



Kommentarer til Rådgivernes svar på henvendelse af 14.06.2023

Rune Brincker, August 2023.

Kommentar vedr. hovedbrevet og peer preview

Det er altid sådan, at når en redaktør (John Steen har rollen), udpeger en person der laver peer review på en skrivelse med det formål af få en uafhængig kommentar til indholdet, så er review'eren altid anonym, så han er fri til at sige præcis hvad han vil. Men redaktøren (John Steen) kan referere til reviewet, Rådgiverne kan spørge til det de ønsker at høre mere om. Redaktøren kan i princippet publicere hele reviewet.

Kommentar vedr. bilag 15

Det er glædeligt, at Rådgiverne giver mig ret i, at målinger vil forbedre informationen og dermed øge sikkerheden.

Jeg er enig i at de målinger der allerede er udført, og som vi haft kendskab til længe, også har forøget sikkerheden. Men som det fremgår af det omfattende projekt, Rådgiverne har udarbejdet med henblik på at forbedre sikkerheden, så er den forøgelse af sikkerheden der er opnået ved at foretage de gennemførte målinger, ganske utilstrækkelig.

Rådgiverne har gennemført målinger på bygningerne og fundet deres egenfrekvenser, og de bemærker, at målingerne viste "relativt høje egenfrekvenser", hvorved vindlasten overvejende er en quasi statisk last, og man har herefter gennemført vindtunnelforsøg til bestemmelse af vindlasten.

Det er en god ide at gennemføre vindtunnelforsøg hvis man gør det i en designproces hvor bygningen endnu ikke findes. Men når bygningen findes, er det en bedre fremgangsmåde at gennemføre en bestemmelse af vindlasten ved at lave målinger på den aktuelle bygning. Når der i stedet laves målinger på en lille model i en vindtunnel introducerer både den skalerede model og det tilnærmede vindfelt betydelige usikkerheder. Usikkerheder der kan reduceres betydeligt ved at måle på selve bygningen.

Rådgiverne burde have spurgt sig selv, da de havde gennemført vindtunnelforsøgene, som ikke medførte tilstrækkelig sikkerhed, om der ikke fandtes andre målinger der kunne øge sikkerheden. Det burde de have gjort af to gode grunde:

1. At bygningerne har stået der i 70 år og modstået alle storme uden der er kommet så meget som en eneste revne i nogen af bygningerne. Det er en stærk indikator for sunde konstruktioner at der ikke er observeret revner.
2. At Rådgiverne selv har observeret "relativt høje egenfrekvenser", hvilket betyder relativt høj stivhed. Høj stivhed er en stærk indikator for sunde konstruktioner.

Når vi har to så stærke indikatorer for sunde bygninger, så burde man have sluttet, at bygningerne muligvis var sikre nok, og at det dermed kun var et spørgsmål om hvordan den ønskede information kunne fremskaffes.

Men man tænkte ikke den retning, man sluttede for tidligt, at man havde et problem, som kun kunne løses ved at gennemføre en større forstærkning af bygningerne. Det var en fejlslutning, for hvis man havde indhentet mere information inden man traf beslutningen om forstærkning, så kunne man formentlig have sparet forstærkningen, eller i det mindste, en stor del af den.



De usikkerheder, som jeg har nævnt i min note om sikkerhed (bilag 15) henviser til de tilfælde hvor lasten er rent dynamisk og hvor laster og spændinger ved måling direkte på bygningen normalt kan estimeres med en usikkerhed på 5 til 10 %. Når det handler om tilfælde med quasi statisk last, som det er tilfældet her, så kan lasten estimeres betydeligt mere nøjagtigt, formentlig med en usikkerhed på 3-5 %. Jeg antager, at denne usikkerhed er noget mindre end den usikkerhed der er på vindlasten bestemt ved forsøg i vindtunnel. Det betyder, at der kan vindes en betydelig ekstra sikkerhed ved at gennemføre målinger direkte på bygningen.

Fremgangsmåden til at bestemme vindlasten ved direkte måling på bygningerne er følgende:

- A. Der sættes sensorer på bygningerne således at både mode shapes og naturlige frekvenser kan estimeres, f.eks. således at bygningens bevægelse opdeles i forskydning og bøjning som jeg nævnte sidste efterår i en af mine første skrivelser. Enten skal der bruges DC accelerometre eller almindelige accelerometre suppleret med tilt-metre så den statiske udbøjning kan måles nøjagtigt.
- B. Dernæst opdateres den finite element (FE) model som Rådgiverne formodentlig allerede har for bygningerne, så den opdaterede FE model har de samme mode shapes og naturlige frekvenser som målingerne viser.
- C. Herefter kan der opsættes sensorer på bygningerne til en længere monitorering, så der kan opnås en sammenhæng imellem udbøjningerne og vindhastigheden. Den ovenfor omtalt FE model kan herefter bruges til at bestemme den kraft der svarer til udbøjningerne, og hermed har vi en direkte sammenhæng imellem vindkraften bestemt direkte ud fra målinger på bygningen og de målte vindhastigheder.

Herved har vi brugt selve bygningen til at bestemme vindkraften. Hvilket er den metode der giver langt den mindste usikkerhed på vindkraften af den simple grund, at vi har medtaget alle detaljer i bygningens geometri og det omliggende landskab og vindfelt, som de rent faktisk forekommer i virkelighedens verden, og dermed er usikkerheden på vindlasten minimal.

Jeg foreslår derfor som jeg hele tiden har gjort, at der gennemføres målinger efter planen A, B og C, således at vindkræfterne kan bestemmes på selve bygningen, hvorved den største forøgelse af sikkerheden kan opnås dels ved en reduktion af middelværdien af vindkraften, og en reduktion af usikkerheden på vindkraften således at der opnås den størst mulige forøgelse af sikkerheden INDEN der træffes beslutninger om eventuel rekonstruktion af bygningerne.

Midt på side 2 i Deres svar siger Rådgiverne:

Brincker Monitoring påpeger således korrekt, at målinger kan medføre væsentligt reducerede vindlaste og væsentligt reducerede usikkerheder på vindlasterne. Disse forhold er medtaget i de gennemførte statiske beregninger af konstruktionerne. Det er ikke realistisk at forestille sig væsentlige ekstra reduktioner af vindlasten ved at foretage yderligere målinger på bygningerne.

På dette tidspunkt er det formentlig klart for læseren, at Rådgivernes sidste sætning er ukorrekt. For Rådgiverne har jo netop ikke gennemført noget der ligner A, B og C som omtalt ovenfor, og har de ikke det, så er de langt fra at minimere usikkerheden på vindlasten.

Desuden har de også en større fejl på middelværdien af vindlasten. Det er derfor nemt at forestille sig en endog betydelig reduktion af vindlasten ved at gennemføre A, B og C.



Endelig nævner Rådgiverne nogle punkter i min note som de finder misvisende. Mine svar er følgende idet jeg refererer til punkternes nummerering fra Rådgivernes skrivelse:

1. Jeg bruger kun en udmattelsesmodel for at illustrere hvor meget den betydelige usikkerhed på naturlaster kan reduceres. Jeg er helt enig med Rådgiverne i at *"De konkrete bygninger svigter ikke på grund af udmattelse"*. Det mener jeg heller ikke at jeg har givet udtryk for.
2. Rådgiverne henviser til at *"Notens usikkerhedsberegninger medtager ikke vindklimaets indflydelse, og dermed bliver de beregnede sikkerhedsindekser forkerte"*. Jeg er enig. Jeg har ikke lavet beregninger af sikkerhedsindekser for at tilvejebringe korrekte tal, jeg har gjort det for at illustrere størrelsesordenen af den sikkerhed der kan vindes ved at gennemføre målinger.
3. Rådgiverne kritiserer at jeg ikke har taget hensyn til *"graverende fejl i den oprindelige projektering"*. Der er korrekt. Formålet er igen kun at illustrere hvor meget sikkerhed der kan vindes ved måling på bygningerne. Hvis der kan vindes så meget sikkerhed at der er sikkerhed nok – så betyder det ikke noget, at der er graverende fejl. Hvis der er sikkerhed nok, så er der sikkerhed nok på trods af disse graverende fejl.
4. Endelig nævner Rådgiverne at *"Levetid udtrykker ikke i sig selv noget om bæreevne"*. Jeg er enig, og igen så handler mit notat kun om hvor meget sikkerhed der kan vindes ved at måle direkte på bygningen.

Min afsluttende bemærkning til bilag 15 er, at der kan vindes sikkerhed ved en direkte måling på bygningen fordi vi så har optimal information om vindkraften. Det er en betydeligt bedre information end den Rådgiverne har etableret ved at lave vindtunnelforsøg.

Kommentar vedr. Bilag 16

Jeg er enig med granskeren i at det er en fejl fra Rådgivernes side, at Rådgiverne ikke har undersøgt de historiske vinddata.

Årsagen er, at al information – og dermed også den information, at bygningerne har overlevet alle de tidligere storme i de forgangne 70 uden at få en revne – medvirker til at øge sikkerheden. Derfor er de historiske vinddata en vigtig information, som rådgiverne fejlagtigt har set bort fra.

Rådgiverne giver mig ret idet de nævner, at de historiske vinddata vil kunne *"hæve den kritiske vind"*, og så nævner de, at det kun er en anelse. Min kommentar hertil er, at vi først ved om det kun er en anelse, eller om det er mere end en anelse, når vi har gennemført analysen af de historiske vinddata.

Kommentar vedr. Bilag 13

Rådgiverne forsøger at skabe tvivl om bygningernes sundhed. I det følgende vil jeg tilbagevise denne tvivl.

Vi er nu tilbage i de tidligere begrundelser fra rådgiverne der fremmaner spøgelse om *"det skøre brud"* (som de dog kun nævner kort til sidst), og deres andet spøgelse, der handler om at *"trykresultanten falder uden for tværsnittet"*.

For at få disse spøgelse til at forsvinde er jeg nødt til at forklare hvad der sker når en bygning belastes af en vandret kraft som vindkraften. Hvis bygningen ikke er påvirket af en vandret kraft, så er ethvert vandret snit kun belastet af egenvægten (vi betragter et snit tæt på fundamentet), som resulterer i en jævnt fordelt (konstant) spænding i hele tværsnittet.



Hvis der påsættes en vandret kraft, så ændrer trykspændinger sig fra at være jævnt fordelte til at være lineært fordelte over tværsnittet, men således at momentet fra spændingerne er i balance med momentet fra den vandrette kraft. Dette opnås ved at spændingerne i luv side mindskes og spændingerne i læ side øges.

Ved overgangen til ikke-lineær opførsel, lad os kalde denne tilstand for "L", er spændingerne netop nul ved den luv side (hvor vind kraften virker som tryk), og maximale i den læ side.

I denne tilstand, hvor spændingsfordelingen er trekantformet, står trykresultanten (for et massivt tværsnit) i tredjedelpunktet tættest på læ side, og vindkraftens moment svarer derfor til den totale vægt af bygningen gange 1/6 af bygningsdybden. I hele denne lineære tilstand er bygningens egenfrekvenser konstante. Og kan måles under en storm så man kan konstatere at om alt er lineært og dermed ufarligt. Så længe egenfrekvensen er konstant er alt godt.

Hvis kraften øges yderligere, så starter der en ikke lineær opførsel hvor en del af tværsnittet imod den luv side har nul spændinger (fordi beton har en forsvindende lille trækstyrke som nævnt af Rådgiverne), og hvor der kun er lineær spændingsfordeling på en mindre del af det totale tværsnit imod den læ side.

I takt med at kraften øges, så vandrer trykresultanten (som Rådgiverne taler om) imod den læ side indtil vi når det punkt hvor kraften ikke kan øges yderligere, fordi trykresultanten ikke kan træde udenfor bygningens geometri (som fastslået af rådgiverne). Lad os kalde denne tilstand for "M".

Når den ydre kraft øges fra tilstanden L til tilstanden M, så aftager stivheden fra den oprindelige lineære og konstante stivhed til nul, som netop betyder at kraften ikke kan øges yderligere i tilstanden M.

Når stivheden aftager fra den oprindelige lineære stivhed til nul, så aftager egenfrekvensen fra den oprindelige egenfrekvens også til nul. Det gør den fordi Newton's love om dynamik sammenkobler stivhed og frekvens med en ligning der siger at egenfrekvensen er lig med kvadratroden af stivheden.

Eftersom vi kan måle egenfrekvenserne hele tiden (real time) så vil vi vide nøjagtigt hvornår vi træder blot en ganske lille smule forbi tilstanden L, fordi så vil vi med det samme vil se et fald i egenfrekvensen.

Det er hele ideen i monitorering. Et fald i egenfrekvensen betyder, at trykresultanten (som bekymrer Rådgiverne) er trådt forbi tredjedelpunktet. Et lille fald betyder at trykresultanten er trådt en smule forbi tredjedelpunktet, et større fald at den trådt længere forbi tredjedelpunktet osv.

Hvad vil jeg sige med det? Pointen er, at det spøgelse som Rådgiverne fremmaner ved at sige at "*trykresultanten falder uden for tværsnittet*", det spøgelse findes ikke fordi vi hele tiden nøjagtigt ved hvor meget egenfrekvenserne er faldet, og dermed hvor meget trykresultanten har bevæget sig forbi tredjedelpunktet.

Rådgivernes reference til oldtidens bygninger får mig til at slå fast (endnu en gang), at den omstændighed, at Bellahøj bygningerne er uarmeret beton, netop betyder at de er konstrueret på den samme måde som oldtidens bygninger. Det der holder bygningerne sammen er (heldigvis) ikke armering, men tyngdekraften. Det betyder at bygningerne er langt mere sikre end alt andet byggeri, fordi den kraft der holder dem sammen, nemlig tyngdekraften, ikke kan svigte.

Lad mig slutte med et par kommentarer om oldtidens bygninger. Akropolis er nok det mest kendte symbol på oldtidens bygninger, og Akropolis betyder "toppen af byen" idet de bygninger der ligger på



Akropolis ligger på det højeste punkt i Athen, hvor den højest beliggende bygning er Parthenon, der har stået der i 2.500 år.

Parthenon har som bærende konstruktion holdt til vindbelastningen selv om den ligger på det højest beliggende punkt i Athen og dermed har være udsat for de største vindhastigheder der har ramt Athen igennem de seneste 2.500 år. Der er ingen armering i Parthenon, den består af slanke søjler og andre løse elementer der er stablet oven på hinanden og det er kun tyngdekraften der holder det hele sammen – ligesom Bellahøj bygningerne.

End-of-doc.