

MEMO 755
BWC 40 U Modal analyser

Dato: 03.01.2020
Siste rev.: 20.12.2021
Dok. nr.: 2001032A

Sign.: OEH
Sign.: OEH
Kontr.: O.O

MODAL-analyse (Egenfrekvens-analyse)

INNHOOLD

MODAL-analyse (Egenfrekvens-analyse).....	1
1.1 STATISK	2
1.2 DYNAMISK	2
1.3 MODAL.....	2
1.4 Sykliske belastninger på mekaniske systemer.....	2
1.5 Når inntreffer dette?	3
1.6 Det er nettopp dette en Modal-analyse kan gjøre for oss.	3
1.7 Eksempler på modal-analyse av balkong	4
1.8 De forskjellige MODUSFORMENE.....	8
1.9 Utdrag fra Betongelementforeningens «Svingninger av betongelementer»:.....	10
1.9.1 Problemstilling.....	10
1.9.2 Kriterier for vurdering av svingninger	11
1.9.3 Laster fra menneskelige aktiviteter	12
REVISJON	13



1.1 STATISK

Statisk analyse betyr at vi legger til grunn at systemet vi simulerer ikke er avhengig av tid. Uansett hvilken tidsperiode vi observerer systemet i, vil det alltid være det samme.

Dette innebærer selvfølgelig at belastningene og avgrensingsforholdene heller ikke er avhengig av tid. Reelt sett er dette en hypotese, fordi hver belastning må bruke en tid som starter fra $t = 0$ sek.

For å ta dette i betraktning i statiske analyser, sier vi bare at lasten blir påført «sakte og trinnløst», og det er derfor ingen diskontinuitet under lastpåføringen. Så vi kan bare gjøre statisk analyse i visse tilfeller der vi effektivt kan gjøre en antagelse om at modellen kan betraktes som statisk.

1.2 DYNAMISK

Dynamiske analyser er da det motsatte. Her må man ta hensyn til akselerasjon, og det kan påføres forskjellige laster over tid, både enkelt-laster og sykliske laster.

Og det er en variant av denne typen analyse som heter MODAL.

1.3 MODAL

MODAL analyser finner objektets, eller objektenes, egensvingetall (også kalt naturlig frekvens, egenfrekvens, resonans eller modusfrekvenser). Denne frekvensen angis i Hz (svingninger pr sekund).

Alle objekter har et egensvingetall som kommer frem når en ekstern påvirkning med samme frekvens treffer objektet, eller det blir utsatt for en ytre påvirkning. Når du for eksempel strammer og slipper en gitarstreng, vil den vibrere med sin egenfrekvens.

1.4 Sykliske belastninger på mekaniske systemer

For å forklare ting enkelt, kan du si at responsen til et system på en dynamisk belastning kan være som følger:

- Responsens intensitet kan konvergere (flate ut)
- Systemet kan svinge
- Systemets intensitet kan avvike (forsterkes)

I alle tilfeller ønsker vi å unngå den tredje typen respons, fordi det betyr at systemet går i stykker.

Tenk på et barn på en huske.

Svingningen er det mekaniske systemet, og ungen gir en tvungen eksitasjonsinngang (påtvunget bevegelse). Hvis barnets eksitasjonsbelastning (bevegelse) har en frekvens som blir nær huskens naturlige frekvens, pendler husken opp og opp og svingningene øker.

Dette fenomenet kalles «resonans».

Det samme kan skje for ethvert mekanisk system som svinger eller vibrerer.

Resonans kan være farlig, og de aller fleste har vel hørt om at broer har gått i stykker fordi vindens frekvens stemte overens med broens naturlige frekvens.

Videolink til «Tacoma Narrows Bridge Collapse»:

https://www.youtube.com/watch?v=IXyG68_caV4

1.5 Når inntreffer dette?

Dette skjer når systemet går inn i «resonans» med frekvensen av den påførte belastningen.

Som betyr at:

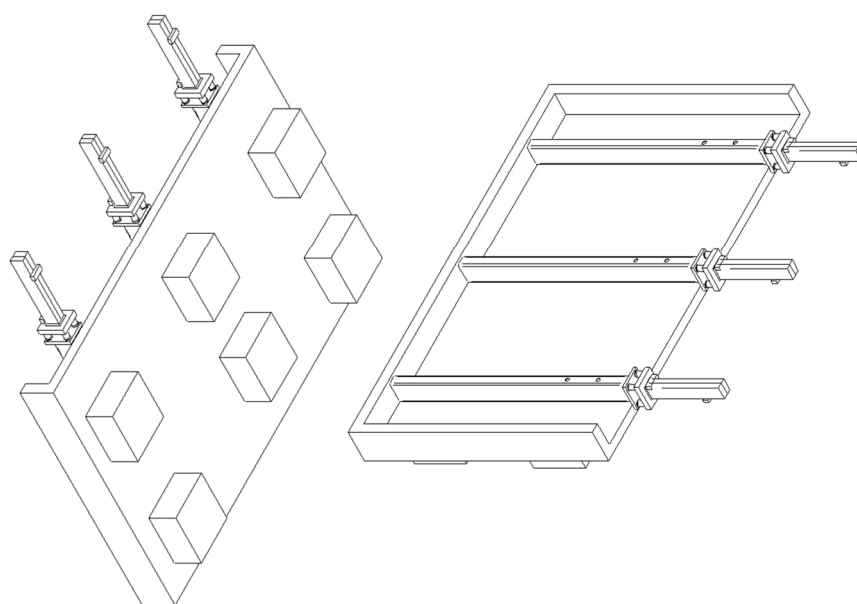
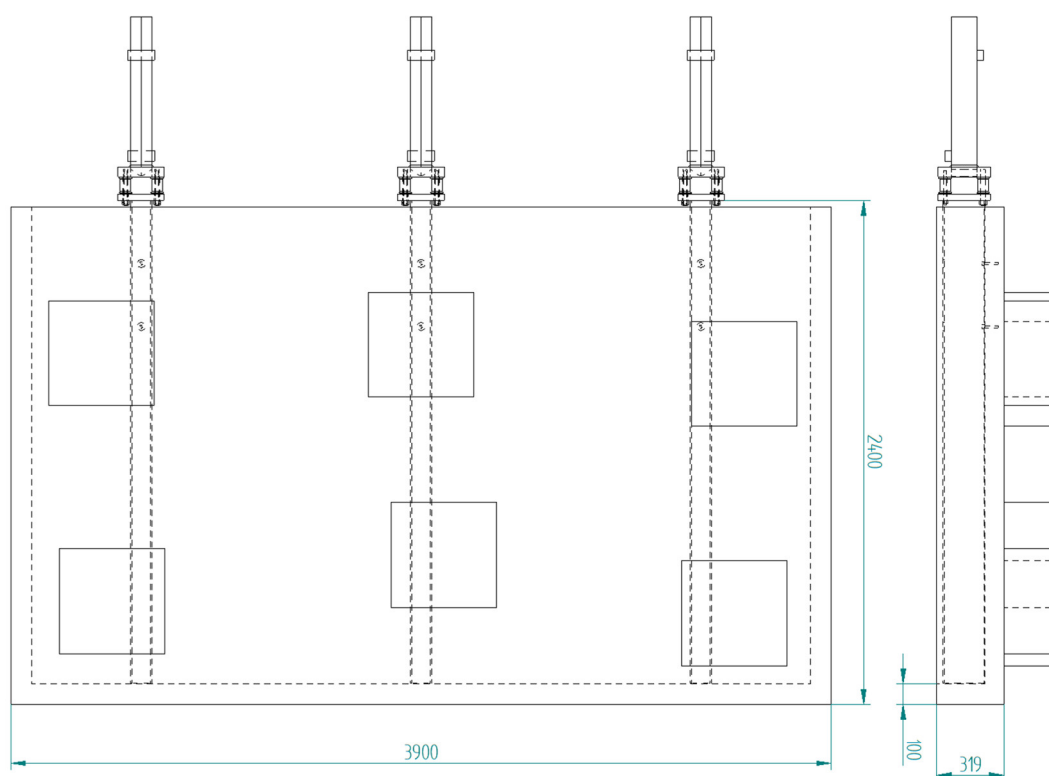
Frekvensen for påført belastningen er lik resonans-frekvensen til systemet.

Det er derfor helt avgjørende å kunne beregne resonansfrekvensen til et system.

1.6 Det er nettopp dette en Modal-analyse kan gjøre for oss.

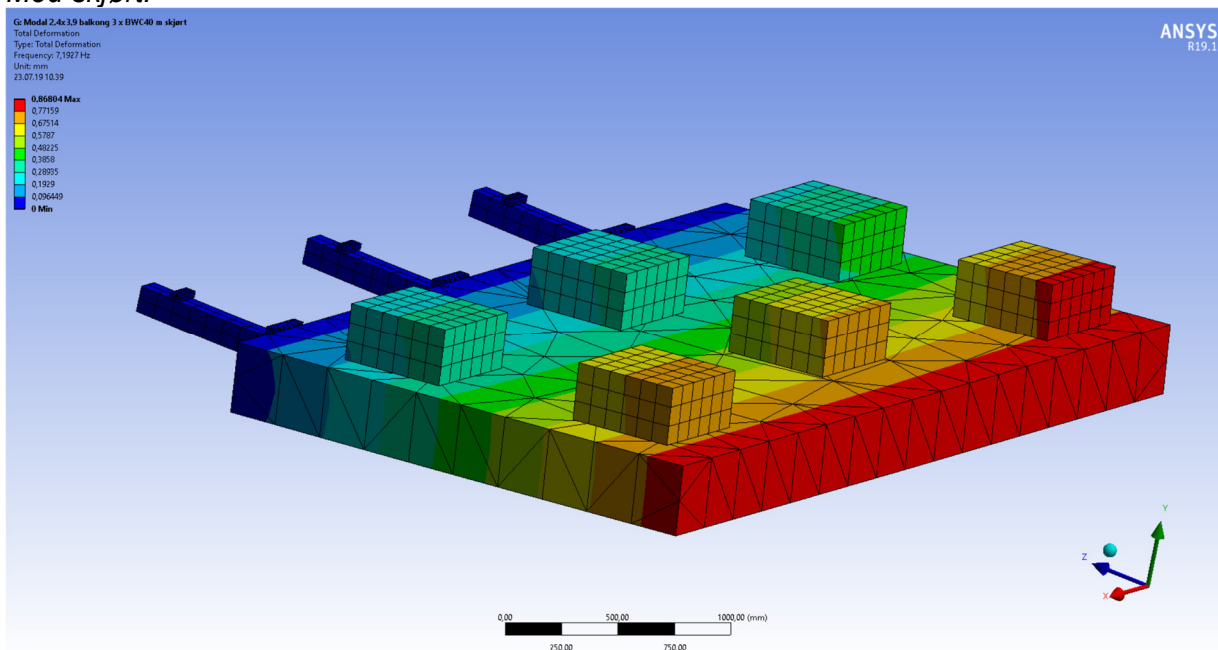
Målet med modal analyse i strukturell mekanikk er å bestemme de naturlige modusformene og frekvensene til et objekt eller en struktur under fri vibrasjon. Det er vanlig å bruke «Finite Element»-metoden (FEM) for å utføre denne typen analyser fordi, i likhet med andre beregninger som bruker FEM, kan objektet som analyseres ha vilkårlig form og resultatene av beregningene blir akseptable. En slik analyse vil typiske kunne frembringe de 6 første naturlige svingningene for et system, og starter med laveste frekvens som blir kalt Mode 1. De påfølgende høyere frekvenser vil hete Mode 2, Mode 3 osv. Den mest interessante modusen vil som oftest være Mode 1. Det er denne vi må passe på at ikke blir for lav.

1.7 Eksempler på modal-analyse av balkong

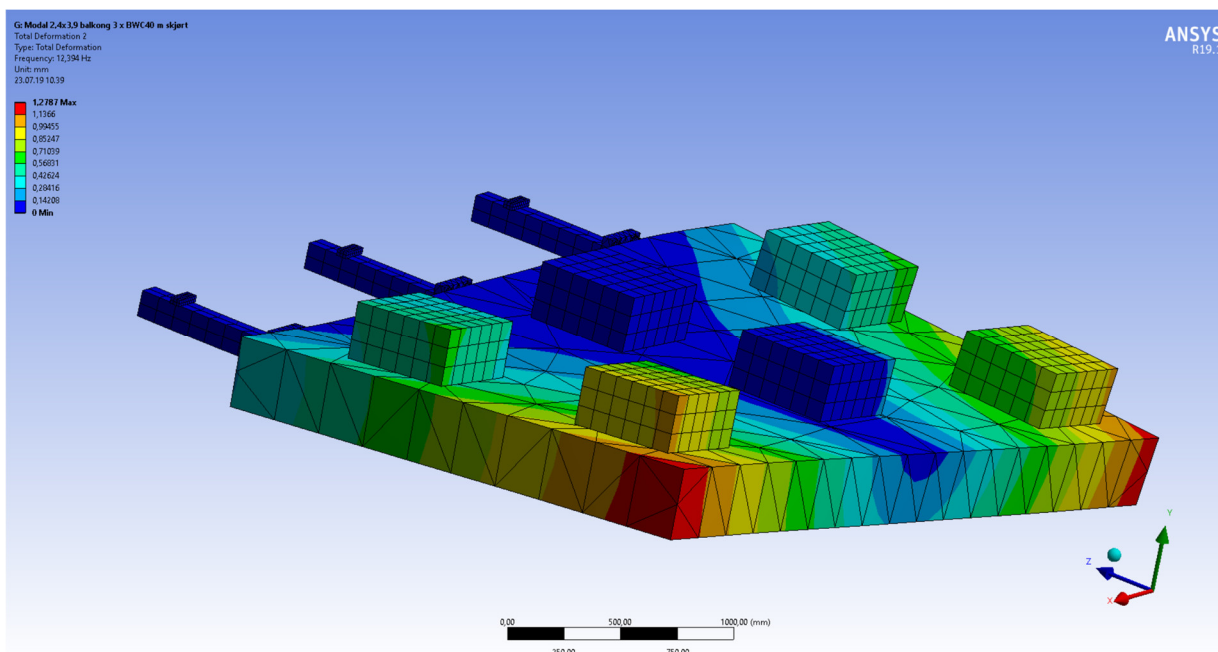


Nedenfor vises 2 varianter av balkonger. Med og uten skjørt. Det er plassert 6 stk klosser som representerer massen til nyttelasten. De blå områdene er i ro, mens de røde har størst bevegelse.

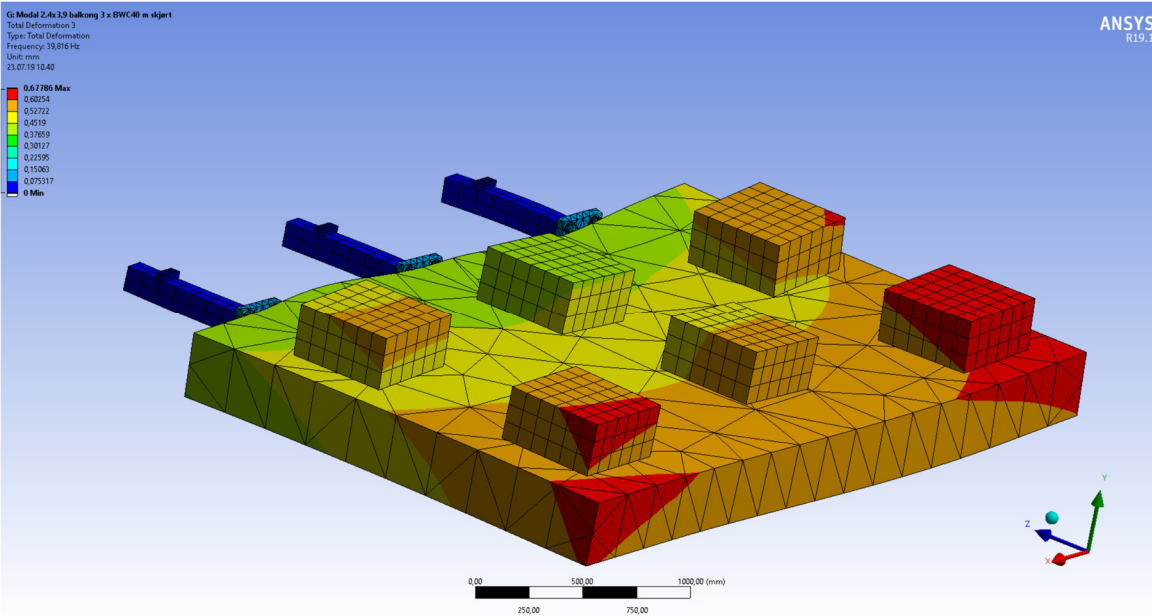
Med skjørt:



Figur 1. Mode 1, Egenfrekvens 7,2 Hz. Med skjørt.

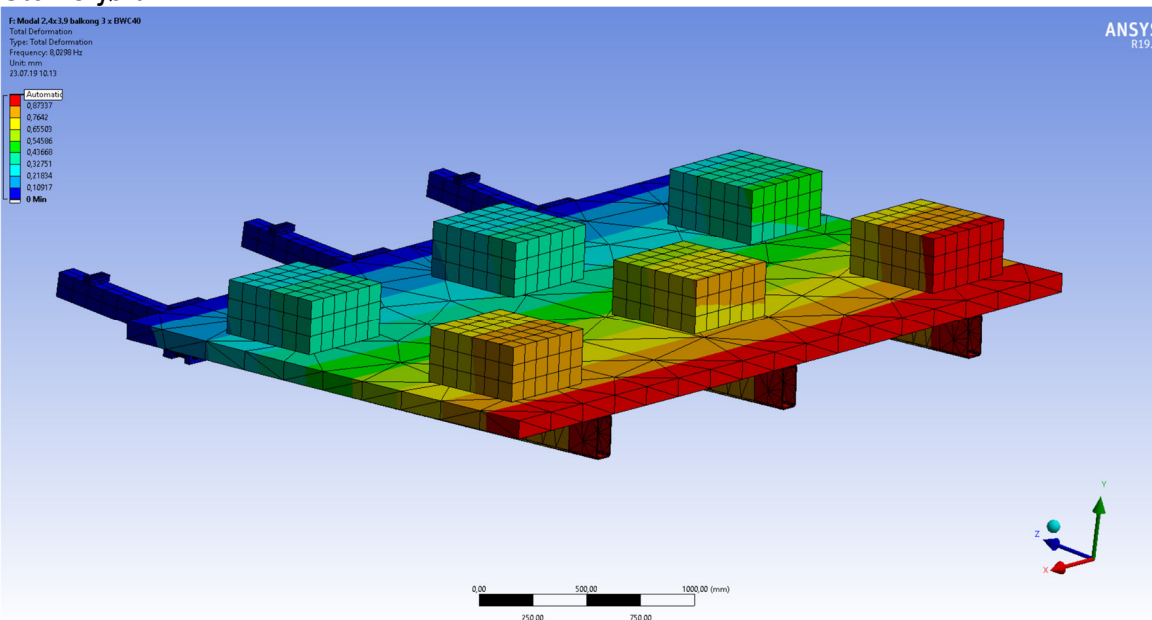


Figur 2. Mode 2, Egenfrekvens 12,4 Hz. Med skjørt.

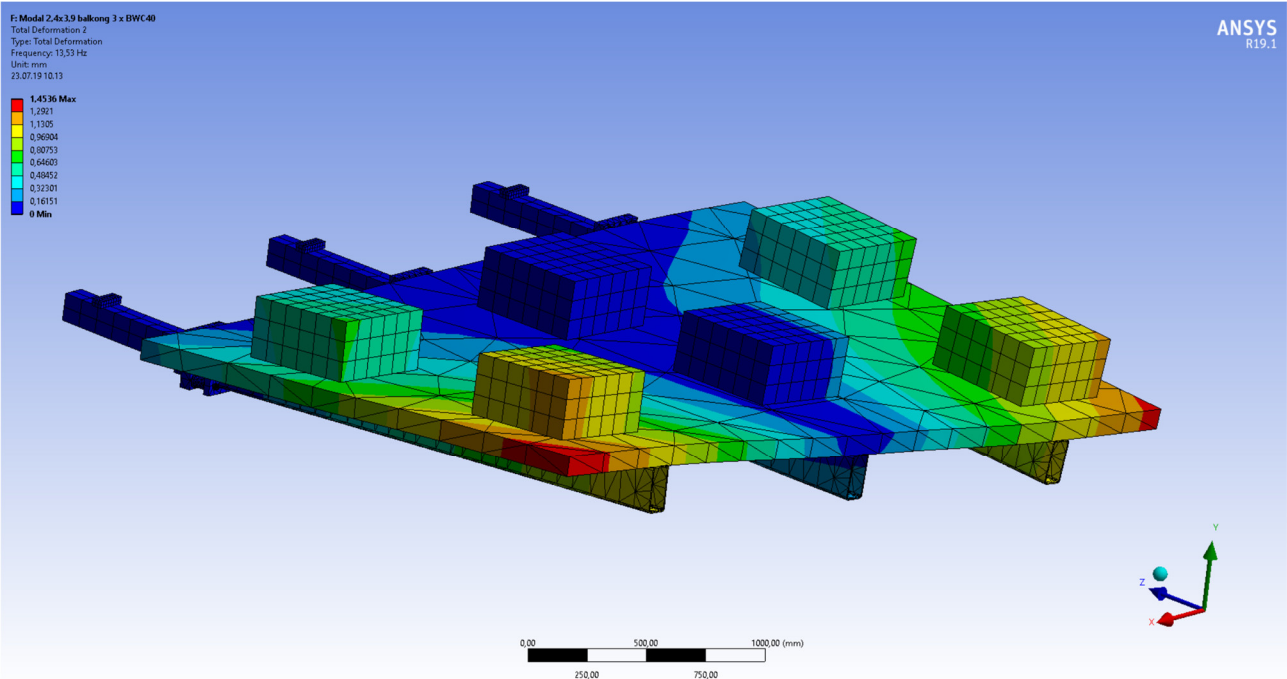


Figur 3. Mode 3, 39,8 Hz. Med skjørt.

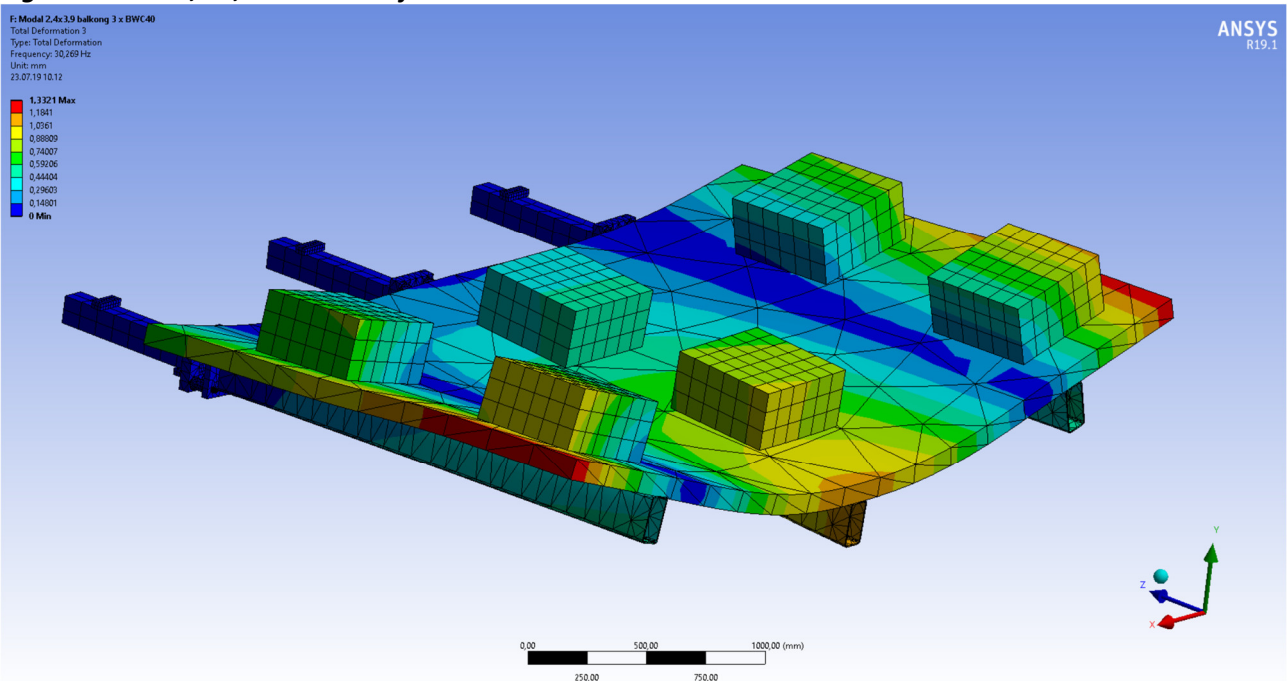
Uten skjørt:



Figur 4. Mode 1, 8,0 Hz. Uten skjørt.



Figur 5. Mode 2, 13,5 Hz. Uten skjørt.



Figur 6. Mode 3, 30,7 Hz. Uten skjørt.

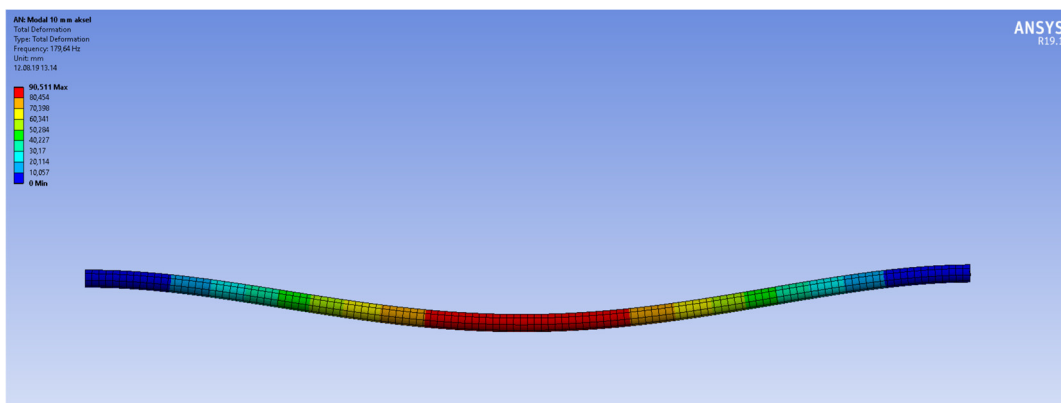
Det er altså svært viktig å finne systemenes egenfrekvens. Vi ser av disse 2 analysene, at den med mest masse (med skjørt) svinger med lavere frekvens enn den som ikke har skjørt (og dermed har mindre masse). Vi ser altså at egenvekt og nyttelast i stor grad bestemmer egensvingetallet. Jo lettere og stivere konstruksjonene er, jo høyere blir egenfrekvensen, og jo gunstigere er det med tanke på holde seg unna grenseverdiene (ref. tabell side 11).

I dette tilfellet forholder vi oss til grenseverdien på 5,2 Hz, som gjelder for «Gange med kontinuerlig gulvkontakt». Vi ser at begge eksemplene ovenfor tilfredsstillende dette kravet i Mode 1, som er laveste frekvens. De høyere frekvenser (Mode 2 og Mode 3) anses som mindre relevante i denne sammenhengen.

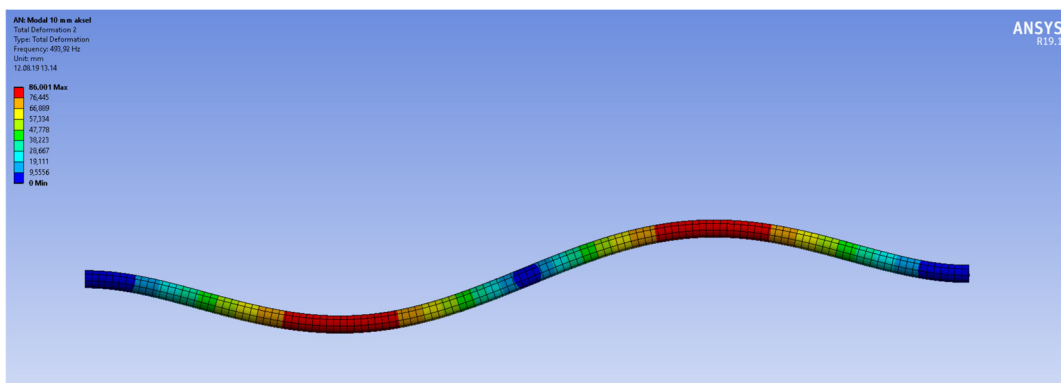
1.8 De forskjellige MODUSFORMENE

Hvis du spenner opp en 10 mm stållaksling (lengde 500 mm) i begge ender og lar den roterer med økende turtall, vil den starte å svinge slik illustrasjonene under viser. Dette er objektets modusformer. De blå områdene er i ro mens de røde områdene har størst utslag.

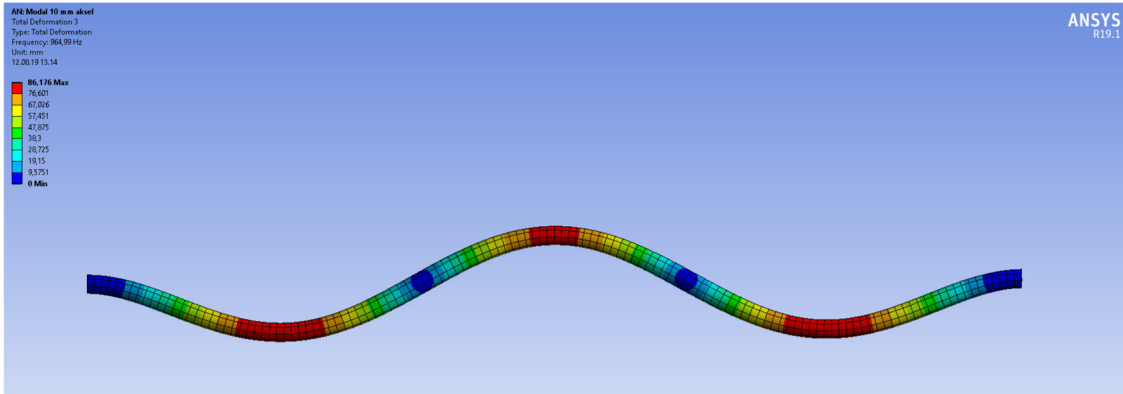
Første modusform opptrer ved 180 Hz



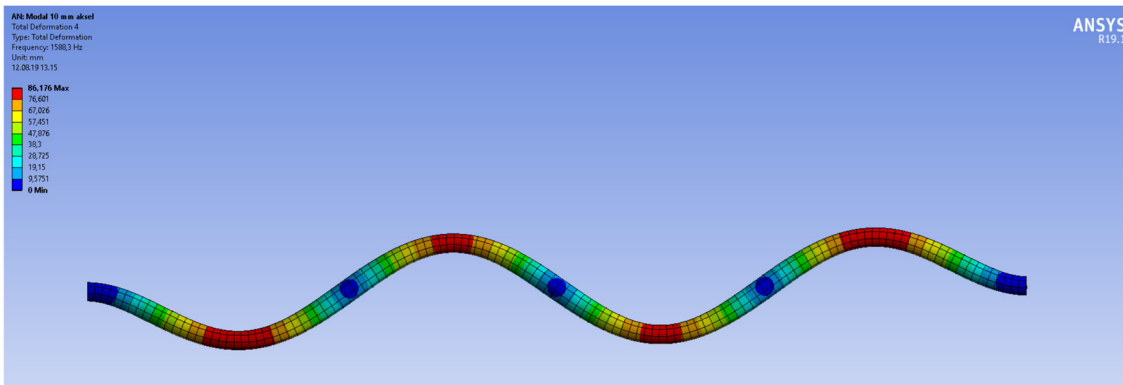
Andre modusform opptrer ved 494 Hz



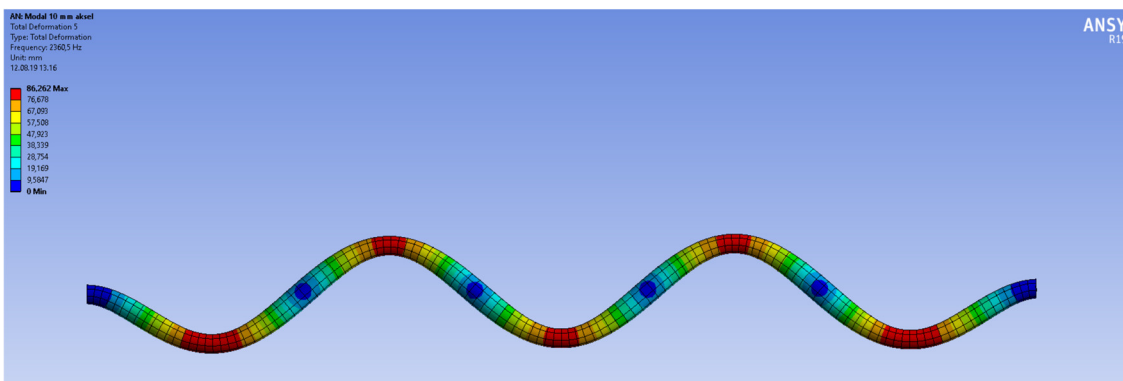
Tredje modusform opptrer ved 965 Hz



Fjerde modusform opptrer ved 1588 Hz



Femte modusform opptrer ved 2360 Hz



1.9 Utdrag fra Betongelementforeningens «Svingninger av betongelementer»:

1.9.1 Problemstilling

Betongelementer benyttes ofte som dekker i kontor- og industribygg. De finner også hyppig anvendelse som dekker i idrettsbygg og forsamlingslokaler.

Til enklere fotgjengerbroer benyttes også standardiserte betongelementer.

Felles for disse bygg og konstruksjoner er at de utsettes for laster av dynamisk karakter, forårsaket av menneskelige aktiviteter eller maskiner.

I kontor- og industribygg kan maskinelt utstyr forårsake vibrasjoner. Ventilasjonssystemer og roterende maskiner er eksempler på dette. Resonansfenomener må unngås. Videre kan rystelser overføres til et bygg gjennom grunnen fra trafikk, spunting, peling, sprengninger etc.

I et idrettsbygg er sportsaktiviteter som løp, hopp og sprang av dynamisk karakter. Spesielt kan rytmiske aerobic-aktiviteter forårsake uønskede svingninger i dekker. Dette har sammenheng med faren for at det kan oppstå resonans.

Lastfrekvensen for aerobic ligger vanligvis på 1.8-3.4 Hz. Med en lastfrekvens på 2.5 Hz, (dvs en periode 0,4 s) vil lasten kunne opptre periodisk i takt med hver annen svingning når konstruksjonen svinger med en egenfrekvens på 5.0 Hz.

Det betyr at det sikkerhetsmessig og bruksmessig må settes krav til konstruksjonens svingeegenskaper. Dette har betydning for konstruktiv utforming.

Muligheter er til stede for at resonansfenomener også kan oppstå ved taktfaste bevegelser i forsamlingslokaler og på tribuneanlegg hvor dans og rockekonserter finner sted.

Taktfast marsj for eksempel over slanke fotgjengerbroer eller maskinelt utstyr som forårsaker resonansfenomener kan få alvorlige følger.

1.9.2 Kriterier for vurdering av svingninger

Det finnes flere kriterier for vurdering av svingninger. Vi skiller mellom kriterier for

- konstruksjonens påkjenninger og
- menneskelig følsomhet

Det førstnevnte punkt går på konstruksjonenes styrke og sikkerhet og kan beregnings- og dimensjoneringsmessig kontrolleres.

Med hensyn til den menneskelige følsomhet berører dette konstruksjonens bruksegenskaper. Det finnes såkalte "komfort-kriterier" til en konstruksjons brukstilstand. Oppfylles ikke disse kan bygget få en verdiforringelse. Dersom svingningene er merkbart store, reises det også ofte spørsmål av sikkerhetsmessig karakter av brukerne.

Krav mht konstruktive påkjenninger som følge av dynamisk påkjenning og vibrasjoner angis vanligvis i konstruksjonsstandardene. Konstruktive påkjenninger relateres ofte til deformasjoner og spenninger. Kontroll av utmattingstilstanden er et eksempel på dette.

Krav til begrenning av nedbøyninger i konstruksjons-standardene kan indirekte inkludere at en vil unngå en uønsket svingningsømfintlighet.

Vibrasjonskrav angis normalt i form av akseptgrenser mht akselerasjoner og hastigheter, noe avhengig av frekvens. Kravene kan variere for forskjellige konstruksjonstyper og deres bruksområde.

Menneskelig komfort, helse og arbeidsevne relateres ofte til akselerasjoner og hastigheter og tid (varighet). Likeså kan funksjonalitet av finfølende utstyr samt bygningskader relateres til akselerasjoner og svingehastigheter. Både internasjonale og nasjonale regler er utarbeidet for dette og de vil være retningsgivende for vurdering av vibrasjoner.

For å unngå uønskede svingninger og vibrasjoner i en konstruksjon eller i et bygg, forutsettes at konstruktøren har kunnskap om når slike fenomener kan oppstå, og hvis det er tilfelle, at det kan gjennomføres en responsanalyse. Det krever igjen en lastbeskrivelse.

1.9.3 Laster fra menneskelige aktiviteter

Aktivitet	Frekvens
Gange med kontinuerlig gulvkontakt	1,4 – 2,6 Hz
Løping med diskontinuerlig gulvkontakt	2,0 – 3,5 Hz
Hopping, rytmisk hopping på stedet, for eksempel aerobic	1,8 – 3,4 Hz
Dansing, klassisk og moderne dans, for eksempel vals, rumba etc.	1,5 – 3,0 Hz
Popkonsert, rytmisk hopping av entusiastisk publikum	1,5 – 3,0 Hz

En vanlig håndregel når det skal dimensjoneres for vibrasjoner fra gange, løping og lignende, er at dekkets resonansfrekvens skal være høyere enn det dobbelte av høyeste lastfrekvens. For gangtrafikk vil dette si resonansfrekvens høyere enn 5,2 Hz. Tilsvarende håndregel gjelder for dans og sportsaktiviteter. Man bør her gå noe høyere opp i dekkefrekvens når man risikerer taktfast eksitasjon fra mange personer samtidig. Resonansfrekvens for dekker for sportsaktiviteter bør ligge høyere enn 8 Hz, og for dansegulv høyere enn 7 Hz. Det angis imidlertid at en bør vurdere den enkelte situasjon for seg, og blant annet se på planløsning og dempningsforhold. I [2] er det angitt mere detaljerte opplysninger som gjelder frekvens- og lastforhold ved menneskelige aktiviteter som gange, løp og hopp. En bør merke seg følgende: Hastigheten på den aktiviteten som utøves (dvs gange, løp, hopp) er den viktigste parameter mht last og dynamisk respons. Underlag, (som gulv og beleg) og også fottøy har mindre effekt på frekvens og last [2].

REVISJON		
Dato	Beskrivelse	Sign.
03.01.2020	Første utgave.	OEH
24.03.2020	Korrektur	OEH
10.12.2021	Korrigert sidetallhenvisning fra side «13» til «11» (på side 7)	OEH
17.12.2021	Lagt til målsatt tegning side 4.	OEH
20.12.2021	Rotert tegning s 4	OEH