

# Etablerad praxis för seismisk analys av byggnader på kärntekniska anläggningar i Sverige, metodöversikt och erfarenheter

2022-05-16 Jonas Sandberg/Simon Eliasson Ringhals/AFRY

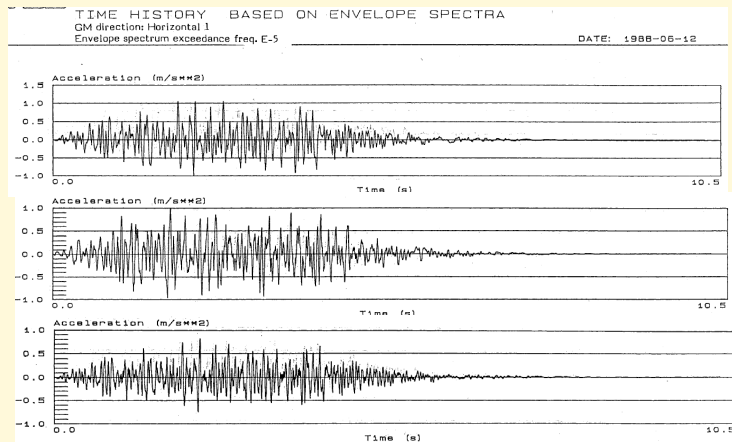
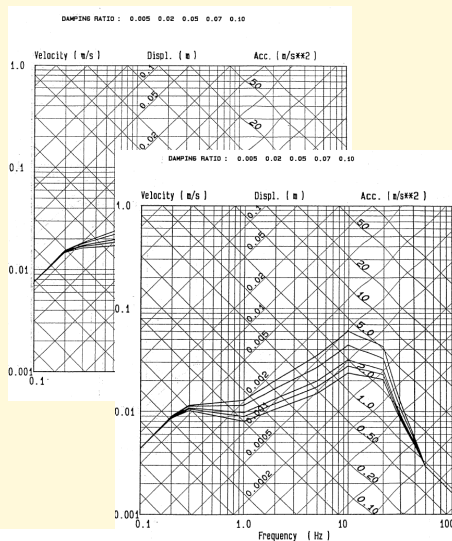
# Agenda

- Lastmässigt, hur ser jordbävningsslasten ut
- Last i form av tidshistoria, responsspektra, hur hänger dessa ihop
- Kort om hur sekundära responsspektra tas fram
- Hur används de olika lasterna vid handberäkning, responsspektrumanalys, tidshistorieanalys

*Vi utgår från egen erfarenhet. Hur vi utfört bygganalyser på Ringhals/AFRY genom åren.*

# Jordbävningenslast

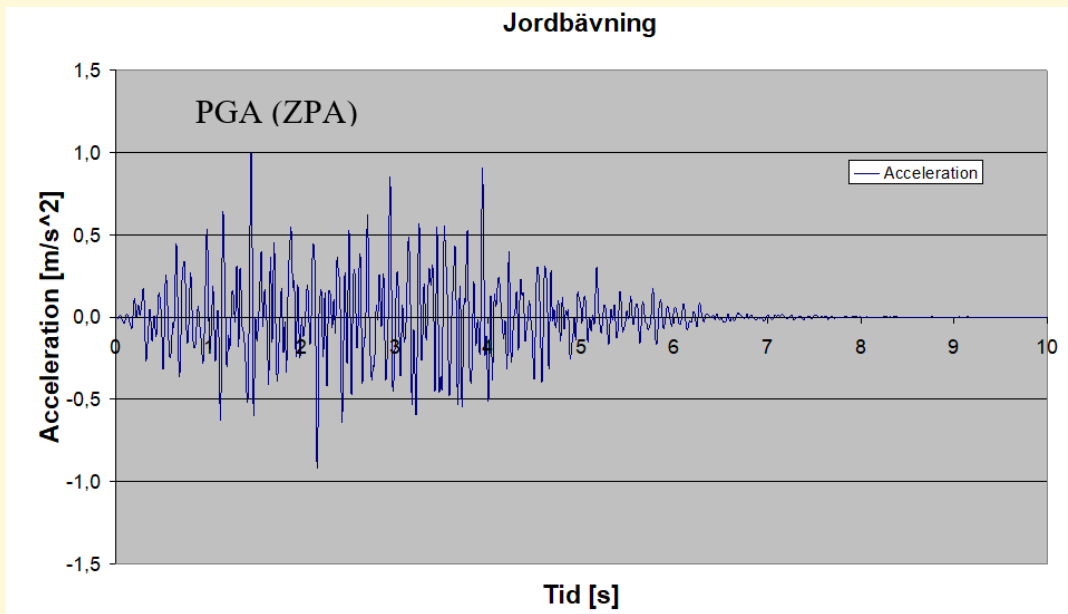
- Från SKI Technical Report 92:3, inte Eurocode 8
- Ger last som markresponsspektra och motsvarande tidshistorier
- Vibrationer i tre riktning, ofta accelerationer



- *PGA (Peak Ground Acceleration) vilket motsvarar responsspektrets ZPA (Zero Period Acceleration) är ca 0.1g*
- *Horisontella riktningarna större än vertikala*
- *Ca 10 sekunder*
- *Frekvenser upp till 50 Hz*

# Jordbävningstidshistoria

- Exempel



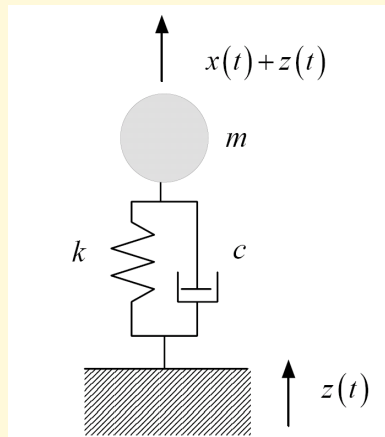
*En tidshistoria som skulle kunna vara en verklig jordbävning. I figuren är maximal markacceleration markerad, PGA*

# *Jordbävningstidshistoria*

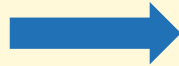
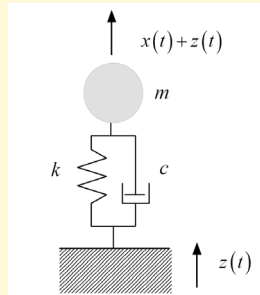
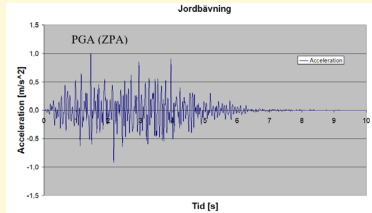
- **Tidssignal ofta svår att tolka, krävande att använda, beräkning krävs, FE-analys**
- **Intressant att veta är:**
  - Maxacceleration – går att se
  - Längd – går att se
  - Frekvensinnehåll – går **ej** att se
  - Vilken respons den ger på en struktur – går **ej** att se
- **Analys av tidssignalen för att se frekvensinnehåll och respons genom tex:**
  - Fourieranalys
  - Responsspektrum, vilket vi ofta jobbar med. Ger bra indikation om responsen i utsatt struktur.

# Responsspektrum

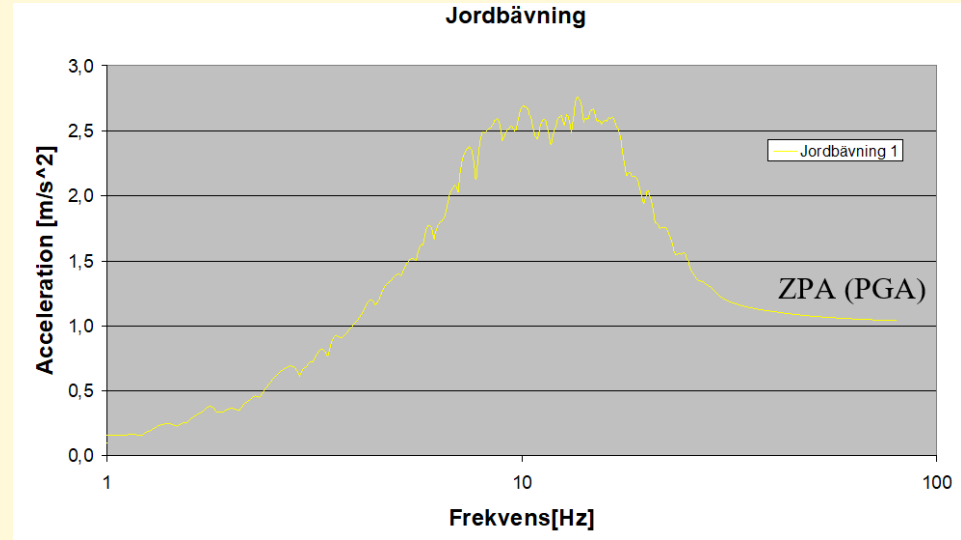
- Beskriver i första hand inte hur en jordbävning ser ut, utan det visar hur en konstruktion påverkas av jordbävningen, visar konstruktionens respons.
- Ett responsspektrum konstrueras genom att man utsätter enfrihetsgradssvängare för jordbävningssignalen
- Enfrihetsgradssvängare med olika frekvenser
- Max acceleration, hastighet eller deformation plottas i en graf



# Responsspektrum



Olika  
frekvenser

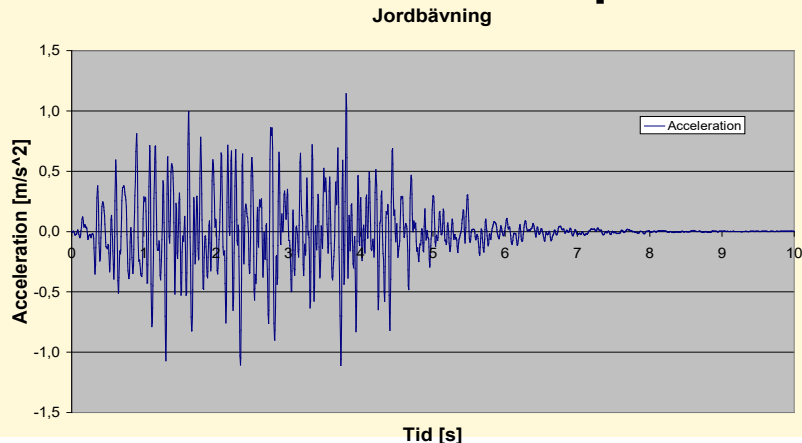


*Tidshistorians resulterande responsspektrum.*

*Ger responsen direkt för en struktur med bestämd egenfrekvens. Ett resultat. Utan tecken.*

# Markresponsspektrum

- Kan ibland vara olämpligt att använda responsspektrum
  - Ofta konservativt
  - Ej möjligt vid olinjära analyser
- Därför har vi också skapade tidshistorier som motsvarar det dimensionerande spektrumet

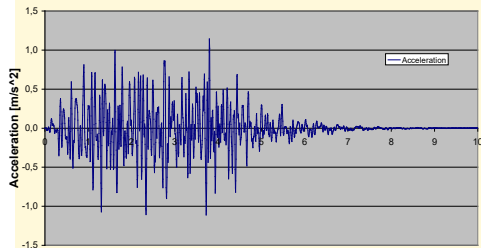


*Syntetiskt framtagen  
tidshistoria =  
dimensionerande  
tidshistoria*

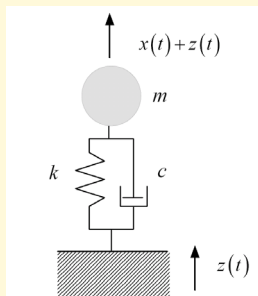


# Dimensionerande tidshistoria

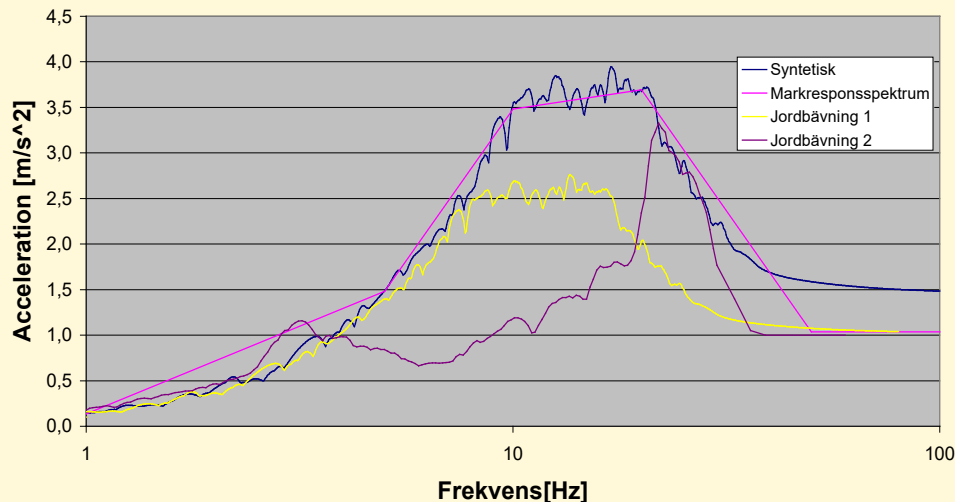
Jordbävning



Tid [s]



Jordbävning



*Tidshistorian skall återge markresponsspektrumet.  
Blir aldrig 100% rätt men skall uppfylla vissa krav.*

# ***Val av analysmetod***

- **Responsspektrumanalys**

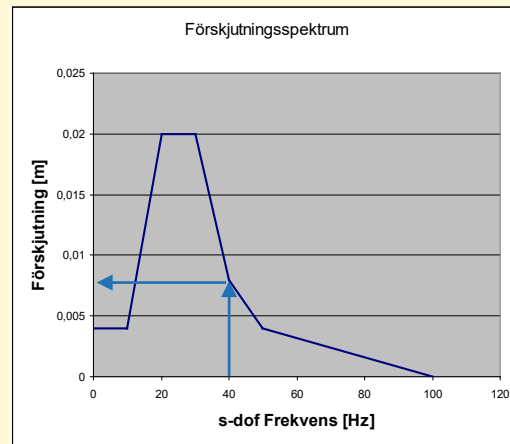
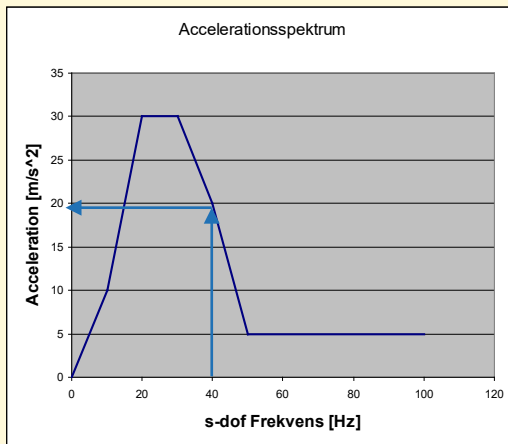
- Vid enkla handberäkningar
- Snabbt att använda, resultat direkt
- Ett resultat utan tecken gör att det blir konservativt
- Tids- och databesparande
- Även vid komplexa hållfanalys, linjärelastiska

- **Tidshistorieanalys**

- Om det krävs noggrannare analyser, mindre konservativa
- Olinjära analyser
- Framtagning av sekundära spektra, golvresponsspektra
- Ibland direktintegrerade analyser, ibland modesuperposition
- Ett resultat för varje tidssteg, mycket data

# Handberäkning

- Om du har en enkel struktur som kan approximeras som en enfrihetsgradssvängare, tex konsol så kan man använda responsspektrum direkt.



# ***Responsspektrumanalys med FEM***

- **FE-modell: element, massa och randvillkor**
- **Egenmoder och dess aktiverade massa**
- **Laster och resultat**
- **Screening: sektionkrafter och kapacitet**
- **Utvärdering och bedömningar**

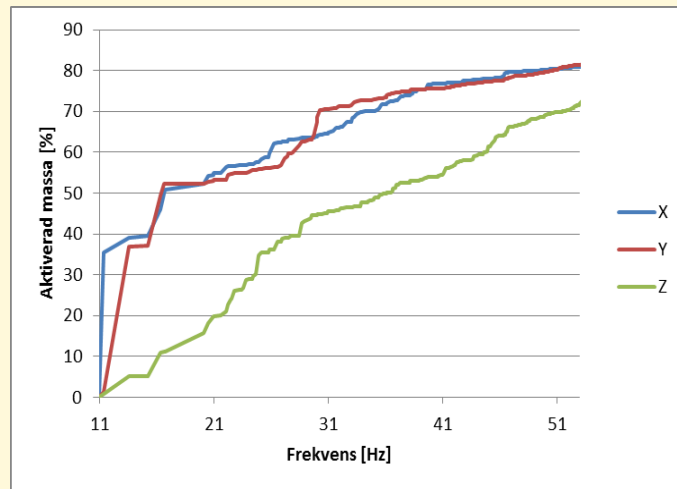
# ***FE-modell: element, massa och randvillkor***

- **Främst modellerad med skal- och balkelement**
- **Linjärelastiskt material**
- **Massan i element inkluderar: egenvikt, utrustning och rörliglast**
- **Byggnaden är grundlagd på berg, randvillkor således fixt mot mark**

# Egenmoder och dess aktiverade massa

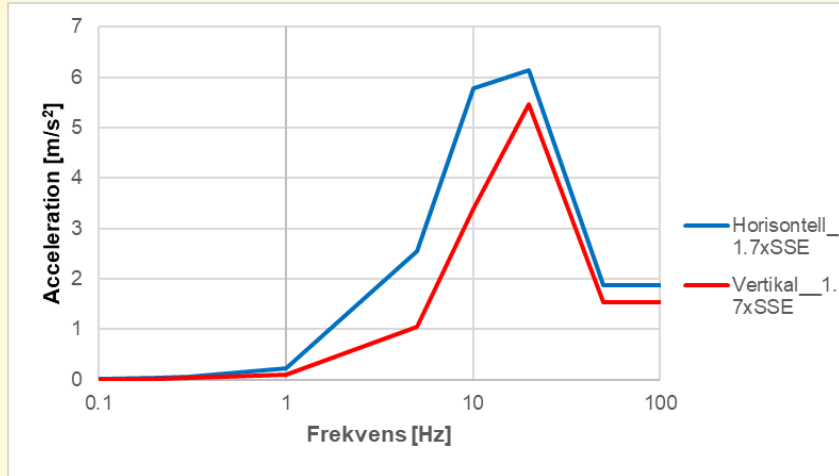
Ett exempel på ett typiskt utfall från en beräkning

- **Mode #1 11 Hz**
- **Aktiverad massa 35 % i X-led**



- **Mode #2 14 Hz**
- **Aktiverad massa 37 % i Y-led**

# Laster och resultat



- En statisk analys med z-acceleration  $9.81 \text{ m/s}^2$
- Acceleration på varje mode i 3-riktningar
- Resultat beräknas med SRSS
- Sektionskrafter som tas fram är Normalkraft, Tvärkraft och Moment
- Även förskjutningar beräknas

# Screening: sektionskrafter och kapacitet

		Capacity M		Capacity V		Actions						Utilization factors		
Name	reinf	M <sub>rd max</sub>	M <sub>rd min</sub>	V <sub>Rd,uk</sub>	V <sub>Rd,ök</sub>	M <sub>max</sub>	M <sub>min</sub>	N <sub>Mmax</sub>	N <sub>Mmin</sub>	V <sub>max</sub>	N <sub>Vmax</sub>	M <sub>max</sub>	M <sub>min</sub>	V <sub>max</sub>
1.00	x	163	251	204	236	190	450	0	0	1074	0	1.16	1.79	5.27
1.00	y	301	240	250	231	239	580	0	0	1287	0	0.80	2.42	5.57
2.00	x	255	309	259	259	189	363	188	0	1568	0	0.83	1.21	6.05
2.00	y	297	297	231	231	194	259	0	0	1146	179	0.73	0.90	4.96
3.00	x	354	354	277	277	277	222	0	0	1220	0	0.86	0.64	4.40
3.00	y	342	354	270	248	281	242	300	0	1347	212	0.90	0.70	5.42
4.00	x	183	183	205	205	55	90	0	0	357	0	0.35	0.51	1.74
4.00	y	183	183	205	205	99	144	0	0	844	0	0.63	0.83	4.12
5.00	x	191	209	206	206	19	15	128	48	65	128	0.12	0.08	0.32
5.00	y	770	742	287	287	92	102	358	509	292	585	0.14	0.14	1.02
6.00	x	119	119	178	178	42	62	0	0	277	0	0.41	0.54	1.55
6.00	y	119	119	178	178	37	35	0	0	180	0	0.36	0.31	1.01
7.00	x	150	175	195	195	43	48	382	277	265	277	0.33	0.29	1.36
7.00	y	206	101	153	153	42	126	145	580	191	606	0.23	1.29	1.25
8.00	x	40	121	171	180	5	6	0	34	19	41	0.14	0.05	0.11
8.00	y	40	79	142	152	0	21	0	255	14	255	0.00	0.27	0.10

- Screening görs i Excel med konservativa antaganden
- Rödmarkerade i tre sista kolumnerna behöver utvärderas vidare



# ***Utvärdering och bedömningar***

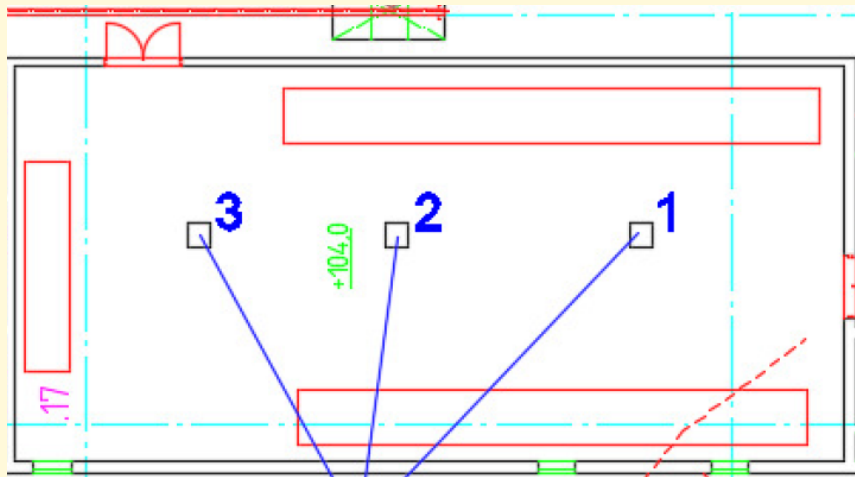
**Resultatet utvärderas som om lasten var statisk.  
Vanliga regler om omfördelning och reduktion  
nära stöd kan användas.**

## **Tvärkraftsöverskridande**

- **Är det nära stöd?**
- **Kan kraften omfördelas?**
- **Finns det extra armering i området?**

# Exempel på tidshistorieanalys

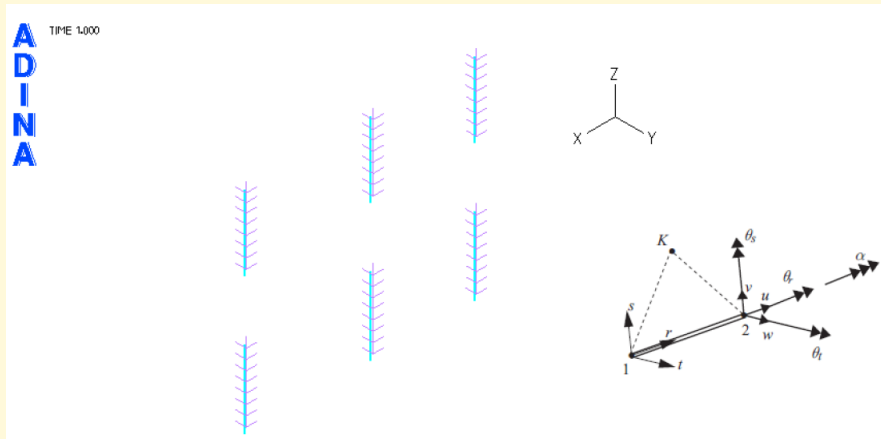
- Pelare i Elbyggnaden



Tre pelare på två  
våningsplan

# Exempel på tidshistorieanalys

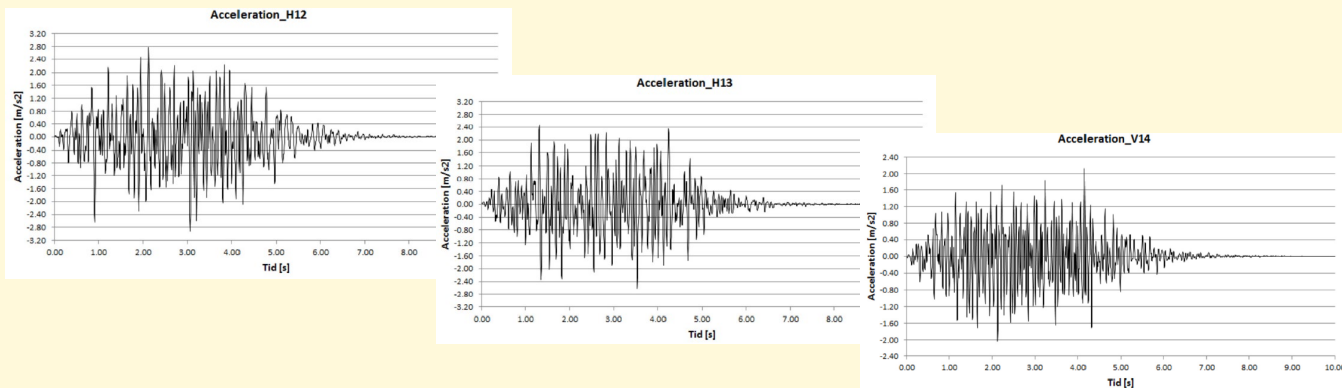
- Snittkrafter i 6 riktningar



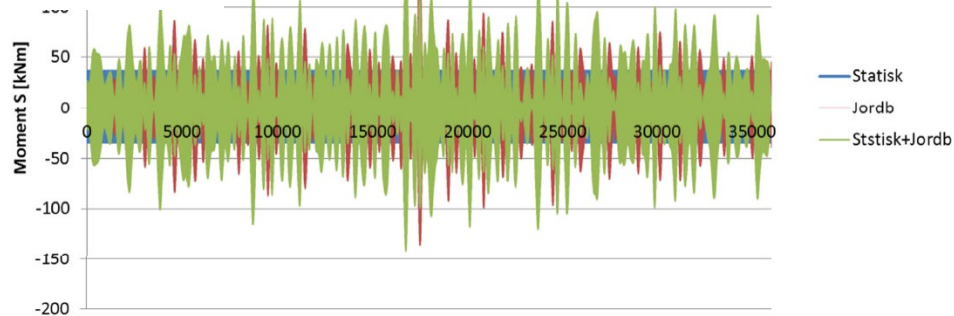
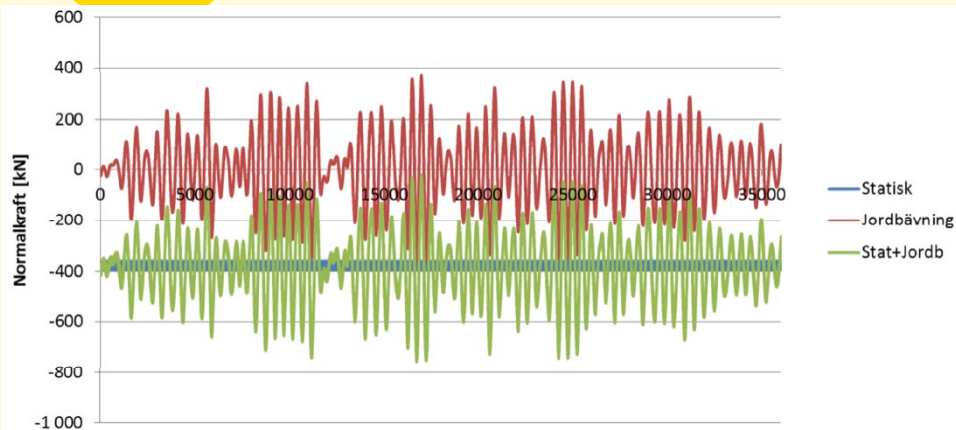
Antal element =  $8 \cdot 6 = 48$   
Antal snittkrafter ca 300

# Exempel på tidshistorieanalys

- Modesuperpositionsanalys (kunde varit direktintegrerat)
- Tidssteg 0.0005 s, 20 000 steg ger 10 sekunder
- Resultat vid vartannat tidssteg. Inte hela 10 analysen
- Modesdämpning 7% (en anledning till att använda modesuperposition)

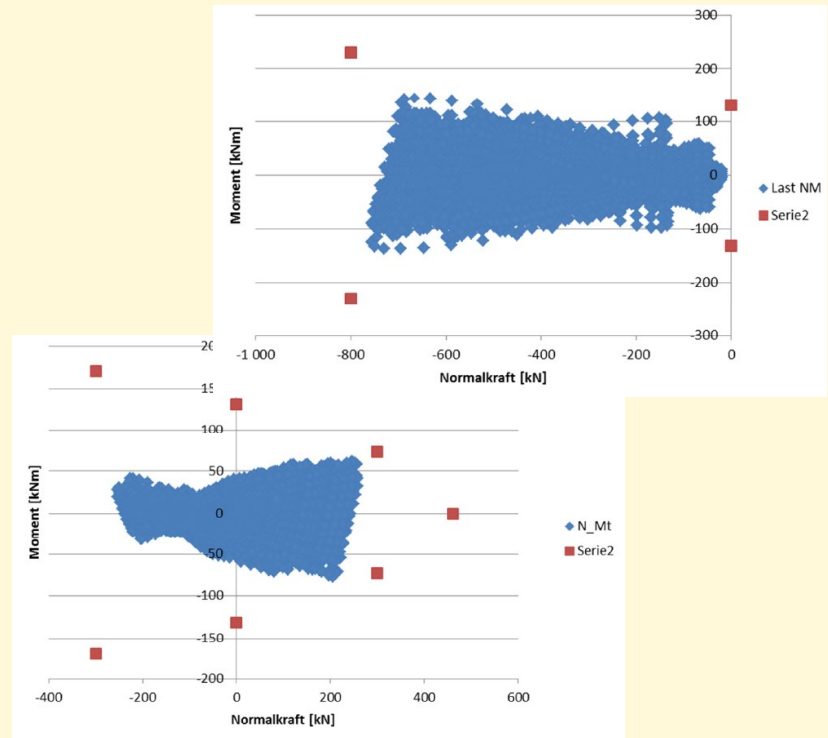
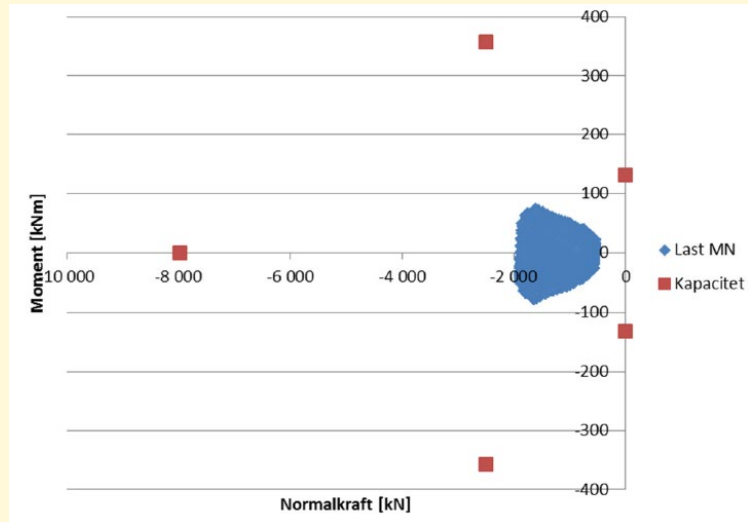


# Exempel på tidshistorieanalys



# Exempel på tidshistorieanalys

Plotta resultaten i ett interaktionsdiagram





***Slut!***

***Frågor?***