



## Projektet: VSR – Næste generation

---

### Formål:

Projektet skal imødegå industrielle barrierer og sikre en fuld udrulning af VSR-teknologien for at realisere så stor en energibesparelse som overhovedet muligt.

Dette sker ved at:

- Dokumentere VSR-teknologiens effekt
- Effektivisere og Industrialisering af VSR-processen
  - Tilpasset danske industri-typiske emnestørrelser
  - Automatisering af processen

Støttet af: **ELFORSK**

Dansk Energi's Forsknings- & Udviklingsprogram



## Hvorfor VSR?

---



***det kan faktisk være god forretning!***

***- Din bundlinje!***



- FN's verdensmål NR 12:

*ansvarlig forbrug og produktion*



- Et fælles ansvar...

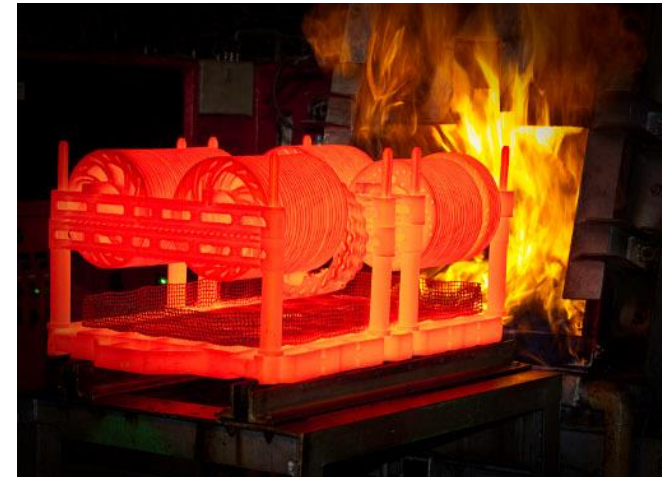


## VSR versus TSR

---



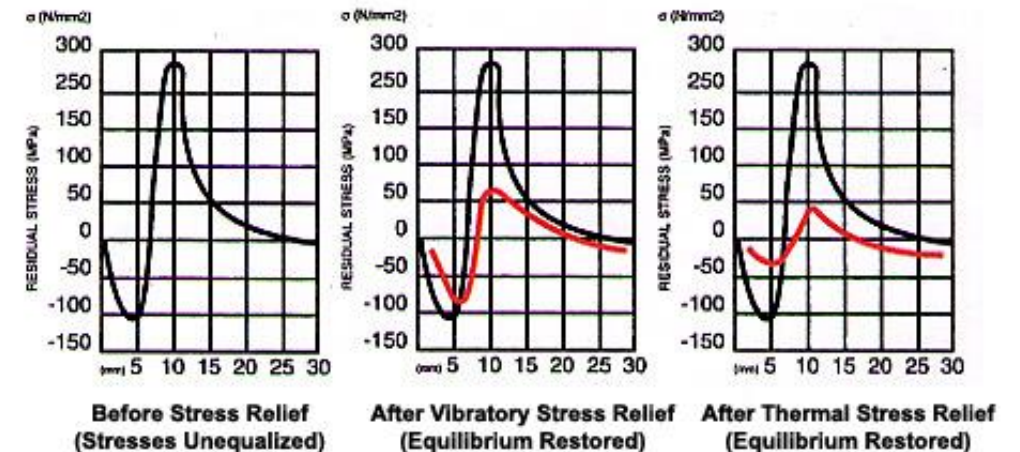
Vibratory Stress Relief



Thermal Stress Relief

# Vibratory Stress Relief - VSR

- Hvad er Vibratory Stress Relief (VSR)?
  - VSR er en afstresningsmetode for metaller.
    - Påfører energi i atom strukturen i form af vibrationer.
      - Det gør ingen forskel for den belastede atom struktur om den bliver introduceret til energien via varmen eller vibrationerne.
  - VSR er et alternativ til TSR.



## Vibratory stress relief - VSR

---

- Fordelen ved VSR fremfor TSR
  - Mindre energikrævende.
    - Fra ca. 30 kg til 126 tons emner er der ca. 72-100% energi at spare.
  - Mindre tidskrævende.
  - Ingen påvirkning på materialeegenskaberne.
  - Udstyret kan transporteres til emnet i stedet for at transportere emnet til udstyret.



## Vibratory stress relief - VSR

---

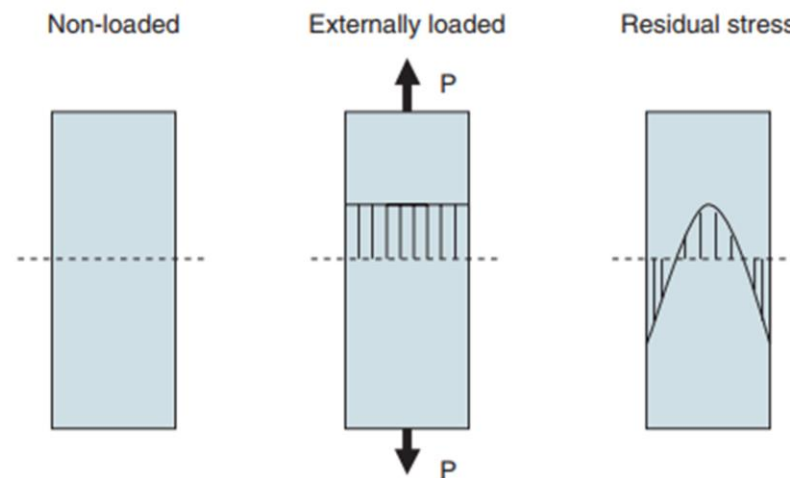
- VSR produktet er i udlandet primært anvendt til store industritypiske emner.
- Siden 2016 har vi med succes behandlet store emner.
- Nu fokuserer vi på at industrialisere teknologien til både små og mellem-store emner.
- VSR-udstyret er energibesparende både til små og store emner i forhold til TSR.



# Introduktion til residualspændinger

---

- Hvad er residualspændinger?
  - Låste spændinger i materialet uafhængig af eksterne laster

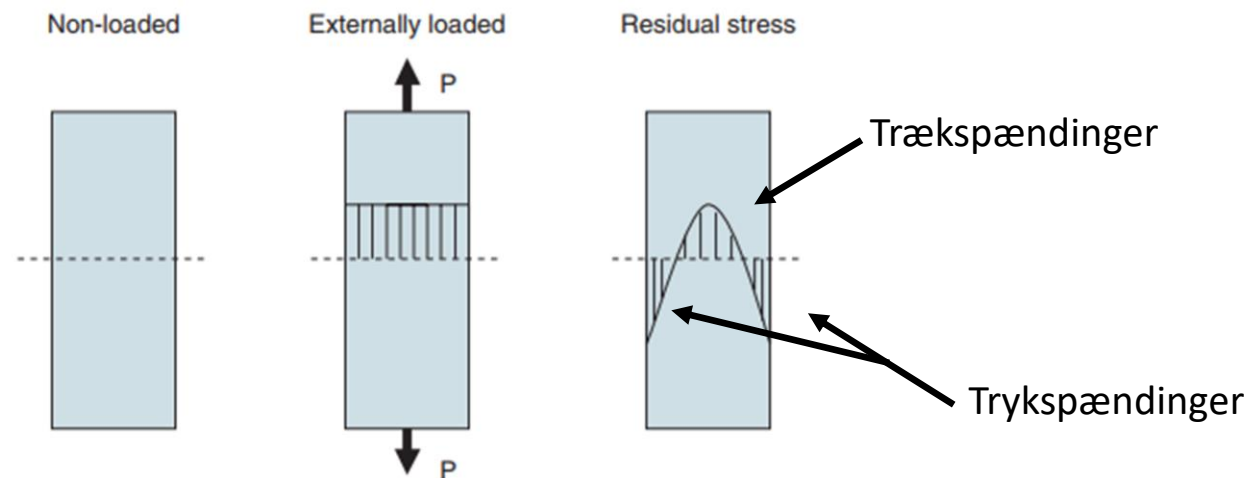


**Figure 1.1** Schematic diagram of the cross-section of a sheet of toughened glass showing how residual stresses can exist in the absence of an external load



# Introduktion til residualspændinger

- Hvad er residualspændinger?
  - Låste spændinger i materialet uafhængig af eksterne laster

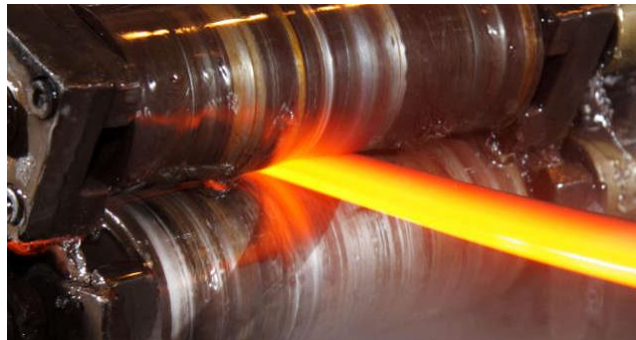


**Figure 1.1** Schematic diagram of the cross-section of a sheet of toughened glass showing how residual stresses can exist in the absence of an external load

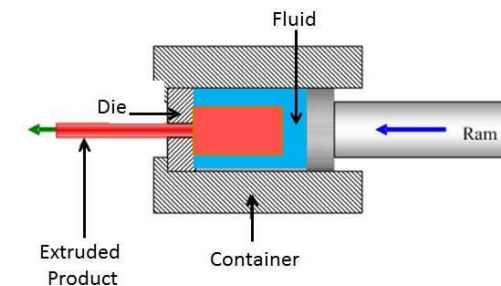
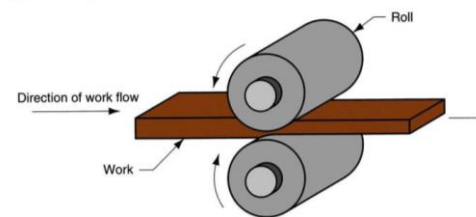
# Oprindelse af residualspændinger

Fremstillingsprocesserne skaber residualspændingerne.

- **Mekanisk** – plastificering af et materiale under fremstilling
  - Støbning, svejsning, valsning, formning, koldpresning, bøjning.
- **Metallurgisk** – Fase transformation → Ikke-uniform køleproces → volume forskel → residualspændinger
  - Volume forskellen forårsager udvidelse eller sammentrækning af metallet.
- **Termisk** – Forskel i størkningsraten af materiale.

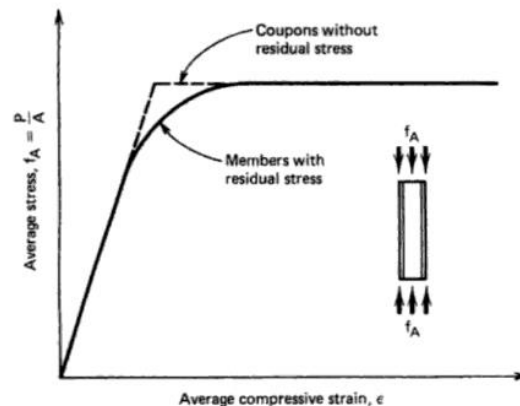


Deformation process in which work thickness is reduced by compressive forces exerted by two opposing rolls

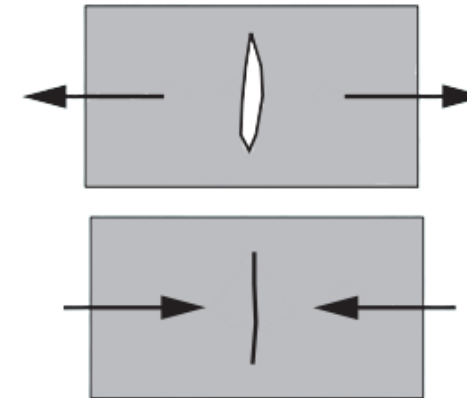


# Oprindelse af residualspændinger

- Hvorfor er det vigtigt at kunne behandle residuale spændinger?
  - Residuale spændinger fører til
    - Tidligt svigt
    - Spændingskorrosion
    - Kast
    - Sænker udmattelsesstyrken
    - Besværlig at bearbejde (Lang bearbejdningsstid)



Residuale træk spændinger  
forårsager revner & øger  
revneudbredelsen



Residuale tryk spændinger  
"Lukker revnen" & formindsker  
revneudbredelsen

## Residualspændinger uønsket?

---

Residualspændingerne kan sænke materialestyrken og forårsage tidlig brud.

### Eksempel på katastrofe:

Da en 47 ton kran skulle passere broen kollapsede den. En af årsagerne til at broen kollapsede var at skøre (brittle) brud var opstået ved lavere spændinger end tilladt. Dette er kun muligt når der er høje residualspændinger tilstede. Residualspændingerne der har ført til svigt er i dette tilfælde forekommet ved svejseforbindelserne.

Bro: King Street Bridge i Melbourne

Dato: 10. Juli 1962

### Link:

<https://pdfs.semanticscholar.org/2546/c5731e2b07a47b83a86c694bcd75f057c66d.pdf>



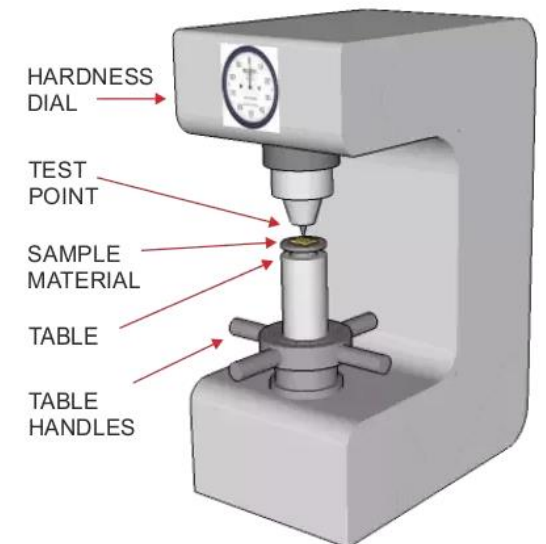
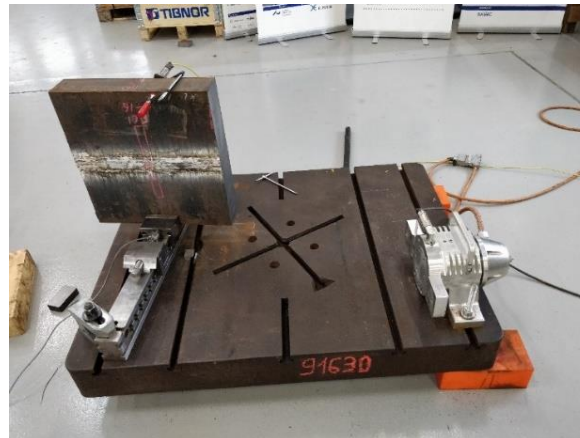
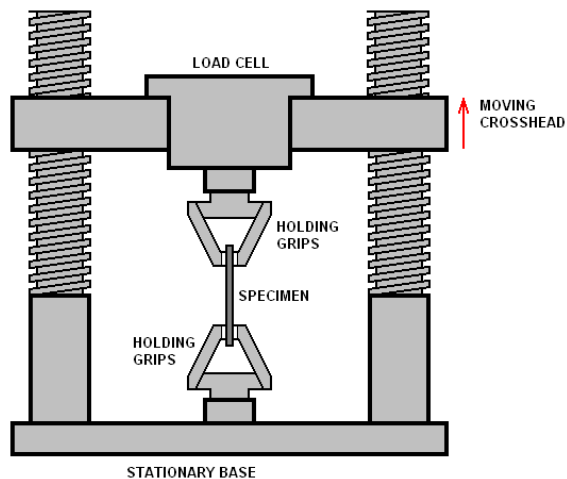
## AP3 - Dokumentation

Forsøg 1:

Et varmebehandlet svejst emne er sammenlignet med et vibrationsbehandlet svejst emne.

- Træktest
- Hårdhedstest

VSR-behandlingen giver et tilsvarende resultat. Både det varmebehandlede emne og det vibrerede emne er blevet godkendt, men det varmebehandlede emne har en tendens til at ændre hårdheden i materialet hvilket er uønsket. I dette aspekt vinder vibrationsbehandlingen.



## AP3 - Dokumentation

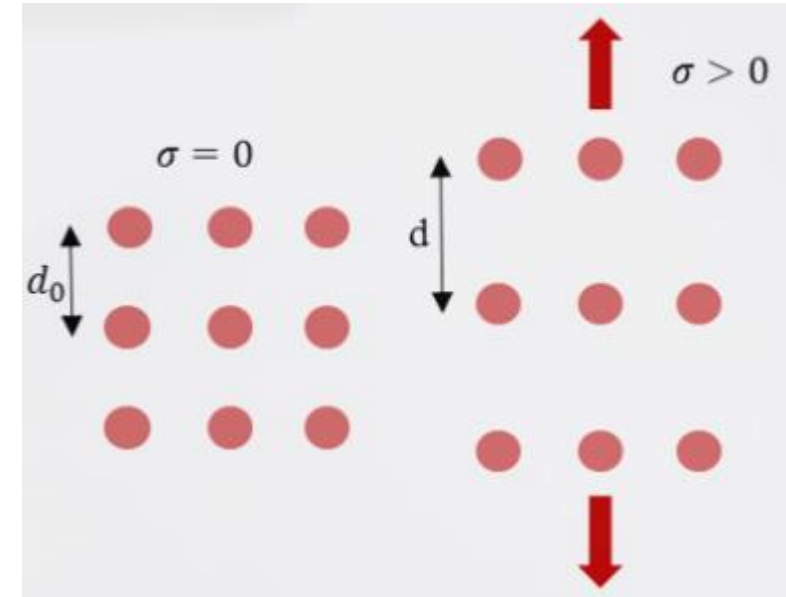
Forsøg 2:

X-Ray diffraction (XRD) er foretaget på et emne

- Ingen valide data

Måler residualsپændingerne ved hjælp af afstanden  $d$  mellem det krystallografiske plan. Virker nærmest på samme måde som en strain gauge.

Når materialet er i spænding øges afstanden mellem krystallografiske plan. Når materialet ikke er i spænding er afstanden mindre.



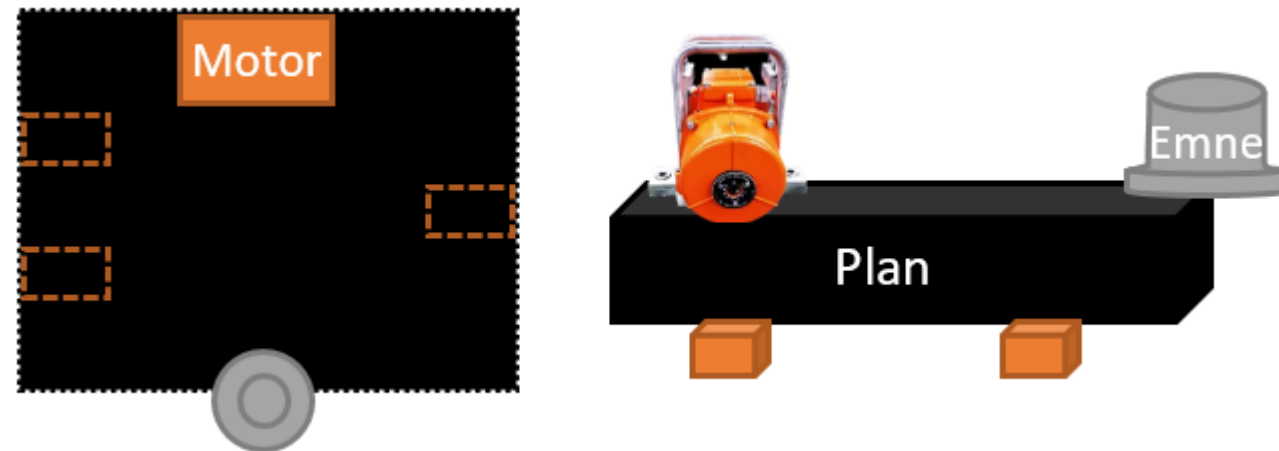
## AP3 - Dokumentation

---

Forsøg 3:

Problemer med at bearbejde støbejerns emner indenfor én proces og samtidig overholde tolerancerne og tiden.

- DAMRC behandlede emnerne.
- Nu kunne emnerne bearbejdes og overholde tolerancerne indenfor den aftalte tid.



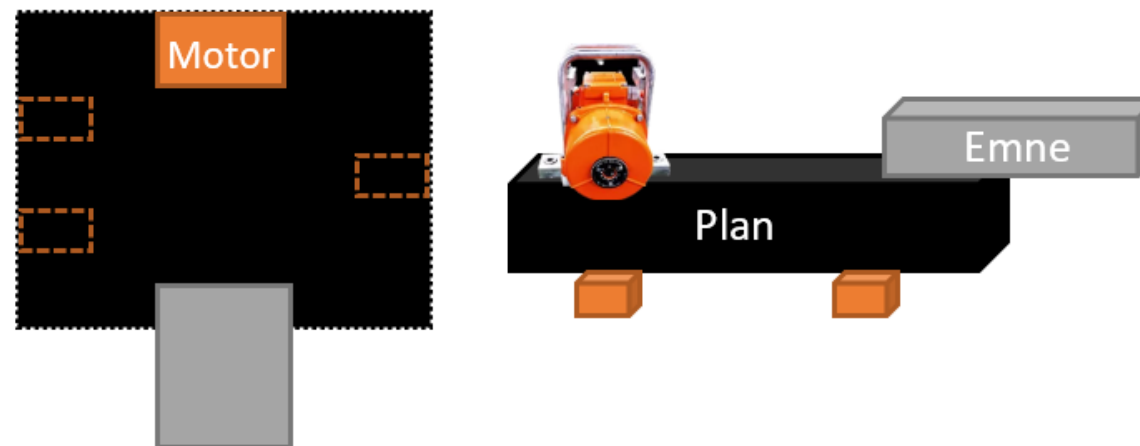
## AP3 - Dokumentation

---

Forsøg 4:

Havde problemer med at bearbejde deres aluminiums plader (6082-T6).

- DAMRC behandlede emnerne.
- Desværre kunne der ikke ses nogen forskel.
- I litteraturen står der, at varmebehandlede emner ikke er egnet til vibrationsbehandlingen. Dette er nu også eftervist for små emner.





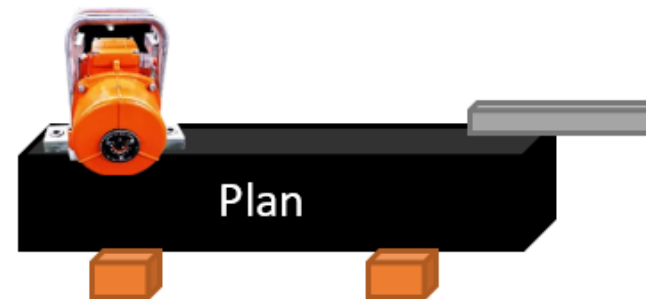
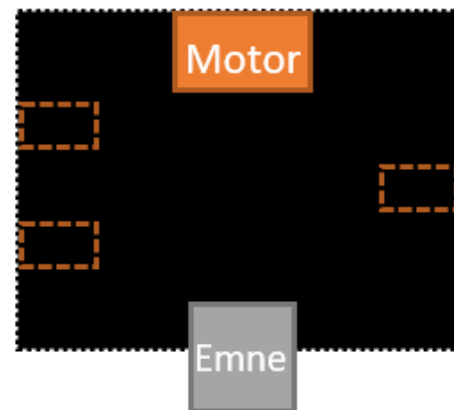
## AP3 - Dokumentation

---

Forsøg 5:

Havde problemer med at bearbejde støbejerns emner (ca. 15 kg).

- DAMRC behandlede emnerne.
- Desværre kunne der ingen forskel ses.
- Emnet var et af de mindste emner vi har fået leveret fra en virksomhed som senere er blevet bearbejdet. Vi arbejder frem imod af finde en løsning til behandlingen af små emner.



## AP3 - Dokumentation

---

### Modal analyse:

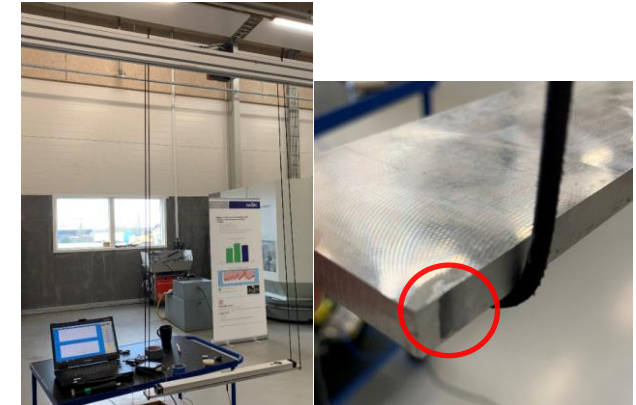
Der er foretaget modal analyser i fri-fri forhold.

Dette er gjort for at fjerne fejlkilder og validere ændringen i materialet.

I analysen er der foretaget test som:

- Validering af skumunderlag
- Placering af skumunderlag
- Validering af elastiksnore
- Placering af elastiksnore

Analysen bekræfter ændringen af egenfrekvensen og amplituden.



## AP4 - Industrialisering

---

I dag står der en ingeniør og betjener VSR-udstyret. For at sikre at der i fremtiden kan stå en trænet tekniker og betjene maskinen samt udføre analyser har DAMRC på nuværende tidspunkt udviklet:

- Databehandlingsværktøj til modal analyse
- Fjernstyring af VSR-udstyret
- Fikseringsmetoder til multipel behandling af 2 til 4 emner af gangen



## AP5 – Tilpasning af VSR til industritypiske emnestørrelser

---

DAMRC modtog i sin tid et VSR udstyr, som var bedre egnet til større emner. Motoren kunne yde 8000 o/m.

I søgen om en højere frekvent vibrationsmotor fandt vi en pneumatisk vibrationsmotor der kunne yde 9960–12480 o/m.

- Motoren er anvendt til forsøg med succes. Ulempen ved denne er dog:
  - Intet styringssystem hvilket gør den afhængig af taptest udstyret hvilket er tidskrævende.
  - Den lille frekvensinterval.

Vi har fået adgang til en højere frekvent motor. Den nye vibrationsmotor kan yde 9000 o/m og er brugt til diverse forsøg med succes.

Der er søgt efter en endnu højere frekvent vibrationsmotorer - *dog uden held - indtil videre.*

Spørgsmål ?



## DAMRC

---

Problemer med residualsændinger?  
Interesseret i at høre mere?  
Tag gerne fat i os:



Charlotte Frølund Ilvig  
Abdullah Kacar

2030 4599  
2064 9438

**TAK for jeres opmærksomhed!**