

TORMOD HÅØY GRUE

OSLO 04.11.2020

Utvikling av lette beskyttelseskonstruksjoner mot eksplosjonslaster

Vindu med eksplosjonsmotstand



Hvorfor vindusfasader?

- Åpenhet
- Oversikt
- Estetikk
- Hvordan kombinere det overnevnte med beskyttelse på best mulig måte?

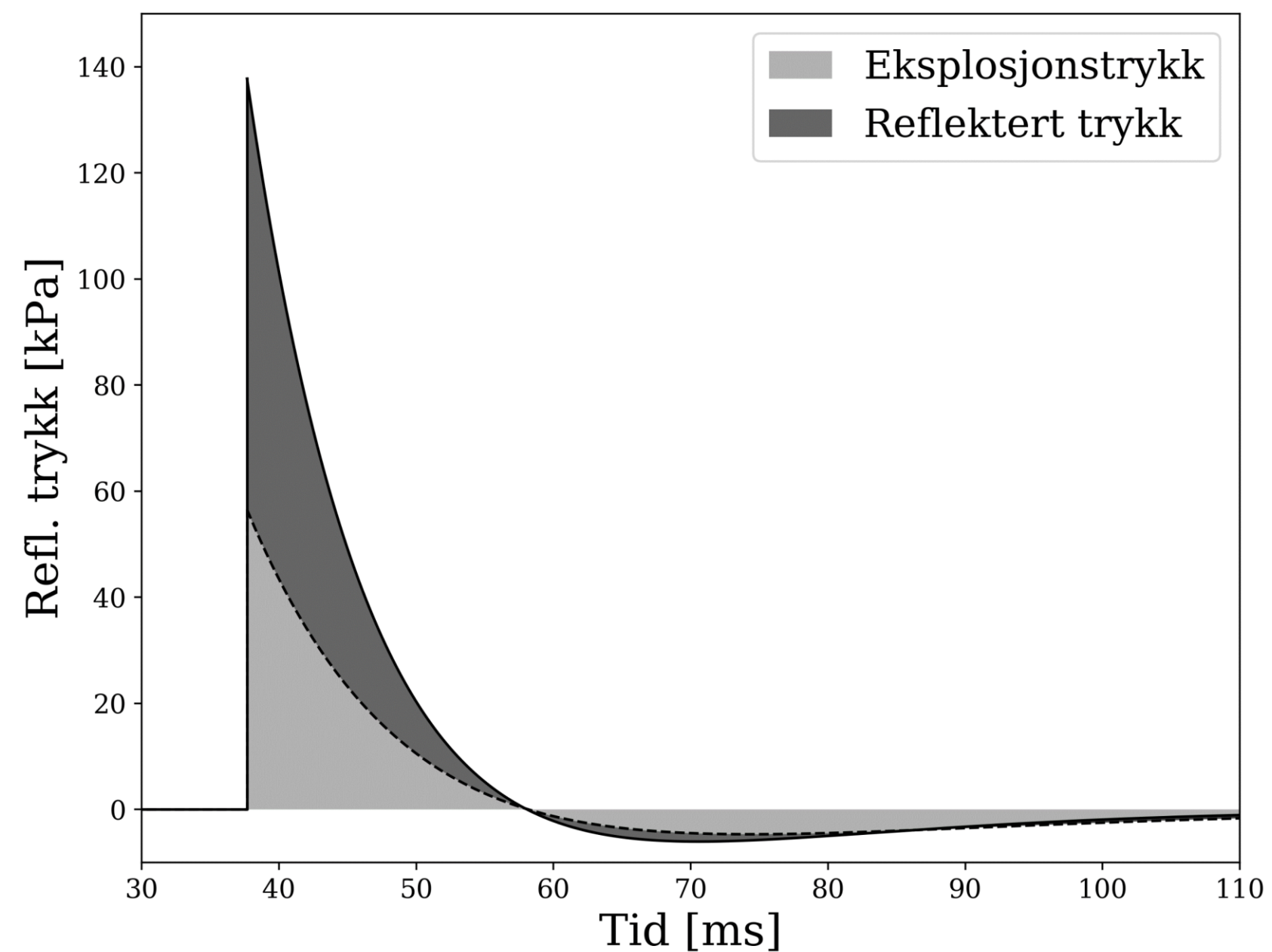


Mål

- Redusere trykkintrengning gjennom svake deler av fasaden
- Redusere kostnadene:
 - Utvikle/ benytte nye verktøy for dimensjonering
- Økt kunnskap om vindu utsatt for ekstreme laster

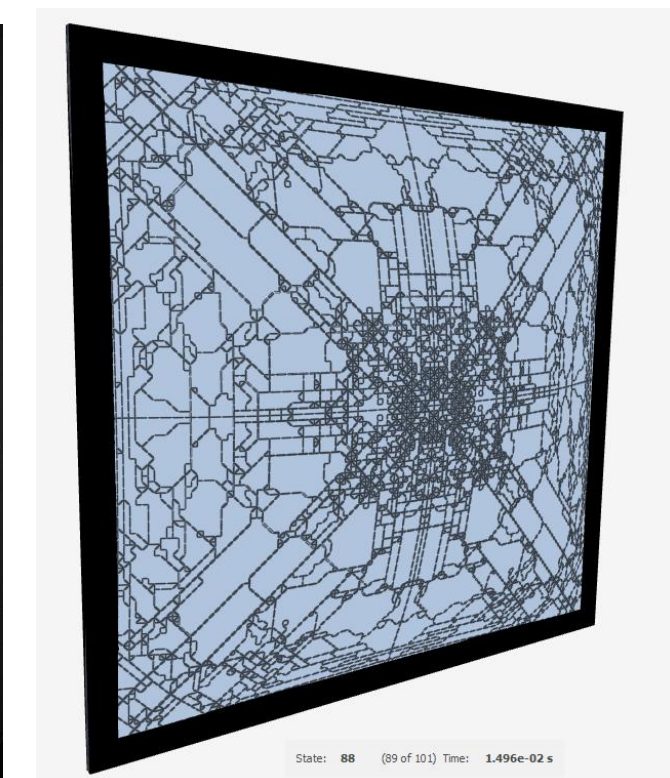
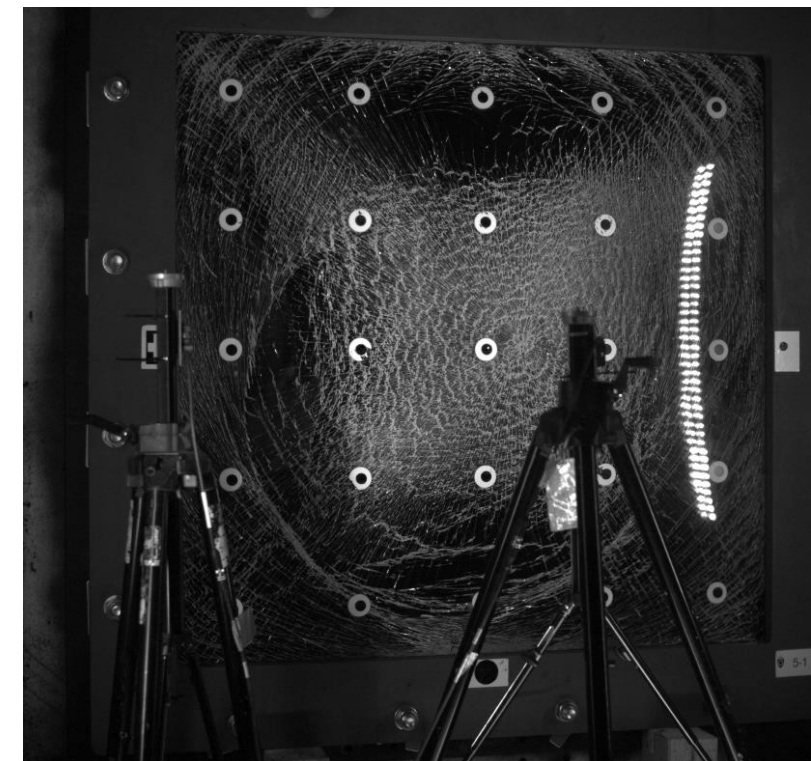
Effektene av eksplosjon?

- Ladningsstørrelse og avstand



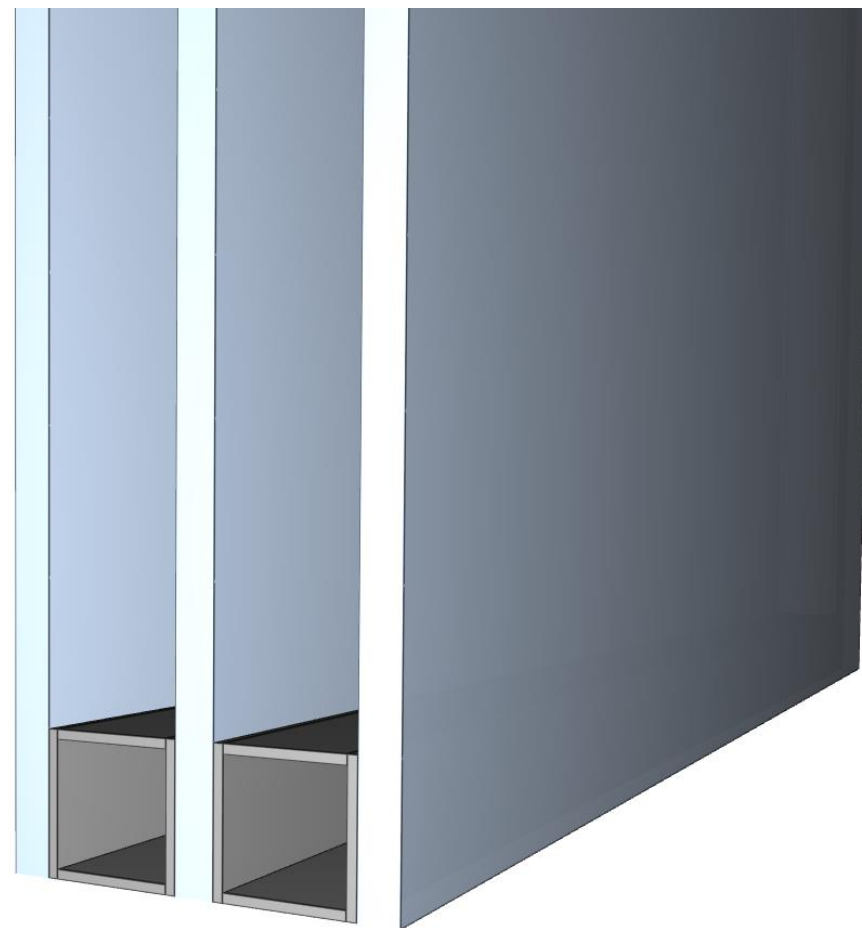
To prosjekter på glassløsninger utsatt for eksplosjonslast

- Utviklingsprosjekt – Vindussystemer med eksplosjonsmotstand
 - Eksperimentelt parameterstudie
 - Beregningsverktøy
- Forskningsprosjekt – Beregningsverktøy for vindusglass utsatt for ekstreme laster
 - Eksperimentelt parameterstudie på enkle vindusglass
 - Numerisk studie -> Beregningsverktøy

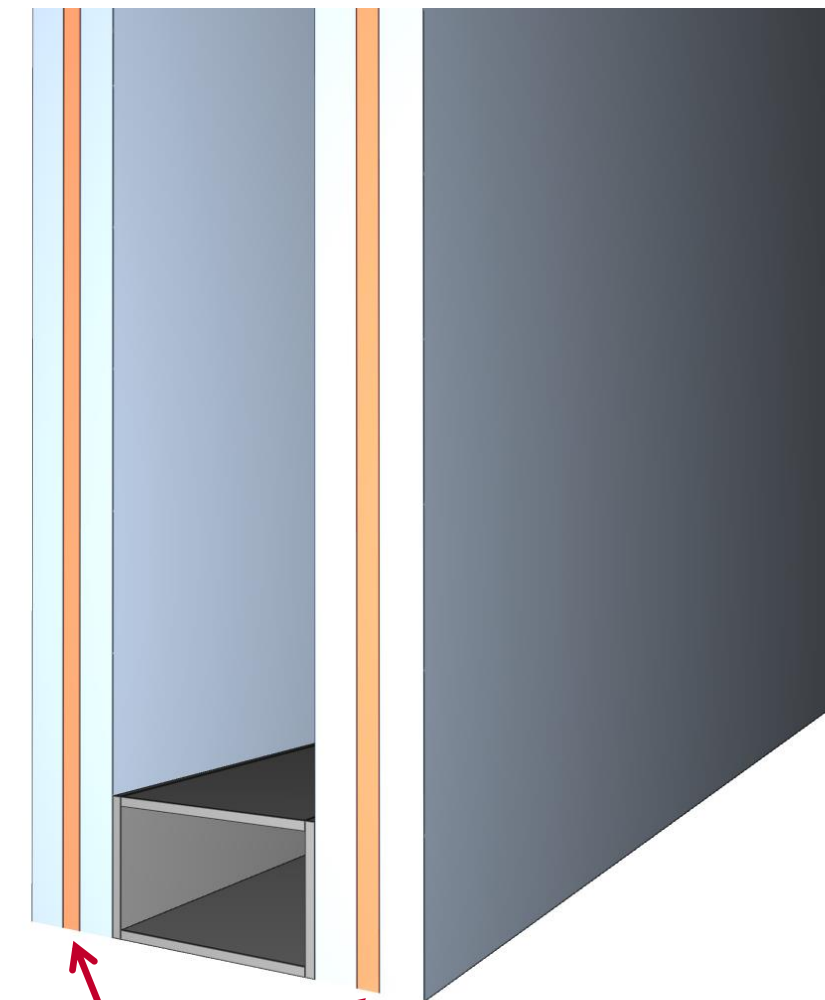


Vindu: Krav

Vanlige bygningskrav



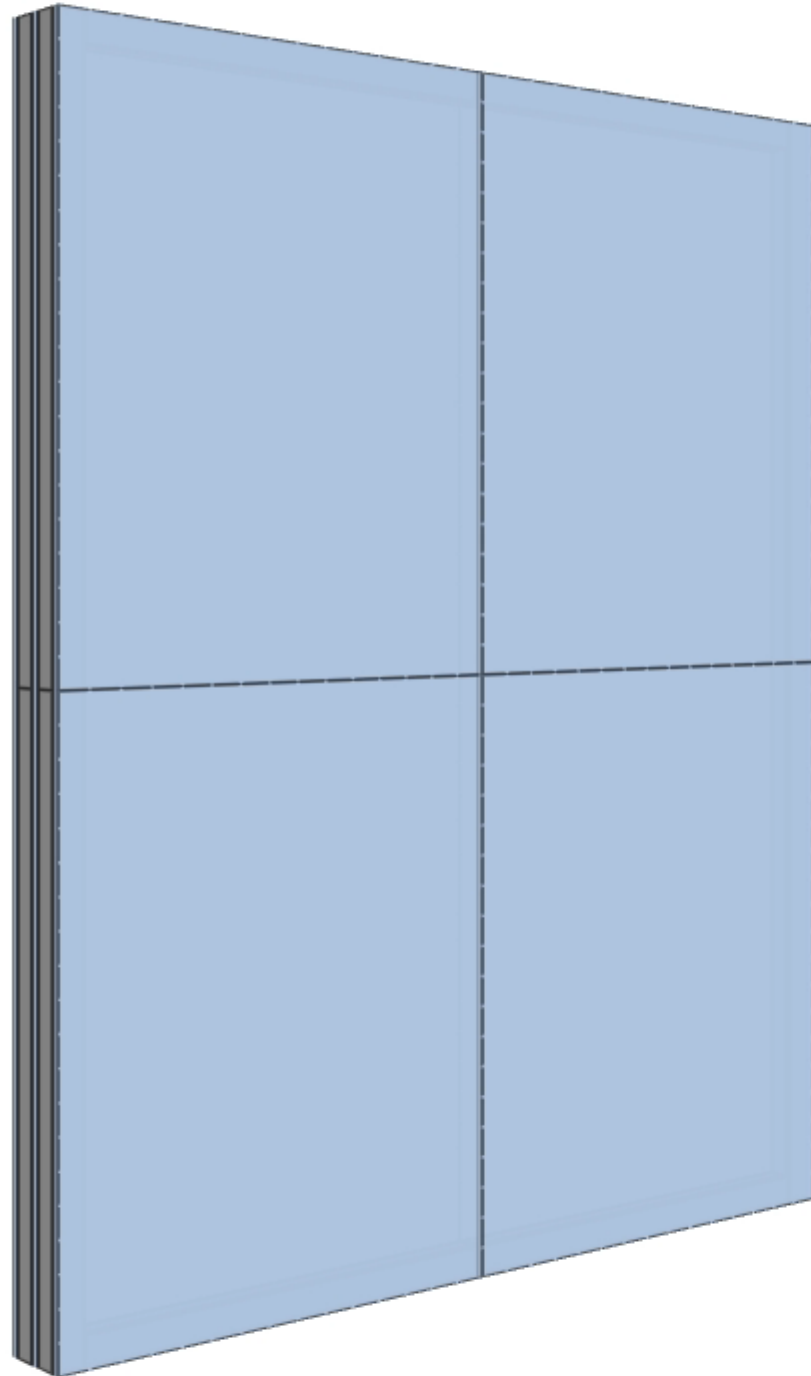
Krav om motstand mot ekstreme laster



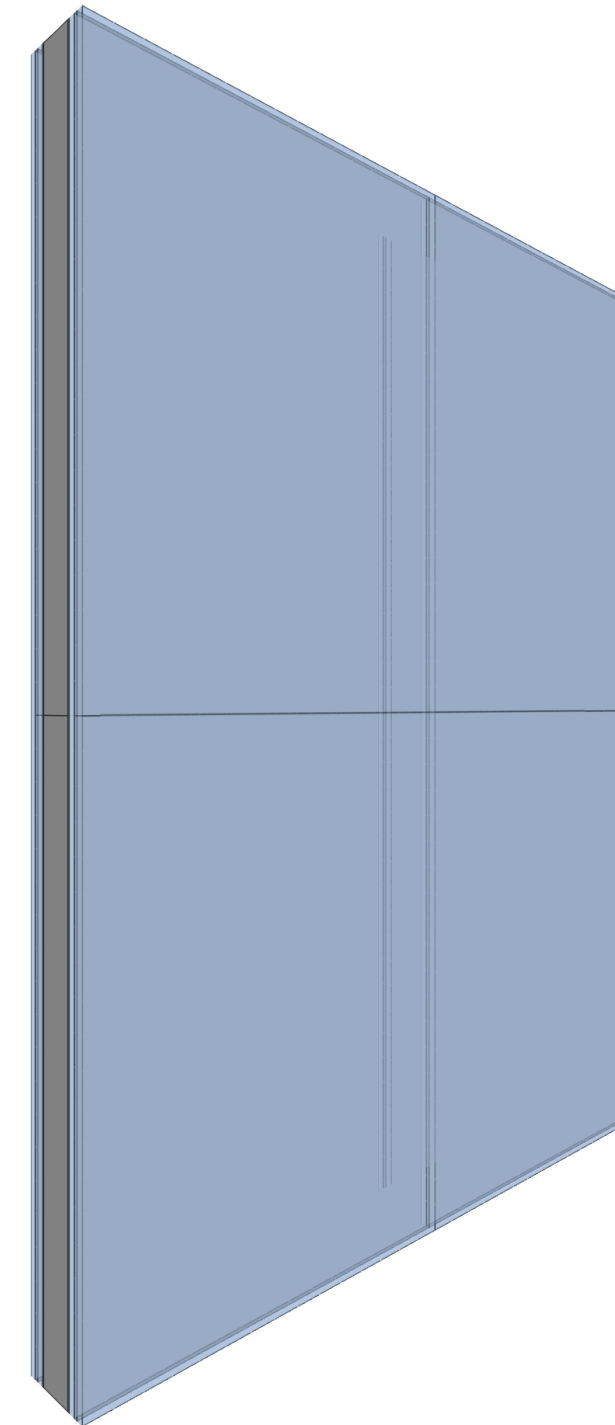
Polymerlag

Vindu: Krav

Vanlige bygningskrav



Krav om motstand mot ekstreme laster





Forsøk 2019



Klassifisering av vindu med eksplosjonsmotstand (avstandseksplosjoner)

- Klassifisering
EPR – Explosive pressure resistance
- Krav om en godkjent test med minimum last gitt i tabellen

NS-EN 13123-1:2001

NS-EN 13124-1:2001

Klasser	Maks. trykk	Maks. impuls	Tilhørende eksplosivmengde og avstand (Reflektert)
EPR 1	50 kPa	370 kPa-ms	ca. 90 kg TNT på 33 meters avstand fra vegg
EPR2	100 kPa	900 kPa-ms	ca. 370 kg TNT på 36 meters avstand fra vegg
EPR3	150 kPa	1500 kPa-ms	ca. 900 kg TNT på 40 meters avstand fra vegg
EPR4	200 kPa	2200 kPa-ms	ca. 2000 kg TNT på 46 meters avstand fra vegg

(Forsvarsbygg,2018)

Kjøpe fra leverandør

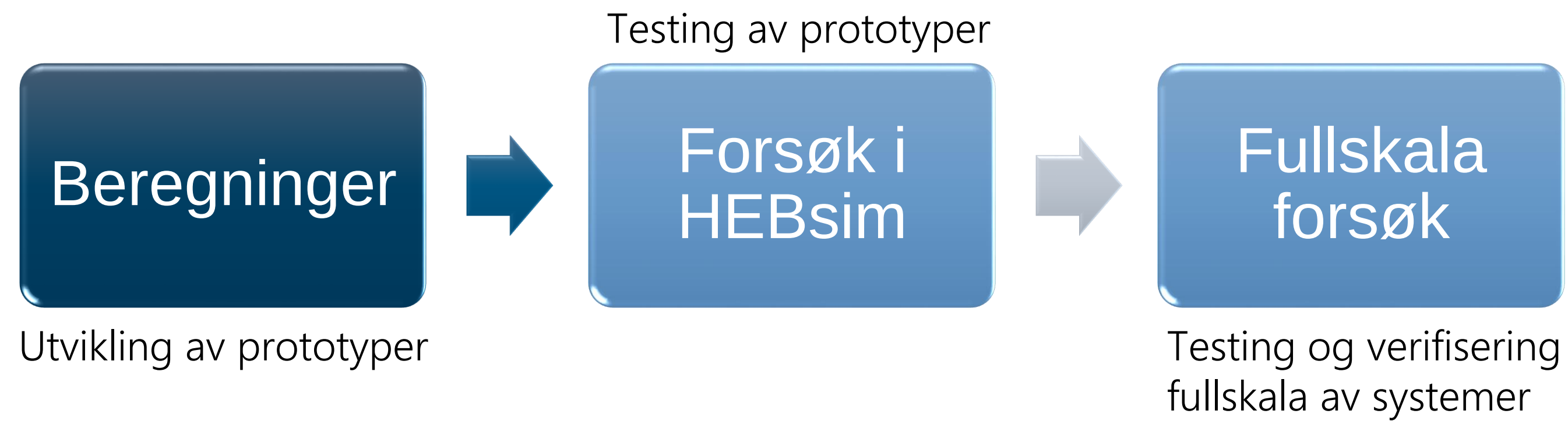


- ☐ Sertifisert – har bestått minst et forsøk
- ☐ Tilpasset en spesifikk trussel med definerte akseptkrav.
- ☐ «Hyllevare»
- ☐ Kan bli kostbart å sette inn i hele bygget

Egenutviklet



- ☐ Må/bør bevise effekt i forsøk
- ☐ Kan tilpasses egendefinerte trusler og egendefinerte akseptkrav.
- ☐ Må spesifiseres selv, krever omfattende informasjon om problemstillingen
- ☐ Hvis det ikke er billigere har vi ikke lykket



Vindussystemer – et komplekst regnestykke

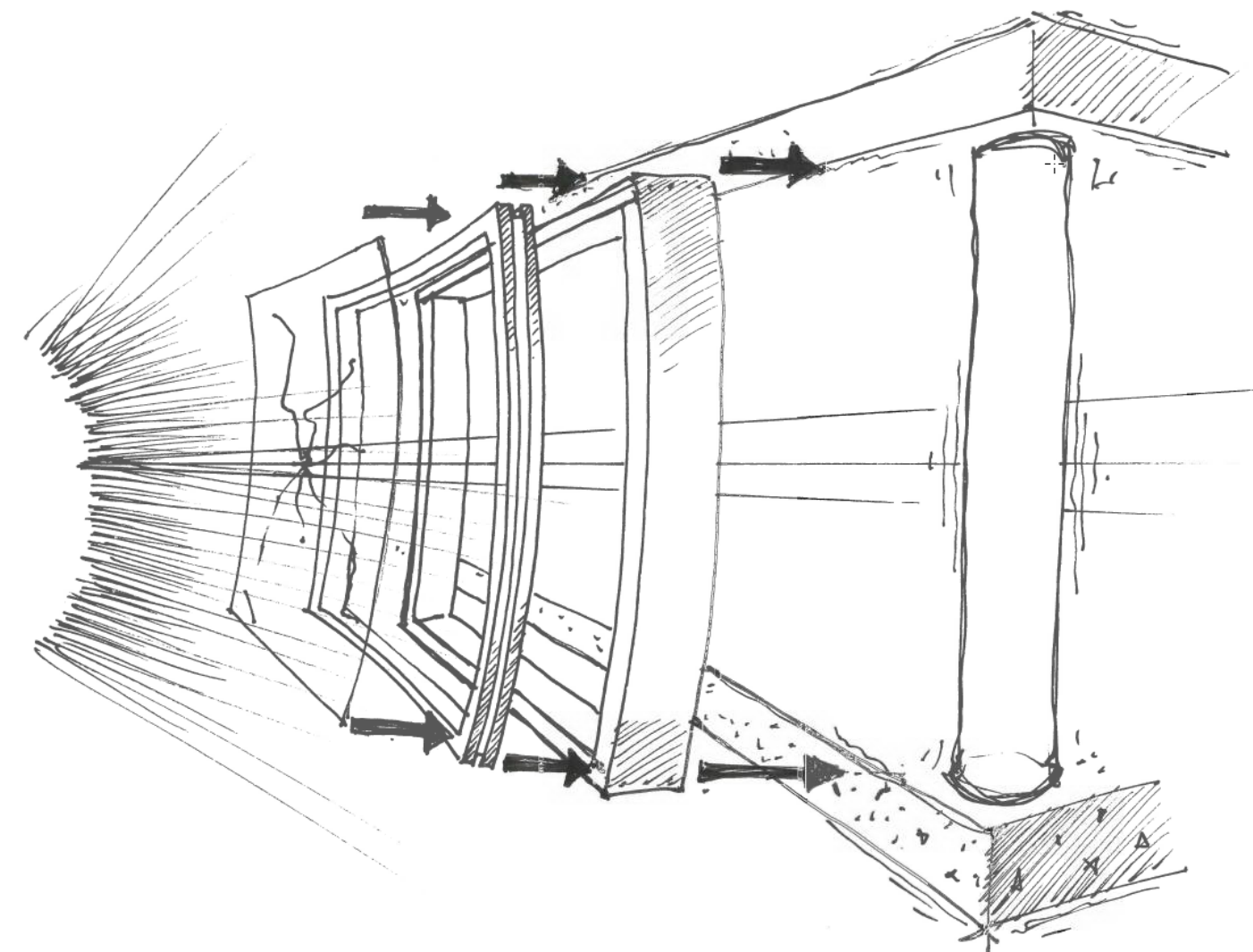
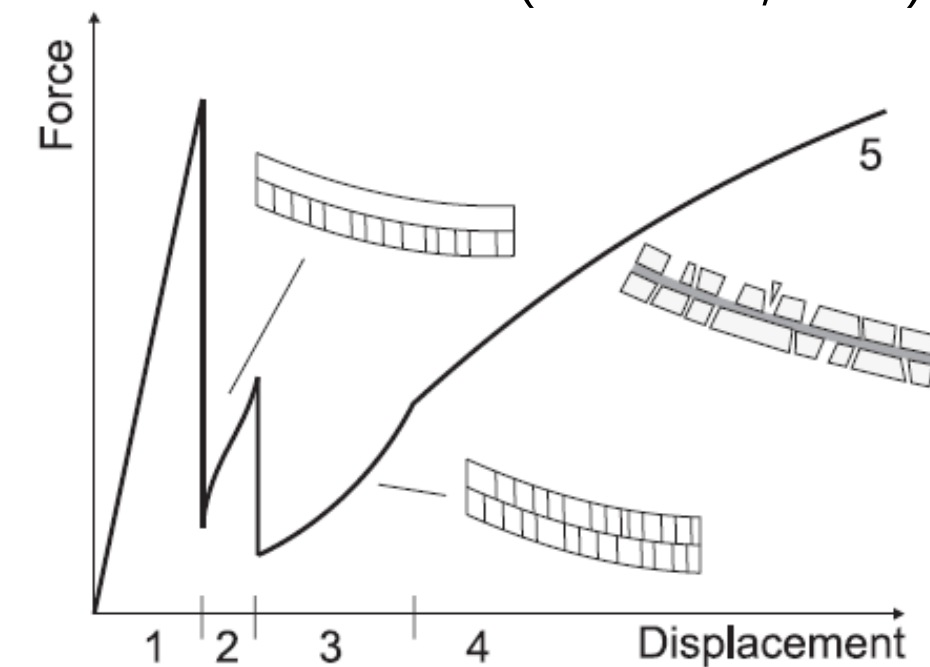
Vindusglass

- Glass
 - Stor variasjon i bruddstyrke
 - Endrer stivhet etter brudd
- Polymerlag
 - Varierende stivhet
 - Holder glassfragmenter fast etter brudd
 - Membran som holder trykket på utsiden

Ramme

- Isolerende luftsjikt
 - Hvordan ta med effekten av isolerende luftsjikt i en prosjektert løsning.
- Ramme
 - Hvilke påkjenninger oppstår?
 - Velge riktig materiale
 - Innfesting av ramme til dekker/vegger

(Larcher,2011)



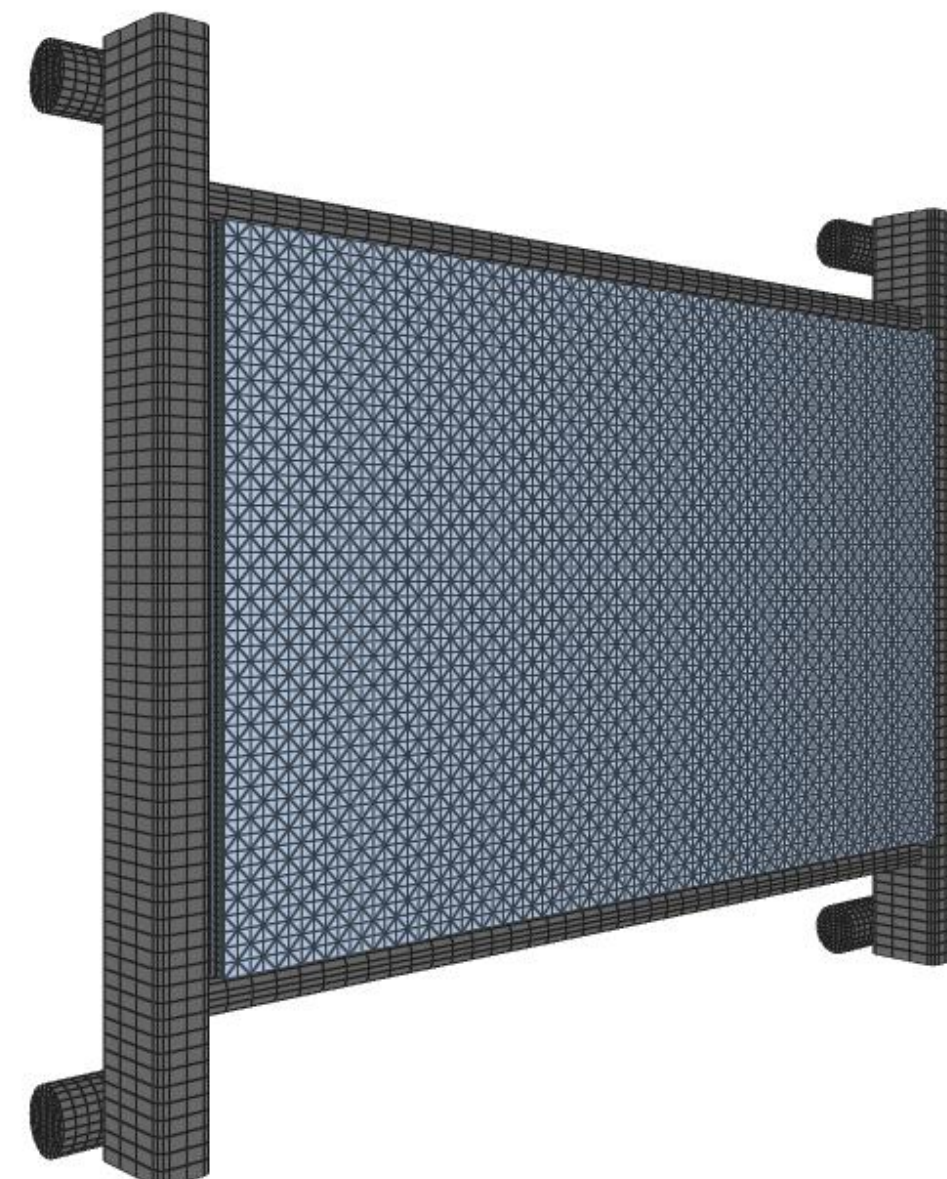
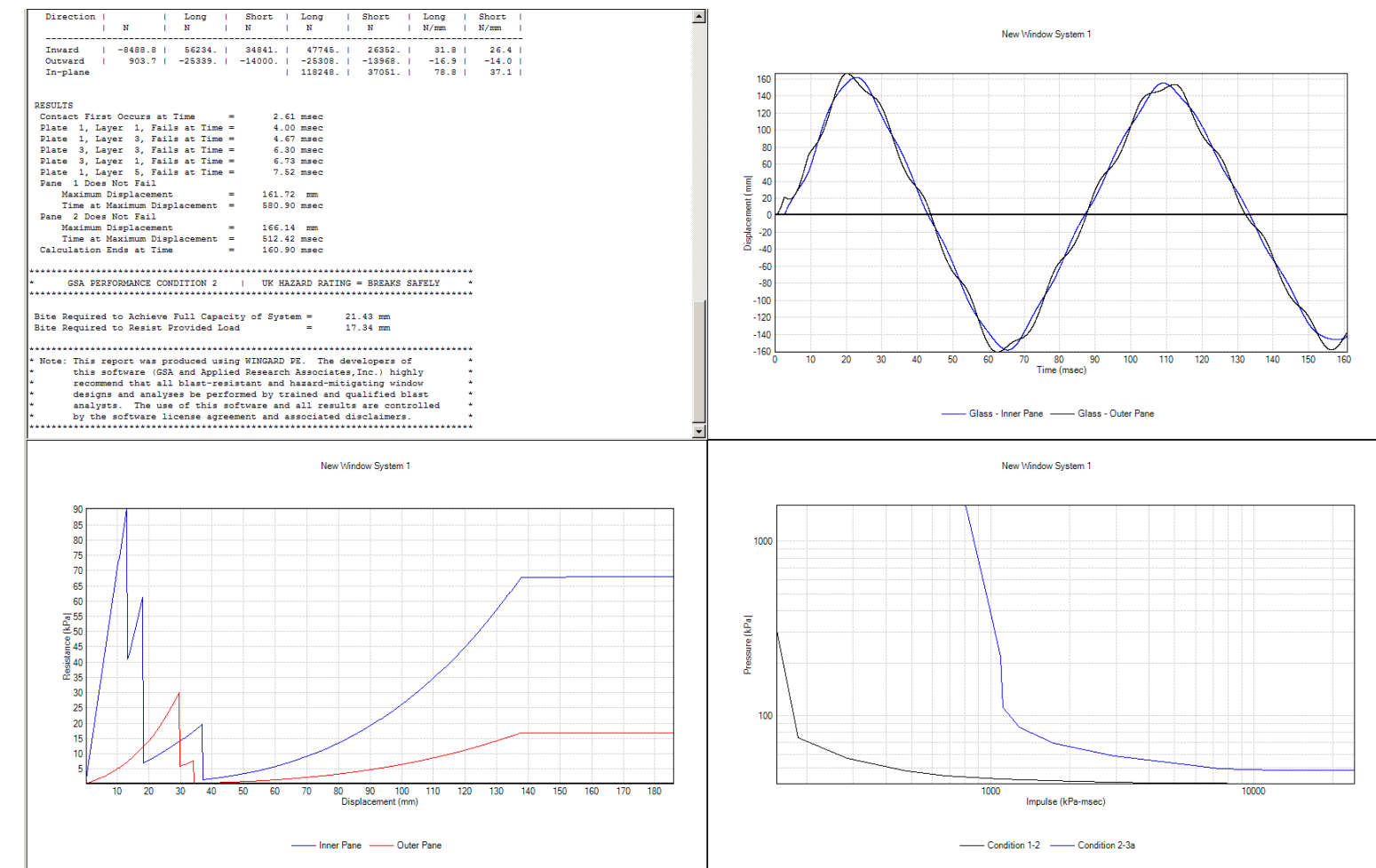
Hvordan beregner vi?

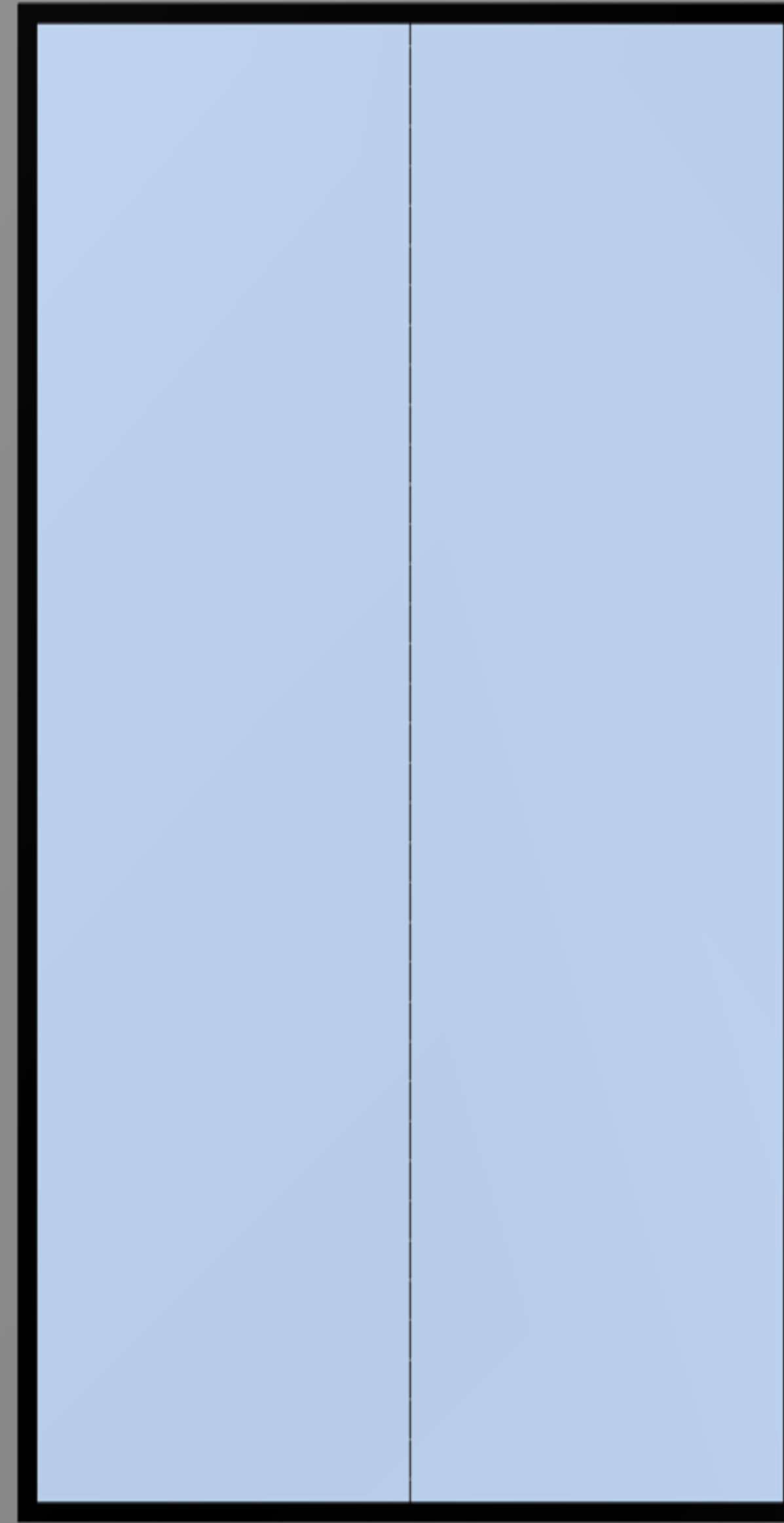
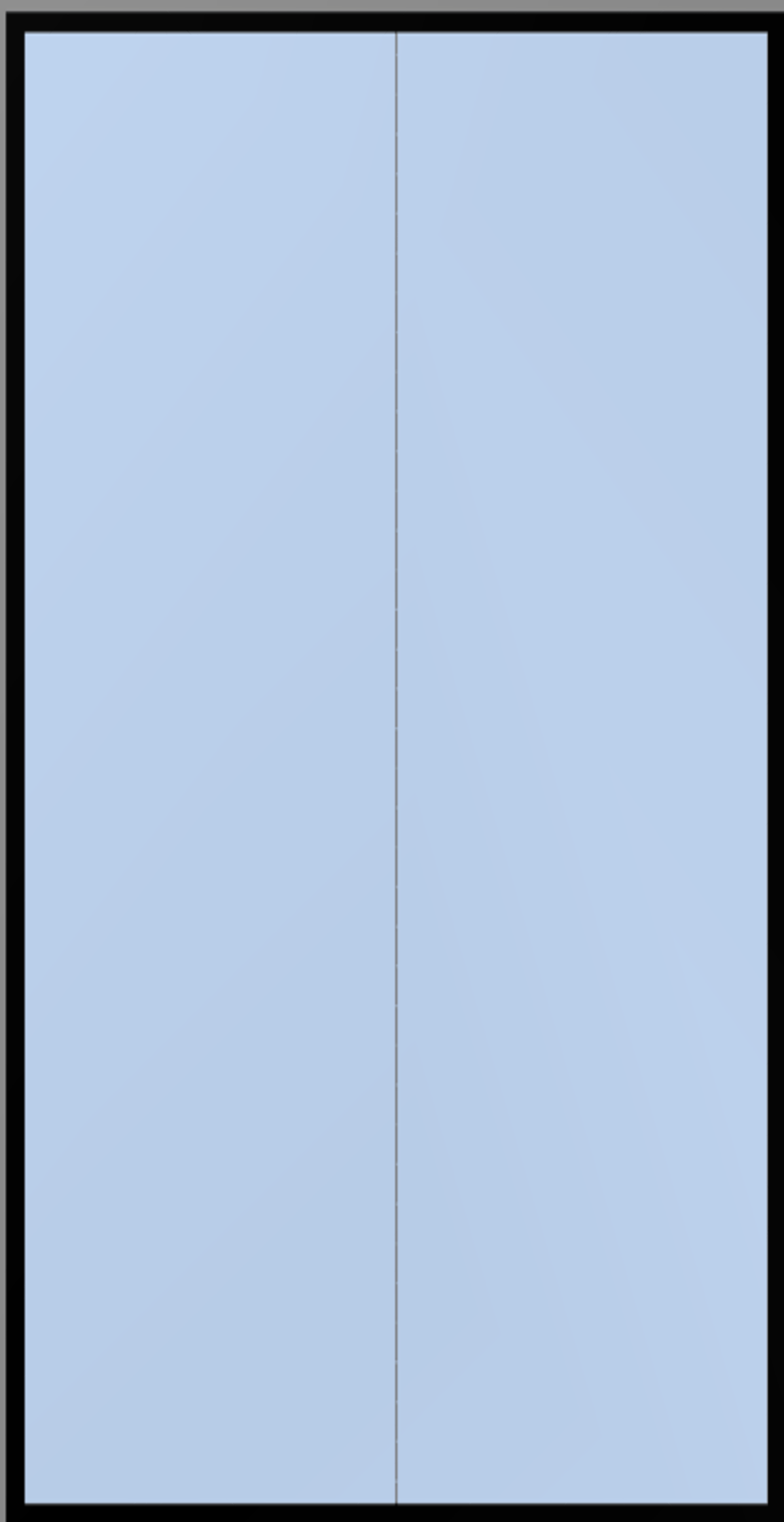
- Single degree of freedom (SDOF) – WINGARD (GSA, 2008)

- Begrenset input
- Omgjør hele vinduet til en masse og fjær.
- Kort beregningstid

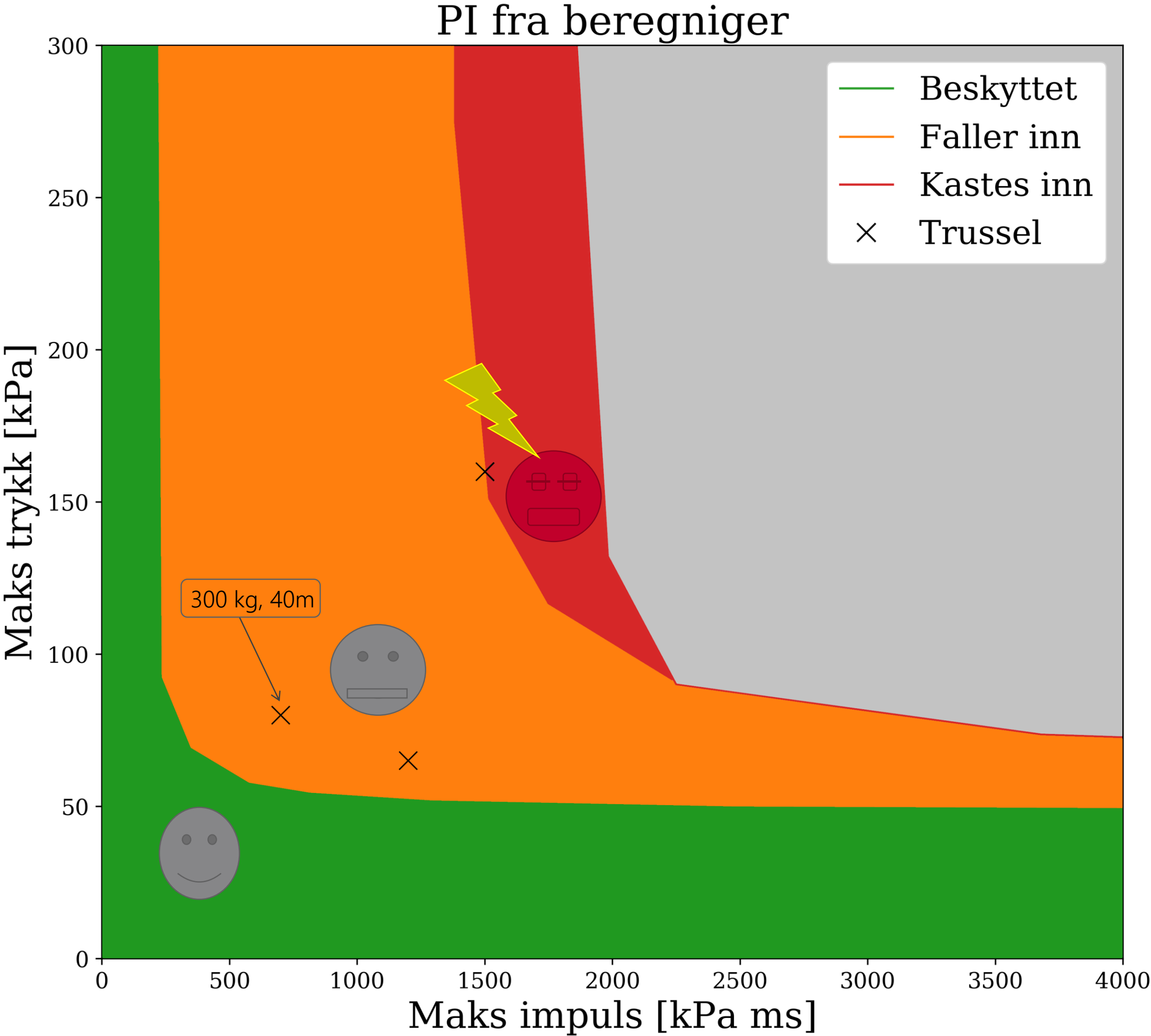
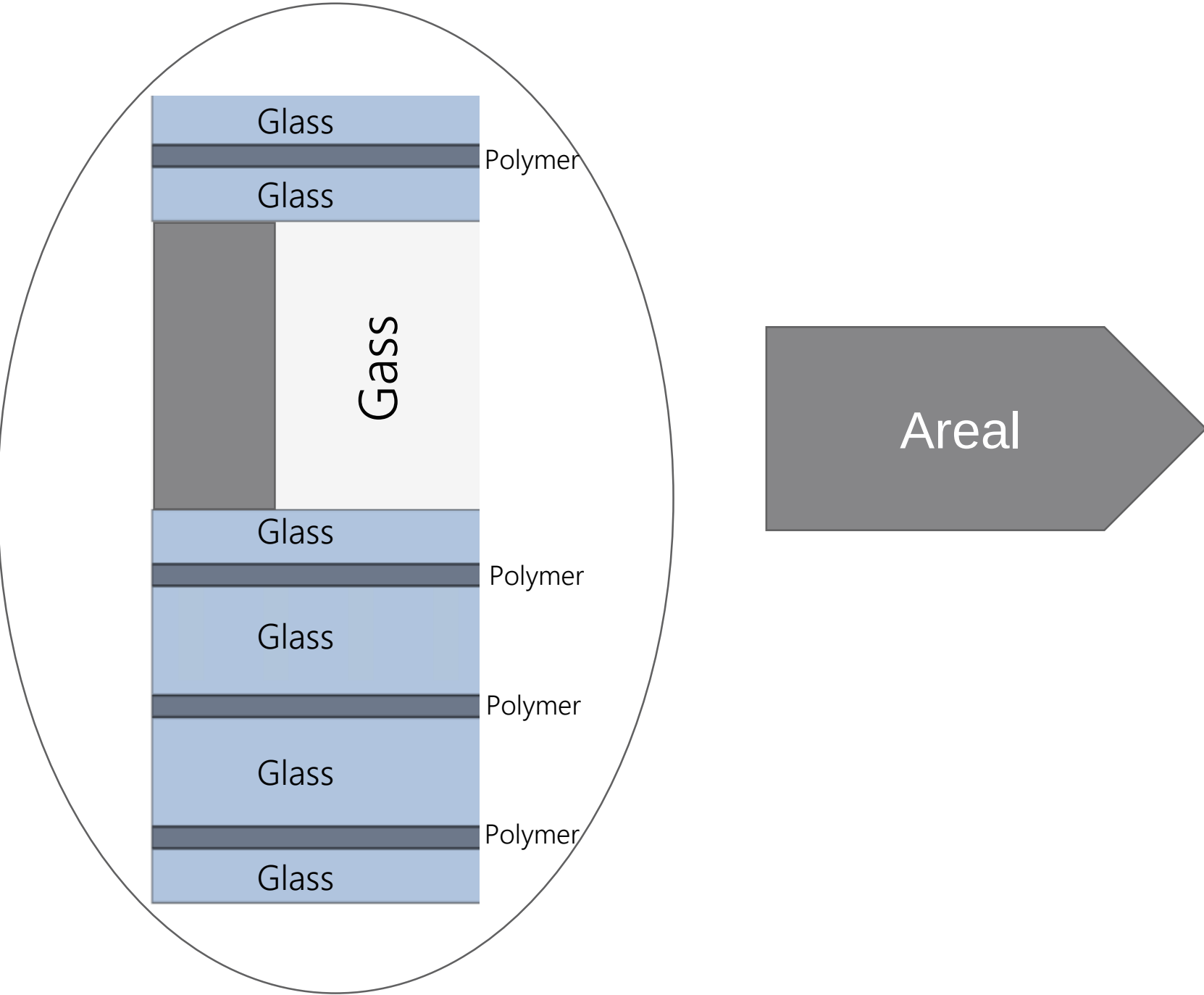
- Elementmetode – Impetus Afea

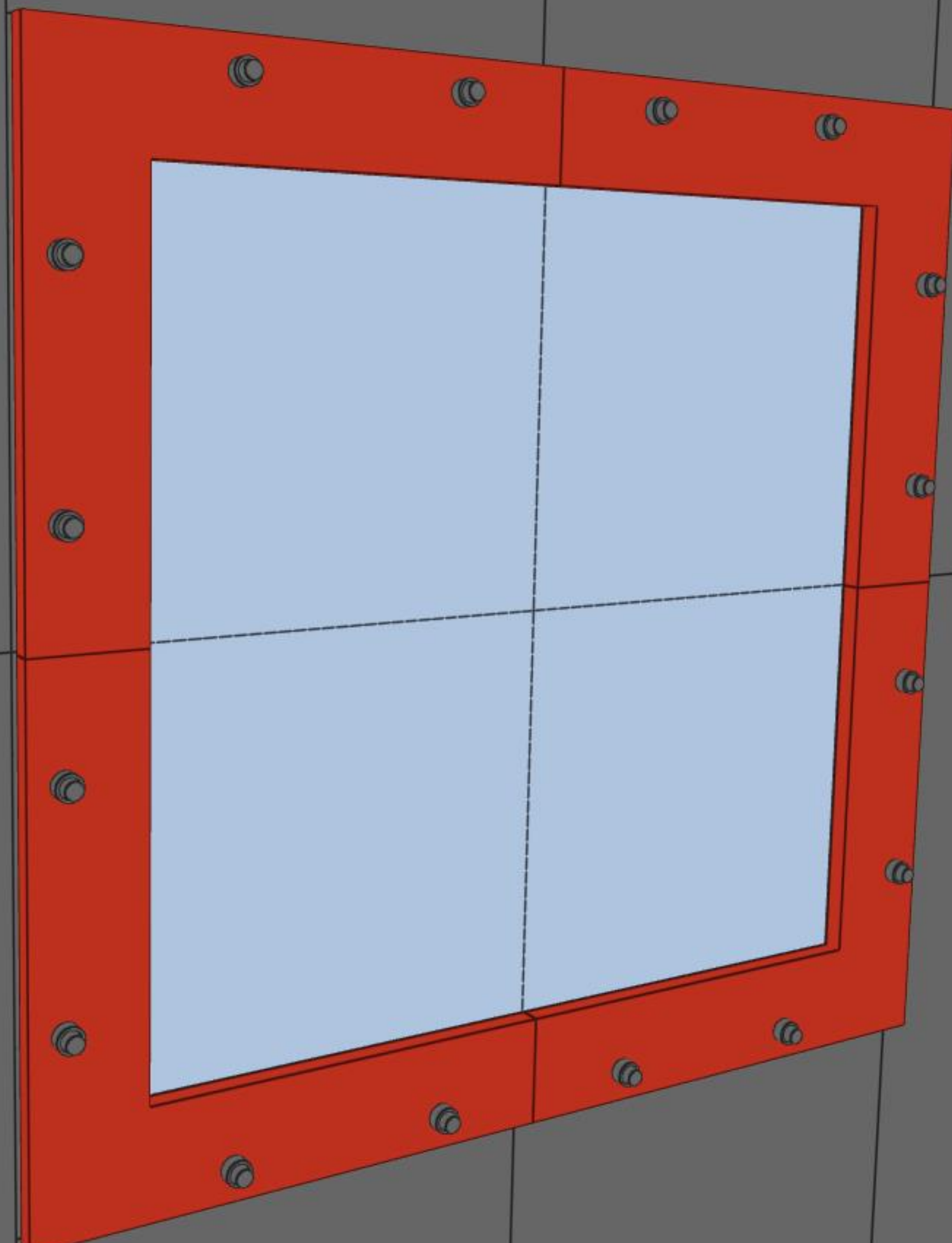
- Modellerer hele vinduet og kan inkludere ramme og innfestingsmetoder.
- Lang beregningstid, men høy nøyaktighet



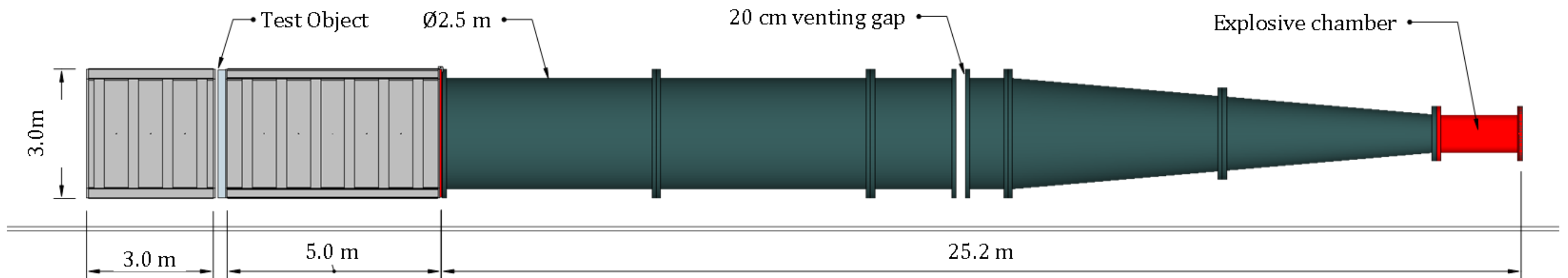


Ønske: PI-diagram – “Trussel diagram” for vinduet





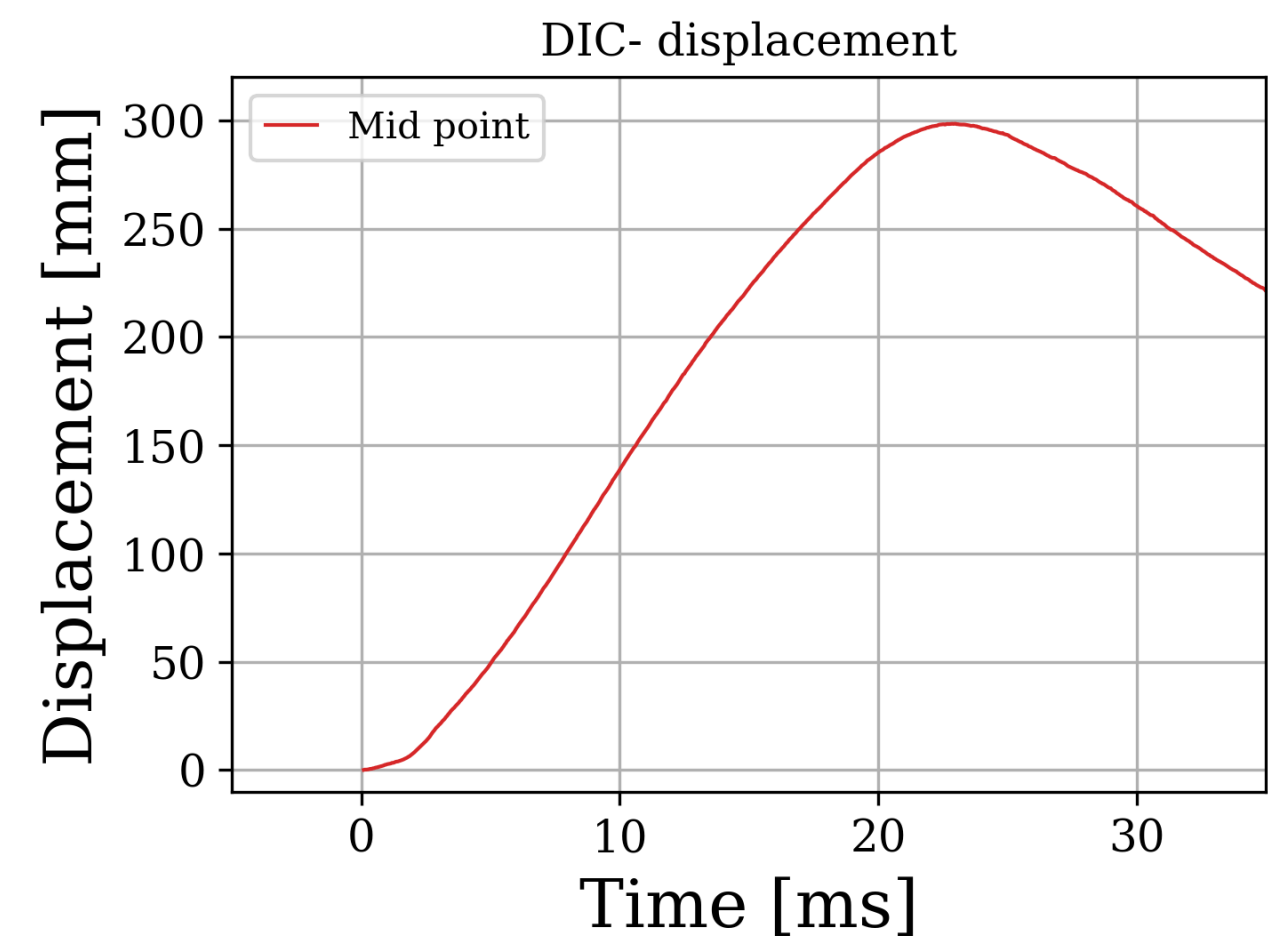
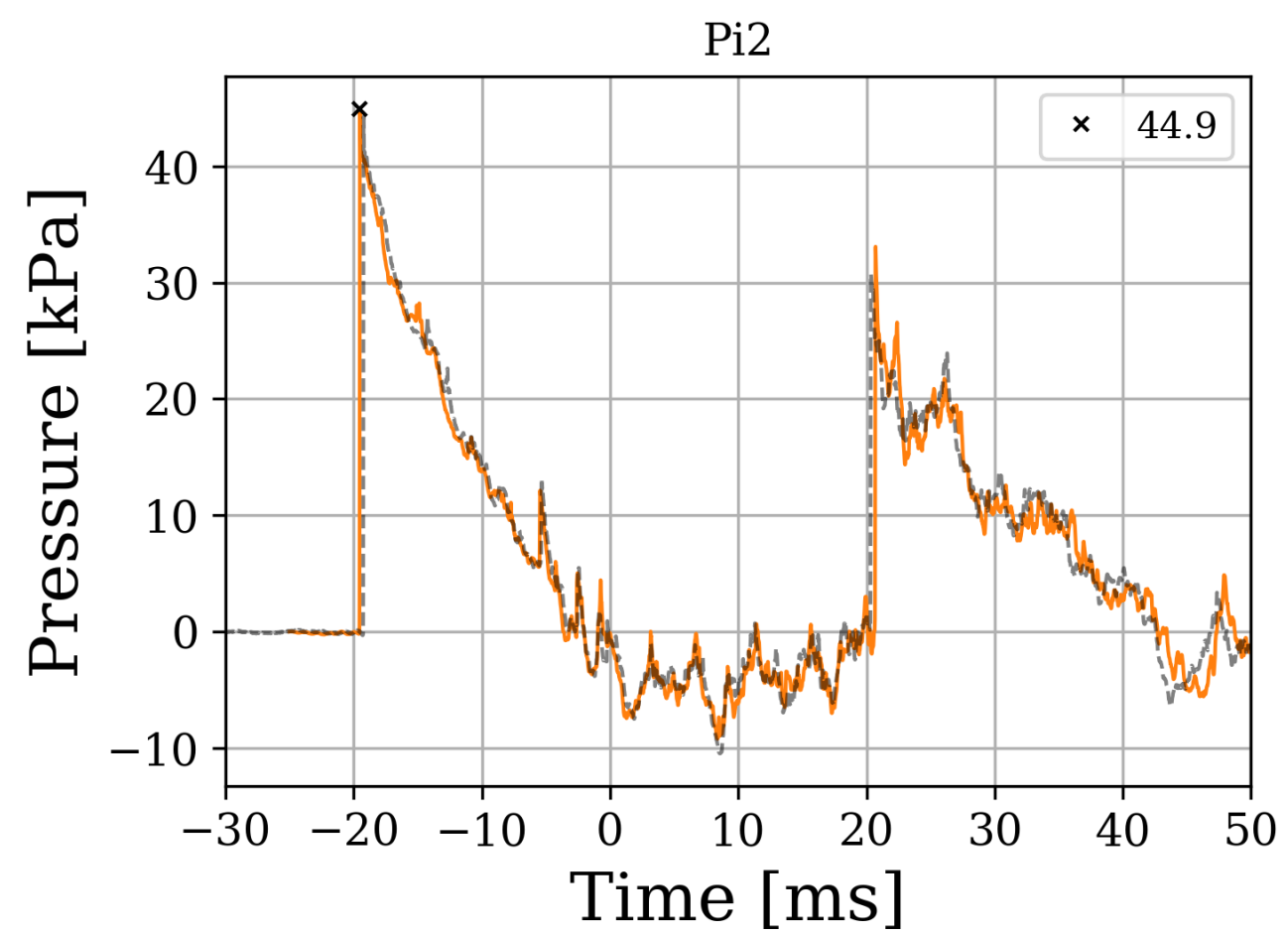
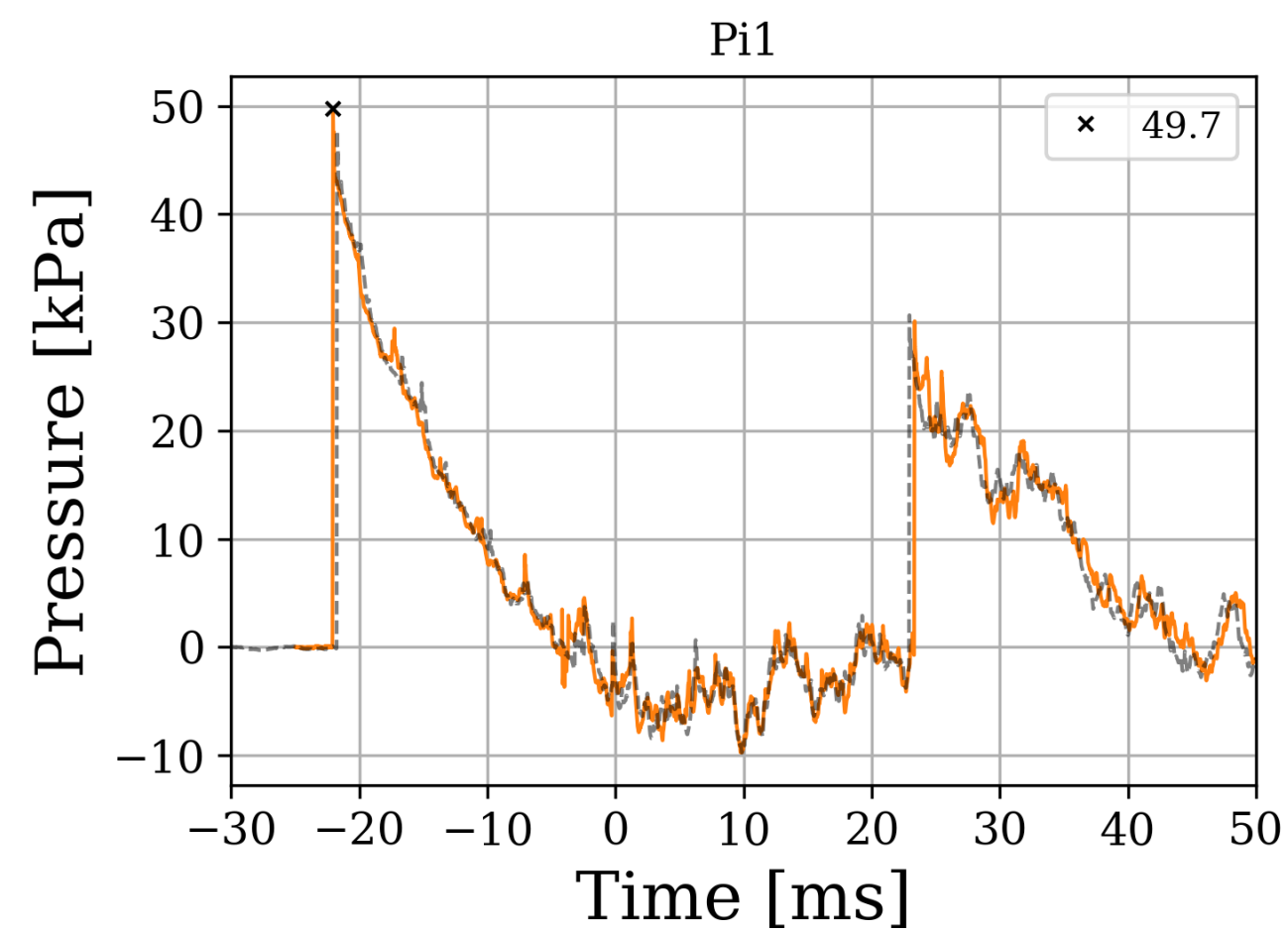
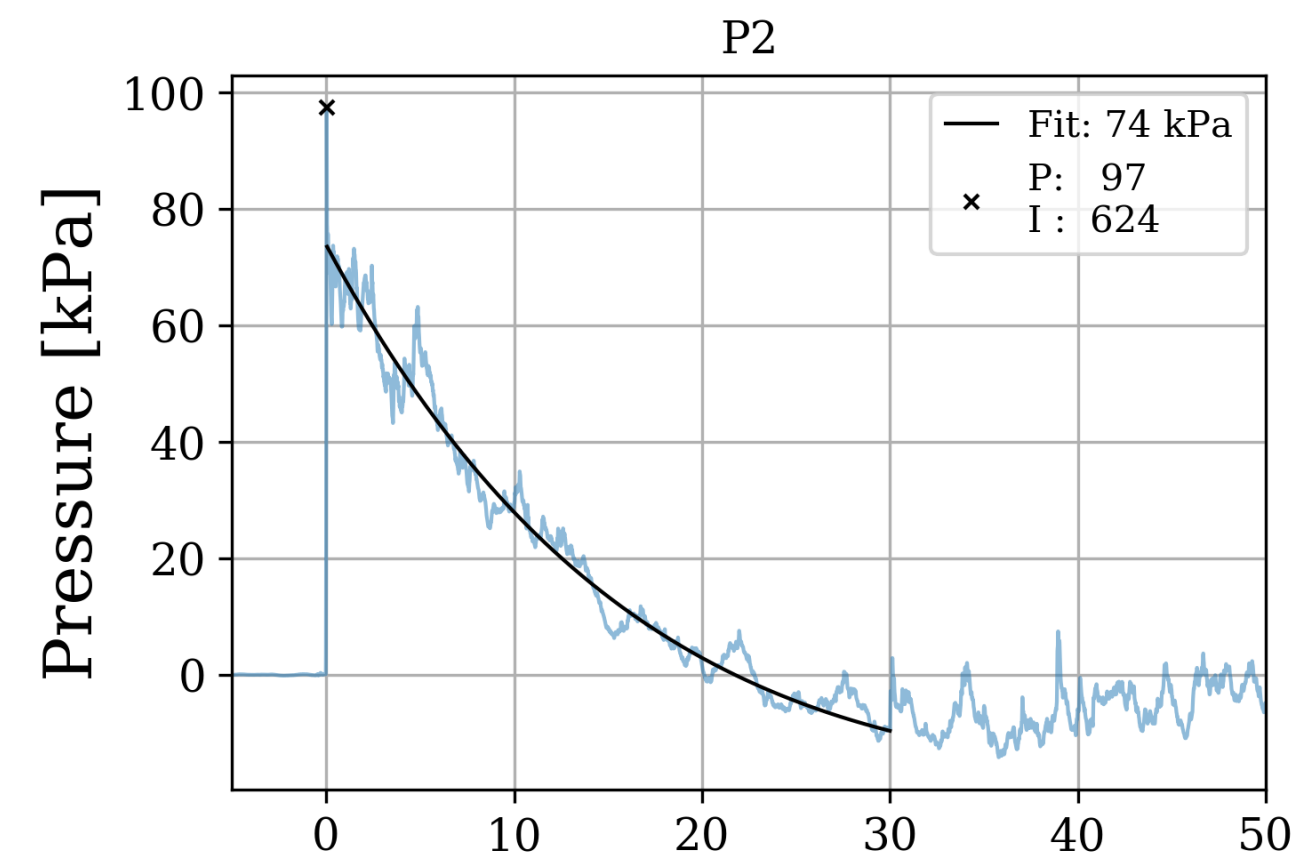
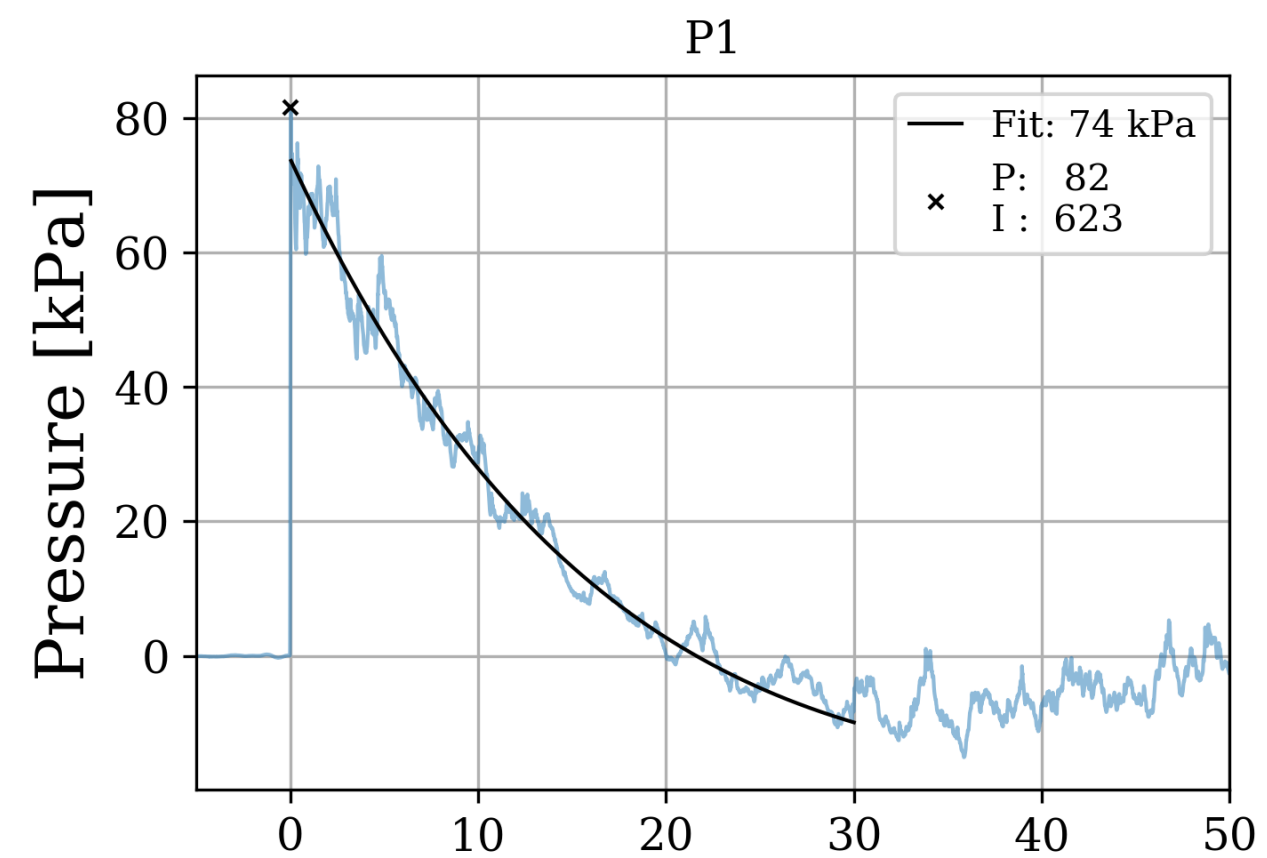
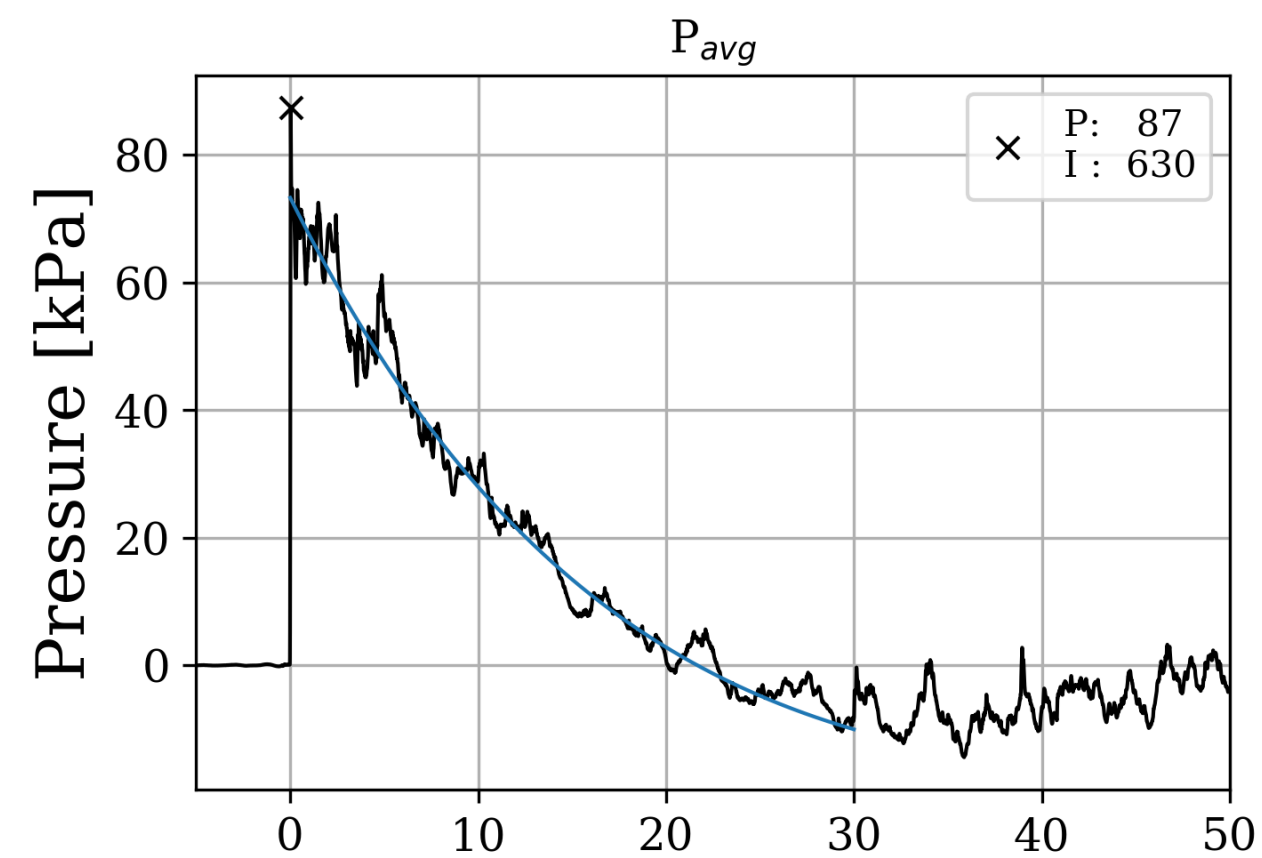
Forsøk i HEBsim: High explosive blast simulator

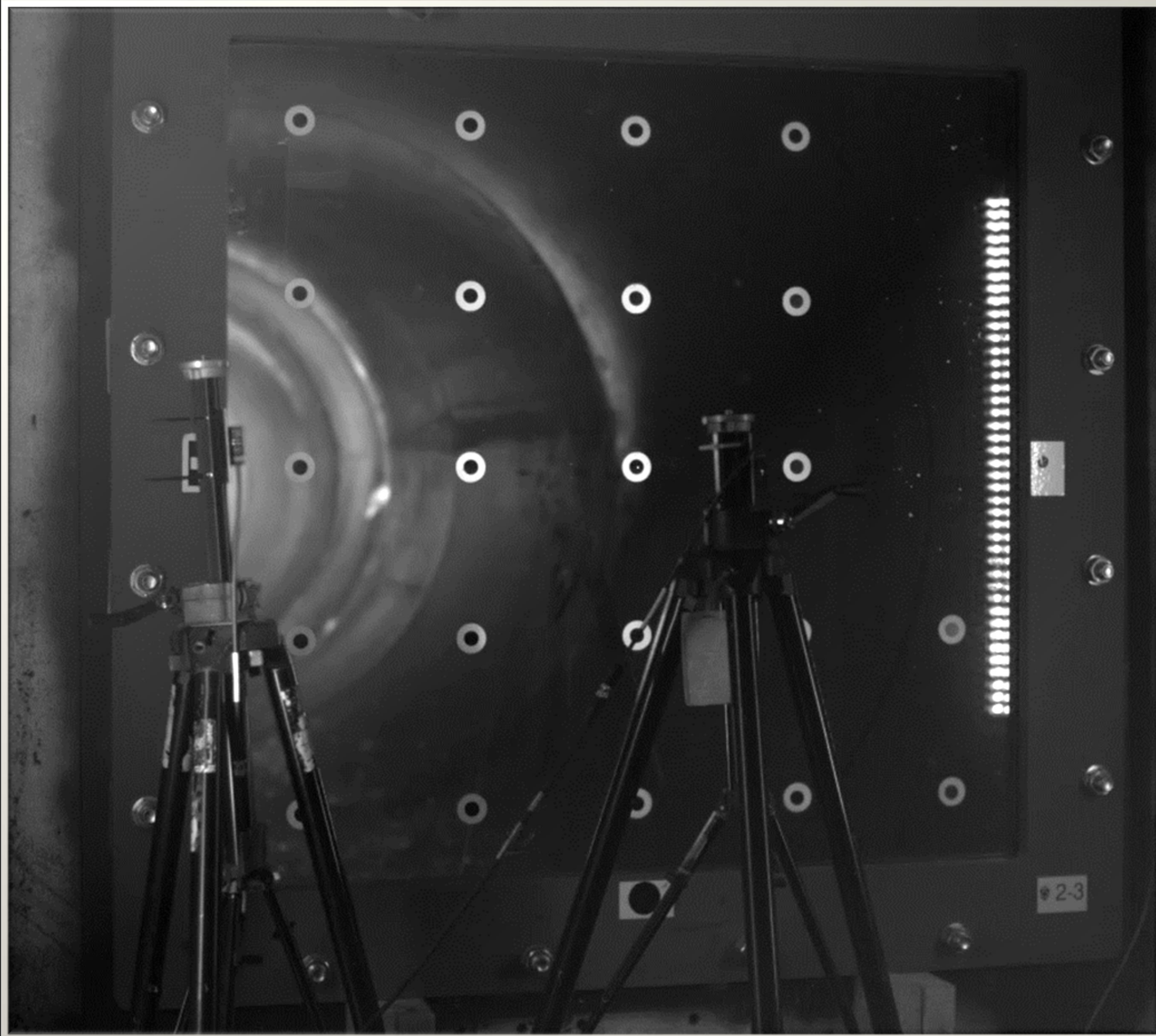


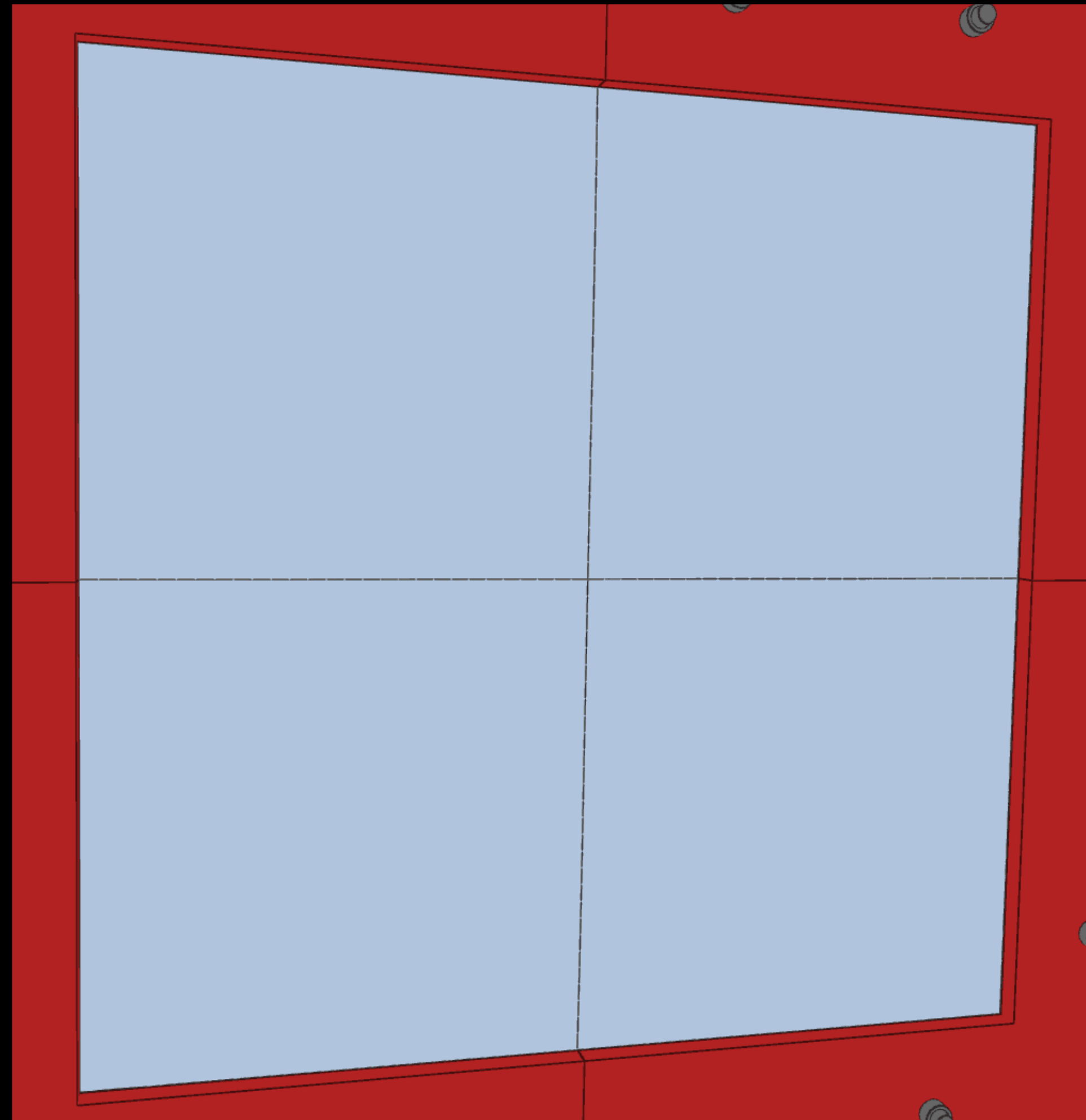
Forsøk i HEBsim

- Kontrollerte omgivelser
 - Ca 2500 ganger forsterkning
 - Avanserte målemetoder
- Høyere skuddtakt til lavere kostnad
- Fanger ikke korrekt negativ fase



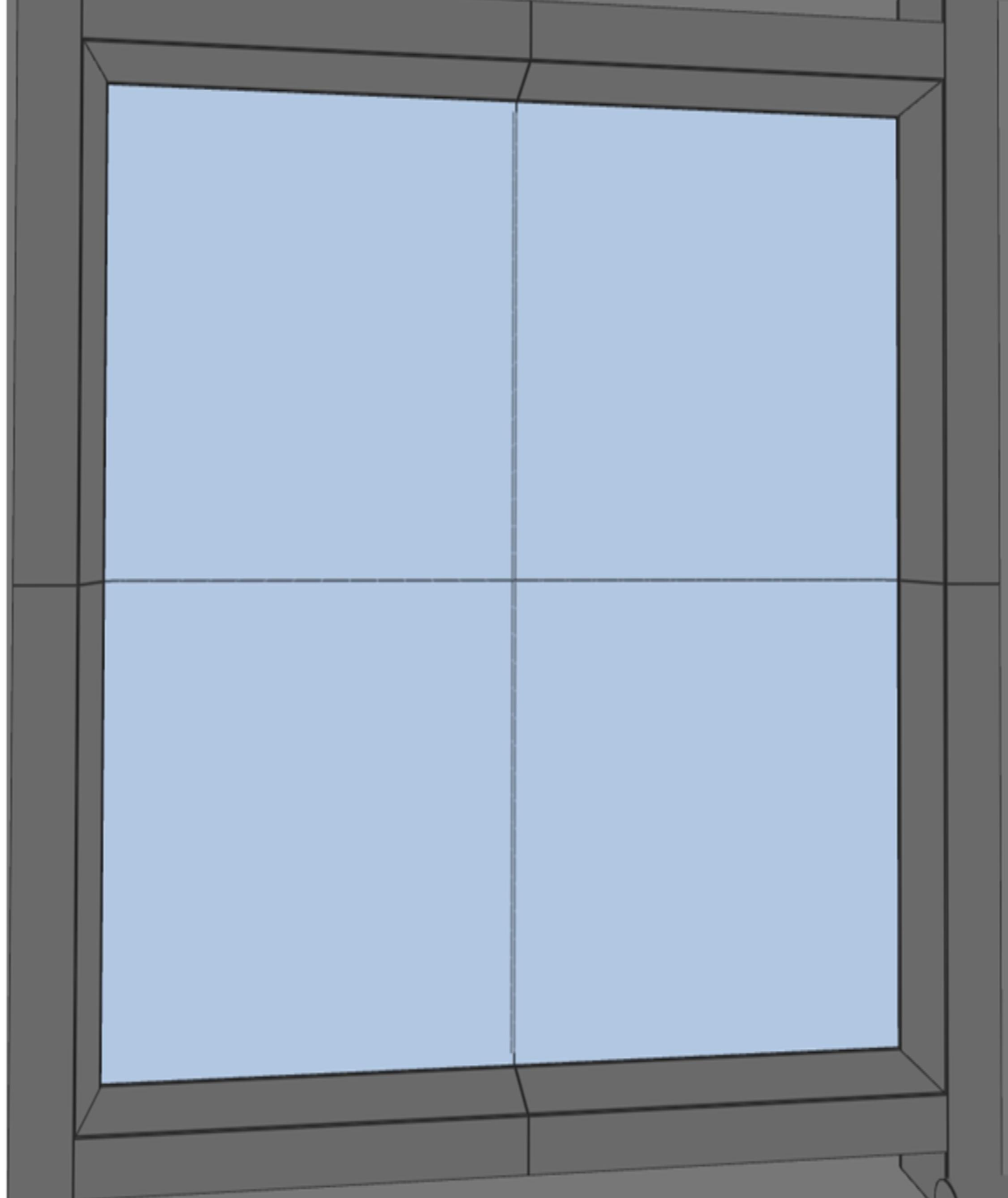






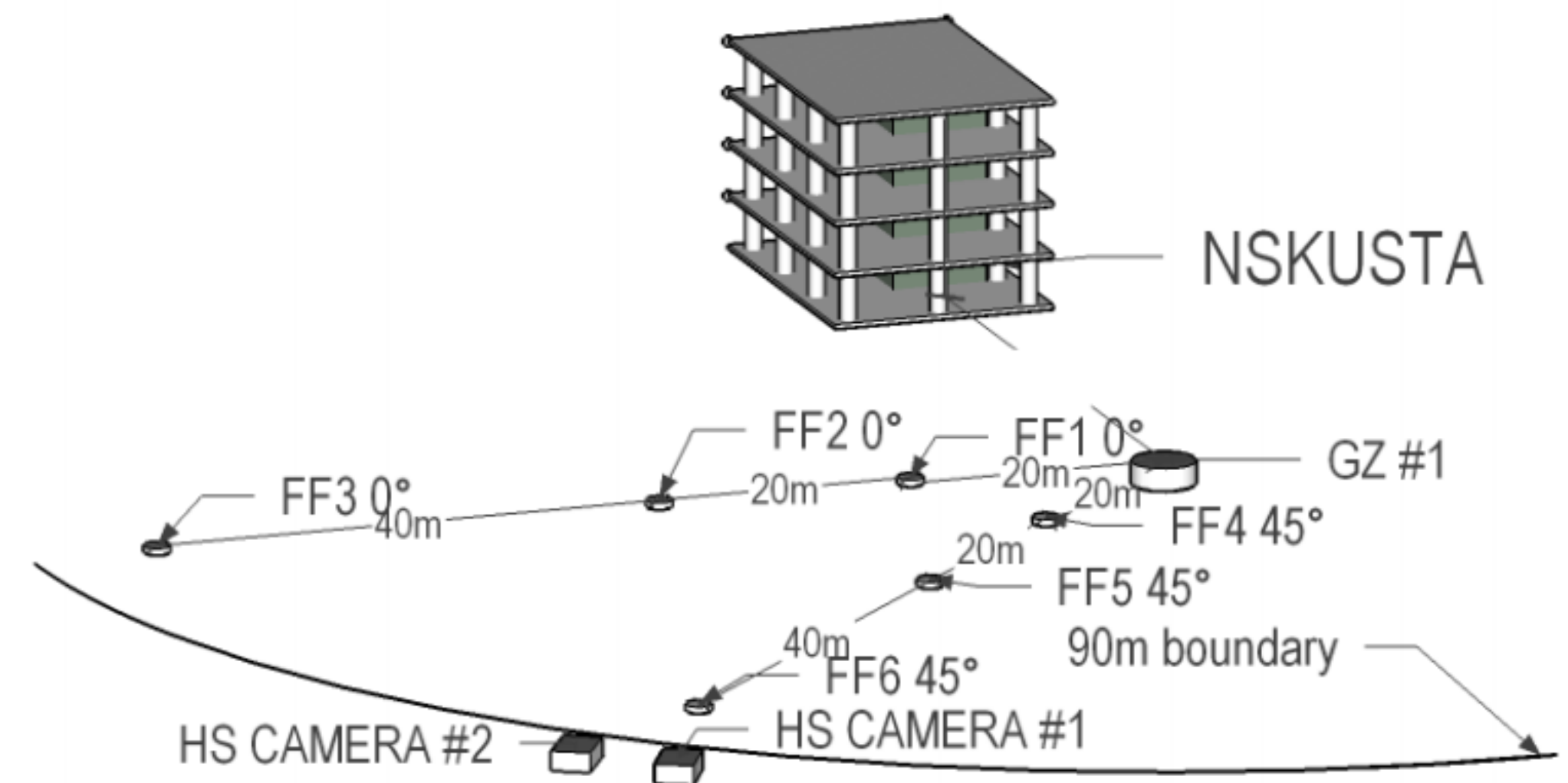


FORSVARSBYGG



Fullskala forsøk - skytefelt

- Større ladninger
- Få med alle aspekter
- Ressurskrevende

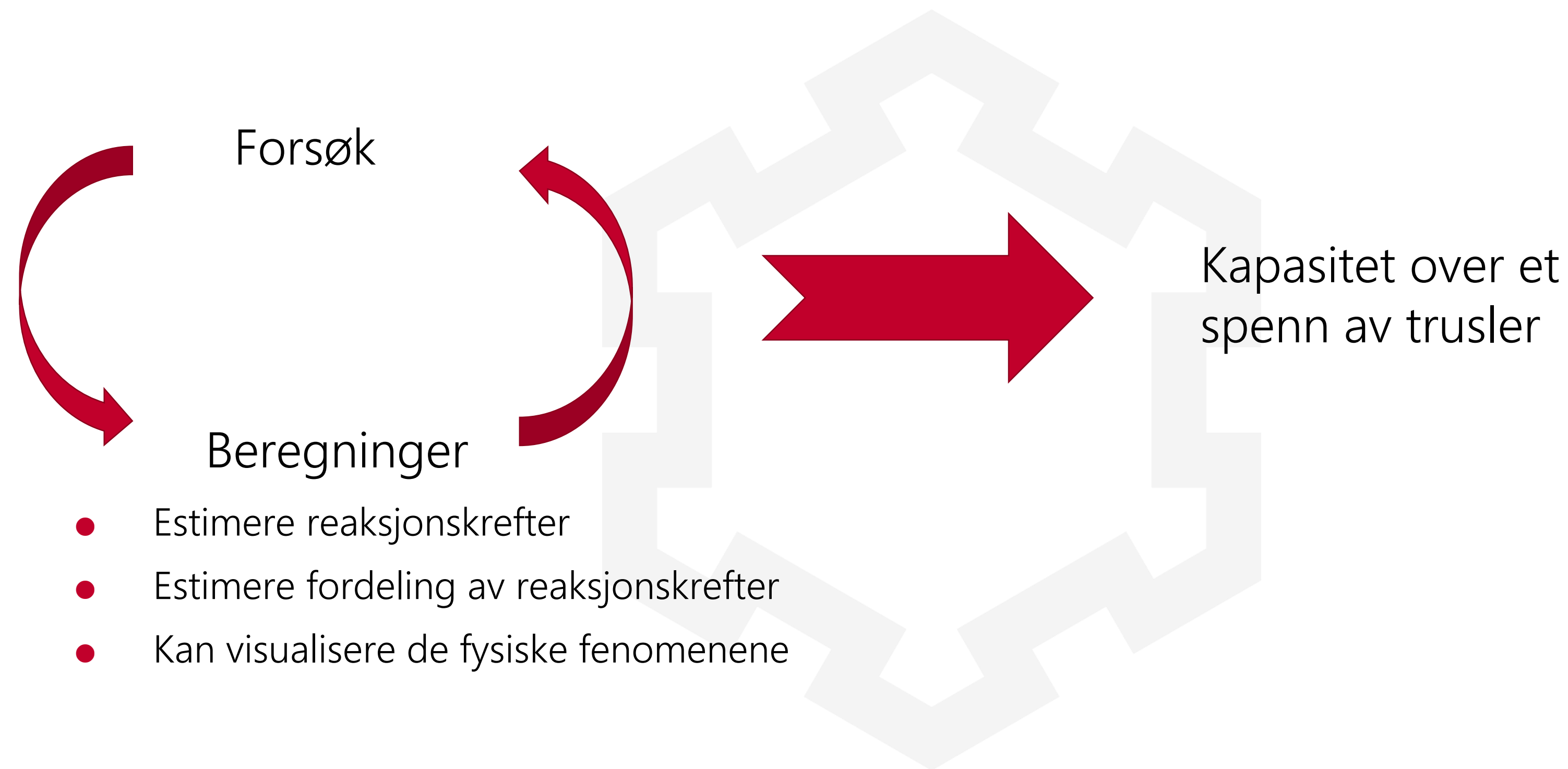




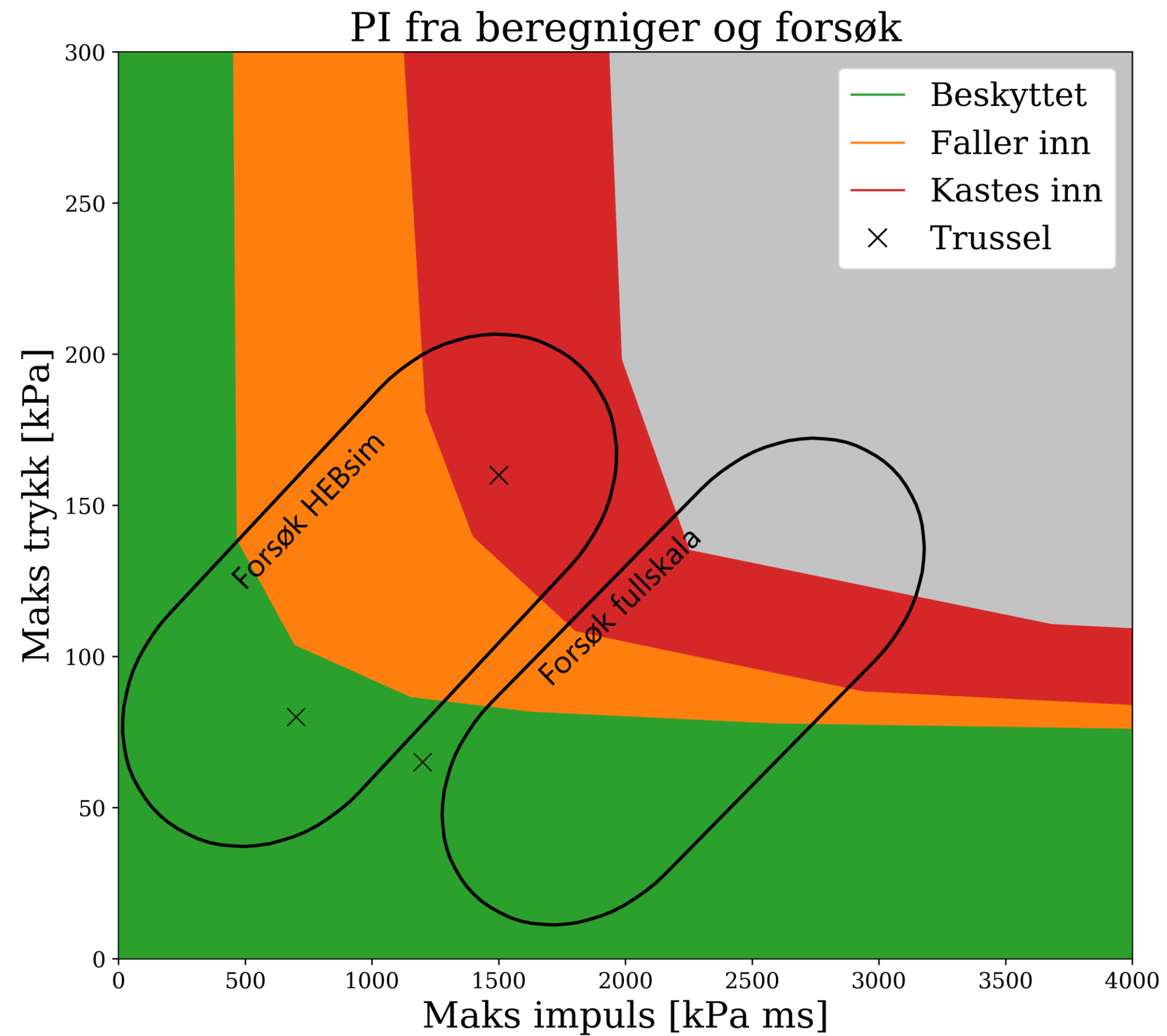
FORSVARSBYGG



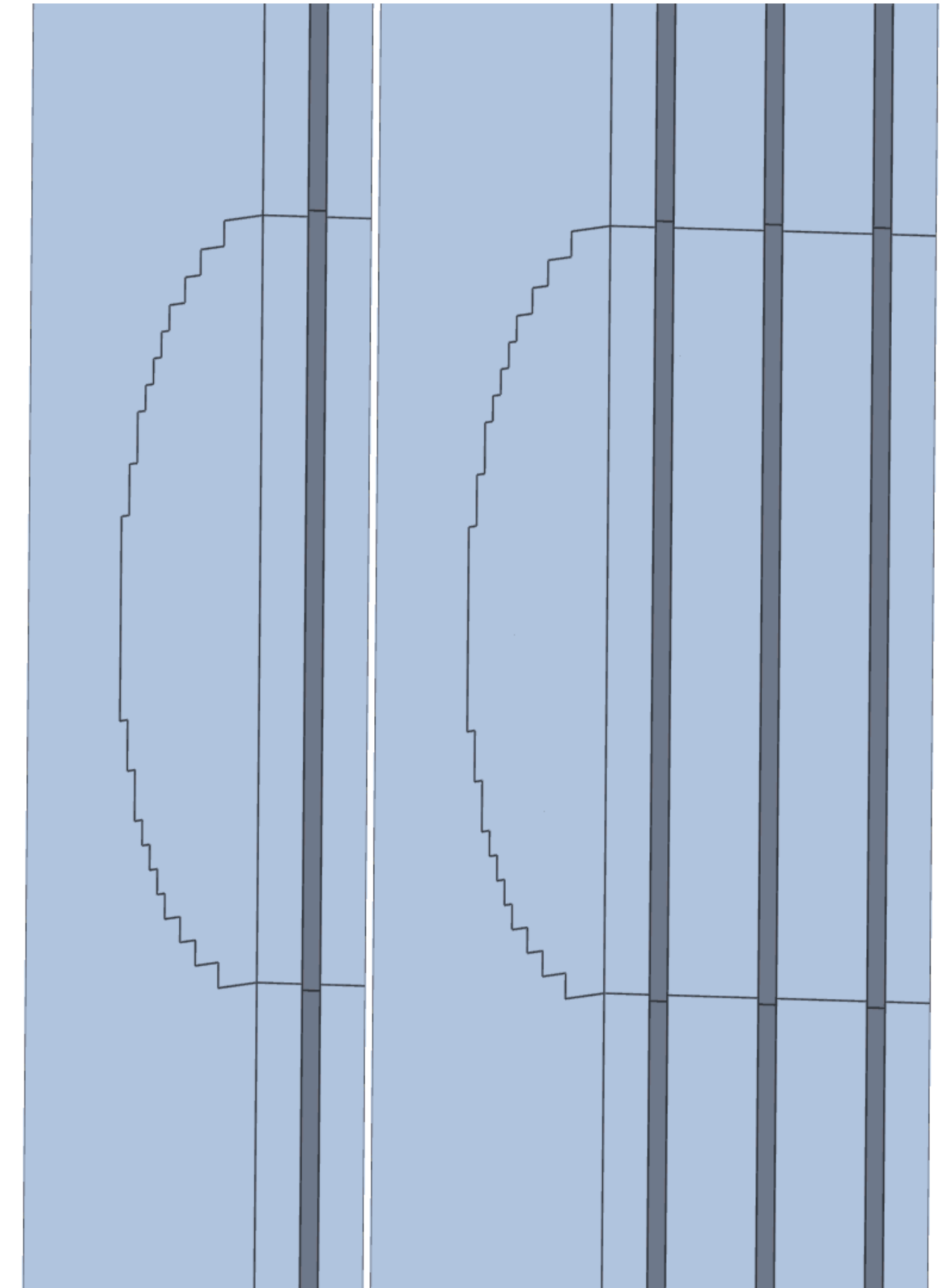
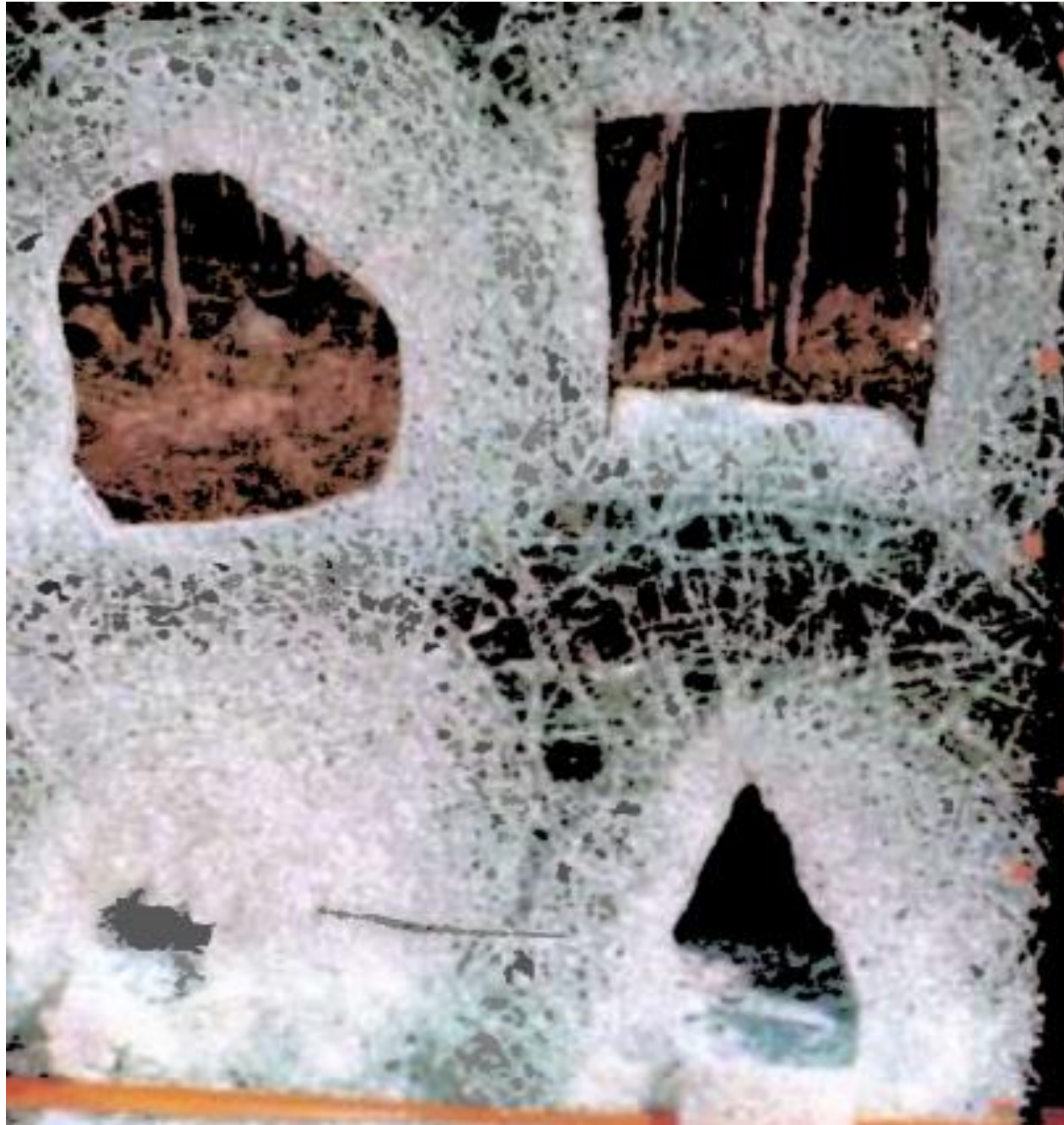
Mål: Utvikle vinduer for en vilkårlig eksplosjonslast



Resultat: Full oversikt over kapasiteten til vindussystemet



Til slutt: Innbruddsklasse og skuddmotstand



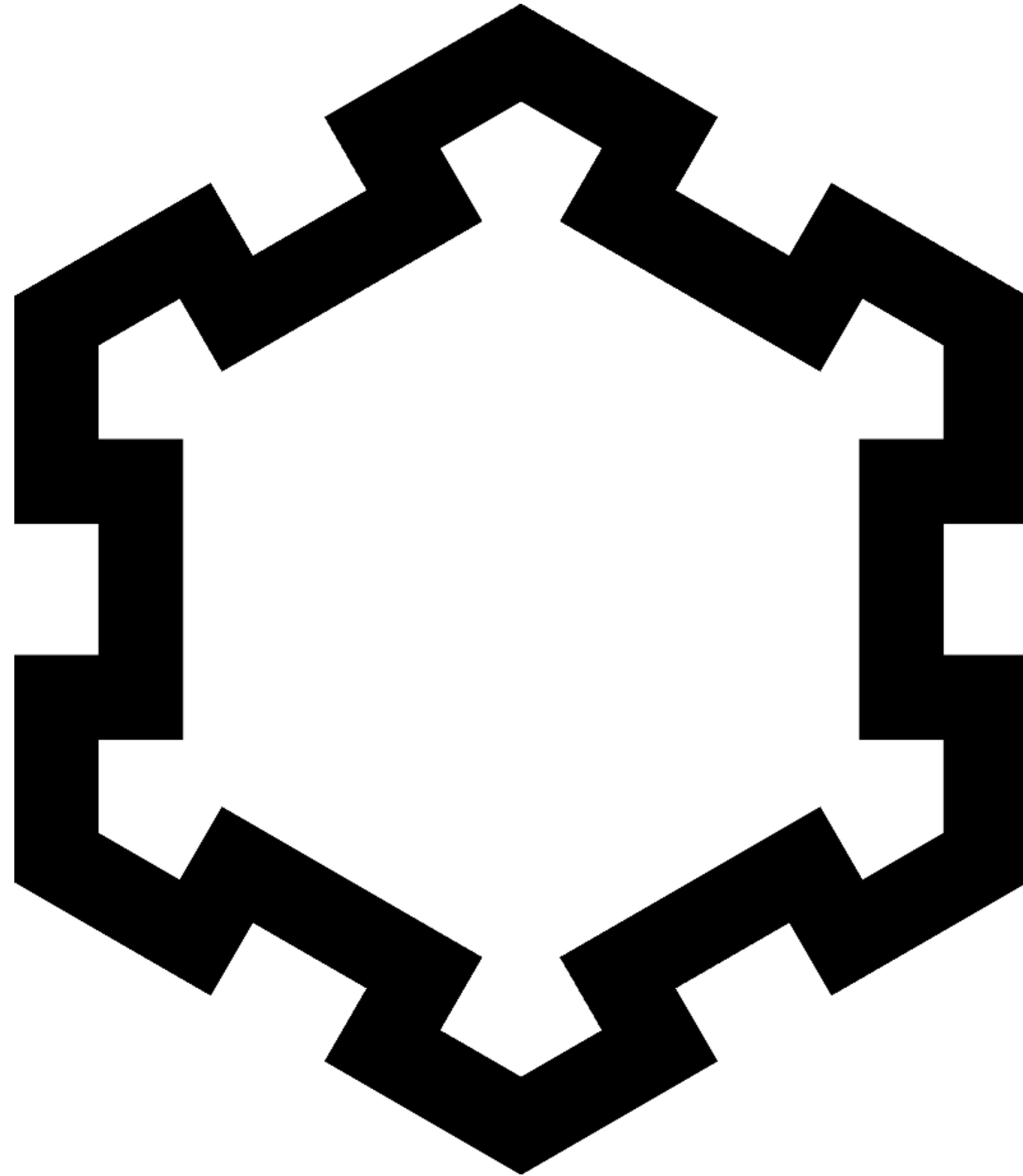
Kontakt

Forsvarsbygg

Postboks 405 Sentrum
0103 Oslo

+47 468 70 400
servicesenter@forsvarsbygg.no

Tormod Håøy Grye
96222146
Tormod.grue@Forsvarsbygg.no



Kilder:

- (Larcher, 2011) M. Larcher, G. Solomos, F. Casadei, and N. Gebbeken, "Experimental and numerical investigations of laminated glass subjected to blast loading", *International Journal of Impact Engineering* 39, 2011.
- (Forsvarsbygg, 2018) Forsvarsbygg, "Sikringshåndboka", Digital versjon, 2018
- (GSA, 2008) WINGARD Professional edition V5.5.1, Applied Research Associates Inc, United States General Service Administration, 2008
- Foto: Team Urbis Team Urbis, Bilde A-blokken: Nytt Regjeringskvartal, <https://www.statsbygg.no/prosjekter-og-eiendommer/nytt-regjeringskvartal>, lastet ned 02.11.2020