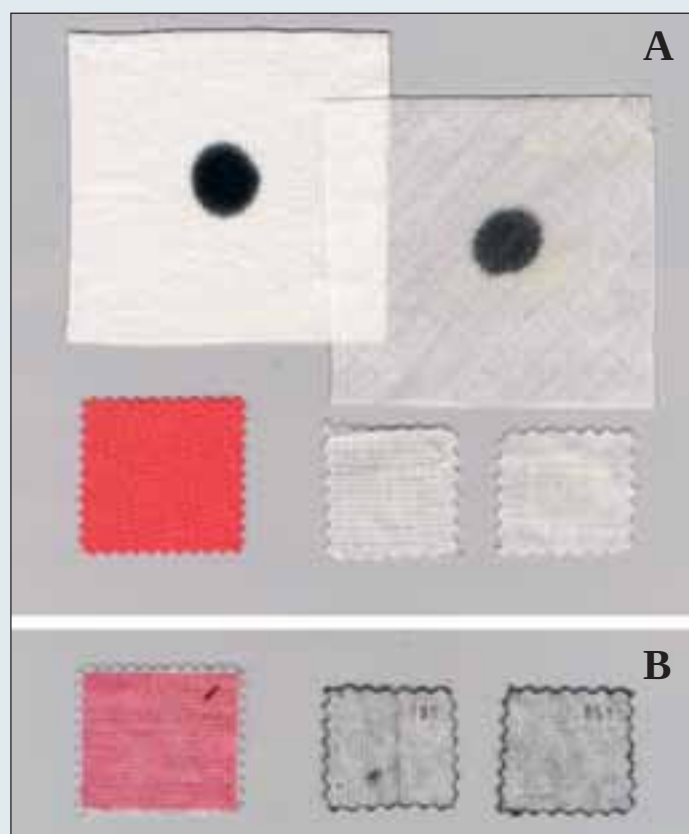
### Tensider i tøjvaskemidler...

Aniontensider har pga. den negative ladning det største problem med vandhårdhedskationerne magnesium( $2+$ ) og calcium( $2+$ ). Sæberne er værst og fælder calciumsalte (kalksæber) i stor stil, hvis vandet er hårdt, og der ikke er tilstrækkeligt med buildere (forrige artikel) i vaskevandet, men generelt nedsættes vaskevirkningen af aniontensider i dårligt buildede systemer.

Aniontensiderne bidrager bredt til smudsfjernelse, men deres særligt stærke side i tøjvaskeprocessen er fjernelse af og suspendering af partikulært smuds. Sæber tilsættes interessant nok til visse pulvervaskemidler som skumdæmpere. I tøjvaskemidler er der typisk mellem 5 og 15% aniontensider efter vægt. Ofte er der to-tre typer i kombination.

*Noniontensiderne*, som globalt set primært er alkoholethoxylater, er langt mindre hårdhedsfølsomme end aniontensiderne og gode til at fjerne hydrofobe besmudsninger som mineralisk olie og fedt. Som det fremgår ovenfor, kan der være fordele ved at kombinere aniontensider og noniontensider, og det sker også ofte. Typisk er der 3-10% noniontensider, ofte lidt mere i flydende end i pulver.

*Kationtensider*. Tidligere anså man, at kationtensider ikke var forenelige med aniontensider i samme vaskemiddel, da de ville danne ionpar eller fælde ud med hinanden (i øvrigt reaktioner, man udnytter analytisk, så kationtensider kan bestemmes ved reaktion med aniontensider og omvendt). Man brugte kun kationtensider i skyllemidler, hvor de tjente til at forhindre statisk elektricitet og give tøjet et blødt greb. I vore dage finder man dog undertiden kationiske tensider formuleret sammen med de andre typer i vaskemidler.



Figur 4. Redeposition i miniaturiseret vaskeforsøg [8].

(A) viser forskellige typer (uvaskede) tekstillapper, der indgår sammen i et vaskeforsøg: donorlapper med olie/carbon black, læbestiftlapper og hvide sporingslapper til observation af mulig redeposition.

I (B) ses læbestift- og sporingslapperne efter vask i et kommercielt vaskemiddel: læbestiftlappen er mindre rød, mens sporingslapperne tydeligt afslører redeposition.

### ...og i maskinopvaskemidler

Disse indeholder kun lidt tensid. Det hænger sammen med, at den mekaniske bearbejdning i en opvaskemaskine vidtgående sørger for den dispergering af smudset, som tensiderne bidrager til i tøjvaske. Samtidig er skumdannelse i en opvaskemaskine uønsket, da den nedsætter effektiviteten af spuleprocessen. Den smule EO-PO-copolymer (jf. boks 2), der tilsættes, skal primært virke som skumdæmper. I øvrigt dannes

der sæber ved hydrolyse af fedtstoffer under opvask, og proteiner og proteinhydrolysater virker også som tensider og tenderer til at skumme.

## Fremtiden:

### hvad betinger producenterne valg af tensidtyper og -niveauer?

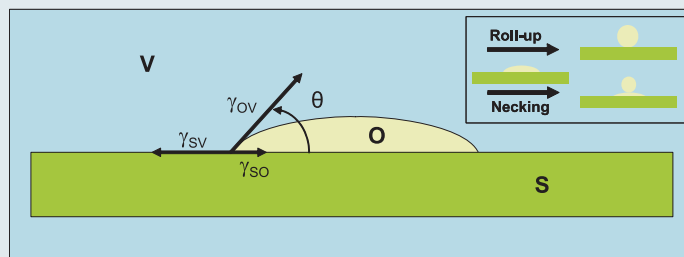
Vaskemiddelindustrien opererer med store produktvolumener (jf. artikel 1), dvs. *transportomkostninger* og *forsyningsstabilitet* er vigtige, og råvareleverandørernes placering får betydning; disse er igen afhængige af tilgængeligheden af deres råstoffer såsom relevante carbonhydrider, alkoholer (hvadenten det er fedtalkoholer afledt af biologiske materialer eller jordoliebaserede alkoholer), aminer osv. I 2005 har vaskemiddelproducenterne været belastede af stigende tensidpriser, en direkte følge af de stigende oliepriser.

Et andet aspekt er miljørigtigheden. Der har været debat om bionedbrydeligheden af LAS, hvilket har ført til reguleringer ligesom med triphosphat. Der eksperimenteres derfor med modificerede LAS-strukturer [5]. Her skal der også tages hensyn til opløseligheden og hårdhedsfølsomheden, som ikke nødvendigvis følges med bionedbrydeligheden. APE, alkylphenolethoxylaterne, er stort set ude af dette marked pga. giftigheden af de alkylphenoler, der dannes ved nedbrydning af dem, og evidens for hormonlignende effekter. I fremtiden vil tensider

## Boks 3: Udvalgte eksperimentelle metoder til karakterisering af fysisk-kemiske egenskaber af tensidsystemer

[Egentlige analysemetoder for tensider i vaskemiddel- og miljøprøver er f.eks. behandlet i Waldhof og Spilker (se artikel 2), og der gås ikke nærmere ind på sådanne her.]

- Ved *tensiometri* kan man bestemme ændringer af overfladespændingen af en væske i kontakt med luft. Mekanisk måles den kraft, der er nødvendig for at trække et lille fast emne som en metalskive ud af væsken. Typisk ser man et fald i overfladespænding, når tensidmolekylerne begynder at ophobes i luft/vand-grænsefladen, og den kritiske micellekoncentration nærmer sig, jf. figur 2A.
- *Ledningsevne*. En forholdsvis ligetil metode til bestemmelse af CMC for ioniske tensider [10], som også benyttes i [11].
- *Overfladeplasmonresonans* (surface plasmon resonance, SPR) er en overfladefølsom spektroskopi, hvor ændringer i dielektricitetskonstanten nær en overflade kan relateres til forandringer i massen i kontakt med overfladen. Udstyret ses i figur 1 med pipetteblandingsstation og autosampler, mens hjertet i opstillingen ikke er synligt: nemlig den udskiftelige chip med måleoverfladen, som bringes i kontakt med en flowcelle og det optiske detektionssystem. SPR kan bruges til at kvantificere den adsorberede masse på en overflade, eksempelvis som funktion af koncentrationen af tensid i en opløsning, som injiceres via blandingsstationen; se eksempel på data i figur 2B.
- *Lysspredning* kan, afhængigt af bølgelængden og måleprincippet, give information om dannelse af aggregater, partikelstørrelse m.v.
- *Isoterm titreringskalorimetri* (ITC) er en termodynamisk metode, der ved at måle forskellen i varme, der skal tilføres en ukendt prøve og en reference for at fastholde samme temperatur i de to medier, kan oplyse eksempelvis om enthalpien ved blanding. Afhængig af forsøgsbetingelserne vil passagen af CMC i et titreringsforsøg kunne give anledning til et fald i den tilførte varme, idet solvatiseringen af tensider som indbygges i miceller kræver mindre energi, end hvis de forblev som monomerer i opløsningen.
- *Kernemagnetisk resonansspektroskopi* (NMR) kan via studier af relaxations- eller anisotropiparametre fortælle om tensidernes miljø og mobilitet på molekylær skala. Aggregering eller adsorption til overflader kan analyseres i stor detalje.
- En variant af elektronmikroskopi, der er særlig velegnet til at visualisere de ofte fleksible og dynamiske aggregater, som tensider kan indgå i, kaldes *cryo-transmissionselektronmikroskopi* (Cryo-TEM). I et kammer, der sikrer konstant temperatur og luftfugtighed, danner man en tynd film af sin væske, typisk på et net af carbon. Denne prøve bratfryses i flydende ethan, hvorved man med en temperaturgradient på over  $10^5$  K/s opnår en amorf tilstand af filmen. Den frosne prøve (holdt konstant ved  $-170^\circ\text{C}$ ) inspiceres herefter i elektronmikroskopet ved transmission af elektronstrålingen. Metoden er anvendt og beskrevet i [12].



Figur 5. Betragt en dråbe olie (O), der sidder på en idealiseret stofoverflade (S) i kontakt med en vandig opløsning (V). Kontaktvinklen  $\theta$  kan udtrykkes ved  $\cos \theta = (\gamma_{SV} - \gamma_{SO}) / \gamma_{OV}$  (Young-ligningen), hvor  $\gamma_{SV}$ ,  $\gamma_{SO}$  og  $\gamma_{OV}$  er grænsefladespændingen mellem henholdsvis underlag/vand, underlag/olie og olie/vand. Det ses, at balancen mellem  $\gamma_{SV}$  og  $\gamma_{SO}$  afgør fortegnet for  $\cos \theta$ : øges forligneligheden mellem olie og underlag ift. underlagets kontakt med vand (eksempelvis ved at underlaget ændres fra bomuld til polyester, der er mere hydrofobt), spredes dråben mere, og kontaktvinklen til underlaget bliver mindre. Hvis tensider i V befugter underlaget og oliedråben, dvs. adsorberer til disses grænseflader til opløsningen, vil  $\theta$  kunne ændre sig. Hvis tensiderne først og fremmest formindsker  $\gamma_{SV}$ , vil  $\theta$  stige, så der sker en afsnøring af oliedråben (roll-up). Er det især  $\gamma_{OV}$ , der falder som følge af fordeling af tensider ind i O/V-grænsefladen, vil man kunne se en løsrivelse af olie, i princippet uden at kontaktvinklen ændres (necking eller mekanisk emulgering). Denne proces kan følges i et lysmikroskop med samme perspektiv som i figuren.

fremstillet af fornyelige råstoffer – som alkylpolyglucosider (APG), der i sidste ende laves ud fra stivelse og kokosolie – og ved miljørigtige processer, få øget betydning. Et andet interessant koncept i denne sammenhæng er spaltelige tensider [9].

For at få miljømærkning som Svanemærket og EU-blomsten skal vaskemidler ud over at indeholde ugiftige ingredienser, en acceptabel emballage osv. også opfylde tekniske krav mht. vaskesevne, så der er grænser for, hvor meget der kan spares på effektive ingredienser som tensider.

Kompatibilitet mellem ingredienser i et vaskemiddel betyder også meget og er et vigtigt fokus for enzymer, hvilket vil fremgå senere i serien.

## E-mail-adresser

Thomas Callisen: call@novozymes.com  
Ture Damhus: tda@novozymes.com

## Referencer

1. O. Bostrup: *Dansk kemi 1770-1807 – Den kemiske Revolution* [Teknisk Forlag 1996]. Afsnit 5.2.3, Sæbe.
2. K. Meyer: *Vareleksikon* [6. udgave, Aschehoug 1952]. Monografien, Sæbe.
3. M.J. Rosen, M. Dahanayake: *Industrial Utilization of Surfactants – Principles and Practice* [AOCS Press 2000].
4. B. Jönsson, B. Lindman, K. Holmberg, B. Kronberg: *Surfactants and Polymers in Aqueous Solution* [2. udgave, Wiley 2003].
5. J. J. Scheibel: The Evolution of Anionic Surfactant Technology to Meet the Requirements of the Laundry Detergent Industry, *J.Surf.Deterg.* 7 #4 (2004) 319-327.
6. J. Storsberg, A. Laschewsky: Polymer Surfactants – Novel Agents with Exceptional Properties, *SÖFW-Journal* 130 # 12 (2004) 14-18.
7. A. Sonesson, U. Elofsson, H. Brismar & T. H. Callisen: Adsorption and diffusion of a lipase at a hydrophobic surface in the presence of surfactants, indsendt til *Langmuir* (2005).
8. T. H. Callisen, T. Damhus: Anti-redeposition effects by lipases in relation to fat-associated build-up of diffuse soiling (dinginess) [AOCS annual meeting 2000; AOCS Press].
9. P.-E. Hellberg: Klyvbara ytaktiva ämnen, *Kemivärlden/Kemisk Tidskrift* # 3 (2003) 23-24.
10. A. Dominguez et al.: Determination of Critical Micelle Concentration of Some Surfactants by Three Techniques, *J. Chem. Educ.* 74 # 10 (1997) 1227- 1231.
11. Ungdomslaboratoriet ved H.C.Ørsted Institutet, se [www.ulab.ku.dk](http://www.ulab.ku.dk), har en serie af øvelser om vaskemiddel ingredienser, herunder anionensider.
12. T. H. Callisen & Y. Talmon: Direct Imaging by Cryo-TEM Shows Membrane Break-Up by Phospholipase A2 Enzymatic Activity, *Biochemistry* 37 (1998) 10987-10993.