

# Bygningsstabilitet for SAB I og SAB II Granskningsnotat



# Granskningsnotat

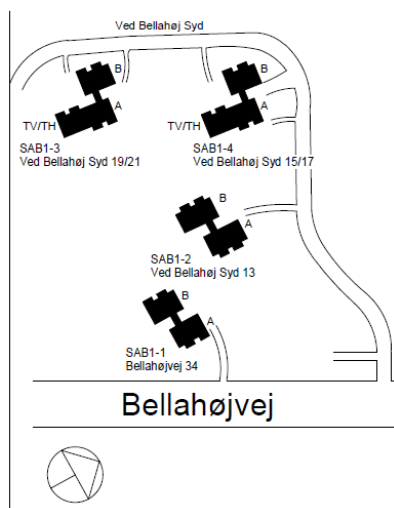
## Sagen

På opfordring fra Landsbyggefonden udfører JPM ApS for KAB en granskning af projektoplæg fra Niras på den midlertidige situation for bygningerne i perioden frem til renovering af bygningerne er gennemført. Denne kommende renovering vil indeholde en forstærkning af de bærende konstruktioner, så de lever op til nugældende krav.

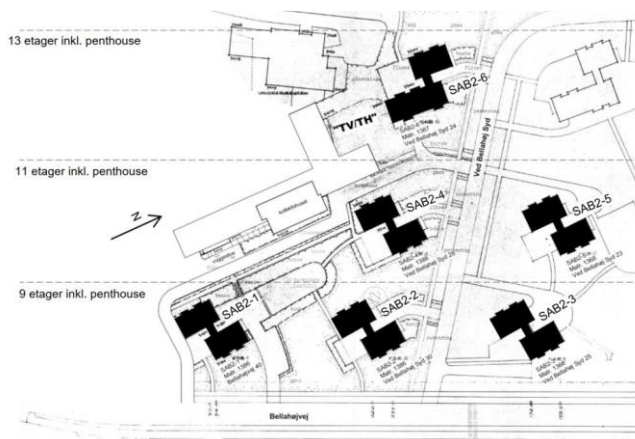
Bellahøjhusene er højhusboligblokke på hhv. 9, 11 og 13 etager inkl. penthouse, og hver blok består af en øst- og en vest-fløj, der højdemæssigt er forskudt med en halv etage, og som har forbindelse til et fælles trappetårn. Under bygningerne er der en kælderetage (i SAB2-6 Vestfløj dog 2 kælderetager), som i visse tilfælde ligger halvhøjt over terræn. Der er altaner på øst- og vestvendte facader. Etagerne inkl. penthouse anvendes til bolig. Kældrene indeholder cykelparkering, depotrum, varmecentral, el-tavlerum, mv.

SAB 1-1 og SAB 1-2 er ens i form, hhv. 9 og 11 etager, mens SAB 1-3 og SAB 1-4 er ens i form og 13 etager.

SAB2-1, SAB2-2 og SAB2-3 er ens i form og 9 etager imens SAB2-4 og SAB2-5 er ens og 11 etager. SAB2-6 er 13 etager.



SAB 1



SAB 2

## Granskningsopgaven

Landbyggefonden har ønsket en granskning af KAB's (ved rådgiver) undersøgelser af bygningernes bæreevne og projekt på evakueringsstrategi for bygningerne. Der ønskes en granskning af, om alle forhold er inddraget i projektet, fx om der kan være bygningsdele som ikke er inddraget, men som kunne medvirke til at forøge bygningernes bæreevnen, vurdering af rådgivers forudsætninger for beregninger mm, således at det sikres, at beslutninger ikke bliver for konservative.

## Omfang af granskning

Granskningen gennemføres med fokus på bygningernes længdestabilitet og vurdering af grundlag for evakuering.

Formålet med granskningen er at sikre, at forudsætninger og beslutninger i rådgiverteamets oplæg til evakuering ved høje vindhastigheder er retvisende, således at forudsætninger for beslutninger ikke er for konservative, herunder også om der er bygningsdele, som kan bidrage til bygningernes stabilitet, men som ikke er medtaget i projektet.

Der har været fokus på

- SAB2, stabilitetsberegninger
- Sikkerhedsfaktorer anvendt for den midlertidige situation

Granskningen er foretaget ved gennemgang af stabilitetsberegning for en bygning med 13 etager og en bygning med 9 etager. Alle typer bygninger er ikke gennemgået, da det antages at samme principper er anvendt for disse.

JPM har sideløbende i FemDesign modelleret diverse vægstykker og beregnet den langsgående stabiliserende væg overslagsmæssigt for sammenligning.

## Grundlag for granskningen, dokumenter

Vindnotater

- Globale vindlaster, rev. 4
- Annex Ax-Cx, alle rev. 1
- Annex D1 Målte vindlaster, rev. 1
- Partialkoefficient på vindlasten, rev. 0
- Prognose usikkerhedsanalyse, Annex A, rev. 0

SAB1 Brandforhold, indledende undersøgelse, 2022.06.13

SAB1 Bygningsstabilitet, rev. 1, 2022.09.02

- SAB1 Stabilitetsberegning for SAB1-1W, 2022.09.02
- SAB1 Stabilitetsberegning for SAB1-2W, 2022.09.02
- SAB1 Stabilitetsberegning for SAB1-3/4E, 2022.09.02
- SAB1 Stabilitetsberegning for SAB1-3/4W, 2022.09.02

SAB2 Bygningsstabilitet, foreløbig udgave

- SAB2 Stabilitetsberegning for SAB2-1E, 24.11.2022
- SAB2 Stabilitetsberegning for SAB2-6E, 28.11.2022
- SAB2 Stabilitetsberegning for SAB2-6W, 24.11.2022

Eksisterende forhold, varslingshastigheder SAB2 (vindroser) 06.12.2022

Sikkerhedszoner 26.04.2022

Der har været afholdt følgende møder i forløbet:

2022-11-21 Møde hos Niras,

Emne: Introduktion

Deltagere: Rasmus Poulsen/Niras, Jeppe Majlund Kristensen/Niras, Jørgen Clausen/JPM

2023-01-05 Teamsmøde

Emne: Gennemgang af dokumenter/beregninger

Deltagere: Rasmus Poulsen/Niras, Jeppe Majlund Kristensen/Niras, Jørgen Clausen, Kenneth Jacobsen/JPM

2023-01-06 Teamsmøde

Emne: Gennemgang af dokumenter/beregninger

Deltagere: Rasmus Poulsen/Niras, Jeppe Majlund Kristensen/Niras, Jørgen Clausen, Kenneth Jacobsen/JPM

2023-01-19 Møde hos Niras

Emne: Rådgivers kommentering af granskningsrapport.

Deltagere: Finn Larsen/KAB, Rasmus Poulsen/Niras, Svend Ole Hansen/SOH, Bent Feddersen/Rambøll, Jørgen Clausen/JPM

2023-03-28 Møde hos Rambøll

Emne: Rådgivers kommentering af granskningsrapport

Deltagere: Rasmus Poulsen/Niras, Svend Ole Hansen/SOH, Bent Feddersen/Rambøll, Jørgen Clausen/JPM

2023-04-14 Teamsmøde

Emne: Rådgivers kommentering af granskningsrapport

Deltagere: Rasmus Poulsen/Niras, Svend Ole Hansen/SOH, Bent Feddersen/Rambøll, Jørgen Clausen/JPM

### Problemstilling

Bygningerne er opført ca. 1955.

De har stået igennem hele perioden uden at der direkte har været konstateret skader på hovedkonstruktionerne. Der har i levetiden dog ikke været fokus på at undersøge om skader kunne være opstået.

I forbindelse med udarbejdelse af renoveringsprojekt for bygningerne har rådgiverteam gennemgået de eksisterende konstruktioner og udført beregninger på disse.

Man er herved blevet opmærksom på problemer med bygningernes bæreevne.

Dette er herefter analyseret nærmere og der er nu udarbejdet oplæg til at der iværksættes en evakuering af bygningerne ved specifikke grænser for vindhastighed for de forskellige bygninger.

Det er uundgåeligt, at denne beslutning kan synes svær at forstå og også kan blive opfattet som unødvendig, når bygningerne har stået gennem en meget lang årrække uden at der har været tegn på skader som følge af svigt. Bygningerne har således modstået storme, der har haft anseelig vindhastighed, men dog ikke udtømmende for alle vindretninger.

### Gennemgang af oprindeligt projekt

Gennemgangen er for som ovenfor nævnt med fokus på SAB2

ID	Granskningskommentar	Svar/bemærkning fra rådgiver
1.1	Vægge i hovedkonstruktion er delvist u-armede med en beskedne særlig armering i døroverliggerne.	Ingen bemærkninger

1.2	Der er typisk lodrette trækforbindelser på hver side af døråbninger, som kan bidrage til sammenhæng.	<i>Enig</i> <i>Den lodrette armering er oprindeligt ikke tænkt som trækforbindelser.</i>
1.3	Etagedækkene er armerede og giver derfor en vandret sammenhæng pr. etage.	<i>Enig</i>
1.4	På bygninger med 13 etager er de 4 nederste etager over jord egentlig armerede og for bygninger med 9 etager er kun vægge i stueetage armerede.	<i>Ingen bemærkninger</i>
1.5	Facadevægge er ophængt og har ingen konstruktiv sammenhæng til hovedkonstruktionen. Disse vil ikke direkte kunne bidrage til stabiliteten. Elementfuger i sider og bund er lukket med mørtelstopning. Den anvendte mørtel har karakter af vægpuds og er ikke fyldt ud mellem elementer, og der har gennem tiden været konstateret svigt i disse, der løbende er blevet udbedret.	<i>Enig</i>
1.6	Der kan ikke findes andre bygningsdele, fx vægge, der kan indgå i stabilitetsberegninger og som rådgiver ikke har medtaget.	<i>Ingen bemærkninger</i>
1.7	I kælderetagen bæres den mest kritiske langsgående væg på søjler. Det vurderes, at der burde have været flere veldefinerede vægfelter, der kunne sørge for, at vandret last føres hesigtsmæssigt til fundamenter.	<i>Enig</i>

### Bemærkninger til rådgivers beregninger

Gennemgangen er for som ovenfor nævnt med fokus på SAB2

Nedenfor granskningsbemærkninger, der efterfølgende er diskuteret på møder.

ID	Granskningskommentar	Svar/bemærkning fra rådgiver	Status
2.1	Der kan i de enkelte stabilitetsberegninger ikke ses udnyttelsesgrader for konstruktionen og man kan derfor ikke af beregningerne se, hvad der er mest kritisk. Hvad gør, at bygningerne ikke kan holde, er det betontryk, fundamenter, øvrige kælderkonstruktioner, manglende ballast, manglende trækforbindelser eller andet.	<i>Vindlasten er tilpasset således udnyttelsen er 100% i hver tilfælde. Udnyttelsesgraden for hovedkonstruktionen er således lastfaktor på vindlasten. Det er typisk manglende ballast der er dimensionsgivende. Men det bemærkes at alle konstruktionsdele har meget høje udnyttelsesgrader.</i>	ok
2.2	Hvis fundamenter ikke har tilstrækkelig bæreevne, vil det	<i>Fundamenter er som udgangspunkt ikke</i>	ok

	være et mere trægt svigt og ikke samme problematik som et for stort betontryk i en u-armeret betonvæg.	<i>dimensionsgivende. Cv er øget fra 200 KPa som oprindeligt forudsat til 250 KPa med baggrund i nye geotekniske undersøgelser. Vindlasten som funktion af tiden kan findes ud fra vindforsøg, men det har i projektet ikke været muligt at fastslå tidsafhængigheden mellem vindpåvirkning og kræfternes vej ned igennem bygningen. Hvis JPM kan henvise til en beregningsprocedure der tager hensyn til vindens tidsbegrænsede påvirkning af konstruktionen, kan det evt. indarbejdes. En af udfordringen synes at være at bygningen ikke bevæger sig som en monolit og en acc. af tyngdepunktet kan derfor ikke umiddelbart fastlægges samtidig med at det sikres at brudbetingelserne overholdes.</i>	
2.3	Er det primært kælder, der ikke har tilstrækkelig understøtning af ovenliggende vægge, da vil man for enkelte bygninger (SAB2-1, 2-2 og 2-3) relativt enkelt kunne udføre nogle forstærkninger, så bæreevnen øges og således at man kan hæve de fastlagte vindhastigheder for evakuering.	<i>Der pågår for SAB2-1, SAB2-2 og SAB2-3 udarbejdelse af projekt, hvor der etableres supplerende søjler og fundamenter, som derved gør at evakueringsvindhastigheden for disse bygninger kan øges, så evakuering forventes at ske færre gange.</i>	Enig
2.4	Der er på eksisterende tegninger angivet "jernbeton" op til 10. sal. Bør det undersøges nærmere ved scanning af nogle vægge, om der er udført armering i et vist omfang.	<i>U-armerende vægge er ikke scannet. Tegninger angiver u-armerende vægge. Ophugninger i anden forbindelse har ikke indikeret at der er anvendt mere armering end angivet på tegningsmaterialet. Armering i de enkelte vægskiver vil ikke øge bæreevne, da det antages i den plastiske fordeling at væggene kan trykkes op til betonens trykbrudstyrke.</i>	ok
2.5	Der er ved dørkolonner gennemgående lodrette armeringsforbindelser igennem alle etager og armeringen i etagedæk giver en vandret sammenhæng. I stabilitetsberegning er anvendt partialkoefficient på betonstyrke på 1,6, der gælder for uarmeret beton.	<i>Den ene armeringstang i vægfeltet gør ikke at et evt. brud bliver varslet eller at væggen er minimusarmeret. Da trykzonen i stabilitetsberegningen er meget lille, har partialkoefficienten på betonens trykstyrke kun lille indflydelse på momentbæreevnen. Det</i>	Ok, enig.



		<i>bemærkes, at betonstyrken udokumenteret er øget med 25 % ud over den oprindelig forskrevne styrke som følge af antaget styrkeudvikling ud over 28 døgn.</i>	
2.6	Der anvendes nugældende regler, herunder også imperfektioner, som ikke på opførelsetidspunktet var praksis. Er det overvejet om man kunne forsvare at undlade bidrag fra imperfektioner eller at man kunne måle sig til at primære vægge er i lod tilnærmelsesvis. Det ville give en forøgelse af bæreevne på op til ca. 10%.	<i>Korrekt at nugældende EC anvendes, hvilket har været en forudsætning for opgaven. Oprindelig er anvendt et tilfælde med 1,5% masselast. Det har været diskuteret om imperfektionsbidraget kan udgå, men det er vurderet at selv med perfekte tolerancer vil geometriske imperfektioner ikke kunne udgå af beregningerne. Hvis tolerancerne indgik eksplicit i beregningen ville man kunne anvende de faktiske tolerancer. Det bemærkes i øvrigt at der ikke er noget som antyder at bygningerne er opført med bedre tolerancer eller materialevariationer end EC forudsætter. Der er set bort fra lokale imperfektioner.</i>	ok
2.7	Man har valgt ikke at medregne facadevægge som vægskiver i stabilitetsberegningen, da der ikke er en konstruktiv forbindelse til hovedkonstruktionen/dækskiver og imellem facadeelementer. Fuger er alene stoppet med mørtel i bund og sider. Denne mørtel er oplyst ikke at være intakt alle steder, men den er der og giver en vis friktion, der gør at facadevæggene i praksis vil medvirke til at sikre stabiliteten.	<i>Det har ikke været muligt at dokumentere facadernes bæreevne, hvorfor denne ikke er medtaget. Der er i beregninger inkluderet et afsnit hvor det beregnes hvor meget de vil bidrage med hvis de var perfekt understoppet i hele bredden. Det bemærkes at facader primært er udført i Leca beton og en mulig-understopningen med vægpuds ikke kan anvendes i en dokumentation.</i>	ok
2.8	Den midlertidige situation er begrænset til oplyst ca. 3 år. I denne periode vil næppe forekomme ret mange betydende storme, som kunne gøre at denne mørtel i fuger blev "rystet" løs og ikke længere havde nogen funktion. Har man vurderet på, hvor stor en effekt facadevæggene kunne have for stabiliteten af bygningerne, hvis der blev indregnet blot en meget beskeden og konservativt bestemt friktion.	<i>Tilstanden af mørtelfuger kendes ikke, da disse er skjult, men det må forudsættes at disse består af væg-puds. Det er fra BH oplyst at lodrette vægfuger ofte revner. Facadernes effekt er angivet i rapporten – jf. punkter i konklusionen, hvor bidrag der er "set bort fra" er oplyst.</i>	ok

2.9	<p>De ophængte facader giver en ballast/tyngde, der sammen med den pladsstøbte betonkonstruktion for både dæk og vægge giver en sammenhæng og givet i praksis hjælper med til at sikre bygningens stabilitet. Det er vores vurdering at facadevæggene i praksis også bidrager som ballast, men at de fx for de langsgående og mest kritiske vægge hænger for langt væk fra væggenes ender og dermed ikke teoretisk kan bidrage som ballast i beregningerne. Vi er derfor enige med rådgiver, at det ikke vil være muligt beregningsmæssigt at inddrage ballast fra disse ved eftervisning af stabiliteten for de langsgående vægge.</p>	<i>Ingen bemærkninger</i>	-
2.10	<p>Ved overvågning af vejrdato med varsling bør sikkerhedsfaktorer på vindlast for evakuering kunne reduceres. Rådgiverteam har aktuelt reduceret partialkoefficient på vindlast til 1,21 for den midlertidige situation, så der konstateres at være optimeret i forhold til dette.</p>	<i>Ingen bemærkninger</i>	-
2.11	<p>Basisvindhastigheder er vurderet ud fra historiske data og der er udført vindtunnelforsøg, hvorfor der er optimeret i forhold til påførte belastninger i beregningerne.</p>	<i>Ingen bemærkninger</i>	-
2.12	<p>Det er oplyst, at der er udført svingningsmålinger på bygningerne. Heraf vil kunne beregnes bygningernes reelle inertimoment. Dette kan sammenholdes med det oprindeligt beregnede inertimoment fra det elastiske samlede vægtværsnit. Kunne det herved tænkes at man kan godtgøre, at den elastiske model alligevel kan accepteres eller at der kan godtgøres en sammenhæng ved friktion i facadevægge.</p>	<p><i>Det er vurderet at der ikke er sammenhæng mellem inertimoment målt i anvendelsesgrænsetilstanden og inertimomentet i brudgrænsetilstanden. Dette skyldes at mange sekundære konstruktioner vil bidrage med stivhed så længe flytninger er små, men at deres bæreevne/stivhed vil forsvinde ved store flytninger i ULS. Det er ligeledes vurderet at bæreevnen af sekundære konstruktioner ikke kan dokumenteres.</i></p>	ok
2.13	<p>Partialkoefficient på vindlast:</p>	<p><i>En tilgang med at vurdere bygningens bæreevne ud fra</i></p>	Ok, gransker er enig i, at der kun er historiske data



	<p>Sikkerhedsniveauet er fastlagt teoretisk ved at svigtsandsynligheden i den aktuelle situation med overvågning og evakuering er den samme som fastlagt i gældende eurocode.</p> <p>Da bygningerne har stået i snart 70 år, hvor der har været utallige storme, bør man kunne inddrage i vurderingen, at bygningerne har været "prøvebelastet" til en given vindhastighed.</p> <p>Samtidigt er der foretaget målinger af bygningens bevægelser, der betyder at egensvingning bliver mere præcist fastlagt end en teoretisk beregnet svingning, hvilket måske også kan have betydning for beregningen af svigtsandsynligheden.</p> <p>Hvordan eller om dette kan inddrages i beregningen af svigtsandsynligheden kan JPM ikke afgøre, men det kan vurderes nærmere af Svend Ole Hansen ApS.</p> <p>Det bør i givet fald betyde, at vindhastigheder for evakuering må kunne forhøjes.</p>	<p><i>historiske vinde har været undersøgt af SOH og kommenteret af Rambøll. Bygherre har valgt ikke at gå videre med disse analyser, da det er vurderet at analyserne ikke umiddelbart kan bidrage til at dokumentere en øget bæreevne.</i></p>	<p>med høje vindhastigheder fra få vindretninger. Dog vil fremtidige vinde mest sandsynligt have samme vindretninger. Der foreligger notater omkring hyppighed af evakuering.</p>
2.14	<p>Stabilitetsberegningerne: Det fremgår ikke af beregningsdelen, hvor et svigt for de forskellige lastkombinationer vil ske.</p> <p>Det er nødvendigt at få dette uddybet, så man reelt kan se, hvor bæreevne overskrides, og hvor der er de mest betydende overskridelser.</p> <p>Der kan fx være en væg på 4. sal, der har en udnyttelsesgrad på 150% og en bygningsdel i kælderen, der har en udnyttelsesgrad på 200%. Det kan ligeledes være fundamentene, der har en stor overskridelse.</p>	<p><i>For SAB2-6W (13 etager) viser beregninger at det er væltning der er dimensionsgivende. For SAB2-1 til SAB2-3 (9 etager) viser beregningerne at det for lastkombinationerne 5b og 6a er den "manglende" understøtning af kældervæggen der er dimensionsgivende, mens det for øvrige lastkombinationer er væltning (manglende ballast) der er dimensionsgivende. Når interimforstærkninger i kælderen, hvor væggen understøttes af stålgitter, er udført, vil væltning være dimensionsgivende for alle lastkombinationer.</i></p>	<p>Ok. Projekt for forstærkning SAB2-1, SAB2-2 og SAB2-3 pågår.</p>

	<p>Det har stor betydning at få afklaret, da man fx med få indgreb kunne udføre forbedringer i kælderen og derved hæve grænsen for evakueringsvindhastigheden væsentligt.</p> <p>SAB2-1, SAB2-2 og SAB2-3 tilrettes med forstærkninger i kælder for at hæve evakueringsvindhastighed for disse (pågår).</p>		
2.15	<p><b>Svigtmekanisme:</b> Det synes at være konstruktioner i kælderen, der er mest kritisk.</p> <p>Mht. stabilitetssvigt i kælderen med jordfyld om hele bygningen vil et svigt vurderes meget trægt, hvilket måske kan inddrages ved vurdering af sikkerheden.</p> <p>Et svigt i fundamenter er ligeledes trægt.</p> <p>Her tænkes på, at et vindstød er kortvarigt, så lasten er aftaget inden bygningen vil have flyttet sig.</p>	<p><i>Nej. Fundamenter er som udgangspunkt ikke dimensionsgivende. Cv er øget fra 200 KPa som oprindeligt forudsat til 250 KPa. Vindlasten som funktion af tiden kan findes ud fra vindforsøg, men det har i projektet ikke været muligt at fastslå tidsafhængigheden mellem vindpåvirkning og kræfternes vej ned igennem bygningen. At tage hensyn til vindens tidsbegrænsede påvirkning af konstruktionen er vanskelig. En af udfordringen synes at være at bygningen ikke bevæger sig som en monolit og en acc. af tyngdepunktet kan derfor ikke umiddelbart fastlægges samtidig med at det sikres at brudbetingelserne overholdes.</i></p>	ok
2.16	<p><b>Sammenhæng i betonvægge:</b> Ved stabilitetsberegning medtages modhold fra tværvægge. Tværvæggene kan tilsvarende også fordele tryk ud i tværvægge, som minimum hvor vægge er armerede.</p> <p>Fordeling til tværvægge indgår ikke i regnearket til betonelements-kiveprogrammet.</p> <p><i>Spørgsmål: Kan vægge i en vis grad betragtes elastisk og regnes i princip som den oprindelige beregning for de nederste vægge, som er armerede og hvilken betydning har det for kapaciteten?</i></p>	<p><i>Det er vurderet at den elastiske analyse ikke kan anvendes Det er bla. vurderet at en elastiske analyse at den hullede væg med det aktuelle bredde/længde forhold vil medføre, at der udvikles spændingsspidser og deraf revner før plan spændingstilstand opnås. Det er ligeledes vurderet at forskydningskræfternes forløb ikke kan dokumenteres. Det bemærkes ligeledes at udformning af støbeskel mellem vægge ikke kendes.</i></p>	Gransker er enig i, at det er problematisk at indregne forhold, der ikke kendes nærmere, herunder forskydningskræfters forløb.

<p>2.17</p>	<p>Betonvægge regnet som armerede vægge: Ifølge de oprindelige tegninger er på hver side af døråbningskolonner indbygget en gennemgående trækarmering typisk <math>\varnothing 22</math> og nogle steder mindre. Ved hvert etagedæk er tværarmering fra etagedækkene.</p> <p>Alle vægstykker kan således betragtes at være omkranset af en stringerarmring.</p> <p><i>Spørgsmål: Når alle vægstykker er udført med en art stringerarmring kan man da betragte væggene som armerede og udføre en elastisk FEM beregningsmodel, som vil give væggene en større kapacitet.</i></p> <p><i>Spørgsmål: Da væggene er armeret i et vist omfang, hvilken betydning har det, hvis partialkoefficient på beton reduceres fra den konservativt anvendte 1,6?</i></p>	<p><i>Det er ikke konservativt at anvende 1,6 for u-armeret beton. Det har ringe betydning, da trykzoner i den plastiske fordeling er meget lille. Den ene armeringstang i vægfeltet gør ikke at et evt. brud bliver varslet eller at væggen er minimusarmeret. Da trykzonen i stabilitetsberegningen er meget lille, har partialkoefficienten på betonens trykstyrke kun lille indflydelse på momentbæreevnen. Det bemærkes, at betonstyrken udokumenteret er øget med 25 % ud over den oprindelig forskrevne styrke som følge af antaget styrkeudvikling ud over 28 døgn.</i></p>	<p>ok</p>
<p>2.18</p>	<p>Måling af egenfrekvenser: Der er foretaget målinger af bygningens bevægelser over en periode.</p> <p>De oprindelige beregninger er udført som en elastisk model, hvor inertimoment er beregnet på den samlede vægfigur.</p> <p>Har disse målinger været gennemført også i en periode med høje vindhastigheder vil de i højere grad kunne benyttes som retvisende.</p> <p><i>Spørgsmål: Kan sammenhæng mellem målinger og metoden for den oprindelige beregning godtgøre, at de oprindelige beregninger er retvisende og at de derfor bør kunne dokumentere bæreevnen helt eller delvist?</i></p>	<p><i>Det er vurderet der ikke er sammenhæng mellem målte acc. i SLS og bygningens bæreevne i ULS. Det er vurderet at der ikke er sammenhæng mellem inertimoment målt i anvendelsegrænsetilstanden og inertimomentet i brudgrænsetilstanden. Dette skyldes at mange sekundære konstruktioner vil bidrage med stivhed så længe flytningerne er små, men at deres bæreevne/stivhed vil forsvinde ved store flytninger i ULS. Det er ligeledes vurderet at bæreevnen af sekundære konstruktioner ikke kan dokumenteres.</i></p>	<p>Gransker er enig i, at så længe målinger ikke er foretaget ved høje vindhastigheder, kan de ikke benyttes ved ULS. Men kan de heller ikke bidrage til at hæve evakueringsvindhastigheder i mindre omfang?</p>

## Diskussion

Følgende afsnit skal ses som en diskussion af forhold, der overvejes i forbindelse med vurdering af bæreevnen for bygningerne. Alle udsagn er specifikt behandlet i ovenstående afsnit og dette afsnit har derfor alene til formål at beskrive de overvejelser, der i granskningsforløbet har været medinddraget.

Bygningerne har stået 65 år uden at der er observeret skader og de har dermed vist at kunne modstå kraftig vind.

Det vides reelt ikke, om der kan være opstået skader, fx revner i betonvægge. Disse kan løbende være kosmetisk udbedret uden at være registreret som skader på konstruktionen. Udsagnet kan derfor ikke bidrage til at mindske sikkerhed i beregninger.

Det ses ikke som en mulighed at argumentere for at bygningerne derved kan betragtes som sikkerhedsmæssigt i orden uden en evakuering, da man ikke kan vide om bygningerne ved en tidligere storm har været nær et svigt og dermed kan være mere eller mindre skadet, og man kender ikke en fremtidig storm, som kan blive kraftigere end tidligere.

Bygningernes stabilitet kan ikke eftervises teoretisk, bygningerne overholder hverken krav i 1949 normer eller nugældende krav til bæreevne og robusthed, hvilket i sig selv er problematisk.

Bygningernes hovedkonstruktioner kan konstateres at være opført i en stor del som mere eller mindre u-armeret beton, Det at bygningerne er opført i delvist u-armeret beton giver pga. manglende træghed/duktilitet risiko for pludselig uvarslet brud, hvilket er meget farligere end et trægt brud, hvor konstruktionen bliver skadet, men ikke kollapser.

Levetiden for enhver bygning vil på et tidspunkt være opbrugt, hvilket også hænger sammen med den kommende reovering.

Beslutning om evakuering for en periode på fx 3 år, før der alligevel skal foretages en reovering med forstærkning af bygningerne kan synes svær at forstå nødvendigheden af, sammenholdt med at bygningerne har stået i mere end 65 år uden skader på hovedkonstruktionerne.

Med den viden man har fået efter at have gennemgået oprindelige beregninger og udført nye beregninger er man dog nødt til at handle i forhold til evakuering, da der ikke kan slækkes på sikkerheden for et byggeri.

Det kan synes, at vurderingen, at bygningerne ikke har tilstrækkelig bæreevne, er af principiell karakter, men omvendt er det nødvendigt at sikkerheden overordnet er på et acceptabelt niveau, om det så er niveauet i dag eller ved opførelsen kan diskuteres.

Der vil kun kunne flyttes marginalt på grænse for evakuering med andre valg af forudsætninger end de anvendte.

## Opsummering

Sammenfattende kan det efter granskningen sluttes, at det er væsentligt at sikkerhedsniveauet for bygningerne svarer til det generelle sikkerhedsniveau, der ikke kan forsvares ændret, da det reelt handler om sikkerhed for personer.

Illustrativt kan dette beskrives således for det normale sikkerhedsniveau sammenholdt med Bellahøjhusene:

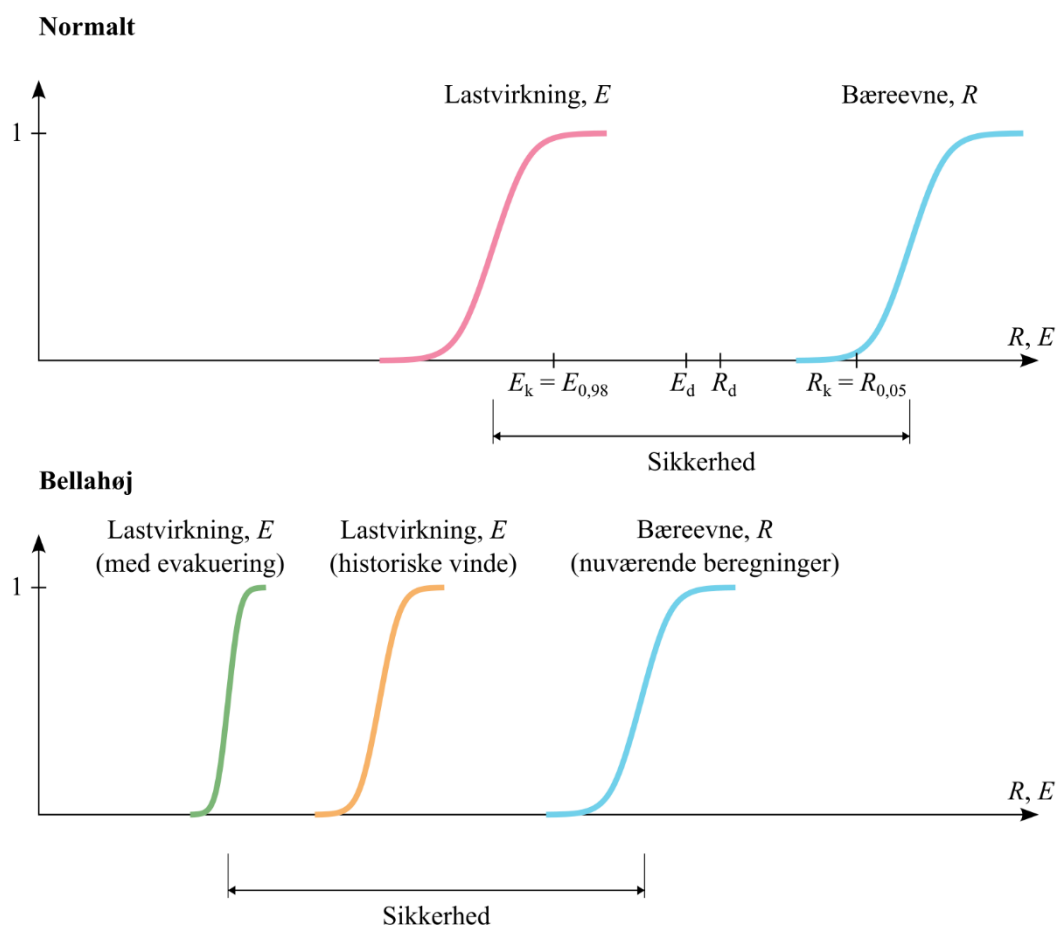
Kurverne i figuren øverst beskriver generelt en bygnings bæreevne for nugældende regler, hvor den blå kurve er den beregnede bæreevne, og den røde kurve viser den beregnede virkning af vindlasten. Forskellen (forskydningen) mellem de 2 kurver illustrerer den indbyggede sikkerhed.

Kurverne i figuren nederst beskriver forholdene for Bellahøjhusene. Den blå kurve er den beregnede bæreevne, der for Bellahøjhusene er mindre end den skulle være efter gældende regler (vist i øverste figur)

enten på opførelsestidspunktet eller efter nugældende regler. Den grønne kurve viser den beregnede virkning af vindlasten ved den bestemte vindhastighed, hvor der sker evakuering. Forskellen (forskydningen) mellem de 2 kurver illustrerer igen den indbyggede sikkerhed, som skal svare til vores fastsatte sikkerhedsniveau, altså det samme som i øverste figur.

Historisk vindpåvirkning gennem Bellahøjshusenes levetid har været undersøgt og disse vinde har naturligvis været højere end de fastsatte evakueringsvindhastigheder og illustrativt derfor med den orange kurve at ligge imellem den blå og den grønne kurve. Det kan ses af figuren, at der for vindpåvirkningen af bygningen historisk ikke vil være den sikkerhed, der ifølge regler er fastlagt for bygninger i Danmark.

Figurene illustrerer princippet for fastlæggelse af sikkerhedsniveau ved evakuering. Selve kurverne er fordelingskurver baseret på de indgående usikkerheder, hvilket ikke har betydning for illustrationen af sikkerheden.



Manglen på svigt i de ca. 70 år, hvor bygningerne har modstået de optrædende vindforhold, stemmer med, at fordelingskurven for lastvirkningen med de historiske vinde ligger til venstre for kurven med den reducerede bæreevne ved de nuværende beregninger. Uden evakuering ses det, at sikkerhedsmarginen bliver mindre end de normfastsatte krav, hvilket ikke kan accepteres.

**Konklusion**

Det vurderes, at det forelagte materiale giver et retvisende billede for bygningerne, og at man med den viden man har i dag om husenes konstruktionsopbygning bør forholde sig til, at sikkerheden ikke svarer til hverken det niveau vi har i dag eller sikkerhedsniveauet på opførelsestidspunktet

Vindhastigheder for evakuering er fastlagt, så sandsynlighed for svigt svarer til gældende eurocode. Nogle forudsætninger for beregningerne er fastlagt relativt konservativt, mens særligt vindpåvirkningen er undersøgt og vurderet meget detaljeret og præcist.

De fastsatte maksimale vindhastigheder for evakuering ligger en del under de vindhastigheder, som bygningerne reelt tidligere har modstået, hvilket kan synes svært at forstå i forhold til en evakuering, når der ikke er sket ændringer på bygningerne gennem tiden. Beregningerne og konstruktionsopbygning viser dog meget stor afvigelse i forhold til både gældende og i forhold til 1949 normer for sikkerhedsniveau. Der er ikke ved granskningen fundet andre forhold, som ville kunne inddrages for at kunne forhøje de fastsatte grænser for evakuering, på nær for de igangværende undersøgelser ved forstærkning i kælder for SAB2-1, SAB2-2 og SAB2-3, som omtalt ovenfor, hvor evakueringsvindhastigheder kan løftes.

Samlet vurderes det at grundlaget for beskrevne evakuering ved høje vindhastigheder er passende.



Jørgen Clausen