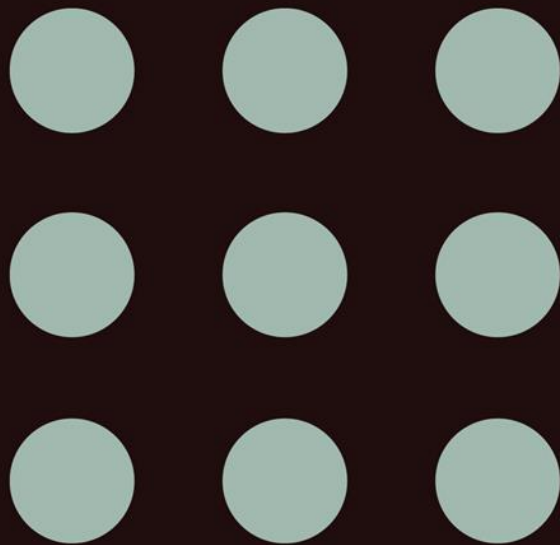




BREKKE ⋮ STRAND

# Vibrasjonsproblematikk ved det nye Livsvitenskapsbygget



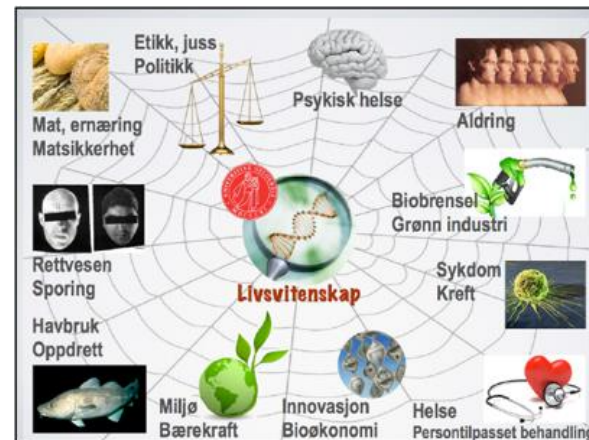
Ståle Ellingsen, Arild Brekke og Kjetil Vedholm

# Livsvitenskapsbygget

Hva er livsvitenskap?

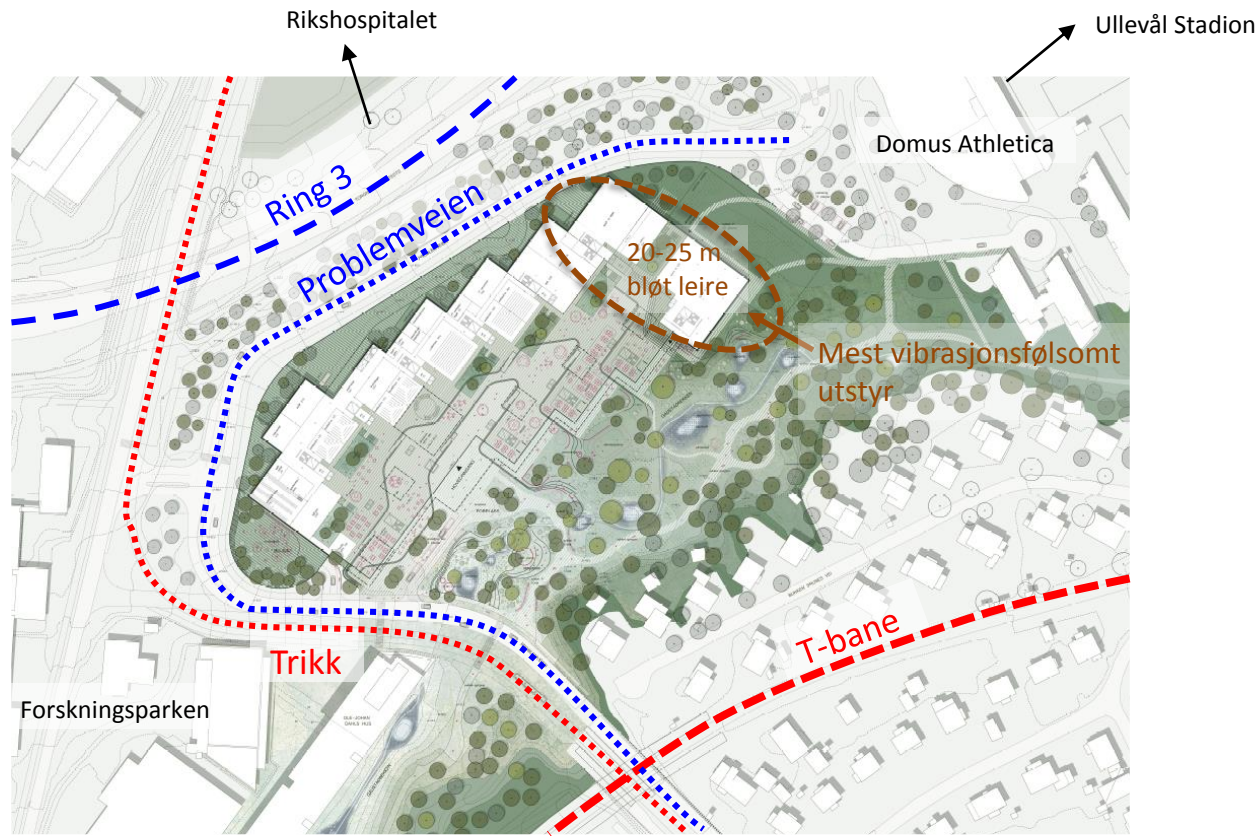
*«Livsvitenskapen... ...kombinerer det beste frå fag som medisin og biologi med nye avanserte analysemetodar frå fag som matematikk, kjemi, farmasi, fysikk og informatikk... ...Vi bruker òg samfunnsvitenskaplege og humanistiske fag for å forstå livsvitenskap i eit heilskapleg samfunnsperspektiv.»*

<http://www.uio.no/forskning/livsvitenskap/hva-er-livsvitenskap.html>



Statsbygg

# Tomten



# Vibrasjonsfølsomt utstyr

Tabell 1 Krav til vibrasjoner i byggeprogrammet

| Avdeling / utstyr                   | Krav / kommentarer i byggeprogrammet                                                     |
|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Massespektrometri                   | Vibrasjonsfritt gulv i rom for instrument med magnet                                     |
| Nanovitenskap og teknologi          | Vibrasjonsfritt gulv i halve arealet                                                     |
| Elektronmikroskopi                  | Vibrasjonsfritt gulv for mikroskop med høy oppløsning (TEM)                              |
| Optisk spektroskopi og mikroskopi   | Lavt i bygget, nær bærekonstruksjoner, solid fundament                                   |
| Kjememagnetisk resonansspektroskopi | Ømfindtlig for vibrasjoner                                                               |
| In-vivo-laboratorier                | Angitt at det benyttes mikroskopiske metoder, men ikke kommentert vedrørende vibrasjoner |

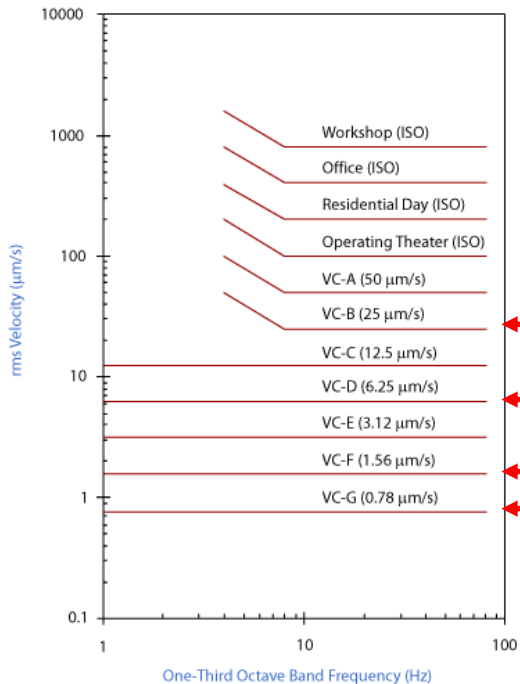
VC-D  
VC-D til VC-F  
VC-B

Byggeprogram, Livsvitenskapsbygget

| Bruksareal                                  | Maks. nivå (1) mikrometer/ sek/rms | Bruksbeskrivelse                                                                                                                                                                                                                         |
|---------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Verksted (ISO)                              | 800                                | Vibrasjoner er tydelige/følbare. Egnert for verksteder eller andre ikke-sensitive områder.                                                                                                                                               |
| Kontor (ISO)                                | 400                                | Vibrasjoner er følbare. Egnert for kontorer/ikke-sensitive områder.                                                                                                                                                                      |
| Oppholdsrom (ISO)                           | 200                                | Vibrasjoner er knapt følbare. Egnert for de fleste områder hvor mennesker oppholder seg og sover. Kan antagelig også brukes i rom med PC-utstyr, forsøksutstyr, og mikroskop med lav styrke (20X)                                        |
| Sovearealer/ikke sensitive labarealer (ISO) | 100                                | Vibrasjoner er ikke følbare. Egnert seg for soveareal hvor det er særs viktig at vibrasjoner ikke forekommer. Egnert for de fleste områder med mikroskop med styrke opp til 100X og annet utstyr som har lav følsomhet for vibrasjoner.  |
| VC-A                                        | 50                                 | Kan brukes i områder med optiske mikroskop med styrke opp til 400X, mikrovekter, optiske vekter, projiserende opplysningsanordninger, o.l.                                                                                               |
| VC-B                                        | 25                                 | En egnert standard for optiske mikroskop med styrke opp til 1000X, kontrollutstyr og logografisk utstyr (inkl. stoppers)                                                                                                                 |
| VC-C                                        | 12.5                               | En god standard for de aller fleste kontrollutstyr og for det meste av logografisk utstyr.                                                                                                                                               |
| VC-D                                        | 6                                  | Egnert for områder med svært følsomt utstyr: elektronmikroskop (TEM og SEM), og E-bjelke systemer som arbeider rett opp mot kvarspeisestruktur.                                                                                          |
| VC-E                                        | 3                                  | Vanskelig å oppnå i de fleste tilfeller. Antas å måtte oppfylles i de mest sensitive og krevende systemer: long path systemer, laserbaserte systemer, små radioaktive systemer og andre systemer som krever ekstrem dynamisk stabilitet. |

Dimensjonering av bygninger utsatt for vibrasjoner, RIF

# Vibrasjonsfølsomt utstyr



VC-B, generell lab

VC-D, «vibrasjonsfritt»

VC-F, TEM vertikalt

VC-G, TEM horisontalt

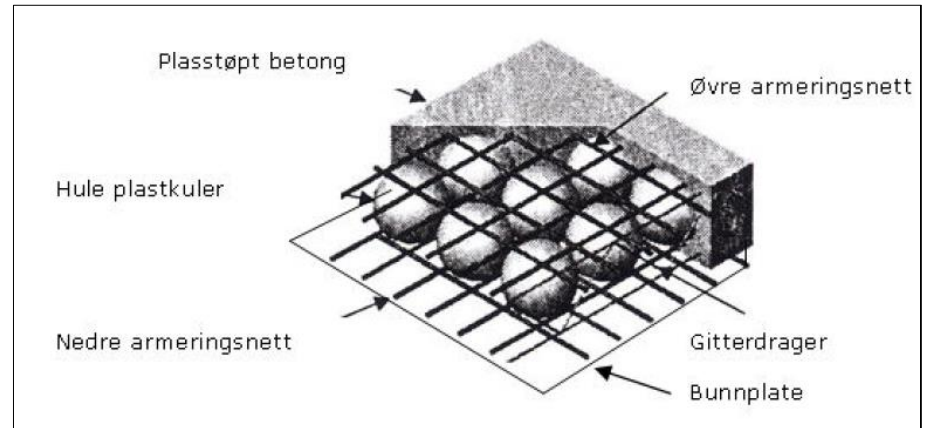
| Bruksareal                                  | Maks. nivå (1) mikrometer/sek/rms | Bruksbeskrivelse                                                                                                                                                                                                                         |
|---------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Verksted (ISO)                              | 800                               | Vibrasjoner er tydelig/følbare. Egnert for verksteder eller andre ikke-sensitive områder.                                                                                                                                                |
| Kontor (ISO)                                | 400                               | Vibrasjoner er følbare. Egnert for kontorer/ikke-sensitive områder.                                                                                                                                                                      |
| Oppholdsrom (ISO)                           | 200                               | Vibrasjoner er knapt følbare. Egnert for de fleste områder hvor mennesker oppholder seg og sover. Kan antagelig også brukes i rom med PC-utstyr, forsøksutstyr, og mikroskop med lav styrke (20X).                                       |
| Sovearealer/ikke sensitive labarealer (ISO) | 100                               | Vibrasjoner er ikke følbare. Egnert seg for soveareal hvor det er særs viktig at vibrasjoner ikke forekommer. Egnert for de fleste områder med mikroskop med styrke opp til 100x og annet utstyr som har lav følsomhet for vibrasjoner.  |
| VC-A                                        | 50                                | Kan brukes i områder med optiske mikroskop med styrke opp til 400X, mikrovекter, optiske vektor, projiserende optikk, instrumenter o.l.                                                                                                  |
| VC-B                                        | 25                                | En egnert standard for optiske mikroskop med styrke opp til 1000X, kontrollutstyr og fotografisk utstyr (inkl. stoppers).                                                                                                                |
| VC-C                                        | 12.5                              | En god standard for de aller fleste kontrollutstyr og for det meste av fotografisk utstyr.                                                                                                                                               |
| VC-D                                        | 6                                 | Egnert for områder med svært følsomt utstyr; elektron-mikroskop (TEM og SEM), og E-bjelke systemer som arbeider rett opp mot kvasistatiske prosesser.                                                                                    |
| VC-E                                        | 3                                 | Vanskelig å oppnå i de fleste tilfeller. Antas å måtte oppfylles i de mest sensitive og krevende systemer; long path systemer, laserbaserte systemer, små radioaktive systemer og andre systemer som krever ekstrem dynamisk stabilitet. |

Dimensjonering av bygninger utsatt for vibrasjoner, RIF



# Konstruksjonen

- VC-F: Spesielle fundamenter i kjeller
- VC-D: Kjelleretasje
- VC-B: Frittbærende dekker, plan 3+4
- Frittbærende dekker:
  - 10,8 m x 10,8 m og 8,4 m x 10,8 m
  - 450 mm BubbleDeck



*Veileder for Rådgivende ingeniører, BubbleDeck*

# Vibrasjonsklasse VC-F

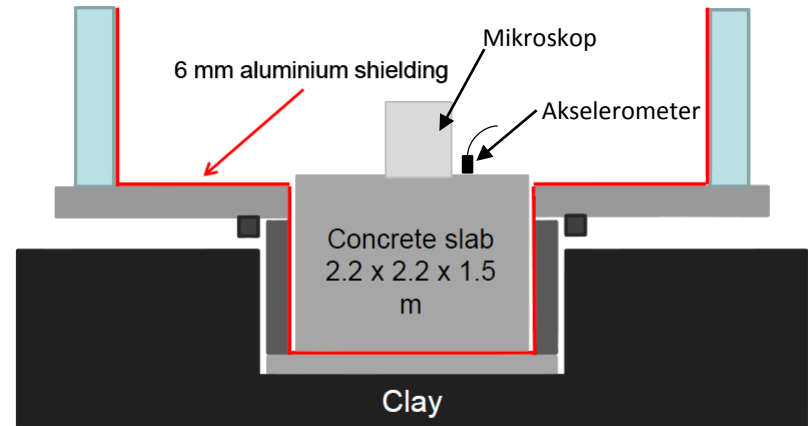


# Vibrasjonsmåling – Forskningsparken



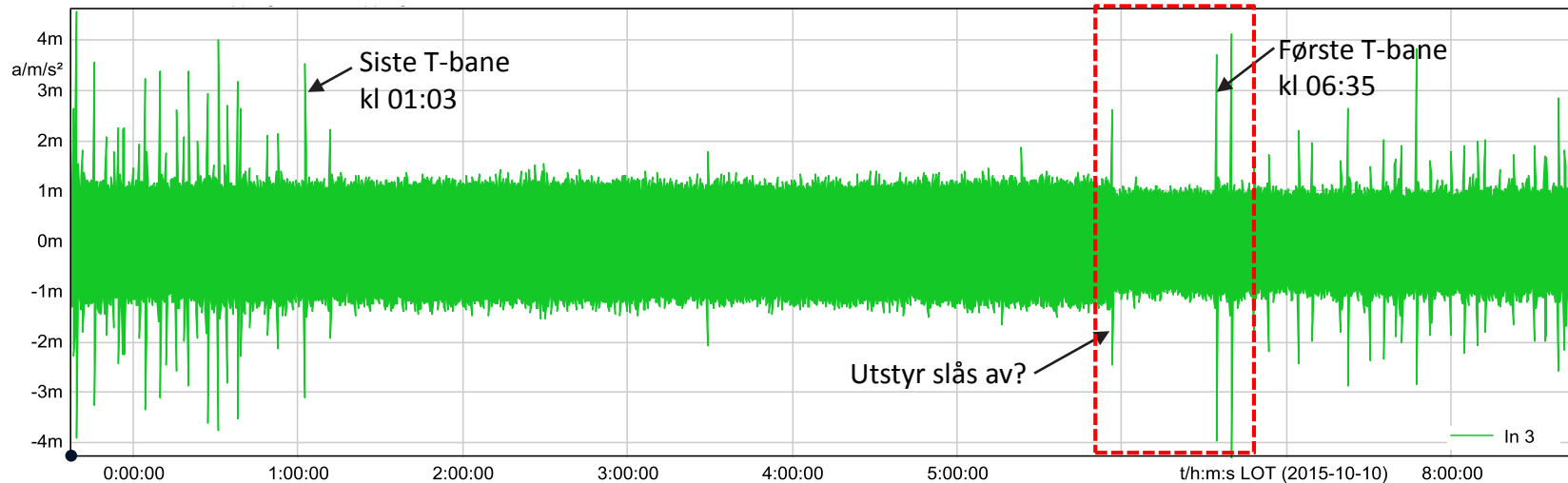
# Vibrasjonsmåling – Forskningsparken

- FEI Titan G2, elektronmikroskop
- Oppløsning: 0,08 nm
- Krav på fundament uten utstyr montert:
  - Vertikalt: VC-F
  - Horisontalt: VC-G

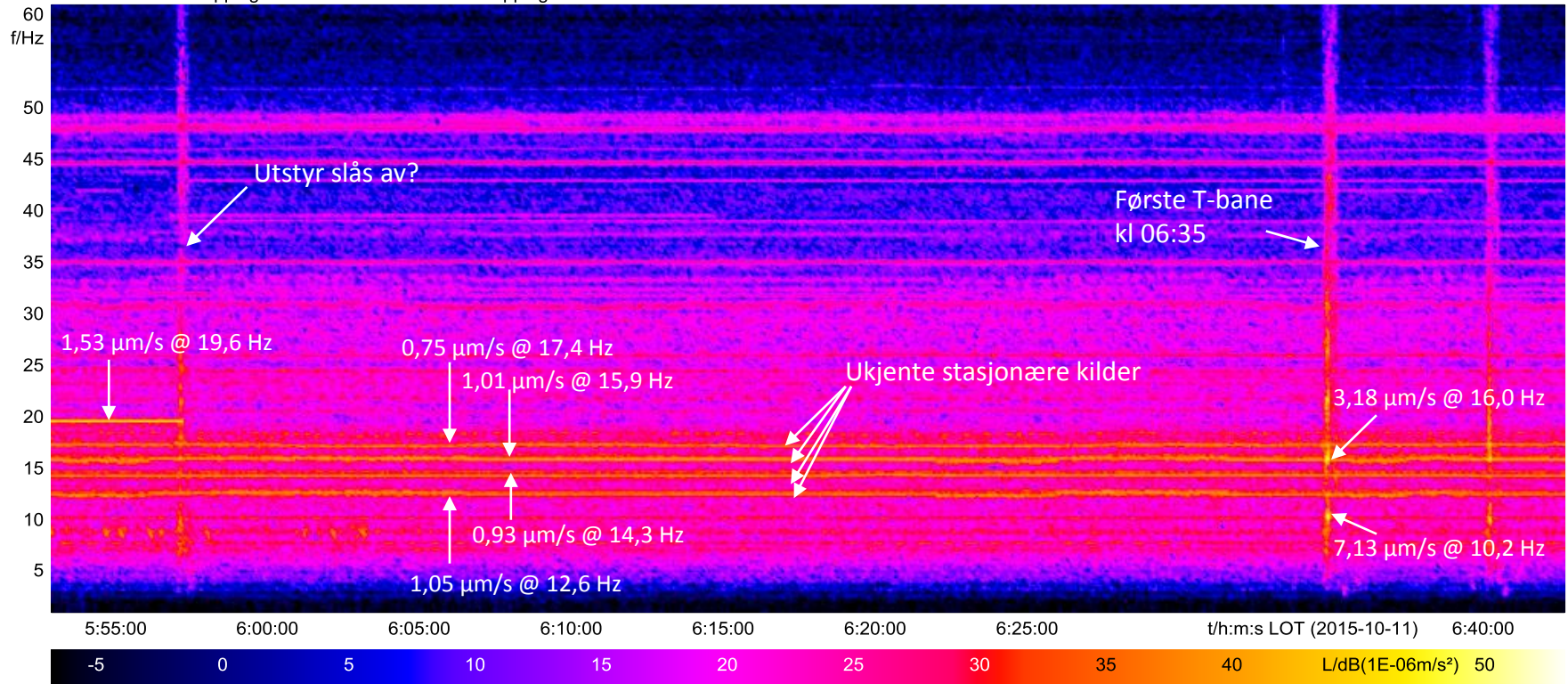


# Vibrasjonsmåling – Forskningsparken

- Natt til søndag 11. oktober 2015, på instrumentfundament



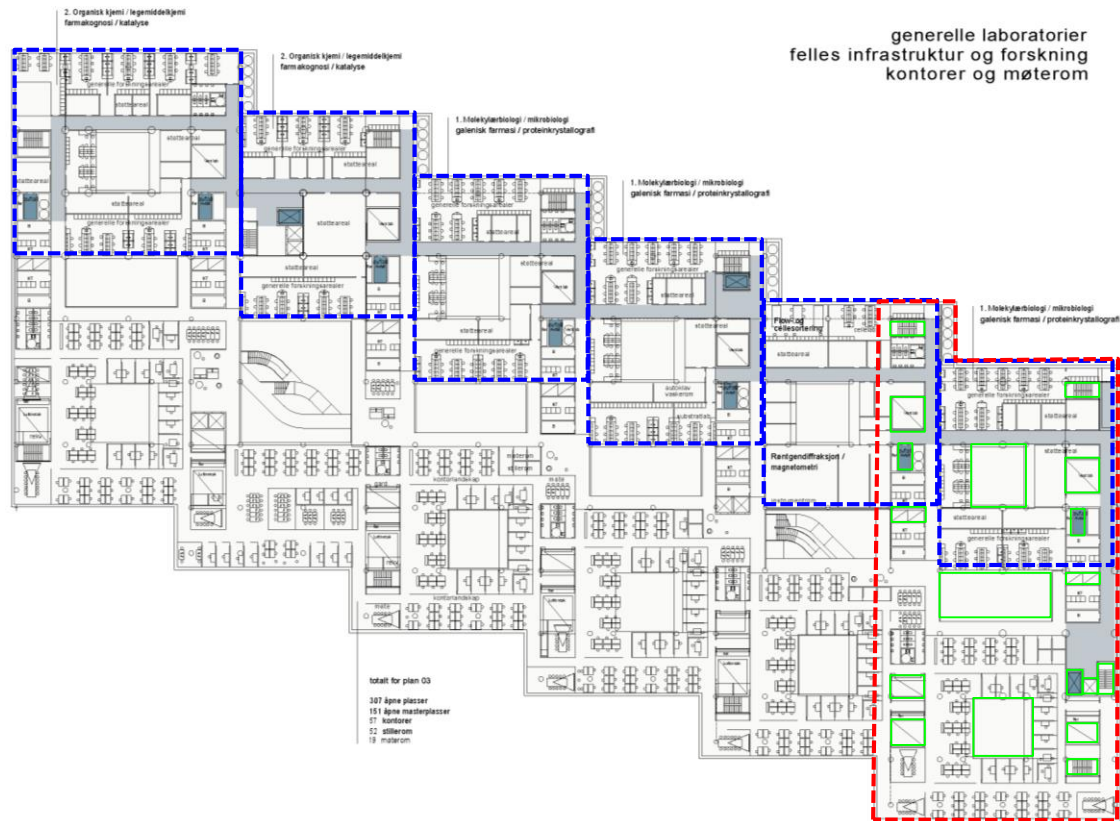
# Vibrasjonsmåling – Forskningsparken



# Vibrasjonsklasse VC-B

# Plan 3

- Generelle laboratorier
- Område beregnet med FEM
- Utsparinger





# Eigenfrekvenskrav

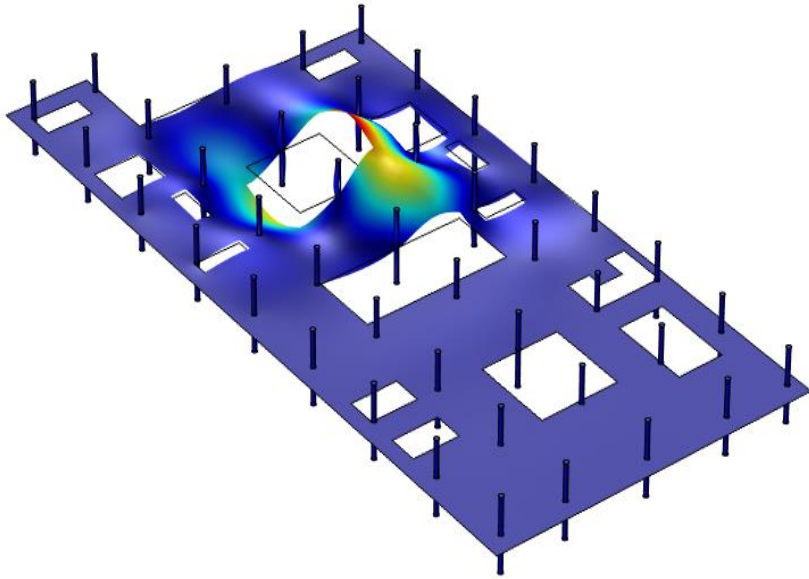
| Konstruksjonsdel i type bygning                     | Laveste egenfrekvens |
|-----------------------------------------------------|----------------------|
| Bolig                                               | 5.5 Hz               |
| Kontorer                                            | 4 Hz                 |
| Arealer med sport og danseaktiviteter               | 8 Hz                 |
| Laboratorier og verksteder med følsomt utstyr       | 10 Hz                |
| Publikumstribuner                                   | 7.5 Hz               |
| Arealer med stående forsamlinger eller faste seter. |                      |
| Konsertarena                                        | 9 Hz                 |

Tabell 3– Forenklet metode-frekvenskrav

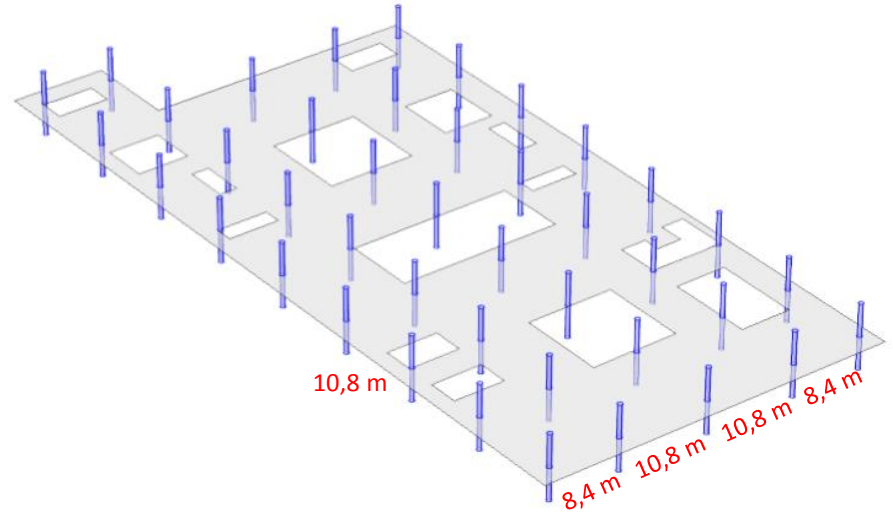
*Dimensjonering av bygninger utsatt for vibrasjoner, RIF*



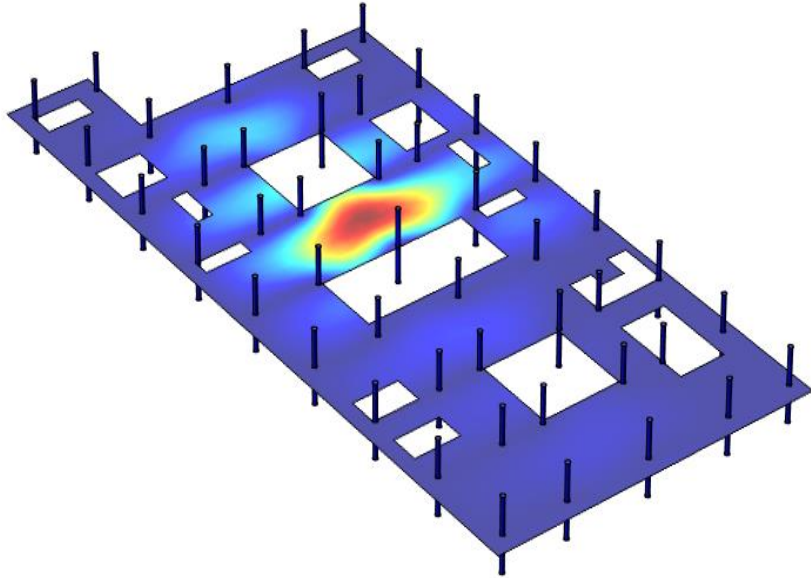
# Eigenfrekvenser – skisseprosjekt



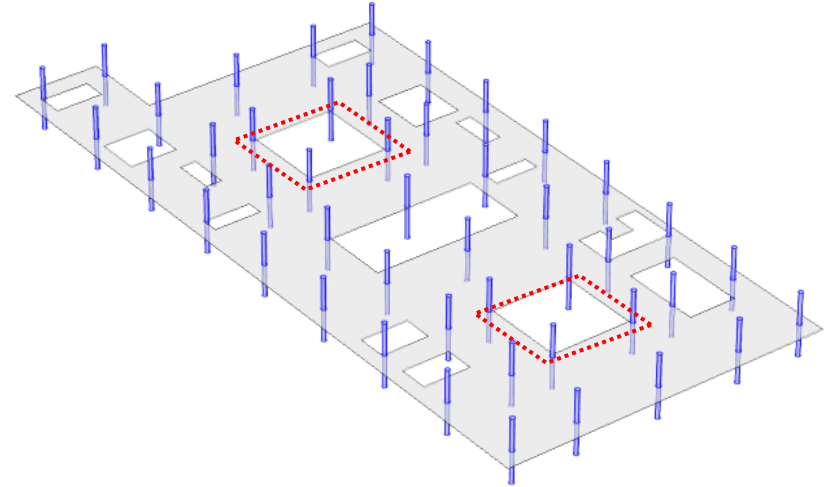
$f_1 = 8,5 \text{ Hz}$



# Eigenfrekvenser – flyttet søyler i lysgård

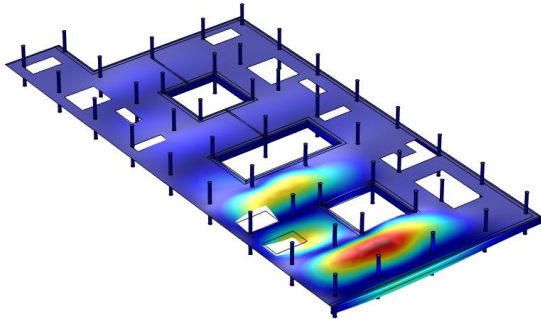


$f_1 = 8,7 \text{ Hz}$

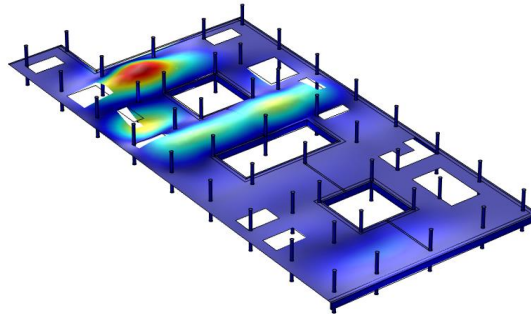


# Eigenfrekvenser – bjelker

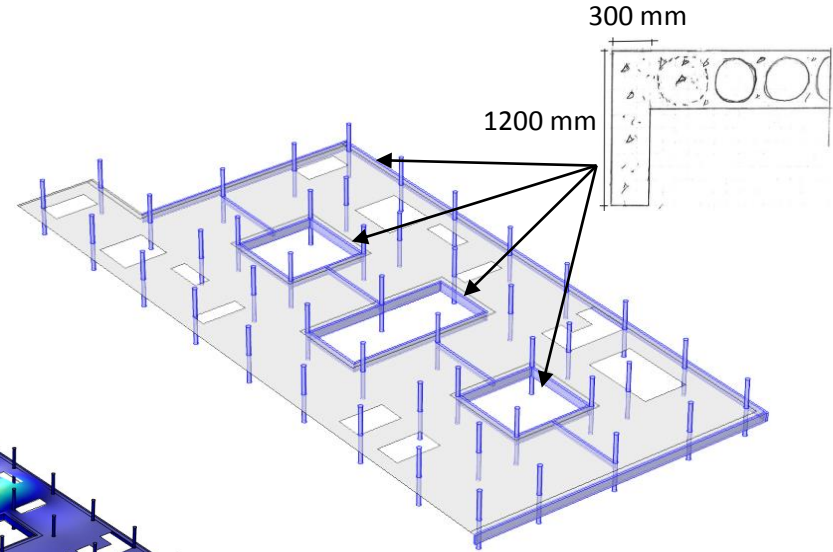
- Bjelker i felt, langs rand og ved lysgårder



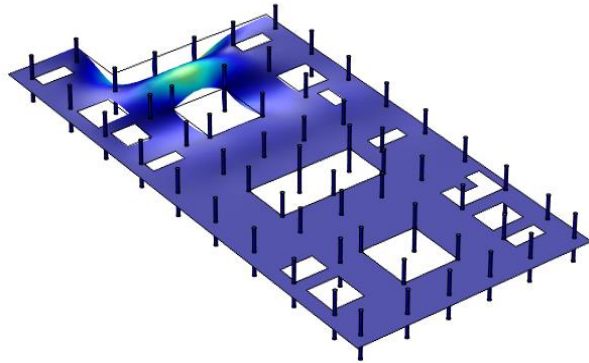
$f_1 = 10,2 \text{ Hz}$



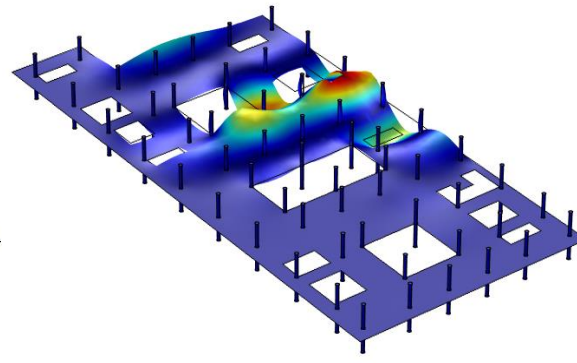
$f_2 = 10,3 \text{ Hz}$



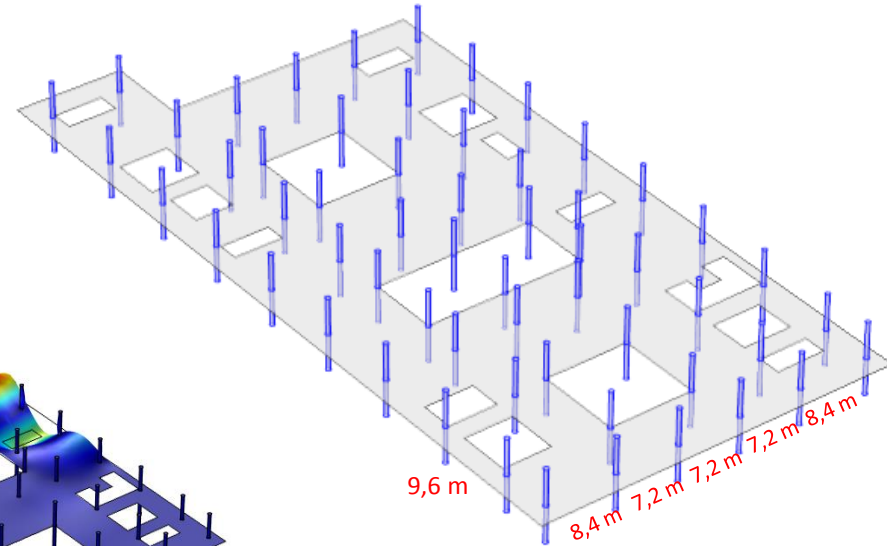
# Eigenfrekvenser – tettere søyler



$f_1 = 10,2 \text{ Hz}$



$f_3 = 11,7 \text{ Hz}$



# Respons ved gange

- Ganglast:

- $$a = \frac{\mu_{e,m} \mu_{r,m} F}{2\zeta_m m} \left[ m/s^2 \right]$$

- $$F(t) = Q \sum_n \alpha_n \sin(\omega t + \phi_n)$$

$\mu_{e,m}$  [-] Formfaktor, eksitasjonspunkt

$\mu_{r,m}$  [-] Formfaktor, mottakerpunkt

$\zeta_m$  [-] Tapsfaktor ( $2\zeta = \eta$ )

$m$  [kg] Modal masse

$Q$  [N] Stasjonær last (kroppsvekt)

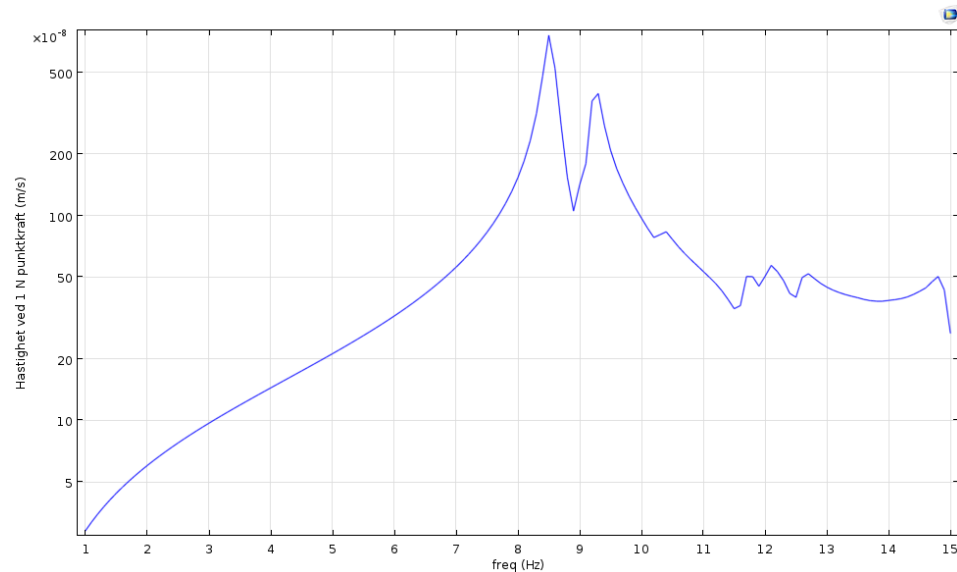
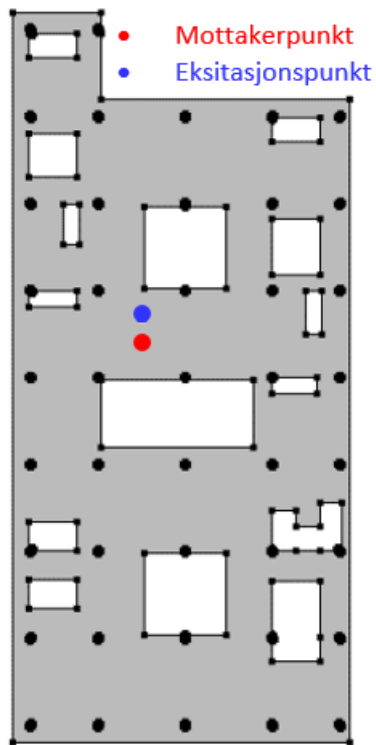
## Gangfrekvenser

| Frekvensnummer, $n$ | 1          | 2          | 3          |
|---------------------|------------|------------|------------|
| Frekvens            | 1,7-2,3 Hz | 3,4-4,6 Hz | 5,1-6,9 Hz |

## Lastfaktor, $\alpha_n$

| Frekvensnummer, $n$ | 1           | 2   | 3    |
|---------------------|-------------|-----|------|
| ISO 10137:2007      | 0,37(f-1,0) | 0,1 | 0,06 |

# Respons ved gange – skisseprosjekt

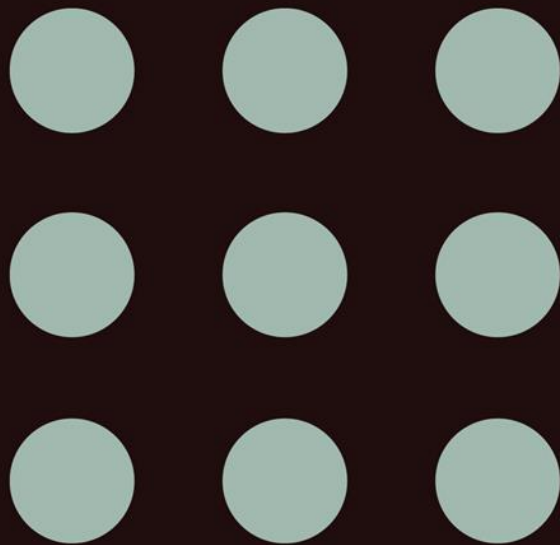


|                                                  | 2 Hz      | 4 Hz      | 6 Hz      |
|--------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Overføringsmobilitet [ $\mu\text{m}/\text{Ns}$ ] | 0,06      | 0,14      | 0,32      |
| Ganglast [N]                                     | 290       | 78        | 47        |
| Vibrasjonshastighet [ $\mu\text{m}/\text{s}$ ]   | <b>18</b> | <b>11</b> | <b>15</b> |
| VC-B [ $\mu\text{m}/\text{s}$ ]                  | -         | <b>50</b> | <b>37</b> |

# Oppsummering

- Tomten
  - Utfordrende plassering av svært vibrasjonsfølsomt utstyr
- Kjeller
  - Strengt vibrasjonskrav
- Måling, Forskningsparken
  - Må ha kontroll på teknisk utstyr
  - Utstyret kan selv være kilde til vibrasjoner
- Dekker
  - $f_1 \geq 10$  Hz strengt krav
    - Kan oppfylles med avstivende bjelker i felt og langs dekkeforkanter
    - Kan oppfylles med tettere søyler
    - Oppfyller VC-B ved gange med  $f_1 = 8,5$  Hz





BREKKE ∷ STRAND

# COMSOL

- Dekke: isotropt med  $E_{BD} = 0,9E_{massiv}$ 
  - $h_{BD} = 0,9h_{massiv}$
- Dekke og søyler monolittisk koblet
- Søyleender fast innspent
- Dekke avgrenset med fritt opplegg
- Dekke fast innspent ved støpt sjakter

|                             | BD450 | Betong |                       |
|-----------------------------|-------|--------|-----------------------|
| E [GPa]                     | 32    | 32     | Elastisitetsmodul     |
| $m''$ [kg/m <sup>2</sup> ]  | 730   | -      | Flatemasse            |
| $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ] | -     | 2300   | Densitet              |
| $\nu$ [-]                   | 0,2   | 0,2    | Tverrkontraksjonstall |
| $\eta$ [-]                  | 0,02  | 0,02   | Intern tapsfaktor     |

