

# Konstruera för dynamiska laster bättre och billigare redan från början

Vi bygger allt högre, längre och lättare, och med ny byggteknik och nya materialkombinationer uppkommer nya utmaningar. En huvudfråga för konstruktören är val av bärandesystem, och traditionellt har man sett detta ur perspektiven statik och stabilitet. Att konstruera för dynamisk last och uppfylla accelerations- och frekvenskrav kan vara en komplex uppgift. Man kan likna problemet med att försöka göra en kvadrat av en cirkel.

Insikten om att vibrationer i bruksstadiet kan vara det konstruktionskrav som blir avgörande är viktig. För att undvika oekonomiska konstruktioner och minimera risken för fel krävs kunskap i dynamisk modellering och konstruktion. Det ingår att kunna uppskatta och kontrollera en byggnads dynamiska egenskaper, och detta måste göras i tidiga skeden. För att kunna göra en bedömning om en konstruktions dynamiska beteende är acceptabelt måste man känna till vibrationskällan, byggnadens dynamiska egenskaper och mottagaren till exempel människan. Konsekvensen av att hoppa över dynamiken kan leda till oväntade överraskningar, som ofta är dyra att åtgärda i sena skeden. Med visioner om allt högre hus i trä ökar behoven än mer.

Ingen vill väl sitta i sitt hus och känna tåget fara förbi, eller bli sjösjuk i höghusets topplägenhet under en storm. Det finns en rad olika typer av dynamiska laster att beakta såsom åkande, stillastående, stationära och transienta. I den här arti-

keln belyser vi tre fall av vibrationer som alla kan relateras till upplevd vibrationskomfort.

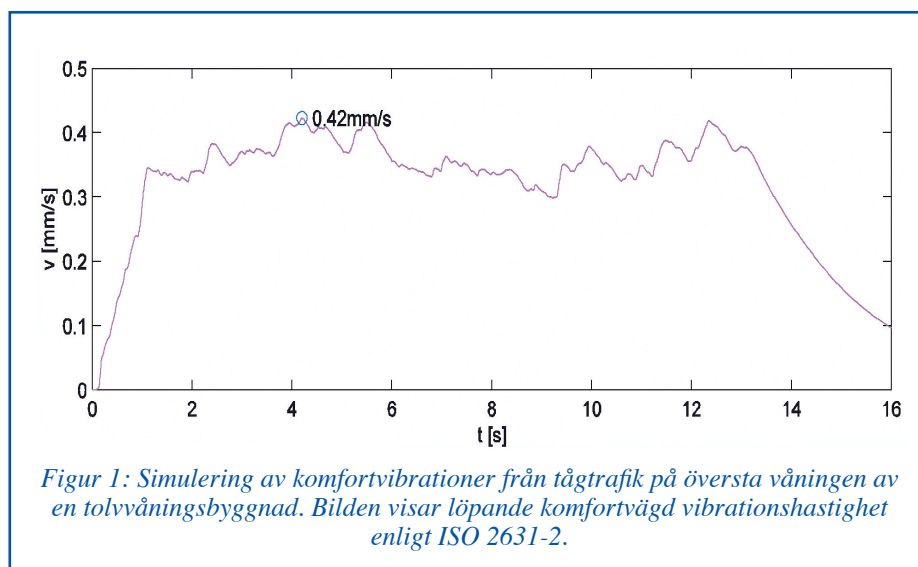
## Trafik

Idag är järnvägar och tunnelbanor integrerade i tätbebyggda områden och det finns en klar trend att denna integration ökar. En konsekvens av detta är en ökad risk att buller- och vibrationsstörningar uppkommer. Att risken för störning verkligen

rande vågor är också en viktig parameter. Här brukar frekvensområdet 1 till 80 Hz beaktas.

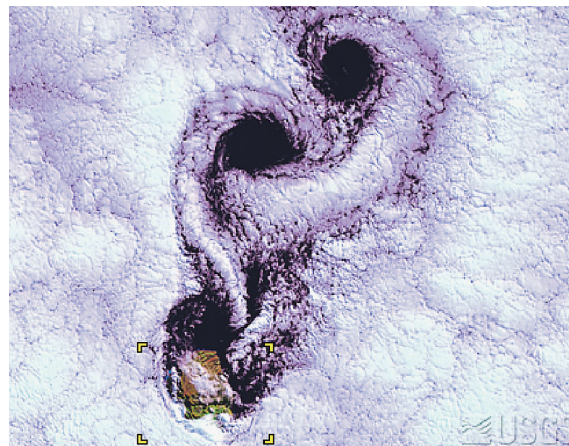
## Vind

Beroende på en byggnads höjd och slankhet kan vindkrafter få en byggnad att svänga med sin naturliga frekvens. Turbulens i luften bidrar också till den dynamiska responsen. Men ju högre en byggnad blir desto större effekt kan de vindinduce-



övergår i störning är problem som tenderar att öka i tätbefolkade områden och åtgärder efterfrågas ofta. Beroende på bland annat tåghastighet, tågtyp och spårssystem uppkommer olika dynamiska laster. Men det är byggnadens dynamiska egenskaper som avgör komfortvibrationsnivån. Markens vågutbredningshastigheter är också viktiga parametrar. Lerjordar med ytvåghastigheter 50 till 100 m/s har geometriska våglängder om 5 till 10 m vid 10 Hz. Typiska fundamentdimensioner för småhus är 10 gånger 15 kvadratmeter. Två till fyra våningsbygganden kan ha motsvarande mått varierande mellan 10 gånger 30 kvadratmeter och 20 gånger 50 kvadratmeter. Byggnadens fundamentdimensioner i relation till excite-

rade svängningarna förväntas få. I huvudsak kan man särskilja två typer, byig vind och periodisk virvelavlösning (figur 2)



*Figur 2: Illustration av periodisk virvelavlösning (virvelgata) över ön Selkirk, Chile, (U.S. Geological Survey, Selkirk vortex street: Landsat 7 ETM+ image, WRS2 path 6, row 83, 15 September 1999).*



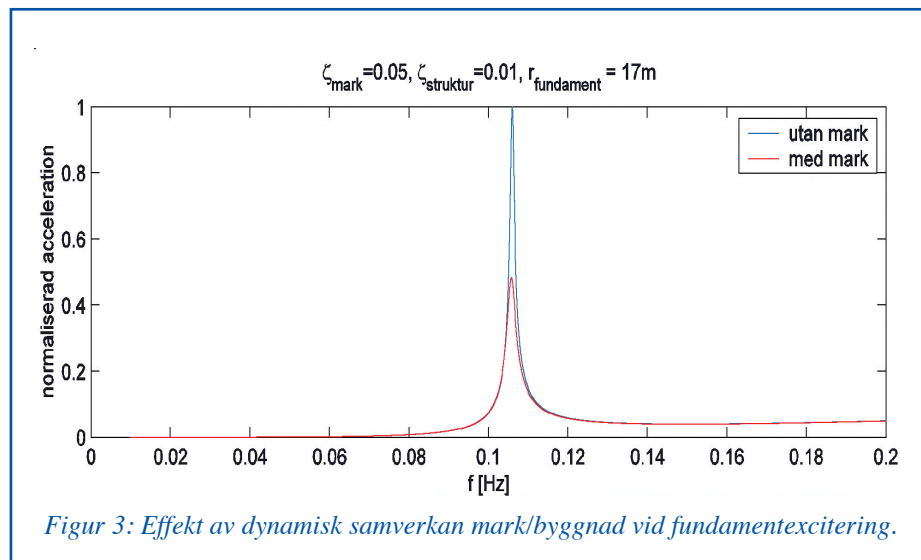
som normalt ger svängning tvärs vindriktningen, och den andra typen som är resonans med turbulens i luften, vilket normalt ger en rörelse i vindriktningen. För fallet vind och höga byggnader handlar det ofta om låga frekvenser, upp till 1 Hz.

### Hoppande människor

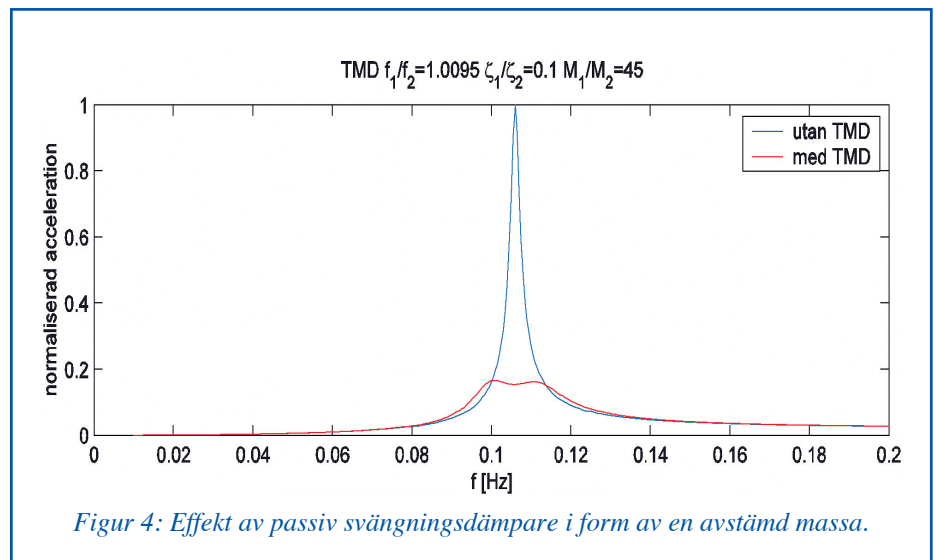
En speciell typ av belastning är då en eller flera människor går eller hoppar på konstruktioner. På senare tid har denna typ av last blivit aktuell för bland annat arena-konstruktioner. Gångbroar är en annan typ av konstruktion där denna typ av belastning är aktuell. För lätta konstruktioner i form av träbjälklag är svikt och svängningar avgörande parametrar för den upplevda komforten. Det finns flera fall då last av människor i rörelse har förbisettts med resultat att konstruktionen uppträtt okontrollerad vid belastning. Tumregler för att snabbt hitta rätt finns, men ofta är mer ingående studier nödvändiga.

### Dynamisk samverkan mark/byggnad

En byggnad som är grundlagd direkt på berg och utsätts för till exempel en horisontell fundamentrörelse kommer att ha lika tröghetskrafter för samtliga våningar. Om byggnaden däremot är grundlagd på flexibel mark kommer motsvarande fundamentet både att röra sig horisontellt och rotera. Dessa fundamentrörelser ger i sin tur upphov till tröghetskrafter som varierar med byggnadshöjden. Genom att inkludera markflexibiliteten blir det totala dynamiska systemet mer flexibelt och får ofta en grundresonans lägre än för motsvarande system som är fast inspänt. Naturligtvis påverkas även svängningsformerna. Byggnadens totala dämpning påverkas, dels av materialdämpning i marken men även av så kallad strålningsdämpning. Ibland kan det vara svårt att uppskatta strukturdämpningen och samtidigt få med mark- och strålningsdämpningseffekter. *Figur 3* visar effekten av dämpning då dynamisk samverkan mellan mark och ett viktlost fundament tas med. Exemplet belyser endast vertikal ex-



Figur 3: Effekt av dynamisk samverkan mark/byggnad vid fundamentexcitering.



Figur 4: Effekt av passiv svängningsdämpare i form av en avstämmd massa.

citering och visar att den maximala responsen blir avsevärt lägre. Total dämpningen i detta fall blir dubbelt så stor som enbart strukturdämpningen.

### Kontrollera svängningar

Det bästa är att försöka åtgärda störningskällan. Går inte det har konstruktören generellt sett tre parametrar att arbeta med, massa, styvhet och dämpning och ofta talar det om att göra tyngre eller styvare konstruktioner för att lösa det dynamiska problemet. Om det inte finns möjlighet att ändra strukturens dynamiska egenskaper kan man för en specifik frekvenskomponent, som grundresonansen på ett torn, använda en svängningsdämpare för att kontrollera strukturdynamiska rörelser. Det finns både flera olika typer, passiva och aktiva (sensorer, aktuatorer och kontrollalgoritmer), med massa eller vätska. En kontrollerad energiupptagning leder till en kontrollerad rörelse.

Genom att ändra strömningsbilden kring en skorsten med till exempel spiralformade vingar ändrar man förutsättningarna för att periodisk virvelavlossning ska uppstå. För trafikrelaterade vibrationer gäller att man kan avisolera hela byggnadsgrunden. För stora laster och låga

frekvenser kan stålfjädrar användas medan elastomerer lämpar sig för lite högre frekvenser.

### Dynamik från början

Vi har lyft fram några situationer där det är viktigt att känna konstruktionens dynamiska egenskaper, det finns många fler. I takt med att nya material, byggsystem och konstruktionslösningar tas fram, och då inte minst i samband med lättbyggnadsteknik (exempelvis trähus i flera våningar), blir byggnadens dynamiska egenskaper lika viktiga som dess statiska. Därför är insikten om att vibrationer i bruksstadiet kan vara det konstruktionskravet som blir avgörande för en konstruktion viktig. Tyvärr är det ofta så att dynamiska frågeställningar ofta beaktas relativt sent i projekteringsfasen. Kontrollera inte för, utan konstruera för dynamiska laster. Ta med dynamiken redan i förprojekteringsfasen så ökar förutsättningarna för att det ska bli mer rätt från början och framförallt billigare. ■

### Referenser

- Chopra A. K. (1980): *Dynamics of structures a Primer*, Earthquake Engineering Research Institute, Berkely. ISO 2631-2.
- Jonsson J (2000): *On Ground and Structural Vibrations Related to Railway Traffic*, Chalmers, Göteborg.
- Timoshenko S (1955): *Vibration problems in engineering*, D Van Nostrand, Princeton.
- US, <http://earthshots.usgs.gov/Selkirk/Selkirk>.
- Lawson T. V., Eng F (1996): *Wind loading handbook*, Butterworth-Heinemann, Oxford
- Eurocode EN 1991-1-4 Wind actions.
- Wolf J. P. (1994): *Foundation vibration analysis using simple physical models*, PTR Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- Åkesson, Tängfors, Johansson (1972): *Böjsvängande balkar och ramar*, Almqvist & Wiksell, Stockholm.