

Hvornår bryder en kunstig muskel sammen?

Simulering af termiske sammenbrud i dielektriske elastomerer

Dielektriske elastomerer kan blandt andet bruges til kunstige muskler, højttalere og til at udvinde energi fra havbølger. Ved brug af dielektriske elastomerer genereres varme grundet den elektriske modstand i materialet, hvilket kan lede til, at materialet bryder sammen. Tre essentielle parametre påvirker sammenbruddet af dielektriske elastomerer.

Af Line Riis Madsen, Ole Hassager og Anne Ladegaard Skov, Dansk Polymer Center, Institut for Kemiteknik, DTU

Modellering af varmestrømme er typisk interessant i større kemiske anlæg og rørføringer, men det kan også bruges til at forudsige, hvornår en kunstig muskel vil bryde sammen. Dielektriske elastomerer er en interessant teknologi, der både kan bruges til kunstige muskler og til at udvinde energi fra havets bølger. Materialet har vist sit potentiale til en lang række anvendelser, men der forskes stadig i at optimere levetiden af materialet.

Muskler eller bølge-energi-høstere

En dielektrisk elastomer består af en tynd elastisk polymerfilm, nærmere bestemt en elastomer, sammenklemt imellem to fleksible

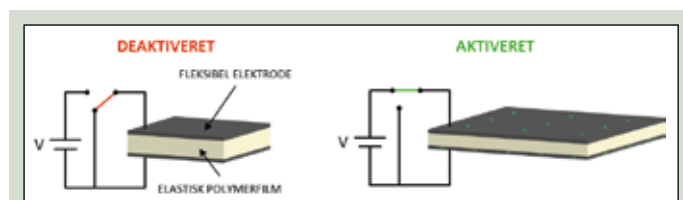
elektroder. Silikone er et af de mest populære materialer til dielektriske elastomerer, da det har en høj effektivitet og pålidelighed og en hurtig reaktionstid. Elektroderne består af et ledende materiale, hvilket ofte er ædelmetaller såsom guld eller sølv.

Når der påføres en elektrisk spænding henover elektroderne, vil elektriske ladninger ophobes på elektroderne, hvorved den ene elektrode bliver positivt ladet og den anden negativt ladet. Disse to modsatladede elektroder vil tiltrække hinanden, hvilket resulterer i, at elastomeren mindskes i højden, men da den er inkompressibel, udvides den tilsvarende i areal. På denne måde omdannes elektrisk energi til mekanisk energi, der kan bruges til diverse produkter såsom kunstige muskler eller højttalere [1]. Når den elektriske spænding kobles fra, vil elastomeren genfinde sin originale form.

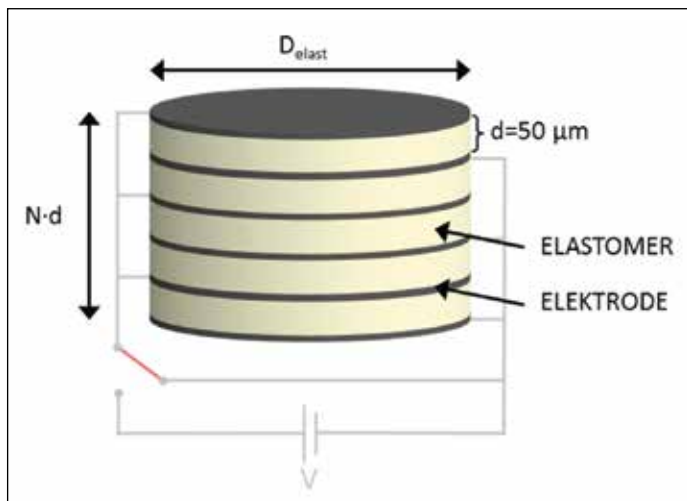
Dielektriske elastomerer kan også bruges til at omdanne mekanisk energi til elektrisk energi såsom at udvinde energi fra havbølgers bevægelse [2]. Dette gøres ved at strække materialet og derefter påføre en spænding over elektroderne. Når elastomeren derefter relaxerer, vil de mekaniske kræfter arbejde imod de elektriske kræfter, og derved øges den elektriske energi i materialet. Den overskydende elektriske energi kan herefter høstes.

Materialet brænder sammen

Dielektriske elastomerer kan udformes i en bred vifte af konfigurationer. De kan bl.a. rulles, udformes til rør, påføres til en fast ramme eller fastgøres til et fast underlag. Ydermere kan de også arrangeres i en lagdelt struktur med skiftende elastomer og elektrodelag, som det ses af figur 1. Dette gøres for at øge den mekaniske kraft, der opnås ved aktivering. Antallet af lag i en stak af dielektriske elastomerer afhænger



Dielektriske elastomerer består af en tynd elastisk polymerfilm (en elastomer), sammenklemt imellem to fleksible elektroder. Når der påføres en elektrisk spænding over elektroderne, vil de to modsatrettede elektroder tiltrække hinanden, hvilket resulterer i, at elastomeren tyndes, men udvides i areal. Når den elektriske spænding kobles fra igen, vil materialet vende tilbage til sin originale form.



Figur 1. Geometri af dielektrisk elastomer brugt til modellering af N elastomerer med tykkelsen d og diameteren D_{elast} .

af formålet, men kan være helt op imod 300 lag i en bølgeenergi-høster [2].

Uheldigvis øges risikoen for et termisk sammenbrud med antallet af lag. Når der sendes en elektrisk strøm igennem et materiale, vil materialet blive varmt grundet den elektriske modstand i materialet. Dette kaldes Ohmsk opvarmning. Hvis varmen, der genereres inde i en stak af dielektriske elastomerer, overstiger varmen, der transporteres væk fra stakkens overflade grundet fri konvektion, vil temperaturen af stakken stige. En forøgelse

af temperaturen i et område af elastomeren vil resultere i, at ladningstætheden i dette område stiger, og jo flere ladede partikler i et område, jo mere varme genereres der grundet Ohmsk opvarmning. På denne måde er temperaturstigningen selvforstærkende, og hvis ikke varmekonvektionen fra siderne af stakken er tilstrækkelig, vil materialets temperatur stige eksponentielt, hvilket medfører et elektrisk sammenbrud af materialet [3].

Fokus for dette studium er at undersøge, hvilke faktorer der har den største indvirkning på dielektriske elastomerers sammenbrud. Studiet er udført ved at sammenholde formlerne for Ohmsk opvarmning og konvektion for en stak af dielektriske elastomerer under et givent sæt af testbetingelser. Konfigurationen af dielektriske elastomerer, der er brugt i denne model, er vist i figur 1. Formlen for Ohmsk opvarmning, Q_{gen} , er som følger:

$$Q_{\text{gen}} = E^2 N d \sigma A_{\text{tvær}} \quad (1)$$

hvor E er det påførte elektriske felt, N er antallet af lag i stakken af dielektrisk elastomerer, d er tykkelsen af et lag elastomer, σ er elastomerens elektriske konduktivitet og $A_{\text{tvær}}$ er tværsnitsarealet af stakken. Formlen for fri konvektion, Q_{konv} , er givet som:

$$Q_{\text{konv}} = h A (T - T_{\text{omg}})^{1.25} \quad (2)$$

hvor h er varmeovergangstallet, A er overfladearealet, T er temperaturen på overfladen af elastomeren og T_{omg} er omgivelsernes temperatur. Formlen for fri konvektion skal bruges på

SIKKER KEMI FOR MILJØ OG SUNDHED

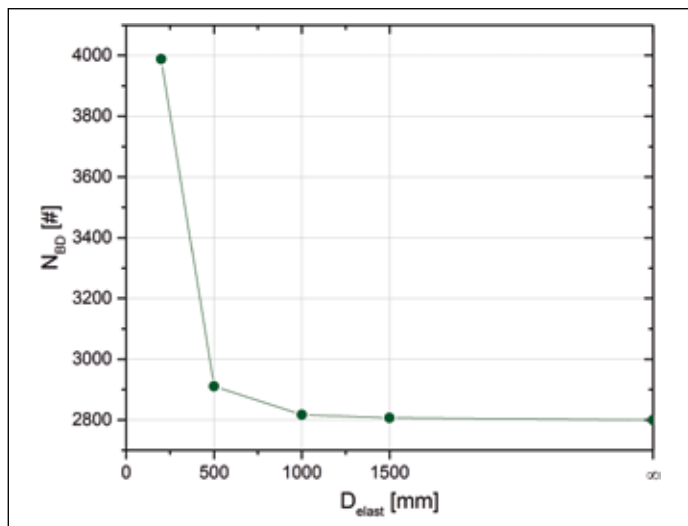
- Vurdering af miljøfremmede stoffer
- Fastsættelse af grænseværdier
- Vurdering af fødevarerkontaktmaterialer og procesudstyr
- Modellering af migration fra materialer
- HACCP og krav til procesvand ved genanvendelse

www.tox.dhi.dk

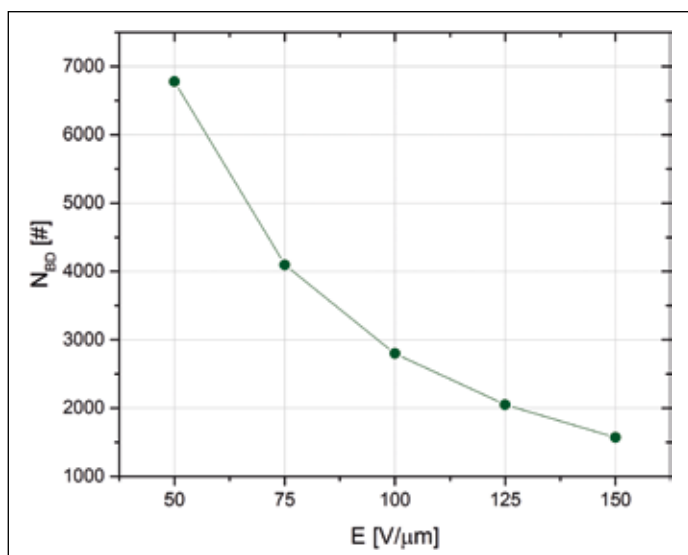
DHI
Agern Allé 5, DK-2970 Hørsholm
Tel: 45 16 9200
dhi@dhigroup.com

The expert in **WATER ENVIRONMENTS**

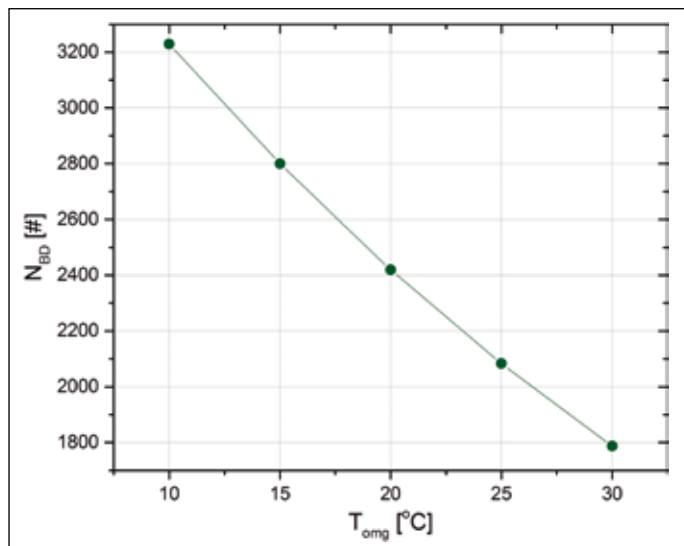




Figur 2. Sammenbrudspunkt, N_{BD} , som funktion for stakkens diameter, D_{elast} .



Figur 3. Sammenbrudspunkt, N_{BD} , som funktion af det påførte elektriske felt, E .



Figur 4. Sammenbrudspunkt, N_{BD} , som funktion af omgivelsernes temperatur, T_{omg} .

alle overflader af stakken af dielektriske elastomerer, og den er forskellig for hver overflade, da varmeovergangstallet er afhængigt af, om overfladen er vertikal eller horisontal, samt om den er øverst eller nederst.

Det skal nævnes, at modellen og resultaterne der præsenteres i denne artikel, er indledende resultater. Modellen tager ikke højde for, at stakken af dielektriske elastomerer deformeres, når den aktiveres. Det vil sige, at det antages, at stakken er statisk. Ydermere medtages elektroderne heller ikke, da det antages, at elastomerer er den begrænsende faktor i forhold til varmeledning, da elektroderne er cirka 1.000 gange tyndere end elastomererne. Som en sidste bemærkning skal det nævnes, at det antages, at der ingen urenheder er i elastomerer. Dette er en grov antagelse, da der altid vil være små urenheder i form af små lufthuller eller partikler i elastomerer, som vil forværre materialets holdbarhed signifikant.

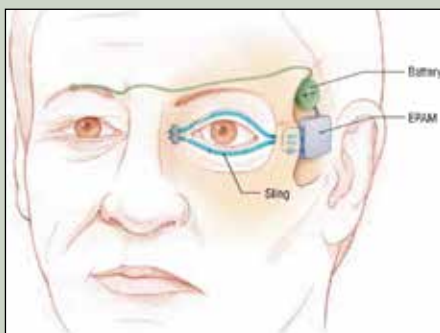
Høj og tynd stak

Det er relativt nemt at ændre stakkens dimensioner under produktion, og derfor undersøges det, hvordan stakkens diameter



Bølge-energi-høster udviklet af SBM Offshore. Energi-høsteren består af en lang tube af dielektriske elastomerer, der deformeres som følge af påvirkning fra havbølgers bevægelse. Disse mekaniske deformationer omdannes til elektrisk energi, der kan udvindes med en effektivitet tæt på 100% [2].

Foto: SBM Offshore.



Stimulering af et beskadiget øjenlåg med en øjenlågsslynge tilkoblet en dielektrisk elastomer. Når det fungerende øjenlåg blinker, sendes et signal til batteriet om at aktivere den dielektriske elastomer, og derved få det lammede øjenlåg til at blinke [4].

Illustration: Senders et al. [4].



En måtte bestående af dielektrisk elastomer sensorer kan bruges til at detektere vægt og placering af en person i et bilsæde, og ud fra dette justere, med hvilken kraft airbaggen skal udløses i tilfælde af et uheld. Ved hjælp af denne teknologi kan skaderne fra en udløst airbag mindskes [5].

Foto: Thieury/Shutterstock

påvirker sammenbrud af stakken. Ved en lille diameter er der ideelt set ingen grænse for, hvor mange lag man kan have i en stak, som det ses i figur 2, da varmekonvektionen fra overfladen af stakken altid vil være tilstrækkelig stor til at balancere den varme, der produceres i stakken. Antallet af lag man kan have i en stak, før der sker et sammenbrud, kaldes sammenbrudspunktet. Med stigende diameter nærmer sammenbrudspunktet sig et plateau omkring 2.800 lag, svarende til sammenbrudspunktet, hvis den krumme overflade af den cylindriske stak er termisk isoleret.

Det påførte elektriske felt

En anden parameter, der kan justeres, er det elektriske felt, der påføres til stakken af dielektriske elastomerer. Det elektriske felt, E , er en funktion af den påførte spænding og tykkelsen af elastomer laget, givet ved:

$$E = \frac{V}{d} \quad (3)$$

Fra figur 3, ses det, at sammenbrudspunktet falder med stigende elektrisk felt. Dette skyldes, at mængden af genereret varme i stakken stiger med stigende elektrisk felt, hvorfor et lavt elektrisk felt er at foretrække for en stak af dielektriske elastomerer i forhold til at mindske sammenbrud.

Musklernes påvirkes af omgivelsernes temperatur

Den sidste parameter, der er blevet undersøgt i dette studium, er temperaturen af omgivelserne, hvori stakken af dielektriske elastomerer er placeret. Som det ses af figur 4, falder sammenbrudspunktet, når omgivelsernes temperatur stiger. Dette skyldes, at drivkraften til at fjerne varme fra overfladen af stakken er forskellen mellem temperaturen på overfladen af stakken og temperaturen i omgivelserne. Fra figur 4 kan det ses, at antallet

af mulige lag falder med cirka 1.800 lag på blot en 20°C stigning i temperatur, hvilket er en overraskende stor effekt.

Ideelle resultater

Som tidligere nævnt, er disse resultater opnået ved simulering af et simplificeret og idealiseret system. Bl.a. er deformationen af stakken af dielektriske elastomerer ikke medtaget, og ydermere er det antaget, at elastomerer ikke indeholder nogen former for urenheder. Resultaterne, præsenteret i denne artikel, kan derfor ikke bruges til at bestemme, hvor mange lag man kan have i sin dielektriske elastomer, men de kan bruges til at beskrive tendenserne i sammenbrudspunktet, når henholdsvis diameteren, det elektriske felt eller omgivelsernes temperatur ændres.

Det næste skridt er at fjerne de ovenfor nævne simplificeringer fra modellen, hvorved det forventes, at værdierne for sammenbrudspunktet falder drastisk. Dette skyldes, at urenheder i materialet leder til en langt større risiko for sammenbrud, samt at deformation af materialet mindsker tykkelsen af hvert elastomerlag, hvilket leder til et øget elektrisk felt og dermed også øget genereret varme.

E-mail:

Line Riis Madsen: linmads@kt.dtu.dk

Referencer

1. F. Madsen, A. Daugaard, S. Hvilsted & A. Skov. (2016) Macromolecular Rapid Communications. 37 (5), 378-413.
2. A. Watzek & R. Kessel. (2016) Offshore Technology Conference. May, 1-14.
3. L. Dissado & J. Fothergill. (1992) Electrical Degradation and Breakdown in Polymer. 1st ed. London. Peter Peregrinus Ltd.
4. C. Senders, T. Tollefson, S. Curtiss, A. Wong-Foy & H. Prahlad. (2010) Archives of Facial Plastic Surgery. 12 (1), 30-36.
5. H. Böse, E. Fuß, J. Ehrlich. (2015) Proceedings of AMA. A2.2, 55-60.

Nyt om ...

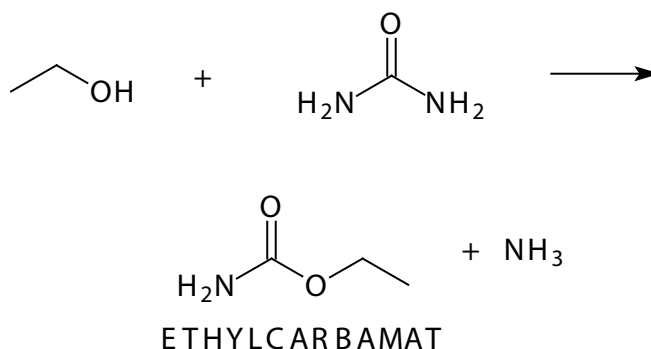
... Cancerrisiko i vin

De canadiske sundhedsmyndigheder er bekymret over cancerrisikoen ved forekomsten af ethylcarbamat (carbaminsyreethylester, urethan) i vin. Ethylcarbamatet dannes i vinen ved reaktion mellem urinstof og ethanol under gæringen. Jo højere temperaturen er, des mere ethylcarbamat dannes der. Der er derfor betydelig større mængder i destilleret spirituosa end i vin. Ethylcarbamat kan også dannes ud fra cyanid, der oxideres til cyanat, som reagerer videre med ethanol til carbamat. Dette er et specielt problem i spirituosa lavet på stenfrugter, der indeholder cyanogene glucosider.

Det er f.eks. spirituosa som amaretto fra abrikoser og slivovits, som er lavet på blommer. De canadiske sundhedsmyndigheder har nu tilladt, at der tilsættes vinen enzymet urease for at mindske mængden af urinstof.

Carl Th.

Canada declares chemical in wine a cancer risk, *Chemical & Engineering News* June 20, 2016 side 15.



Pipettecenteret

Kalibrering og service af alle fabrikater pipetter.

Vi kalibrerer både ved indsendelse eller på kundens adresse.

Salg af pipetter og laboratorie varer.



Pipettecenteret

Skovkanten 41 · 4700 Næstved
Tlf. 55 73 62 05 · Mobil 30 33 32 49
Email. nielslindgaard@stofanet.dk
www.pipettecenteret.dk

