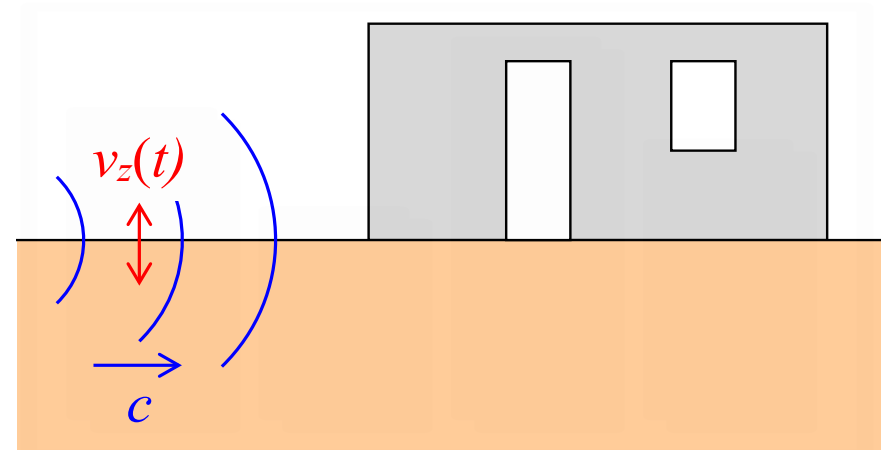


Skadeverkan mot byggnad av markvibrationer från sprängning

Parameterstudier och jämförelse med försök

- **Morgan Johansson**
Chalmers, Konstruktionsteknik / Norconsult
- **Karl Arvidsson**
Chalmers, Dynamik
- **Peter Folkow**
Chalmers, Dynamik
- **Joosef Leppänen**
Chalmers, Konstruktionsteknik



Problembeskrivning

- Sprängningsarbete orsakar markvibrationer som kan ge upphov till skador hos närliggande byggnader
- Riktvärden för tillåtna vibrationer enligt Svensk Standard bedöms innehålla flera brister samt ha en svag vetenskaplig förankring
- Branschen önskar en moderniserad metod, flertalet andra länder använder riktlinjer baserade på markvibrationernas frekvensinnehåll
- Ändrade riktlinjer förutsätter ökad kunskap om orsak till varför markvibrationer ger upphov till skador
- Finns behov att klargöra samverkan mellan grundens vibrationer, byggnadens dynamiska egenskaper och risk för skada

Syfte och mål

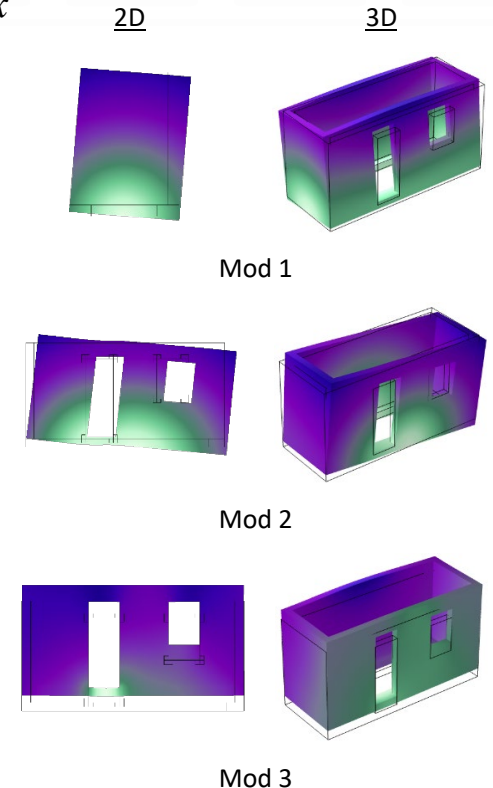
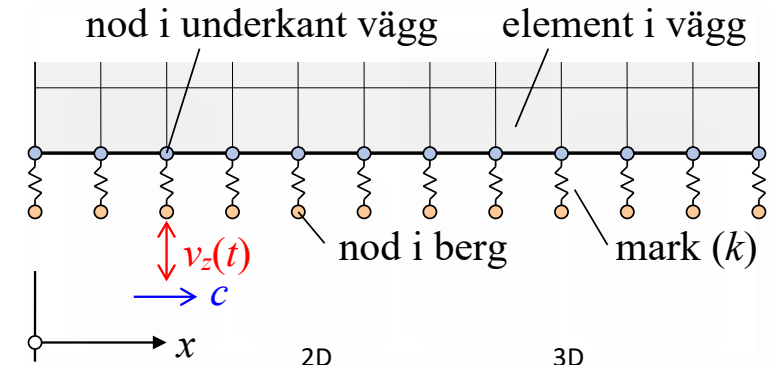
- Syfte
 - Ge en djupare fysikalisk förståelse för kopplingen mellan markvibrationer och skador i närliggande byggnader
- Mål
 - Utveckla numeriska modeller som kan beskriva byggnaders påverkan från markvibrationer
 - Tydliggöra bakomliggande orsaker till varför och när skador uppstår samt när skador inte uppstår → förbättrad prediktionsmöjlighet
 - Utgöra grund för framtida revidering av Svensk Standard

Metod

- Förenklade numeriska simuleringar baserade på FEM
 - Linjärelastisk respons, 2D (och 3D)
 - Parameterstudier och validering mot försök
- Parameterstudier på vägg med öppningar
 - Strukturegenskaper: byggnadens geometri och material, markens egenskaper
 - Lastegenskaper: lastfrekvens, vågutbredningshastighet
- Jämförelse med fältförsök (enkel byggnad) utförda i Norge 2019
 - Kalibrering av egenfrekvens (2D och 3D)
 - Applicering av uppmätta markvibrationer → jämförelse av byggnadsrespons (2D)

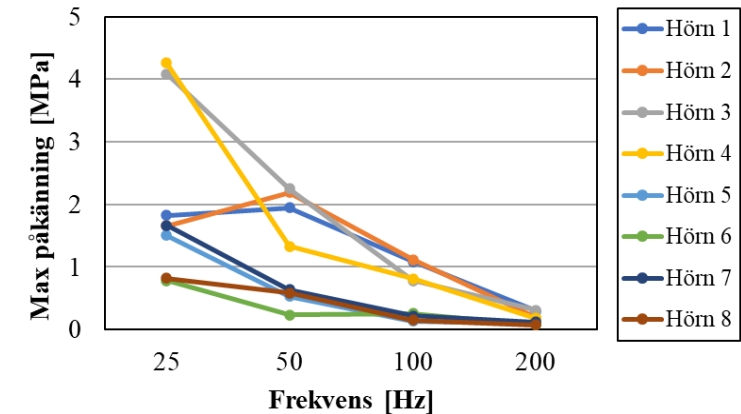
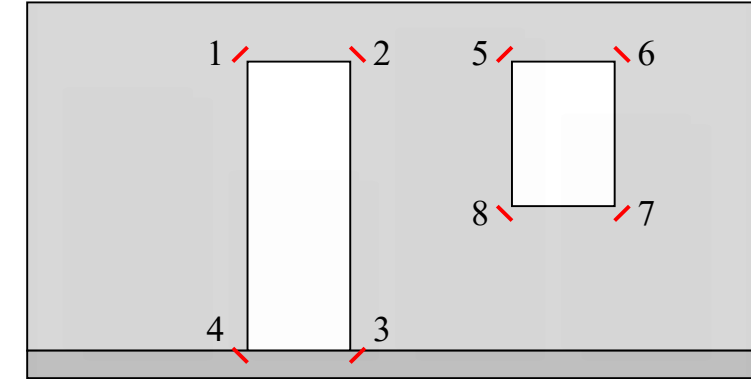
Beräkningsmodell i FEM

- Förenklad modell
 - Linjärelastisk respons
 - Byggnad av solidelement, mark av fjäderelement
 - Vibration $v_z(t)$ rör sig horisontellt med våghastighet c
- Resultat
 - Eigenfrekvens och egenmoder (2D och 3D)
 - Dragpåkänningar vid öppningar (2D)
 - Vibrationer i vägg (2D)



Resultat – Parameterstudie

- Vägg med öppningar
 - Två geometrier, två material (betong/lättbetong)
 - Byggnad av 2D solidelement, mark av 1D fjäderelement
 - $k = k_{fjäder} / A_{fjäder}$, $k = [0,001 \ 0,01 \ 0,1 \ 1] \text{ GN/m}^3$
 - Förenklad last $v_z(t) = v_A \cdot \sin \omega t$, våghastighet c
 - $f = [25 \ 50 \ 100 \ 200] \text{ Hz}$, $c = [500 \ 2000] \text{ m/s}$
- Resultat
 - Dragspänningar vid öppningar
 - Kritisk lastfrekvens varierar med k och c , ej möjligt att ange entydigt kritiskt värde
 - Geometri/material har viss inverkan på kombination för kritisk lastfrekvens



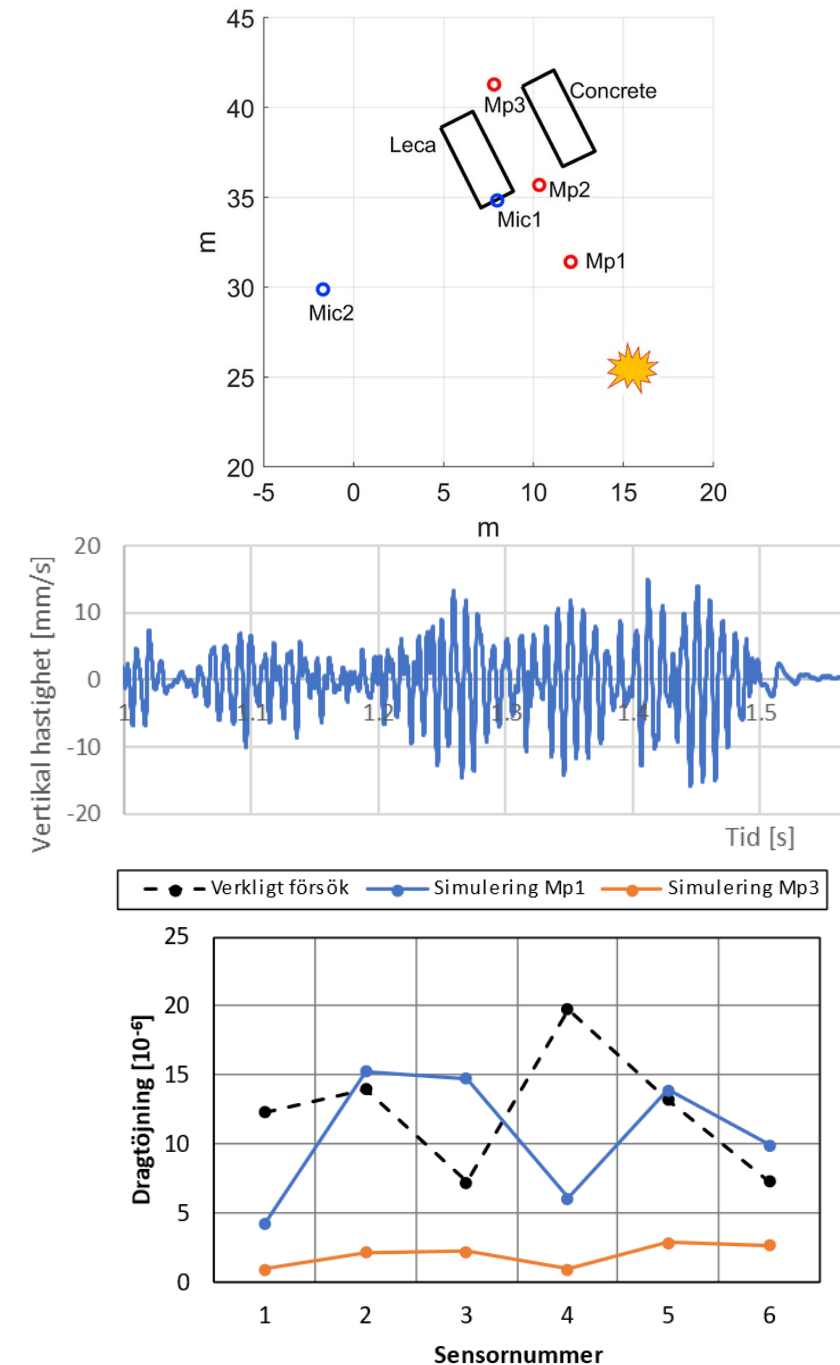
$k = 0,1 \text{ GN/m}^3$, $c = 500 \text{ m/s}$

| f [Hz] | $k = 0,001 \text{ GN/m}^3$ | | $k = 0,01 \text{ GN/m}^3$ | | $k = 0,1 \text{ GN/m}^3$ | | $k = 1 \text{ GN/m}^3$ | |
|-------------|----------------------------|-------|---------------------------|-------|--------------------------|-------|------------------------|-------|
| | c [m/s] | | c [m/s] | | c [m/s] | | c [m/s] | |
| | 500 | 2 000 | 500 | 2 000 | 500 | 2 000 | 500 | 2 000 |
| 25 | | • | | ○ | • | • | | |
| 50 | • | ○ | • | • | ○ | | • | |
| 100 | | | | | | | ○ | • |
| 200 | | | | | | | | |

• = Maximal dragspänning i vägg, ○ = Maximal dragspänning i minst ett hörnområde.

Resultat – Jämförelse med försök

- Enkel betongbyggnad
 - Kalibrering av markstyvhet → efterlikna försök
 - Uppmätt last $v_z(t)$, våghastighet $c \approx 2600$ m/s
- Jämförelse
 - Eigenfrekvens och egenmoder (2D och 3D)
 - Fem sprängsalvor
 - Dragtöjning vid öppningar (6 givare)
 - Vibrationer i vägg (5 givare)
- Resultat
 - Vibrationer: stor skillnad
 - Töjningar: Relativt måttlig skillnad



Slutsatser

- Parametrestudier
 - Komplex att förutspå hur storleken på resulterande dragspänningar påverkas av en given kombination av lastfrekvens f och vågutbredningshastighet c
 - För tillräckligt låg markstyvhet indikeras att enbart obetydliga dragpåkänningar uppstår
 - För högre markstyvhet indikeras att maximal dragpåkning uppstår vid $f = 25$ eller 50 Hz
 - Ändrad geometri/material gav en viss spridning i kritisk lastfrekvens
- Jämförelse med försök
 - 2D- och 3D-modell gav god approximation på modform och egenfrekvens för flera primära moder
 - Dragspänningar och vibrationer hade sämre överensstämmelse än förväntat mellan simulering och försök
 - Tros bero på brister i modellering och försöksdata, förslag på förbättringar ges