

**BØLGET  
RØR  
AFVÆRGER  
REVNEN  
I BETON**



**“UMIDDELBART VIRKER METODEN SIMPEL, NÆRMEST BANAL, MEN MAN SKAL IKKE TAGE FEJL. DER KNYTTER SIG MANGE ÅRS HÅRDT ARBEJDE TIL DEN STATUS, SOM METODEN HAR OPNÅET.”**

CLAUS GERMANN-PETERSEN, KØB. DR., GERMANN INSTRUMENTS

Det tog 30 år at udvikle. Men i dag benytter hele verden en DTU-metode, der kan måle sammentrækningen af beton.

☰ Morten Andersen

📷 Marianne Rom Andersen, All Over Press

**N**år Singapore i disse år gennemfører anlægsarbejder for ca. 50 mia. kr. til afledning af spildevand, er det et krav, at kvaliteten af betonen dokumenteres med en målemetode udviklet på DTU. Det er blot et enkelt eksempel på gennemslagskraften af metoden Auto-Shrink.

”Vi har solgt virkelig mange Auto-Shrink, især til Indien, Kina samt flere lande i Sydamerika. I det hele taget har vi solgt til stort set alle lande i verden,” siger adm. direktør, virksomhedsejer

og alumne fra DTU Claus Germann Petersen fra Germann Instruments i Emdrup nord for København.

Beton trækker sig sammen, når den hærder. Omfanget af sammentrækningen afhænger dels af den præcise sammensætning af betonen, dels af temperatur, fugtighed og øvrige forhold på stedet. Forholdene er sjældent de samme på byggepladsen som i laboratoriet, og byggehistorien rummer mange eksempler på ubehagelige overraskelser for entreprenører og bygherrer. For stor sammentrækning

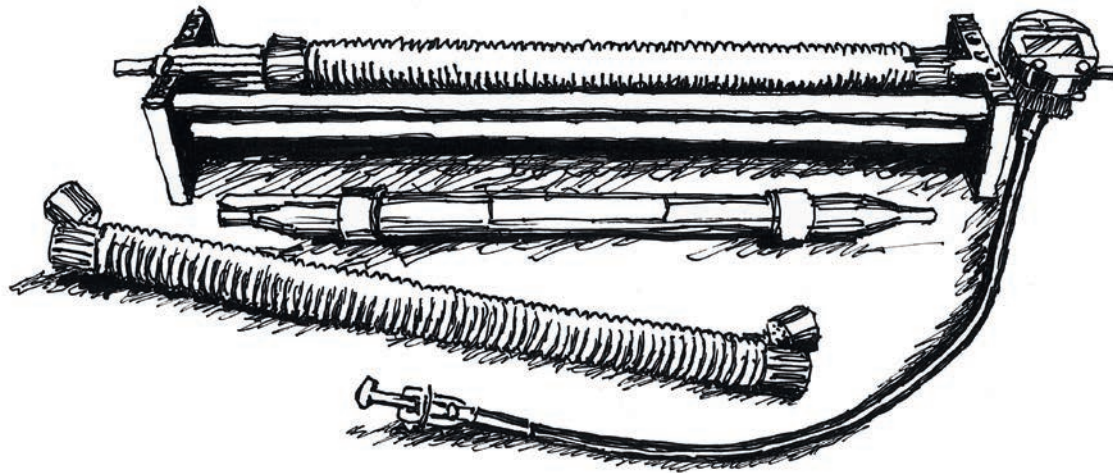
forårsager nemlig revner i betonen, og regningen for udbedring kan løbe op i meget store millionbeløb.

#### Indædte diskussioner blandt forskere

Tilbage i 1984 modtog ingeniørdoktor ved Danmarks Ingeniørakademi (senere DTU) Per Freiesleben Hansen (1936-2002) henvendelser fra danske virksomheder, som efterlyste en pålidelig målemetode. Opgaven blev overladt til akademiingeniørstuderende Ole Mejlhede Jensen. I samråd med Per Freiesleben Hansen valgte han at bygge et såkaldt dilatometer, dvs. et instrument, der måler forskellen i rumfanget af et stof. Det mest kendte eksempel på et dilatometer er kviksølvtermometeret, hvor varmeudvidelsen af det indesluttede kviksølv giver et mål for den temperatur, som spidsen af termometeret udsættes for.

”Umiddelbart virker Auto-Shrink simpel, nærmest banal, men man skal ikke tage fejl. Der knytter sig mange års hårdt arbejde til den status, som metoden har opnået. Mit eget oprindelige projekt er efterfulgt af mange andre. Der har været publiceret en lang række videnskabelige artikler, som har affødt indædte diskussioner i det internationale forskningsmiljø,”





*Dette mystiske instrument er et såkaldt dilatometer, der kan bruges til at måle forskellen i et stofs rumfang. Dette dilatometer bruges til at måle og forudsige, hvor meget beton vil trække sig sammen, når den selvudtørres. Og dermed undgå revner i den færdige betonkonstruktion.*

siger Ole Mejlhede Jensen, som i dag er professor ved DTU Byg.

Den første udgave af dilatometeret blev fremstillet i 1988. Siden er der sket en række justeringer. Bl.a. viste det sig fordelagtigt at hælde den flydende betonprøve i et såkaldt korrugeret rør, dvs. et rør med bølgeformede riller ligesom f.eks. fleksrør. Det er velegnet, fordi man så kan måle med det samme. Man behøver ikke at vente på, at betonblandingen er blevet så hård, at man kan håndtere den. Det er vigtigt også at få de tidlige målinger med. De bølgeformede rør fungerer samtidig som en god indkapsling, så der ikke fordampes vand fra betonprøven under målingen. Det ville ellers ødelægge målingerne.

### Forærede idéen til virksomhed

En række afprøvninger viste, at det nye instrument var særdeles attraktivt. Selvom der stadig var kritiske røster i forskningsverdenen, modtog DTU Byg flere og flere ønsker fra andre universiteter og laboratorier. Det førte til, at instituttet begyndte at sælge instrumentet i 2001.

”Da vi havde bygget 30 dilatometre for kolleger i forskellige lande, syntes vi, det tog for meget af vores tid. Vi er jo ikke sat i verden for at sælge instrumenter,” konstaterer Ole Mejlhede Jensen.

Derfor besluttede han i 2006 at forære konceptet til Germann Instruments, som i forvejen fremstillede en række andre måleinstrumenter til beton (se artiklen side 37). Virksom-

heden begyndte straks at sælge instrumenterne under navnet Auto-Shrink.

”Der er tale om en utrolig relevant metode,” kommenterer Claus Germann Petersen fra virksomheden. ”Gennem en række år har der været fokus i branchen på formler med et højt indhold af cement i forhold til vand. Det giver en meget stærk beton. Problemet er bare, at under de forkerte betingelser kan denne type beton trække sig kraftigt sammen. Så opstår der revner. Det nytter jo ikke at have superstærk beton, hvis du har revner, der fungerer som autostradaer, hvor klorider (salt, red.) kan trænge direkte ind i betonen og ødelægge den indefra. Fordelen

ved Ole Mejlhede Jensens metode er, at man kan undersøge sammentrækningen pålideligt i laboratoriet. Hvis der så viser sig revnedannelse, kan man ændre formlen i tide.”

### Opgav at patentere

Germann Instruments har solgt Auto-Shrink over hele verden.

”Faktisk er der flere versioner af udstyret end vores,” forklarer Claus Germann Petersen. ”Ole Mejlhede Jensen har beskrevet metoden detaljeret, og da den ikke er beskyttet af et patent, kan alle frit fremstille deres egen udgave af udstyret. Men mange vælger alligevel at købe det hos os.”

Muligheden for at søge patent har naturligvis været under overvejelse, men i dag er Ole Mejlhede Jensen glad for, at det aldrig blev forsøgt:

”Det havde ikke nyttet noget. En patentbeskyttelse udløber efter 20 år, og den kommercielle værdi af instrumentet ligger først efter dette tidspunkt. Desuden ville et patent have givet modstanderne af metoden i det akademiske miljø ekstra skyts. De kunne have skudt os i skoene, at vores interesse var økonomisk, ikke videnskabelig. I forvejen har det været en rigelig hård kamp at nå dertil, hvor metoden er i dag!” Ω

@ Ole Mejlhede Jensen, professor, DTU Byg, omj@byg.dtu.dk

**”DA VI HAVDE BYGGET 30 DILATOMETRE FOR KOLLEGER I FORSKELLIGE LANDE, SYNTES VI, DET TOG FOR MEGET AF VORES TID. VI ER JO IKKE SAT I VERDEN FOR AT SÆLGE INSTRUMENTER.”**

OLE MEJLHEDE JENSEN, PROFESSOR, DTU BYG



Virksomheden Germann Instruments leverer måleudstyr til byggeri verden over. Grundlaget blev skabt på DTU.

# DANSK MÅLEUDSTYR I VERDENSKLASSE

☰ Morten Andersen

📷 All Over Press, Marianne Rom Andersen

**G**ermann Instruments sælger udstyr til test af betons kvalitet over hele verden. Det hele startede i 1970'erne på Danmarks Ingeniørakademi, DIA, som i 1995 blev en del af DTU. På akademiet arbejdede en forskergruppe ledet af professor Herbert Krenchel – ja, han er også manden bag Krenitskålen – og docent Ervin Poulsen med beton. Sammen med civilingeniør Peter Kierkegaard-Hansen udviklede de en metode til måling af betons trykstyrke.

Betonens trykstyrke er afgørende for, hvornår det er forsvarligt at fjerne formene omkring den nystøbte betonstruktur. At fjerne formene for tidligt kan naturligvis være katastrofalt, men omvendt vil man helst ikke vente unødigt længe, fordi det vil forsinke byggeprocessen. Kort sagt er det mange penge værd nøjagtigt at kunne bestemme det optimale tidspunkt.

De danske ingeniørers metode går ud på at indstøbe et antal stålskiver i betonen under opførelsen. Efter størkningen trækker man i skiven med en donkraft. Gradvist øger man trækstyrken, indtil betonen giver efter. Den

kraft, som skal til for at nå dette punkt, kan korreleres direkte til betonens trykstyrke.

## Patent kom i arbejde

Metoden til at måle trykstyrken af beton fik navnet LOK-test. Navnet henviser til det gamle danske ord 'lokning', som betyder at skabe et hul i en plade ved at have en matrice under pladen og et stempel kommende ovenfra.

Peter Kierkegaard-Hansen tog patent på metoden. Han manglede imidlertid et apparat, der kunne udføre målingerne ude på byggepladserne. Det blev udviklet af akademiingeniør Claus Germann Petersen, der var udgået fra akademiets maskinretning.

Sammen stiftede de virksomheden Germann Instruments og satte instrumenterne i produktion. Det var i 1974. Claus Germann Petersen købte senere Kierkegaard-Hansen ud og har siden været enejer.

Ud over den oprindelige LOK-test udviklede Claus Germann Petersen en afledt metode til situationer, hvor der ikke er støbt stålskiver ind ved opførelsen. Her borer man et hul i





betonen og indsætter en stålring, som ekspanderes, hvorefter man kan måle på samme måde som ved LOK-test. Denne metode kaldes CAPO (fra 'Cut And Pull Out'). Begge målemetoder er blevet anvendt til at kontrollere dæklaget på Storebæltsbroen.

### Skærer måneder af byggeprojekter

Tre alvorlige ulykker i USA og Canada, hvor forme var blevet fjernet for tidligt med tab af menneskeliv til følge, betød, at der især var stor lydhørhed over for den nye metode på det nordamerikanske marked.

I alt har Germann Instruments gennem årene solgt ca. 8.000 apparater til Canada, hvor LOK-test er anvendt på flere end 800 store byggeprojekter.

"Canadierne har fortalt os, at de kan skære et par måneder af et typisk byggeprojekt. Med LOK-test, som de kalder for 'the holy grail' er de sikre på, at betonen er stærk nok, og behøver ikke vente på, at den hærdner yderligere. Denne besparelse i tid svarer til mellem tre og fire mio. dollar på et typisk projekt," fortæller Claus Germann Petersen.

Med andre ord har LOK-test-metoden givet en samlet besparelse på ca. tre mia. dollar – alene i Canada. Dertil kommer sparede økonomiske og menneskelige omkostninger, ved at ulykker er blevet forebygget.

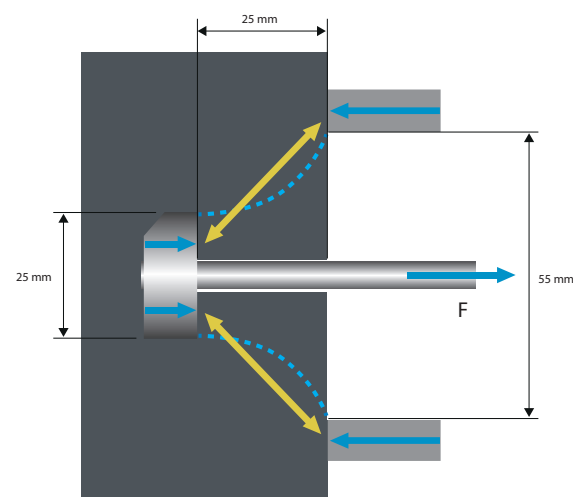
Også i USA blev virksomheden populær. Bl.a. har Claus Germann Petersen gennem mange år været medlem af den relevante arbejdsgruppe under American Concrete Institute, og for et par år siden kom det definitive ridderlag, da han blev samarbejdspartner for det amerikanske National Institute of Standards and

Technology (NIST), der er verdens førende institution for måleteknik.

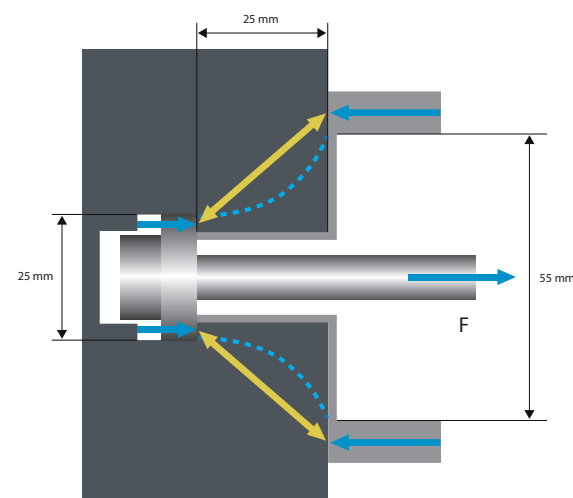
### Mange danske underleverandører

I seneste regnskabsår omsatte Germann Instruments for 30 mio. kr. og havde et overskud på 18 mio. kr.

Den ene metode, LOK-testen, blev i årene op til 1975 udviklet på Danmarks Ingeniørakademi, som senere blev en del af DTU. En stålskive indstøbt i betonen trækkes imod et modhold placeret på overfladen. Under udtrækningen bliver betonen mellem skiven og modholdet trykket i stykker. Den maksimale udtrækskraft er et direkte mål for de koncentrerede trykspændinger (markeret med gule pile). Det er årsagen til den meget snævre korrelation mellem udtrækskraften og betonens trykstyrke.



LOK-testen forudsætter, at der indstøbes stålskiver i betonen under opførelsen af en konstruktion. Til brug for situationer, hvor man vil bestemme trykstyrken af beton i en konstruktion uden indstøbte stålskiver, videreudviklede Germann Instruments metoden. Her skærer man et hul ned i betonen – en såkaldt skåret recess – og ekspanderer en stålring, hvorefter man kan måle trykstyrken på samme måde som ved LOK-test. Denne metode kaldes en CAPO-test (Cut And Pull Out-test).



**"VI SAMLER INSTRUMENTERNE, MEN PRODUKTIONEN AF DELENE ER LAGT UD TIL 10-12 UNDERLEVERANDØRER, SOM ALLE ER SMÅ OG MELLEMLIGE VIRKSOMHEDER."**

Syv medarbejdere er beskæftiget i Danmark. Claus Germann Petersen understreger samtidig, at virksomheden bidrager mere til samfundsøkonomien, end omsætningen og medarbejderstaben i Emdrup umiddelbart fortæller:

"Vi samler instrumenterne, men produktionen af delene er lagt ud til 10-12 underleverandører, som alle er små og mellemstore danske virksomheder. På den måde er vi med til at skabe yderligere vækst og beskæftigelse i Danmark. Jeg har det fint med, at både vi selv og vores underleverandører betaler skat her. Bl.a. skal der jo gerne være skatte kroner til at finansiere forskningen på DTU, som vi selv har nydt godt af flere gange!"