

DANSK SUPERSTÅL MINDSKER CO₂-UDSLIP

Fremtidens elkraftværker kan udnytte kul langt mere effektivt. Hemmeligheden ligger i Z650 – et nyt dansk superstål – som kan klare temperaturer op til 650 grader. Det giver mere el og mindre CO₂

HENRIK OLSEN >

”Alt tæller, når CO₂-emissionen skal reduceres.”

DONG Energy’s chef for forskning og udvikling, Rudolph Blum, breder hele viften ud, når han beskriver fremtidens CO₂-minimerede elforsyning: Vind- og bølgeenergi, biomasse, naturgas, atomkraft – og kul.

”Det er ikke realistisk at gå fuldstændig bort fra kul foreløbig. Og hvis vi skal reducere CO₂-emissionen fra elkraftværkerne, så vil det være en væsentlig fordel at få så mange kilowatt-timer ud af hvert ton kul, man hælder ind i sin kedel,” uddyber forskningschefen.

Nøglen til at producere kraftværker med høj virkningsgrad ligger i temperatur og tryk i kedler, turbiner og damp rør, som alle er lavet af stål. Jo højere man kan komme op, des mere energi kan man trække ud af kullet. Igennem det seneste årti har grænsen ligget på 600 °C og 300 bar. Det giver et udbytte på maksimalt 47 pct. af den

energi, kullet indeholder. Alle forsøg på at øge tryk og temperatur er hidtil mislykkedes, for man har simpelthen ikke haft stål, der kunne holde til den øgede belastning.

Lige indtil nu, hvor forskere fra DTU Mekanik har udviklet et superstål, som klarer 650 °C og 325 bar. Det giver mulighed for at trække godt 50 pct. af energien i kullene ud.

Kina bruger 40 pct. af verdens kul

Ifølge IEA – International Energy Agency – er Danmark verdensmester i højeffektive, kulfyrede kraftværker. I gennemsnit ligger vi med en virkningsgrad på 43 pct., og Nordjyllandsværket er absolut topscorer med hele 47 pct. Til sammenligning ligger europæiske kraftværker med et snit på 36 pct. Men den helt store spiller på kulområdet er Kina:

”Den kinesiske industri forbruger i dag 40 pct. af det kul, der bliver brudt på verdensbasis. Og kinesisk elpro-

duktion æder halvdelen af kullene,” fortæller Rudolph Blum.

Til gengæld halser Kina langt efter verdensrekordholderen Danmark, når vi taler om kraftværkernes virkningsgrad. De kinesiske kulkraftværker er helt nede på 32 pct. – et par procent lavere end gennemsnittet på verdensplan.

Derfor ser Rudolph Blum også de største muligheder for det nye superstål i lande som Kina. Hvis virkningsgraden kan øges fra 32 til 50 pct. med det nye superstål, så betyder det nemlig en reduktion af CO₂-udslippet på hele 36 pct. Og mængden af kul, som skal leveres til kraftværkerne, reduceres tilsvarende.

Samarbejde førte til superstål

At Danmark ligger i elkraftværkernes verdenselite skyldes ikke mindst det samarbejde, som elindustrien har haft med DTU gennem tre årtier. Og Rudolph Blum har været med hele vejen.



Den første testudgave af Z650 stålet er fremstillet som valset plade, og de første krybeprøvninger er gennemført ved 650 grader. Der arbejdes nu på at optimere sammensætning og varmebehandling af stålet.

Allerede i 1979 indgik det daværende Elsam i Jylland og Elkraft på Sjælland et forskningssamarbejde med DTU under ledelse af professor E.W. Langer og med Rudolph Blum som formand for styregruppen. Her blev grunden lagt til den elektronmikroskopiske analyse af stål, som lige siden har været essentiel i forståelsen og videreudviklingen af nye ståltyper til kraftværksbrug, og som nu har nået en foreløbig klimaks med udviklingen af superstålet Z650.

Kedler, turbiner og damprør i elkraftværker skal både modstå temperatur- og trykbelastning og stærke korrosive påvirkninger fra dampen. For at øge styrken tilsætter man små mængder vanadium, niobium og nitrogen, som danner ultrasmå partikler i stålet. Korrosionsbestandigt stål opnår man ved at tilsætte krom. Forskningssamarbejdet mellem elværkerne og DTU har gjort Danmark førende inden for kraftværksstål. Det er siden 1987 blevet ledet af adjungeret professor John Hald og er forankret i sektionen Materiale teknologi og -udvikling på DTU Mekanik.

”For 10 år siden var man nået frem til stål, som havde et indhold af krom

>>

på ni pct. Det havde en styrke, som til-
lod, at man kunne bygge kraftværker
med tryk og temperatur på 300 bar og
600 °C.”

”For at kunne tage det næste skridt
fremad – 325 bar og 650 °C – så skulle
vi op på en styrke, der var dobbelt så
høj. Og for at forhindre at stålet oxide-
rer for hurtigt i den varme damp, skul-
le kromindholdet hæves til 12 pct.
Flere forskergrupper forsøgte sig med
udvikling af nye typer stål med 12 pct.
krom. De blev testet for at afprøve
deres såkaldte krybestyrke – langtids-
holdbarheden ved høje temperaturer.
Og alt så fint ud i et til to år, men så
brød krybestyrken sammen – for alle
de nye typer stål.”

”Det havde man ikke nogen forkla-
ring på dengang,” fortæller John Hald
og fortsætter: ”Men den forklaring har
vi fundet nu.”

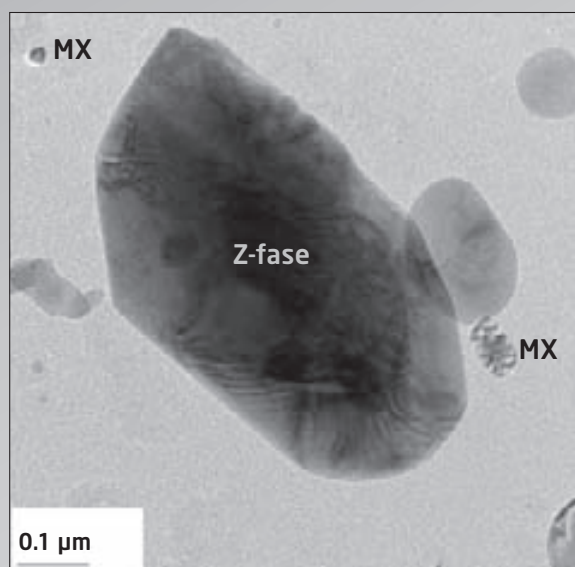
Z-fase

Det var Hilmar Danielsen, som under
sit ph.d.-projekt på DTU Mekanik
løste stålets gåde. Han har undersøgt de
nedbrudte kraftværksstål i et transmis-
sions-elektronmikroskop, og det har
ført ham på sporet af en superskurk, der
hver gang er årsag til nedbruddet. Skur-
ken er en såkaldt Z-fase: Nogle forholds-
vis store partikler, der hovedsagelig be-
står af krom, vanadium, niobium og
nitrogen. Partiklerne dannes ved høje
temperaturer og destabiliserer stålet.

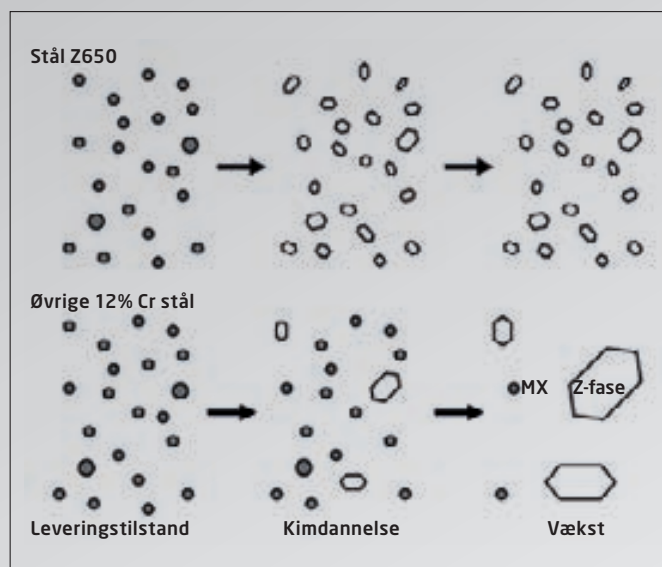
”Hvis man putter mere krom i stå-
let, så får man hurtigt udskilt Z-fasen,”
forklarer Hilmar Danielsen.

Den nye forskning har ikke alene
forklaret, hvad skurken er, den har
også forklaret, hvorfor den optræder,
og hvordan den arbejder.

Gennem termodynamiske beregning-
er har Hilmar Danielsen påvist, at Z-
fasen er stabil i alle stållegeringer med
højt kromindhold. Så hvis man ønsker
at sikre stålet mod oxidation ved at til-
sætte ekstra krom, kan man simpelt-
hen ikke undgå Z-fase-partikler. Han
har også påvist den mekanisme, som
står bag dannelsen af Z-fase-partikler-
ne. Det er ganske enkelt overskuddet
af krom, der ved høje temperaturer



En stor Z-fase-partikel af krom, vanadium og nitrogen er dannet
ved høj temperatur. Hvis processen fortsætter, vil de små MX-
partikler af vanadium og nitrogen blive opslugt af Z-fasen, og
stålet vil miste sin styrke. Billede fra elektronmikroskop.



Princippet i superstålet Z650, hvor alle små MX-partikler bliver omdan-
net til små Z-fase-partikler, der giver stålet styrke. Øvrige ståltyper med
12 pct. krom danner få, men store Z-fase-partikler, som opsluger de fleste
små MX-partikler, og derfor mister stålet styrke.

trænger ind i de små partikler af vanadium, niobium og nitrogen – såkaldte MX-partikler. Når først kromet har invaderet en MX-partikel og omdannet den til en Z-fase-partikel, så kan Z-fasen vokse sig stor ved at opløse yderligere op til 1.000 små MX-partikler.

”Det, der gør Z-fasen så speciel, er, at den spiser de små MX-partikler, som ellers giver stålet styrke, og så går det galt,” forklarer Hilmar Danielsen.

Hilmar Danielsen forsvarede sin ph.d.-afhandling i 2007. Den 17. september 2008 blev han tildelt Heinrich-Mandel Prisen fra det tyske VGB – Vereinigung der Grosskessel Betreiber, som er Europas største kraftværksorganisation. Prisen fik han for at have

SUPERSTÅL OG CO₂-UDSLIP

- Kul udgør 42 pct. af energiråstoffet til elkraftværkerne på verdensplan
- Hvis alle kulkraftværker blev udskiftet til højeffektive kraftværker med Z650 superstål, så ville miljøet blive sparet for 2 mia. tons CO₂ årligt
- En årlig reduktion på 2 mia. tons CO₂ svarer til en reduktion på 6,7 pct. af verdens samlede CO₂ udslip
- Hvis alene kraftværker ældre end 25 år blev udskiftet, ville klodens CO₂ udslip blive reduceret med 5,7 pct.

BASERET PÅ TAL FRA RAPPORTEN ENERGY EFFICIENCY INDICATORS FOR PUBLIC ELECTRICITY PRODUCTION FROM FOSSIL FUELS (IEA, 2008) OG FRA DANMARKS MILJØBUNDERSØGELSER

afsløret hemmeligheden bag nedbrudene i de høj-krom-holdige ståltyper.

DTU Mekanik har dog ikke ladet Hilmar Danielsen hvile på sine laurbær. Han arbejder nu som postdoc i et samarbejde med John Hald med at anvende den nye viden til at udvikle et nyt superstål: En ståltype, som både har et højt krom-indhold på 12 pct. – og dermed er oxidationsbestandigt – og som bevarer sin langtidsstyrke ved en temperatur på 650 °C.

Fra fjende til allieret

Al Danielsens tidligere forskning har egentlig peget direkte mod en fiasko, hvis et superstål med 12 pct. krom skulle udvikles, for hvis krom-indholdet er højt, så udvikler stålet Z-faser og bryder sammen. Men her anvender DTU-forskerne det ældgamle trick:

Hvis du ikke kan slå din fjende, så allier dig med ham. DTU-forskerne har nemlig udviklet en teknik, som accelererer optagelsen af krom ind i de små MX-partikler.

”Hvis vi på én gang kan omdanne alle MX-partikler til Z-partikler, så

kan Z-partiklerne ikke æde sig store, for så er der ikke flere MX'er at æde,” forklarer Hilmar Danielsen.

På den måde bliver der dannet ultrasmå Z-fase-partikler, som teoretisk set har samme positive styrkegivende egenskaber som MX-partiklerne. Og ideen er allerede blevet til virkelighed. Hilmar Danielsen og John Hald har for et halvt år siden fået offentliggjort en patentansøgning på superstålet, som de kalder Z650 efter Z-fasen og den temperatur, det skal holde til.

Nu står der mindst tre års test foran forskerne, før stålet kan bevise sin langtidsstyrke. Og hvis de afprøvningsforløber som planlagt, går der yderligere ca. fem år med bl.a. opskalering, testfremstilling hos stålproducenter og myndighedsgodkendelse, før stålet er kvalificeret til at indgå i et nyt kraftværk – og spare miljøet for millioner tons CO₂. <

! YDERLIGERE OPLYSNINGER

Adjungeret professor John Hald,
jhald@mek.dtu.dk



Stålrør med højt krom-indhold har dannet Z-fase ved 650 °C og er brudt sammen.