

Bakom normmodellerna för snö- och vindlast ligger ett omfattande utvecklingsarbete, ett arbete med att på ett övergripande sätt sammanfatta och förenkla komplicerade, dynamiska processer och resultatet av dem. Detta arbete har mynnat ut i ingenjörsmässiga modeller baserade på grundvärden, formfaktorer och koefficienter. Eftersom resultatet av modellerna är formulerade i termer av statiska krafter, så är de väl anpassade till de vanligast förekommande beräkningsverktygen för linjär byggstatik. Men ibland behöver man något mer.

Med ökad grad av förenkling, eller idealisering, minskar möjligheten att hantera specialfall. Det kan ibland vara nödvändigt att använda en lägre grad av idealisering för att lösa uppgiften. En möjlighet är då att kombinera beräkningsteknik för struktur-/ solidmekanik, strömningsmekanik och så kallad fluid-strukturinteraktion, FSI, för att simulera samverkan mellan till exempel luft eller vatten och en struktur. Nedan ges några exempel på hur sådana modeller och simuleringar av vind- och snölast kan se ut. Syftet här är enbart att visa på konceptet och möjligheterna med simuleringsteknik. Resultaten redovisas därför bara övergripande utan detaljer om dimensioner och resultat.

Vindlast

Vind är ett luftflöde och vindlast är den belastning som flödet utövar mot en struktur. Normmodellen för vindlast bygger på statistik för vindhastigheter och Bernouilles ekvation för hastighetstryck vid stationär strömning, tillsammans med korrigeringar för geometri (struktur och omgivning) och dynamiska effekter. Resultatet är statiska, ekvivalenta vindlaster som kan användas för att beräkna påkänningar i strukturen. Att ta fram påkänningar och deformationer görs alltså i två steg. För strukturer med komplicerad geometri kan det dessutom vara svårt att sätta tecken (tryck/sug) och värden på formfaktorerna. Med normens statistik för vindhastigheter som indata och en beräkningsmodell omfattande struktur och omgivande luftmassan kan man ta fram påkänningar i strukturen och deformationer för transient såväl som stationärt luftflöde i ett enda steg. Vindflödets storlek och riktning går

att variera i tid och rum. Hänsyn kan även tas till omgivande terräng för att fånga till exempel hastighetsökningar till följd av areaförändringar. I Figur 1 visas geometri och randvillkor för en modell av en bro och omgivande luftmassa. Bron är uppbyggd med skal och solidelement och luften med en speciell typ av solidelement för strömning. Luftmassan smalnar av i planet vid landfästet, svarande mot en tänkt bergvägg. Resultaterande påkänningar och luftflöden vid ett tidssteg nära stationärt flöde visas i Figur 2 och 3. **OBS!** Figurerna visas i pdf:en som går att ladda ner nedan.

Kommentarer

Modellerna för denna typ av vindlastsimulering kan bli ganska stora och följaktligen krävande när det gäller datorkapacitet. För att hålla ner beräkningstiderna använder man sig därför av datorkluster, där beräkningen delas upp på flera parallellt arbetande datorer. Den aktuella modellen är uppbyggd av nästan fem miljoner element och tar ungefär ett dygn att köra på ett datorkluster med 128 processorkärnor. Men för mindre och enklare strukturer, till exempel bostadshus och industrierhallar, kan det räcka med beräkningskapaciteten i en vanlig arbetsstation. Med samma teknik kan man detaljstudera till exempel virvelavlösning och galopperande strukturer. Detta kan till exempel vara användbart för ett tvärsnitt som inte finns tabellerat i normen, eller då man har flera, olika närliggande strukturer som samverkar.

Snölast

Snö faller, driver, kompakterar, rasar och smälter (förenklat). Låt oss för enkelhetens skull studera delprocesserna var för sig och som på varandra efterföljande. Ett snöfall resulterar i ett snötäcke med relativt jämnt fördelad tjocklek. Kompaktering till följd av egentyngheder leder till ett tunnare täcke, men kanske främst en förändring av de mekaniska egenskaperna. Ytterligare kompaktering och eventuellt masstransport sker när snön smälter och rasar. Vindflöde leder också till masstransport, snödrift. Normmodellen är framtagen på liknande sätt och konstruerad på liknande sätt som den för vindbelastning. Även här kan ett annat angreppssätt behövas ibland för att stu-



dera specialfall. Det går dock inte att som för vindbelastning direkt ersätta formfaktorerna med samma typ av simuleringsteknik. För att göra det behövs en modell för snödrift. I litteraturen finns det en del arbeten publicerade inom området som man kanske skulle kunna bygga vidare på för att utveckla en ingenjörsmässig snödriftsmodell för att snöbetäcka komplicerade takgeometrier. Under vintern 2009/2010 inträffade ett stort antal takras. Boverkets analys av orsakerna till dessa ras är inte klar, men några möjliga orsaker listas tillsammans med en sammanställning över rasen i en delredovisning till regeringen. [Läs Boverkets rapport här!](#) Inom områdena fortskridande ras och skadetåliga strukturer, kan simuleringar till exempel användas för

- att utifrån inspektion av snötäcke och struktur göra riskbedömningar för fortskridande ras
- utredningar av ras genom så kallad reversed engineering, där idéer om vad som orsakade raset testas genom simulering av olika scenarion
- bedömning av strukturs skadetå lighet mot fortskridande ras genom att i konstruktionsfasen simulera olika scenarion med t ex svagheter i förband och se om strukturen låser sig, hittar ett jämviktsläge, på vägen eller inte.

I Figur 4 visas en modell av en förenklad hallkonstruktion med ett ojämnt snötäcke. Formen på täcket är antaget och inte baserat på normmodellens formfaktorer. Hallkonstruktionen är uppbyggd av skalelement och snön av samma typ av solidelement som för luften i vindmodellen. För att tydliggöra modelleringskonceptet används här en överdrivet stor mängd snö med låg skjuvhållfasthet. Resultatet av simuleringen visas i Figur 5. För att simulera konstruktionsras till följd av snöbelastning är det nödvändigt att hantera stora deformationer ("oändliga ordningens teori"), kontakter, plasticitet, materialbrott och att modellera snön som en strömningsmekanisk kropp.

Med en lastrepresentation av snön fångar man till exempel inte avlastningen av konstruktionen då snön omlagras och faller genom öppningar i konstruktionen som bildas till följd av materialbrott. En annan tillämpning för samma simuleringsteknik, i kombination med värmeledning, är fortskridande ras till följd av brandbelastning.

OBS! Figurerna visas i pdf:en som går att ladda ner nedan.

[Läs Mattias artikel här!](#)

Fakta

Akronymen FEM (finita elementmetoden) betecknar en samling numeriska metoder med olika tillämpad innebörd i olika branscher.

Läs mer

[TrueStress Engineering](#)

[Boverkets rapport om takras](#)

