



## Notat

### Vindmålinger i forbindelse med opstart af lokalplan Bellahøj Syd

#### Resume

Klima-, Miljø- og Teknikudvalget har bedt forvaltningen om at redegøre for mulighederne for at træffe politisk beslutning om, at der bliver foretaget yderligere vindmålinger på Bellahøjhusene efter Rune Brinckers metode. Det er forvaltningens vurdering, at der ikke er retligt grundlag for at påbyde Boligorganisationen SAB at foretage nye målinger, da målingerne ikke vil bidrage med ny viden.

#### Sagsfremstilling

Klima-, Miljø- og Teknikudvalget blev den 6. maj 2024 orienteret om muligheden for flere målinger (bilag 1).

Den 27. april 2023 vedtog beboerne i afdeling Bellahøj I og II på et afdelingsmøde, at der skulle foretages målinger direkte på husene. Boligorganisationen SAB, som afdelingen SAB Bellahøj I og II er en del af, ønsker ikke en alternativ måling, da de vurderer, at denne ikke ville give relevant ny viden.

Klima-, Miljø- og Teknikforvaltningen har som myndighed på området pligt til at sikre, at forvaltningen efter almenboliglovens § 165 sikrer en forsvarlig drift af almene afdelinger, hvilket i sidste ende kan gøres ved at meddele påbud om udførelse af bestemte handlinger, som understøtter dette. I denne forbindelse kan forvaltningen pålægge parten at fremskaffe bestemte oplysninger, som det ikke vil være særligt belastende, besværligt eller omkostningskrævende for parten at fremskaffe. Et sådant påbud medfører retligt set en pligt for parten til at indhente de konkrete oplysninger, og forudsætter, at oplysningerne kan bidrage til, at sagen afgøres korrekt. Målinger, der er unødvendige, ligger ikke inden for det forvaltningens myndighedsopgave at påbyde.

For at oplyse sagen har Klima-, Miljø- og Teknikforvaltningen anmodet et uafhængigt ekspertudvalg om at vurdere, om de nye målinger, som beboerne ønsker, ville give ny viden. Ekspertudvalget udtalte i deres tredjepartsvurdering af 23. april 2024, at de vedtagne målinger ikke ville give ny viden (bilag 1). Det fremgår blandt andet af vurderingen, at *"Måleprojektet fremstår som et skitseforslag til et forskningsprojekt"* og at *"på baggrund af det nuværende vidensgrundlag og på baggrund af sagens dokumenter er det vores vurdering, at hverken vindlasten eller usikkerheden på denne kan reduceres yderligere i forhold til det, der allerede er opnået på Bellahøjbygningerne"*.

Det er forvaltningens vurdering, at når tre uafhængige eksperter på dette faglige område samstemmende vurderer, at måleprojektet ikke vil

05-02-2026

Sagsnummer I F2  
2025 - 3542

Dokumentnummer i F2  
240694

Sagsnummer eDoc  
2025-0057833

Rådhussekretariatet  
Rådhuspladsen 1  
1550 København V

EAN-nummer  
5798009809452

give nogen ny viden, kan forvaltningen som myndighed ikke efter loven påbyde boligselskabet at gennemføre afdelingsmødets beslutning. Det er i denne forbindelse forvaltningens vurdering, at dette tiltag ikke vil sikre en forsvarlig drift af boligafdelingen, hvormed der ikke er retligt grundlag (lovhjemmel) for forvaltningen til at iværksætte et påbud herom. Det er forvaltningens vurdering, at det i stedet vil være uforsvarlig drift at lade boligselskabet bruge beboernes penge på et projekt, der ikke vil gøre nogen forskel.

Som offentlig myndighed med ansvar for forvaltning af området i Københavns Kommune, jf. kommunens styrelsesvedtægt § 19, varetager forvaltningen området i overensstemmelse med den gældende lovgivning, her almenboligloven. Hvor det tilkommer fagudvalget som kommunalretligt organ i kommunen at træffe afgørelser i enkelte sager på sit udvalgsområde, jf. styrelsesvedtægten § 19, er der ikke i denne forbindelse overladt det politiske niveau et andet handlerum end forvaltningen. Det betyder, at udvalget ikke kan træffe en anden beslutning, når der ikke er retligt grundlag herfor.

Karsten Biering Nielsen  
Vicedirektør

## **Bilag**

Bilag 1 Orientering om ekspertudsagn om nye målinger på Bellahøjhusene



## Notat

### Ekspertudsagn om nye målinger på Bellahøjhusene

#### Resumé

Den 27. april 2023 vedtog beboerne i afdeling Bellahøj I og II, at der skal foretages alternative målinger direkte på højhusene, der skal evakueres ved høje vindhastigheder. Målet er at reducere udgiften til renoveringen og sikre færre evakueringer. Boligorganisationen SAB, som afdelingen er en del af, ønsker ikke en alternativ måling, da vurderingen er, at denne ikke ville give relevant ny viden. For at oplyse sagen har Teknik- og Miljøforvaltningen anmodet et uafhængigt ekspertudvalg om at vurdere, om de nye målinger vil give ny viden. Ekspertudvalget har nu udtalt, at de vedtagne målinger ikke vil give ny viden, hvorfor det ikke er relevant for forvaltningen at gøre yderligere i forhold til at få gennemført afdelingens beslutning.

#### Sagsfremstilling

På grund af de statiske problemer er det nødvendigt at evakuere beboerne ved høje vindhastigheder, og forvaltningen har på baggrund af evakueringerne givet et påbud om genhusning senest den 30. juni 2024.

KAB's rådgivergruppe bestående af Niras, Svend Ole Hansen og Rambøll har på baggrund af vindtunnelforsøg beregnet en maksimal vindhastighed, hvor bygningerne stadig har den lovmæssigt krævede sikkerhed. Disse beregninger er lagt til grund for de foretagne evakueringer.

Afdelingsbestyrelsens rådgiver Rune Brincker, der er tidligere DTU-professor, mener at kunne reducere renoveringsarbejderne og usikkerheden ved KAB's modelberegninger ved at måle direkte på bygningerne. Målingerne vil koste 0,75 mio. kr. og tage ca. en måned at gennemføre ifølge Rune Brincker.

Ekspertudvalget skriver i sit notat, at tidshorisonten ikke er realistisk og i det hele taget ikke vil føre til brugbare resultater.

KAB og deres rådgivere vurderer ikke, at disse nye målinger vil give relevant ny viden til sagen.

For at oplyse sagen har Teknik- og Miljøforvaltningen ved mail af 1. februar 2024 anmodet KAB om at indhente en uafhængig tredjepartsvurdering, der skal vurdere, om de nye målinger vil give ny viden.

06-05-2024

Sagsnummer i F2  
2024 - 8094

Dokumentnummer i F2  
135797

Sagsnummer i eDoc  
2024-0140916

Klima og Byudvikling  
Njalsgade 13  
2300 København S

EAN-nummer  
5798009809452

Tre eksperter blev udvalgt til at foretage vurderingen, hvor den ene af eksperterne blev udvalgt på baggrund af anbefaling fra Rune Brincker.

Eksperterne er blevet spurgt, om man i forbindelse med de nye målinger til bestemmelse af vindkraften kan reducere middelværdien af vindkraften eller usikkerheden på vindkraften og dermed opnå en forøgelse af sikkerheden.

Ved mail af 22. marts 2024 anmodede KAB på vegne af eksperterne om at få spørgsmålet præciseret. Dette gjorde Teknik- og Miljøforvaltningen ved mail af 2. april 2024, hvor Teknik- og Miljøforvaltningen præciserede, at vurderingen skal ske i forhold til de vindlaste og usikkerheder boligorganisationens rådgivere er kommet frem til, fordi dette er afgørende for at kunne ændre på evakueringerne.

På baggrund heraf er ekspertudvalget kommet frem til deres vurdering.

Ekspertudvalget mener ikke målingerne giver ny viden fordi:

- Nye målinger vil ikke give en yderligere reduktion i usikkerhederne, fordi omtrent halvdelen af usikkerheden allerede er fjernet ved vindtunnelmålingerne.
- Måleprojektet fremstår som et skitseforslag til et forskningsprojekt. Principperne bag det foreslåede måleprojekt er ikke valideret til denne type målinger på betonbygninger. Anvendelighed af metoderne på Bellahøjbygningerne indenfor en relevant tidshorisont er ikke realistisk.
- Der er ikke fremlagt dokumentation for, at den af Rune Brincker foreslåede metode har større præcision end estimater baseret på vindtunnelforsøg.

Det er således ikke relevant for forvaltningen at gøre yderligere i forhold til at få gennemført afdelingens beslutning.

Efter anmodning fra SABs organisationsbestyrelse og afdelingsbestyrelse har Teknik- og Miljøforvaltningen den 3. maj 2024 godkendt en udskydelse af fristen for genhusning af de tre højeste bygninger i afdelingen fra den 30. juni 2024 til den 30. september 2024 med henblik på at give boligorganisationen mere tid til at finde genhusningsboliger, der i højere grad opfylder beboernes ønsker til en kommende bolig.

Karsten Biering Nielsen

Vicedirektør



# **Tredjepartsvurdering af forslag til bestemmelse af ekstreme vindbelastninger på husene på SAB Bellahøj I og II baseret på målinger af husenes dynamiske opførsel**

Notat udarbejdet af:

Linh Cao Hoang, professor i betonkonstruktioner, DTU

John Dalsgaard Sørensen, professor i last og sikkerhed, Aalborg Universitet

Ulf Tyge Tygesen, Expert Advisor, Structural Health Monitoring & Digital Twin Technologies, UTT Consult

23. april 2024

# 1 Indledende bemærkninger

Foranlediget af Københavns Kommune Teknik- og Miljøforvaltning har KAB-bolig bedt os om at foretage en uafhængig tredjepartsvurdering af et forslag til bestemmelse af vindbelastning på husene på SAB Bellahøj I og II baseret på målinger af husenes dynamiske opførsel. Målingerne er foreslået af Brincker Monitoring ApS, ved CEO Rune Brincker.

Teknik- og Miljøforvaltningen ønsker følgende belyst:

*”Der ønskes en vurdering af, om man i forbindelse med de nye målinger foreslået af afdelingsbestyrelsen og Rune Brincker til bestemmelse af vindkraften kan reducere middelværdien af vindkraften eller usikkerheden på vindkraften og dermed opnå en forøgelse af sikkerheden i forhold til de vindlaster og usikkerheder Niras/Rambøll/SOH er kommet frem til, bl.a. opnået med vindtunnelforsøg”*

Som grundlag for tredjepartsvurderingen har KAB-bolig fremsendt dokumenter vedlagt i bilag 1 - 4. Vi har desuden uopfordret fået et uddybende notat eftersendt af Rune Brincker, hvori han beskriver sit projektforslag (bilag 5). Foranlediget af en forespørgsel har Rune Brincker også sendt et notat (bilag 6), som indeholder en redegørelse af hans beregninger af sikkerhedsindekser, som han vurderer kan opnås via målinger.

Fra Niras har vi fået tilsendt en kort opsummering af de væsentligste statistiske og udførelsesmæssige forhold ved de omtalte bygninger (bilag 7). Herudover har Niras givet os adgang til deres statistiske beregninger, de oprindelige arkitekt- og konstruktionstegninger, samt rapporter vedrørende vindtunnelmålinger og fastlæggelse af reducerede partialkoefficienter udført af Svend Ole Hansen ApS. De sidstnævnte dokumenter refereres til som baggrundsdokumenter BD1 – BD3.

Listen af bilag og baggrundsdokumenter fremgår herunder.

- Bilag 1: Afdelingsbestyrelsens henvendelse den 22. december 2023, hvori målingerne beskrives
- Bilag 2a: Artikel i Ingeniøren udarbejdet af afdelingsformand John Steen Johansen og Rune Brincker
- Bilag 2b: Tegninger af trappetårne
- Bilag 3: Artikel i Ingeniøren udarbejdet af Rasmus Poulsen (Niras), Svend Ole Hansen (SOH ApS) og Bent Feddersen (Rambøll)
- Bilag 4a: Afdelingsbestyrelsens henvendelse den 8. november 2023
- Bilag 4b: Mødereferat fra møde mellem parterne den 6. november 2023
- Bilag 4c: Rune Brinckers kommentarer vedr. møde den 6. november 2023
- Bilag 4d: Rune Brinckers oplæg til møde den 6. november 2023
- Bilag 5: Rune Brinckers notat om måleprojekt på Bellahøj
- Bilag 6: Rune Brinckers notat vedr. sikkerhed
- Bilag 7: Niras' opsummering af statistiske og udførelsesmæssige forhold
- BD1: Niras' statistiske beregninger
- BD2: Oprindelige tegninger
- BD3: Svend Ole Hansen ApS: Vindlast og sikkerhedsniveau

## 2 Parternes synspunkter i Ingeniørens Ugeblad (bilag 2, 3 og 6)

I Bilag 2a (Artikel udarbejdet af John Steen Johansen, afdelingsformand, og Rune Brincker) anføres:

*"Vi har foretaget en forsigtig vurdering af hvor meget sikkerhed, der kan vindes ved at måle den faktisk forekommende vindlast på bygningerne. Det er velkendt, at usikkerhederne på vindlaster og andre naturlaster er meget store, ofte af størrelsesorden 25 % eller mere. Derfor er det også tilfældet, at de vindlaster, der foreskrives af normerne, er en del større end virkeligt forekommende, ofte af størrelsesorden 20-40 % for store. Dette er nødvendigt for at sikre, at normerne er på den sikre side".*

Formuleringen "... at måle den faktisk forekommende vindlast på bygningerne." er ikke retvisende. Der er tale om en indirekte metode, hvor der måles på bygningernes dynamiske respons, som efterfølgende anvendes til at estimere vindlasten baseret på en lang række antagelser og på en kalibrering af en digital twin (konstruktionsmodel af bygningerne).

I bilag 3 (se også nedenfor) beskrives, at de regningsmæssige vindlaster på Bellahøjbygningerne ved brug af bl.a. vindtunnelforsøg er ca. halveret i forhold til den regningsmæssige vindlast, der bestemmes ved en traditionel anvendelse af normerne. Ved vindtunnelforsøg måles den faktiske forekommende vindlast på nedskalerede modeller af bygninger. Det bemærkes, at den i bilag 2a beskrevne konservatisme (jf. citatet ovenfor) i henhold til bilag 3 således allerede er taget i regning, dvs. konservatismen på den faktiske vindlast er stort set ophævet ved brug af vindtunnelforsøg.

I Bilag 2a beskrives en forsigtig vurdering, hvor det antages, at normernes vindlast kun er 10 % for stor, og at usikkerheden kun kan reduceres fra 15 % til det halve, hvilket medfører at sikkerhedsniveauet eksempelvis kan øges fra et såkaldt sikkerhedsindeks på 2.5 til 3.8 (svigtsandsynligheden reduceres fra ca. 0.005 til ca. 0.00005, dvs. en faktor 100 mindre). Referenceperioden for svigtsandsynligheden er ikke oplyst, men referencen til middel sikkerhedsklasse RC2 i Eurocodes indikerer, at referenceperioden er 50 år. Det bemærkes, at sikkerhedsniveauet, der kræves i DS/EN 11990: 2024 for eksisterende bygninger i høj konsekvensklasse i Danmark, er 4.3 men med en referenceperiode på 1 år. I Bilag 6 uddyber Rune Brincker forudsætningerne for sin sikkerhedsvurdering. Det fremgår, at udgangspunktet for vurdering af usikkerheder og reduktion af disse ved målinger er repræsentative værdier knyttet til udmattelse af svejste samlinger i offshore stålkonstruktioner. De benyttede værdier er ikke repræsentative for ekstreme vindlaster (brudgrænsetilstanden) på betonbygninger. Udmattelsesbrud og kollaps ved ekstreme vindlaster tilhører to forskellige grænsetilstande, ligesom usikkerheder knyttet til stålkonstruktioners egenskaber ikke kan sammenlignes med usikkerheder knyttet til betonkonstruktioners egenskaber. I beregningerne af sikkerhedsniveauer i Bilag 6 er benyttet et niveau for usikkerhed af bæreevne (styrke) svarende til en variationskoefficient på 10%. Det er uklart hvilken brudform denne usikkerhed er knyttet til, men eksempelvis er partialkoefficienter i de danske nationale annekser til Eurocodes fastlagt med udgangspunkt i en usikkerhed svarende til en variationskoefficient på 20 - 25% for uarmeret beton og 10% for væltning (permanent last der virker til gunst). Beregningerne i Bilag 6 antager, at laster og styrker er normalfordelte. Imidlertid er partialkoefficienter i de danske nationale annekser og ligeledes i Eurocodes baseret på, at vindtryk er Gumbelfordelte, og at modelusikkerheder og styrker er Logaritmisk Normalfordelte med usikkerheder, der er større end de i Bilag 6 antagne. De i Bilag 6 beskrevne sikkerhedsvurderinger kan således ikke betragtes som repræsentative for Bellahøjbygningerne. Selvfølgelig vil der med de i Bilag 6 antagne

reduktioner af usikkerhed og af konservatisme opnås et højere sikkerhedsniveau, men kvantificering vil kræve mere detaljerede beregninger for at være konsistente med de regler og antagelser, som er benyttet i de danske nationale annekser til Eurocodes, og som udgør en del af Bygningsreglementets grundlag.

I Bilag 3 (Artikel udarbejdet af R. Poulsen, Niras, S.O. Hansen, SOH ApS, og B. Feddersen, Rambøll) anføres, at man bl.a. ved hjælp af vindtunnelforsøg har ca. halveret de regningsmæssige vindlaster på Bellahøjbygningerne i forhold til den regningsmæssige vindlast, der bestemmes ved en traditionel anvendelse af normerne. De i Bilag 2a foreslåede fuldsalamålinger skal således kunne reducere vindlasterne yderligere for at være relevante. Hverken Bilag 2a eller bilag 6 indeholder kvalificerede indikationer af, at fuldsalamålinger vil kunne reducere vindlasterne yderligere.

Niras m.fl. omtaler yderligere et problem ved at foretage målinger i vindforhold, der ikke er ekstreme svarende til vindforhold i brudgrænsetilstanden. Det skyldes at termiske forhold ved lavere, sædvanlige vindforhold kan give anledning til en fordeling af vindlastens størrelse i højden over terræn, som er forskelligt fra fordelingen knyttet til ekstreme vindforhold. Dermed kan der være tvivl om, hvorvidt fuldsalamålinger kan anvendes til at estimere ekstreme vindlaster, hvis der i måleperioden ikke optræder ekstreme vindhastigheder. I Bilag 3 fremføres endvidere, at de foreslåede fuldsalamålinger kan være behæftet med usikkerheder, som ikke er kvantificerede.

### 3 Usikkerheder og partialkoefficienter for vindlasten

For eksisterende bygninger kan kravet til sikkerhed reduceres i henhold til DS/EN 11990:2024. Dette er inkluderet i beregningerne foretaget af Niras m.fl., ligesom de regningsmæssige vindlaster i brudgrænsetilstanden er reduceret, idet der anvendes evakuering. Det arbejde, som ligger til grund for reduktionerne, er beskrevet i baggrundsdokumentet BD3. Partialkoefficienten på vindlasten er således reduceret fra 1,50 til 1,39 for den permanente situation, og fra 1,25 til 1,21 for den midlertidige situation, hvor der opereres med evakuering. De reducerede partialkoefficienter skyldes ifølge BD3, at usikkerheden på vindlasten er blevet reduceret til et minimum ved bl.a. brug af vindtunnelforsøg. Udover usikkerhed knyttet til fastlæggelse af basishastighedstrykket er der benyttet usikkerheder knyttet til formfaktorer mm., for hvilke følgende variationskoefficienter er benyttet i baggrundsdokumentet BD3:

- Terrænforholdenes indflydelse på vindlasten: 4%,
- Formfaktorer: 5%,
- Mekanisk respons (konstruktionsfaktoren): 4 %,
- Modelusikkerhed: 5%.

Den samlede usikkerhed fra disse som grundlag for at estimere reducerede partialkoefficienter udgør således ca. 10%. Det bemærkes, at en variationskoefficient på 5% for formfaktorer er et udtryk for, at disse faktorer med den anvendte metodik kan bestemmes med relativ stor præcision. Hvis denne variationskoefficient øges til 10-12% vil den resulterende samlede modelusikkerhed være mindre end 15%. I det, som er foreslået af Rune Brincker, er der ikke indikationer af at en tilsvarende lav samlet usikkerhed kan opnås ved fuldsalamålinger.

## 4 Rune Brinckers projektforslag (bilag 5)

Det eftersendte notat (bilag 5) indeholder dels en beskrivelse af baggrunden for måleprojektet og dels en beskrivelse af projektet opdelt i 3 trin. Notatet er en uddybning af en PPT-præsentation udarbejdet af Rune Brincker (se bilag 4d). Projektbeskrivelsen fremstår som et skitseforslag til et forskningsprojekt med dertil hørende hypoteser. At projektforslaget har en forskningsmæssig karakter, understøttes af følgende konstatering i notatet:

*"Jeg vil bede rådgiverne lægge mærke til, at jeg ikke har påstået noget om, hvad vi vil lære ved at måle. Jeg lærer altid noget af at måle på virkeligheden, men det sker ofte, at jeg lærer noget andet end det, som jeg forventede."*

### 4.1 Måleprojektets trin 1

For trin 1 af projektet fremsættes følgende hypoteser:

1. Det vil være muligt at opstille og validere en FE model der svarer til måleresultaterne,
2. Modellen vil give et klart billede af i hvor høj grad trappeopgangen afstiver bygningerne,
3. Det forventes at trappeopgangens afstivning vil være afgørende for bygningernes stivhed,
4. Den aktuelle stivhed vil klart indikere at dilatationsfugerne ikke er aktiveret

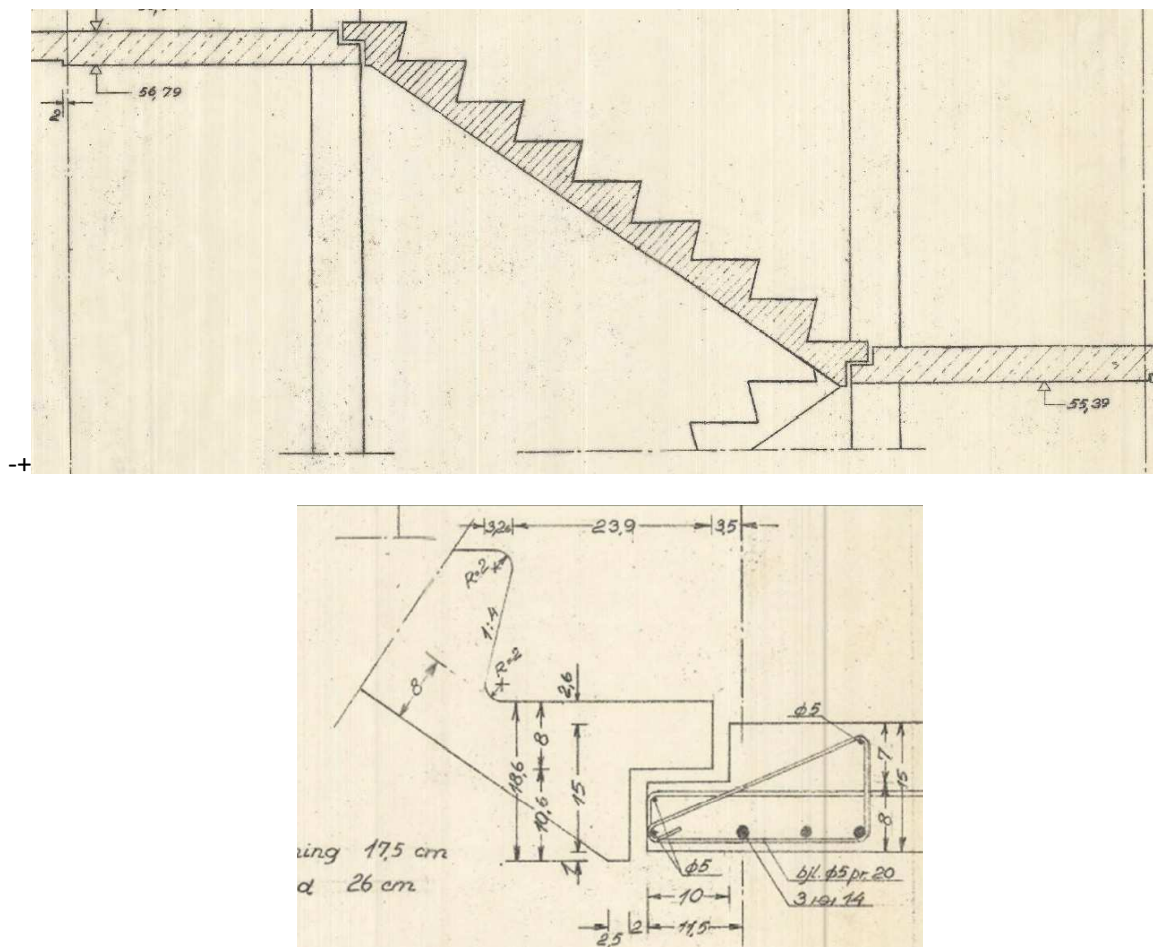
Det konstateres, at hypoteserne 2 – 4 hviler på opfattelser af konstruktive forhold, som *ikke* stemmer overens med projektet for Bellahøjbebyggelsen (dvs. tegninger og udførelsesbeskrivelser for bygningerne). I sit notat skriver Rune Brincker følgende:

*".....de såkaldte "dilatationsfuger", der er udført ved at betondækkene i trappeopgangen er ført ind i de tilstødende bygninger, men med afbrudt armering."*

Iht. projektet for Bellahøjbebyggelsen er dilatationsfugerne *ikke* placeret i skillefladen til tilstødende bygning. De er heller ikke udført som Rune Brincker beskriver. Derimod beskriver den eksisterende dokumentation følgende (jf. bilag 7):

Trappereposerne støbes på stedet sammen med etagepladerne, mens løbene er fabriksfremstillede og oplægges på konsoller på reposerne. Hvert løb forankres forneden til reposen; foroven er løbet løst oplagt, således at en indbyrdes bevægelse af fløjene kan optages her.

Tegningsmaterialet er i overensstemmelse med ovenstående beskrivelse af det udførte, se Figur 1.



Figur 1. Udsnit af lodret snit gennem trapperum (fra oprindelige tegningsmateriale, baggrundsdokument BD2).

Ovennævnte fejlopfattelse af dilatationsfugernes placering og deres udførelse medfører, at Rune Brincker drager to fejlslutninger ift. hvordan dilatationsfugerne såvel som trapperummets konstruktionselementer forventes at opføre sig under vindbelastning. Den første fejlslutning lyder:

*"Trapperne i opgangene opfører sig formentligt som en stiv 3-dimensionel drager der kun vanskeligt lader sig deformere. Dette skyldes primært deres udførelsen med de 4 lodrette søjler. Den kan i brud primært kun bevæge sig som et stift legeme, hvorved den tvinger de to tvillingehuse til at følges ad".*

For at opføre sig som en stiv 3-dimensionel drager vil det som minimum kræve, at trappeløberne både foroven og forneden er monolitisk forbundet med reposen, fx i form af en samlet pladsstøbt konstruktion med passende kontinuetsarmering ført fra repos til trappeløb. Dette er ikke tilfældet.

Den anden fejlslutning lyder følgende, jf. bilag 5:

*"Det gode spørgsmål er så: sker der bevægelser i dilatationsfugerne? Jeg vil sige: Det gør der nok ikke, for hvis der gjorde det, så ville der være tydelige følger af de bevægelser. Omkring betondækkenes indløb fra trappetårnet til bygningerne, vil der på grund af bevægelserne opstå revner imellem betondæk og bygning, og der vil derfor normalt ske afskalninger af beton, resulterende i støv og betonrester på gulvene efter storm – og dette er vel ikke rapporteret? Det vil sige, at der formentlig slet ikke er sket bevægelser i dilatationsfugerne. Dette er da et ret afgørende spørgsmål!"*

Der vil naturligvis ikke forekomme relative bevægelser i det område, som Rune Brincker omtaler. Det er ikke her, dilatationsfugerne er placeret. Dilatationsfugerne, som det fremgår af eksisterende dokumentation, er udført som en klassisk konstruktiv løsning, hvor relative bevægelser ikke kan give anledning til afskalling af beton.

Ovenstående hypoteser 2 – 4 bygger altså på en opfattelse af afgørende konstruktive forhold, som ikke stemmer overens med det udførte. Ikke desto mindre er disse hypoteser fremført som de drivende argumenter for at igangsætte måleprojektets trin 1.

## 4.2 Måleprojektets trin 2

I sin beskrivelse af projektets trin 2 forudsætter Rune Brincker, at det i trin 1 er lykkedes med at opbygge en god FE model af bygningen. Trin 2 af projektet hviler på følgende hypoteser:

1. Der vil kunne opstilles en vindmodel baseret på de gennemførte målinger
2. Dette vil resultere i reducerede vindkræfter og reducerede usikkerheder
3. Dette vil igen resultere i øget sikkerhed overfor svigt ved vindpåvirkning

Det fremgår ikke af notatet, hvilken referencemetode, som den nævnte reduktion af vindkræfter og usikkerhed skal sammenlignes med. Er det normens metode til at beregne vindbelastningen eller er det den vindbelastning, som er blevet bestemt ved vindtunnelforsøg? Bilag 2a indikerer dog, at det må være normens metode, som er sammenligningsgrundlaget.

Det fremgår af notatet (bilag 5), at reduktion af vindbelastning og reduktion af usikkerheder på vindlasten er fremsat som en hypotese, og ikke som en erfaringsbaseret dokumentation. Der er i notatet ikke fremlagt dokumentation for, at de beskrevne målinger og den efterfølgende analyse og kalibrering kan anvendes til at fastlægge ekstremvindens lastvirkning på betonkonstruktioner, der er opbygget efter tilsvarende principper som Bellahøjbebyggelsen. Der er i notatet ingen indikation af, at måleprojektet vil kunne reducere den regningsmæssige vindbelastning til omtrent det halve af, hvad normens beregningsmetode anviser. Dette niveau, som er opnået ved hjælp af vindtunnelforsøg, må være et minimumskrav, hvis måleprojektet skal have relevans. Det skal tilføjes, at brug af vindtunnelforsøg til bestemmelse af vindbelastning er en international anerkendt metode, som er valideret og afprøvet gennem mange årtier. Det bemærkes, at EN 1991-1-4 anfører følgende om brug af vindtunnelforsøg og fuldskaladata:

### 1.5 Projektering ved hjælp af prøvning og måling

(1) Som et supplement til beregninger kan der udføres vindtunnelforsøg og anvendes gennemprøvede og/eller passende validerede numeriske metoder for at tilvejebringe oplysninger om laster og respons, idet der anvendes egnede modeller af konstruktionen og af den naturlige vind.

(2) Oplysninger om laster og respons samt terrænparametre kan fås fra egnede fuldskaladata.

NOTE – Det nationale annekse kan indeholde vejledning om projektering ved hjælp af prøvning og måling.

## 4.3 Måleprojektets trin 3

Rune Brincker skriver, at dette trin "kan man overveje", hvis de foregående trin ikke har givet nok sikkerhed. Dette trin kræver monitorering over lang tid. Der er ikke givet et tidsestimat for dette trin, men formodentlig mere end de 6 måneder, som Rune Brincker mener trin 2 skal tage, jf. bilag 4c. Udover tidsperspektivet er der ikke introduceret nye metoder i dette trin ift. de foregående to trin.

## 5 Generelle bemærkninger om fuldskalamålinger

Hovedprincipperne som beskrevet i Rune Brinckers PPT-præsentation (bilag 4d) kan i teorien anvendes som en indirekte metode til at estimere vindbelastningen på bygningskonstruktioner. Estimatet vil være knyttet til den på måletidspunktets værende vindhastighed, og der vil være tale om en ekstrapolation i et eller andet format, hvis estimatet benyttes til at udtale sig om vindbelastninger ved højere vindhastigheder (fx hastigheder under ekstreme vindforhold).

Hovedprincipperne er dog ikke specifikt blevet udviklet til estimering af vindlaster for betonkonstruktioner. Principperne anvendes i dag for eksempel til at bestemme bølgebelastningens indflydelse på udmattelseslevetid for offshore olie og gas platforme. For en praktisk anvendelse af principperne til at estimere vindlaster på betonkonstruktioner, såsom Bellahøj bygningerne, kan der peges på følgende udfordringer:

- A. Udviklingen af metoderne til brug for offshore konstruktioner er foregået over en lang årrække. Certificering og godkendelse fra myndigheder har krævet en lang årrække med validering af metoderne. Anvendelsen af metoderne bliver i dag godkendt på individuel projektbasis (dvs. godkendelse sker fra projekt til projekt), da der på nuværende tidspunkt ikke findes dækkende normer og standarder for anvendelse af metoderne.
- B. Ekspertgrupper har gennem de seneste år arbejdet på at få udformet normer og standarder for metoderne for anvendelse indenfor offshore konstruktioner. Det må forventes, at anvendelse og godkendelse af metoderne til brug på andre konstruktions- og belastningstyper end offshore konstruktioner og bølgelaster vil kræve yderligere validering.
- C. Metoderne, der anvendes for offshore konstruktioner, er udviklet for udmattelsesgrænsetilstanden. Det forventes, at brug af metoderne til at undersøge forhold i brudgrænsetilstand vil kræve yderligere udvikling og validering.
- D. Metoderne, der anvendes for offshore konstruktioner, er udviklet for stålkonstruktioner. Det forventes, at en praktisk anvendelse af metoderne for bygninger udført som betonkonstruktioner vil kræve yderligere udvikling og validering.
- E. Anvendelighed af metoderne på Bellahøjbygningerne indenfor en relevant tidshorisont er ikke realistisk.

## 6 Sammenfatning og konklusion

- Rune Brinckers bud på størrelsesorden af konservatismen i normens vindlaster (20 – 40 % på den sikre side, jf. bilag 2a) er mindre end den ca. halvering af den regningsmæssige vindlast, der er opnået bl.a. ved vindtunnelforsøg. Dvs., meget af normens konservatisme er allerede fjernet med vindtunnelmålinger.
- Estimatet på forøgelse af sikkerhedsniveauet (fra sikkerhedsindeks på 2.5 til 3.8), jf. bilag 2a og bilag 6, er baseret på betragtninger, som gælder for udmattelsesgrænsetilstanden for svejste samlinger i stålkonstruktioner. Dette har ikke relevans for Bellahøjbygningerne. Estimatet er desuden baseret på andre statistiske fordelinger af laster og styrker end dem, der er benyttet som grundlag for kalibrering af lastkombinationer og partialkoefficienter i de danske nationale annekser til Eurocodes.



- Måleprojektet fremstår som et skitseforslag til et forskningsprojekt.
- Trin 1 af måleprojektet er baseret på hypoteser, som hviler på fejlopfattelser af afgørende konstruktive forhold. Disse opfattelser stemmer ikke overens med informationerne i projektmaterialet for Bellahøjbebyggelsen.
- Trin 2 af måleprojektet forudsætter en succesfuld udførelse af trin 1 og motiveres af en hypotese om muligheden for at nedsætte vindbelastningen og usikkerheder ifm. bestemmelse af denne. Denne mulighed forbliver en hypotese, da notatet ikke indeholder erfaringsbaserede dokumentation for, at målemetoden og den efterfølgende analyse er i stand til med tilstrækkelig præcision at bestemme ekstremvindens lastvirkning på betonbygninger af samme karakter som Bellahøjbygningerne.
- I forhold til normens standardmetode er den regningsmæssige vindlast allerede reduceret til omtrent det halve ved brug af vindtunnelforsøg. Vindtunnelforsøg er en anerkendt og velvalideret metode, som vindlastnormen tillader. Ifølge baggrundsdokument BD3 er usikkerheden på vindlasten blevet reduceret til et minimum via in-situ målinger og vindtunnelforsøg. Således er variationskoefficienterne for væsentlige parametre, såsom formfaktorer, blevet reduceret til ca. 4 – 5 %, hvilken må siges at være en temmelig præcis bestemmelse af vindens virkning.
- Der er ikke fremlagt dokumentation for, at den af Rune Brincker foreslået metode kan bestemme ekstremvindens lastvirkning med større præcision end estimerer baseret på vindtunnelforsøg.
- Principperne bag det foreslåede måleprojekt er ikke valideret til estimering af ekstreme vindlaster på betonbygninger. Anvendelighed af metoderne på Bellahøjbygningerne indenfor en relevant tidshorisont er ikke realistisk.

Vores gennemgang af relevante dokumenter (jf. bilagslisten) efterlader et indtryk af, at Rune Brincker ikke har undersøgt baggrundsdokumentation for sikkerhedssystemet anvendt i Eurocodes og de danske nationale annekser, og som specifik gælder for brudgrænsetilstandseftervisninger af betonkonstruktioner og ikke for udmattelse. Vores gennemgang af dokumenterne viser desuden, at nogle af de drivende argumenter for at udføre måleprojektet er baseret på en fejlopfattelse af elementære - men dog væsentlige - konstruktive forhold på Bellahøjbygningerne.

Som Rune Brincker påpeger, kan man altid lære noget af at måle på virkeligheden, og således vil de foreslåede nye målinger også kunne tilvejebringe ny viden, men det vil kræve gennemførelse af et stort og langvarigt forsknings-, udviklings-, og valideringsarbejde – jf. ovennævnte arbejde som er udført ifm. anvendelse på offshore stålkonstruktioner – for at kunne anvende fuldskalamålinger til at estimere regningsmæssige vindlaster. Det er meget vel muligt at en betydelig forsknings- og udviklingsindsats i fremtiden kan etablere en samlet metodik, inkluderet fuldskalamålinger, som matcher eller måske overgår vindtunnelmålinger i præcision. Men på baggrund af det nuværende vidensgrundlag og på baggrund af sagens dokumenter er det vores vurdering, at hverken vindlasten eller usikkerheden på denne kan reduceres yderligere i forhold til det, der allerede er opnået på Bellahøjbygningerne ved hjælp af bl.a. vindtunnelforsøg.

# Bilag

Bilag 1: Afdelingsbestyrelsens henvendelse den 22. december 2023, hvori målingerne beskrives

Bilag 2a: Artikel i Ingeniøren udarbejdet af afdelingsformand John Steen Johansen og Rune Brincker

Bilag 2b: Tegninger af trappetårne

Bilag 3: Artikel i Ingeniøren udarbejdet af Rasmus Poulsen (Niras), Svend Ole Hansen (SOH ApS) og Bent Feddersen (Rambøll)

Bilag 4a: Afdelingsbestyrelsens henvendelse den 8. november 2023

Bilag 4b: Mødereferat fra møde mellem parterne den 6. november 2023

Bilag 4c: Rune Brinckers kommentarer vedr. møde den 6. november 2023

Bilag 4d: Rune Brinckers oplæg til møde den 6. november 2023

Bilag 5: Rune Brinckers notat om måleprojekt på Bellahøj

Bilag 6: Rune Brinckers notat vedr. sikkerhed

Bilag 7: Niras' opsummering af statiske og udførelsesmæssige forhold

## Baggrundsdokumenter

BD1: Niras' statiske beregninger

BD2: Oprindelige tegninger

BD3: Svend Ole Hansen ApS: Vindlast og sikkerhedsniveau

# BILAG 1

Københavns Kommune  
Klima og Byudvikling  
Teknik og Miljøforvaltningen  
Njalsgade 13  
2300 København S

Advokatfirma  
Rigensgade 11  
1316 København K  
CVR 41063416

Tlf. 48 41 48 41  
www.oclaw.dk  
rof@oclaw.dk

22. december 2023

### **J.nr. 10403 / Målinger på Bellahøjhusene**

Som advokat for afdelingsbestyrelsen i almenboligforeningen SAB's afdeling Bellahøj I og II retter jeg på ny henvendelse til Københavns Kommunes tilsyn med almene boliger i forlængelse af mit brev af 5. december 2023.

Som det fremgår af min tidligere henvendelse rettede jeg ligeledes henvendelse til KAB/SAB med anmodning om at modtage et oplæg til tidsplan for gennemførelse af målingerne på bygningerne. KAB/SAB har i brev af 12. december 2023 anført, at de bekvemt afventer myndighedernes og Beboerklagenævnets stillingtagen med hensyn til målingerne.

Med henblik på at fremme iværksættelsen af hurtig og effektiv måling direkte på Bellahøj-husene, skal jeg hermed anvise mulighed og metode for målinger og bringe følgende i forslag:

Professor Rune Brinker har foreslået, at der måles direkte på bygningerne, hvilket forventeligt vil vise, at frekvensen af evakueringer kan nedsættes. Målingerne vil således bidrage til at øge informationsniveauet i forhold til bygningernes tilstand henset til vindpåvirkning.

Målingerne vil kunne gennemføres på to huse, hvor trappeopgangen er inkluderet, således at også indflydelsen af trappeopgangens afstivende virkning kan vurderes. De indledende målinger kan foretages ved hjælp af to målesystemer, der flyttes rundt i tre positioner for hvert hus. Disse vil give i

alt fem datasæt pr. måling, som forventes at tage én uge. Endeligt gennemføres en måling på hver bygning med et målesystem af én måneds varighed.

De opsamlede data kan bruges til opstilling og efterfølgende opdatering, så der måske kan opnås en såkaldt 'digital tvilling', hvilket i så fald indikerer en god tilstand af den pågældende bygning.

Tilbud om samarbejde om iværksættelse af målinger i overensstemmelse med ovenstående fremsættes til KAB i et særskilt Letter of intent.

Resultaterne kan herefter fremlægges på møde med SAB/KAB og deres rådgivere.

Det anbefales derfor, at der snarest muligt indgås en aftale med Danmarks Tekniske Universitet om leje af måleudstyr, herunder sensorer. Sensorerne vil kunne monteres i januar 2024, hvorefter målingerne kan gennemføres i løbet af tre måneder. DTU vil efterfølgende kunne publicere artikel med resultaterne af målinger, analyse af data m.m.

Den aktuelle storm Pia, der førte til evakuering af 200 beboere, bør være en tilskyndelse til at fremme målinger direkte på bygningerne.

Særligt vedrørende Beboerklagenævnets afgørelse vil den antagelig tidligst foreligge ultimo januar 2024. Tiden taler imod de beboerdemokratiske interesser og de berørte lejerers retsbeskyttelse. Der er derimod ingen anerkendelsesværdige hensyn at tage til SAB/KAB.

Kopi af dette brev er sendt til KAB.

Med venlig hilsen



René Offersen

# Bilag 2a

I dette holdningsstof udtrykker forfatteren sin personlige holdning om emnet.

SYNSPUNKT

# Beboerne fremlægger tal: Vi skal have fakta og nøgternhed i sagen om Bellahøjhusene

Byggeri

22. januar kl. 10:55

2

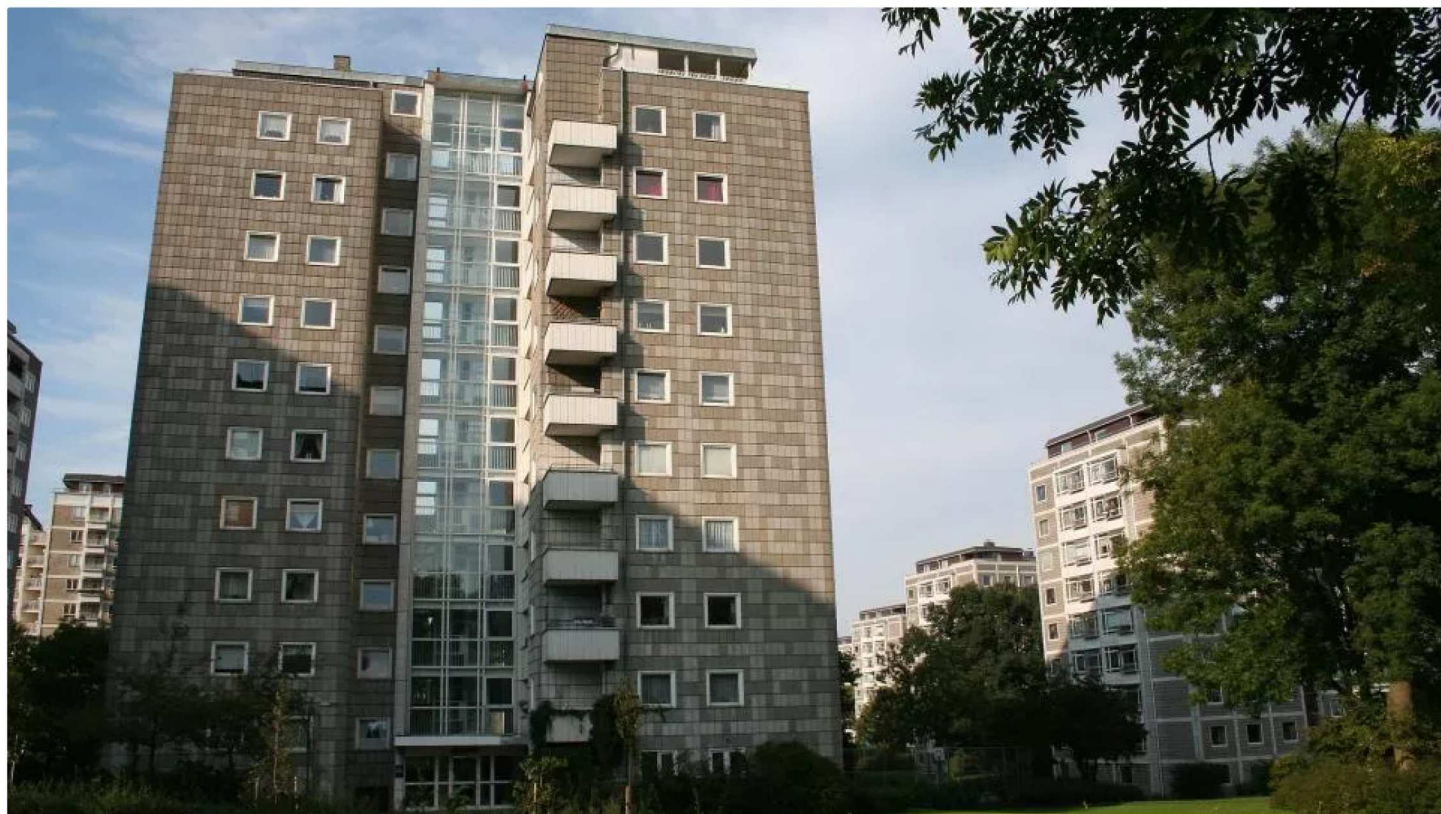


Illustration: Wiki Commons.

**Bellahøjhusene i København er flere gange blevet evakueret af risiko for sammenstyrtning ved stærk storm. Beboerne kritiserer her sammen med ekspert i byggeri de beregninger, der ligger til grund for risikovurderingen.**



**Rune Brincker**

Tidl. professor i dynamik



**John Steen Johansen**

Psykolog, formand for beboerforeningen afd. 1&amp;2

Artiklen er ældre end 30 dage

Bellahøjhusene, der blev bygget i halvtredserne, har været kritiseret for at have for lille sikkerhed overfor vindpåvirkning. Der har fra KAB's rådgiveres side været rejst tvivl om hvorvidt bygningerne kan modstå en storm. De har udtrykt en bekymring for, at der kan opstå et såkaldt uvarslet brud.

Vi har indvendt, at rådgiverne rejste ubegrundet tvivl om bygningernes evne til at modstå vindpåvirkningen ud fra et overordnet synspunkt om, hvordan vi normalt betragter gamle bygninger, idet vi normalt ikke vil kræve, at de skal leve op til kravene for moderne bygninger. Det virker desuden underligt at man rejser denne tvivl uden, at der er fundet så meget som en eneste revne i nogen af bygningerne.

### **LÆS EKSPERTERNES SVAR [HER](#)**

Men lad os se nærmere på, om ikke der ved måling direkte på bygningerne, kan opnås en forbedret viden om vindens påvirkning, således at den aktuelle sikkerhed for Bellahøjhusene øges og kommer nærmere på kravene i nutidens normer. KAB's rådgivere har i forbindelse med deres vurdering af brudtilstanden målt vindlast og stabilitet på en lille model af Bellahøjhusene i en vindtunnel på Vesterbro. Ikke direkte på bygningerne.

Bellahøjhusene, der kaldes punkthuse, er alle udført som to tvillingehuse, forbundet med en fælles trappeopgang. I forbindelse med vurdering af brudgrænsetilstanden har rådgiverne undladt at tage hensyn til trappeopgangene. Det forekommer at være en stærkt forenklet beregning, man her har gennemført. Det er vanskeligt at forestille sig, at en veludført betonkonstruktion der forbinder to bygninger, ikke har en betydelig afstivende virkning overfor vindlast.

Vi mener, at trapperummenes betonkonstruktion med trapper og betonsøjler, der forbinder bygningerne, har en betydelig afstivende



virksomhed. Hvor meget de betyder, mener vi vil kunne afklares ved målinger.

## Kommunalt påbud og udsættelse af beboerne

Det kommunale påbud om permanent genhusning af beboerne, der kom januar 2023, var ikke udfærdiget efter byggeloven, men efter almenboligloven. Københavns Kommune afviste nemlig allerede i november 2022, at byggelovgivningen kunne bringes i anvendelse i forbindelse med et påbud om rømning af bygningerne. Ikke desto mindre skal beboerne i de tre huse på Bellahøj, som det ser ud nu, fraflytte deres hjem senest sommeren 2024.

Begrundelsen i påbuddet er forsvarlig drift, det dyre beredskab og beboernes belastning ved udsigt til evakuering, som storm i anmarch kunne give. Et besynderligt påbud. Hvis det er dokumenteret, at det er farligt at opholde sig i husene, skal man vel flytte med det samme? Der har været to evakueringer under henholdsvis stormen Otto den 17. februar og stormen Ida den 21. december 2023, hvor middelvinden flere gange i løbet af natten var oppe på 15 m/s.

Begge gange har bygningsteknikere og ingeniører fra Niras morgenen efter stormene gennemgået bygningerne og konstateret, at bygningerne var sikre at opholde sig i og beboerne trygt kunne vende tilbage. Ingen revner at se nogen steder.

Det er i parentes bemærket påfaldende, at hverken boligselskabet eller deres rådgivere har fundet det relevant at granske de frit tilgængelige historisk vinddata. Der må vel være en del storme i de 70 år som bygningerne har stået, og intet kan vel være mere relevant end at se på hvad bygningerne har kunnet modstå uden den mindste revne?

## Bestemmelse af vindkraft og sikkerhed

I forbindelse med bestemmelse af vindkraften kan både middelværdien af vindkraften og usikkerheden på vindkraften reduceres, så der opnås en betydelig forøgelse af sikkerheden.

I foråret 2023 gennemførte en uafhængig undersøger en granskning af rådgivernes arbejde. Med udgangspunkt i granskningsrapporten kan man se på, hvorledes en forøget viden

om vindlasten opnået ved måling vil kunne påvirke sikkerheden. Grunden til at der kan opnås en forøgelse af sikkerheden ved forbedret viden om lastvirkningen og bæreevnen er, at normerne skal "være på den sikre side", og at den store usikkerhed på både lastvirkning og bæreevne kan reduceres med en forbedret viden.



#### QUIZ

### Quiz | Hvordan vil byggebranchen begrænse nedrivningen og styrke incitamentet for renovering?

Byggeri

Den virkeligt forekommende lastvirkning vil derfor være mindre end den, der er foreskrevet af normerne, og usikkerhed på lastvirkningen foreskrevet af normen vil også blive reduceret. Den virkelige bæreevne vil derfor også være større end den der er foreskrevet af normerne, og usikkerheden vil også blive reduceret.

Da man ikke kan måle sig til bæreevnen uden at overbelaste bygningerne, er man dog nødt til udelukkende at se på indflydelsen fra viden om lastvirkningen. Vurderingen vil derfor være konservativ, idet der ses bort fra den positive effekt på sikkerheden, der opnås ved en forbedret viden om bæreevnen. Hvis vi kun tager hensyn til indflydelsen på lastvirkningen, får vi en forbedret viden om vindlasten. Det vil mindske lastvirkningen, da normerne er på den sikre side. De virkeligt forekommende laster er væsentligt mindre end dem, der foreskrives af normerne.

## Forøgelse af sikkerheden ved måling

Vi har foretaget en forsigtig vurdering af hvor meget sikkerhed der kan vindes ved at måle den faktisk forekommende vindlast på bygningerne.

Det er velkendt, at usikkerhederne på vindlaster og andre naturlaster er meget store, ofte af størrelsesorden 25 % eller mere. Derfor er det også tilfældet, at de vindlaster der foreskrives af normerne er en del større end virkeligt forekommende, ofte af størrelsesorden 20-40 % for store. Dette er nødvendigt for at sikre, at normerne er på den sikre side.

I den forsigtige vurdering, som vi har lavet, har vi kun antaget, at normernes vindlast er 10 % for stor, og at usikkerheden kan reduceres fra 15 % til det halve.

Disse antagelser, hvorom vi benytter ordet ”forsigtigt”, betyder at virkningen på sikkerheden bliver konservativt estimeret, dvs. vi estimerer en mindre forøgelse af sikkerheden end den, som vi typisk vil opnå ved en måling direkte på bygningen.



WHITEPAPER FRA JOBFINDER

## Sådan rekrutterer du de passivt jobssøgende

[Rekruttering](#)

Vi vil betragte to cases, som kan analyseres ved at bruge det klassiske Cornell sikkerhedsindeks. Det afgørende er, at vi kommer frem til en størrelsesorden på forbedringen af sikkerheden, som giver et godt billede af, hvad vi kan forvente at opnå ved at gennemføre målinger.

Vi vil betragte en case hvor det initiale sikkerhedsindeks er 2.0 og en case hvor det er 2.5, og se på hvor meget vi kan forvente at disse værdier for sikkerhedsindeks kan forbedres med en forbedret viden om vindlasten opnået ved måling.

Vi ved ikke hvad det tilstræbte sikkerhedsindeks er for Bellahøj, men hvis vi tager udgangspunkt i Eurocode, klasse RC2, så foreskrives der et sikkerhedsindeks  $\beta \geq 3.8$ . De to betragtede cases er således valgt at ligge med et relativt lavt initialt sikkerhedsindeks i forhold til en værdi på 3.8.

For casen med initialt sikkerhedsindeks på 2.0, så kan vi med klassiske metoder til beregning af sikkerhedsindeks regne os frem til et sikkerhedsindeks efter måling på 3.3. For casen med initialt sikkerhedsindeks på 2.5, kan vi tilsvarende regne os frem til et sikkerhedsindeks efter måling på 3.8 – det vil sige, at efter måling kan vi forvente at opfylde kravet i Eurocode som netop foreskriver  $\beta \geq 3.8$ .

Summen af kardemommen: Målinger direkte på bygningerne giver mening. De vil kunne gennemføres for et relativt beskedent beløb i overensstemmelse med beboernes demokratiske beslutning. De vil give et basalt check af bygningerne. Målingerne vil give en betydelig indsigt i hvordan bygningerne opfører sig – for eksempel indsigt i hvor stor betydning trappeopgangene har bygningernes opførsel. En indsigt som meget vel kan føre til, at rådgiverne må revurdere deres opfattelse af, hvordan bygningerne fungerer statistisk.



INVITATION FRA ING/EVENT

## ING Online Briefing | Multifysisk simulering i akustikarbejdet

Multifysik

De vil i yderste konsekvens kunne betyde, at beboerne ikke skal sættes ud, men kan blive boende og bevare deres lejekontrakter.

***Vi bringer i eftermiddag svar på dette indlæg fra NIRAS og Rambøll. red***

**Følg linket til konstruktionstegninger af trapperummet, mellem bygningerne i Bellahøjhusene, som de er sendt fra beboerforeningen.**

[trappe\\_konstruktion\\_og\\_dimensioner\\_m\\_soejler\\_240652f57ce54d54bfa4daec4cf2.pdf](#)

(694.64 KB)

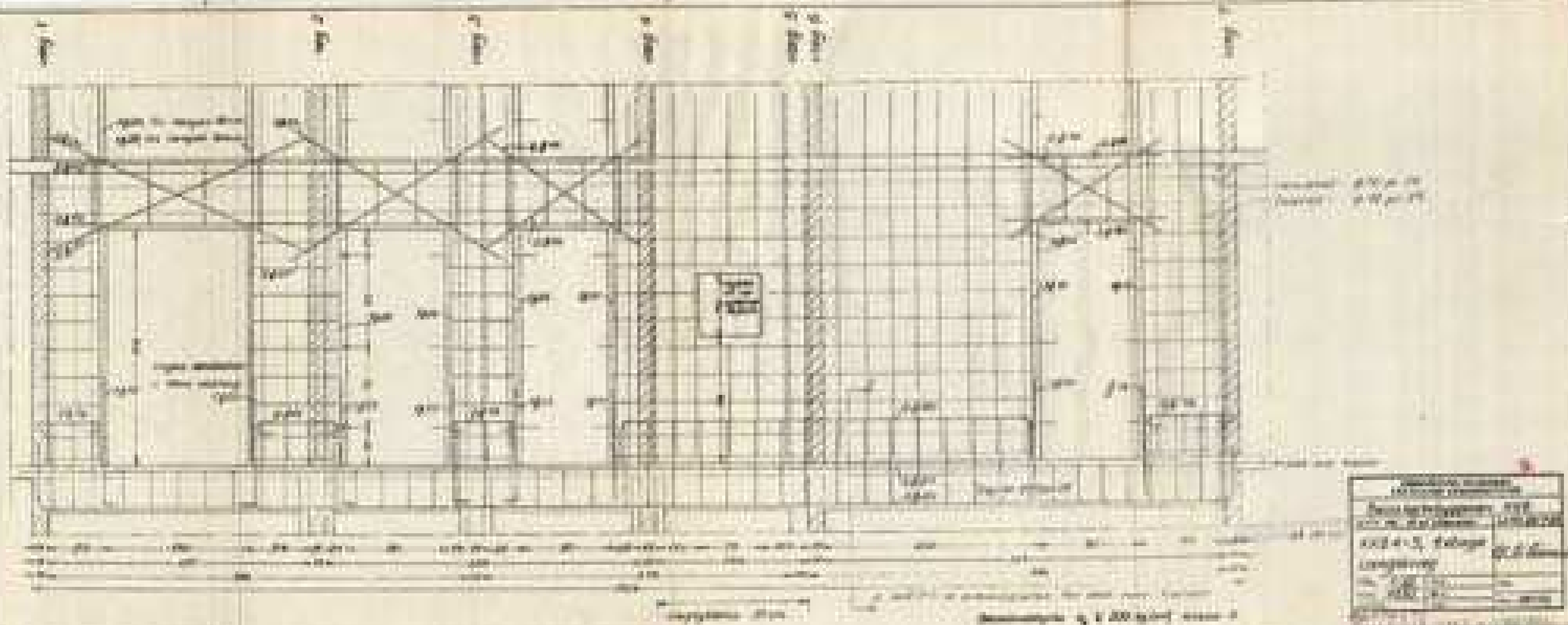
*Vil du bidrage til debatten med et synspunkt? Så skriv til vores debatredaktion på [debat@ing.dk](mailto:debat@ing.dk)*

Eksperter har målt Bellahøjhusenes sikkerhed: Derfor kan det ikke gøres på andre måder

Denne artikel

Kraftig blæst på vej til København: Ikoniske højhuse evakueres

# Bilag 2b

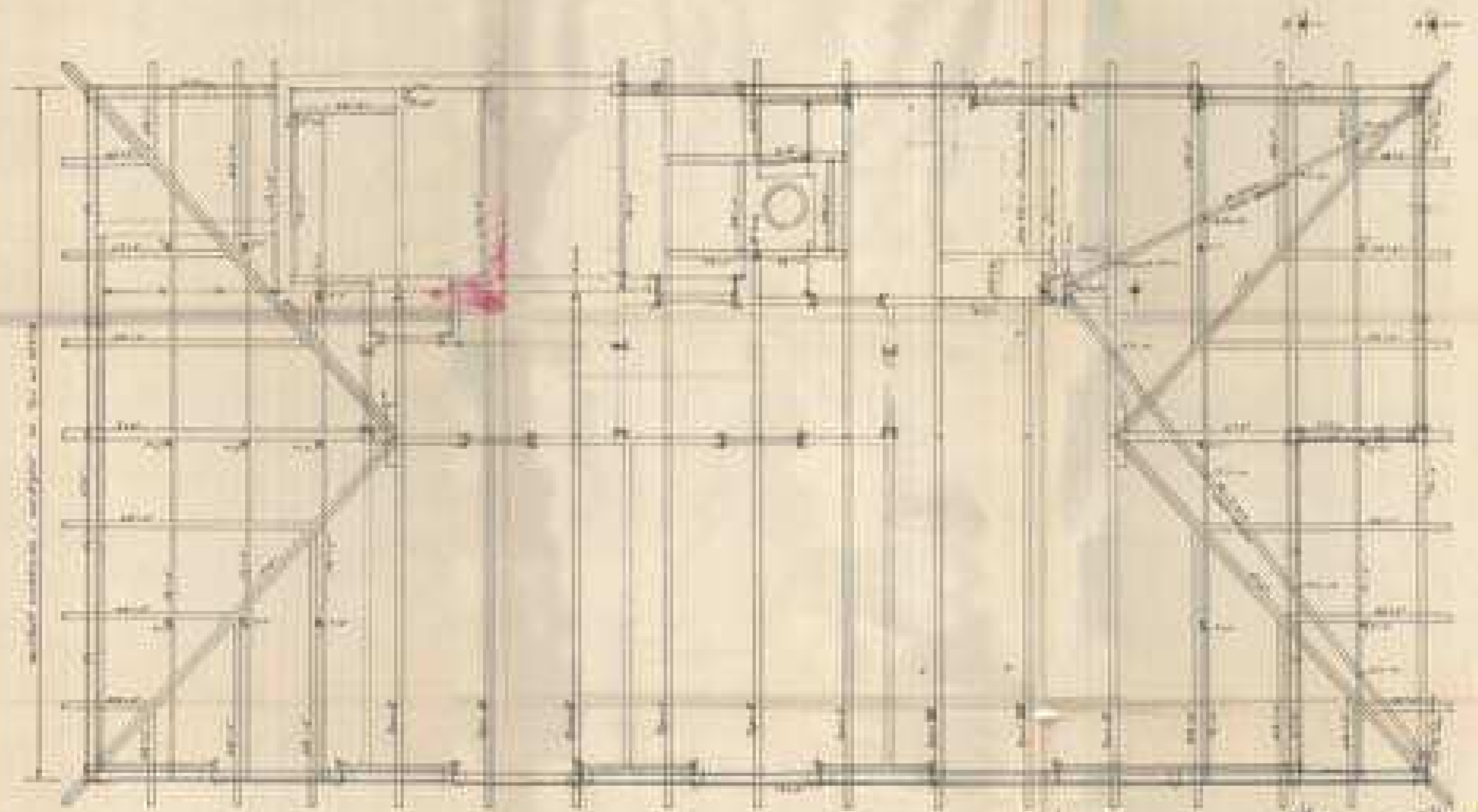










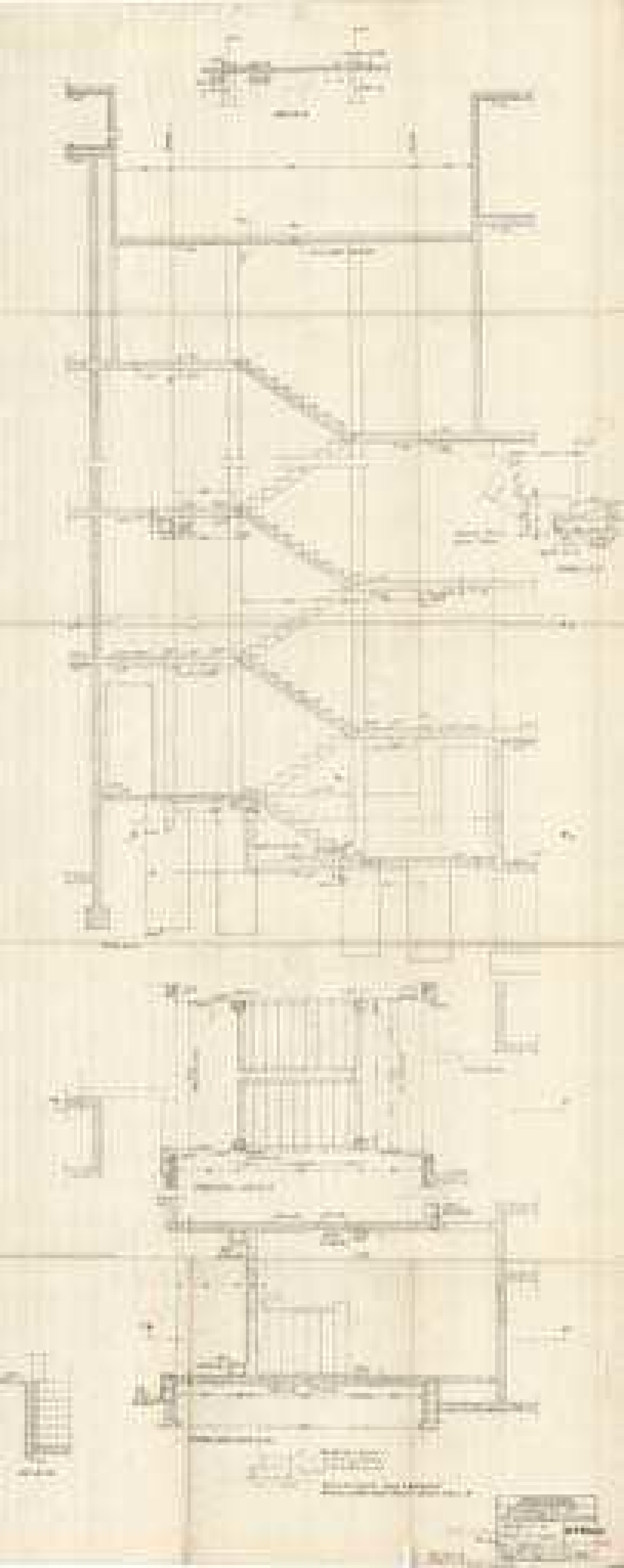


Scale 1/4" = 1'-0"

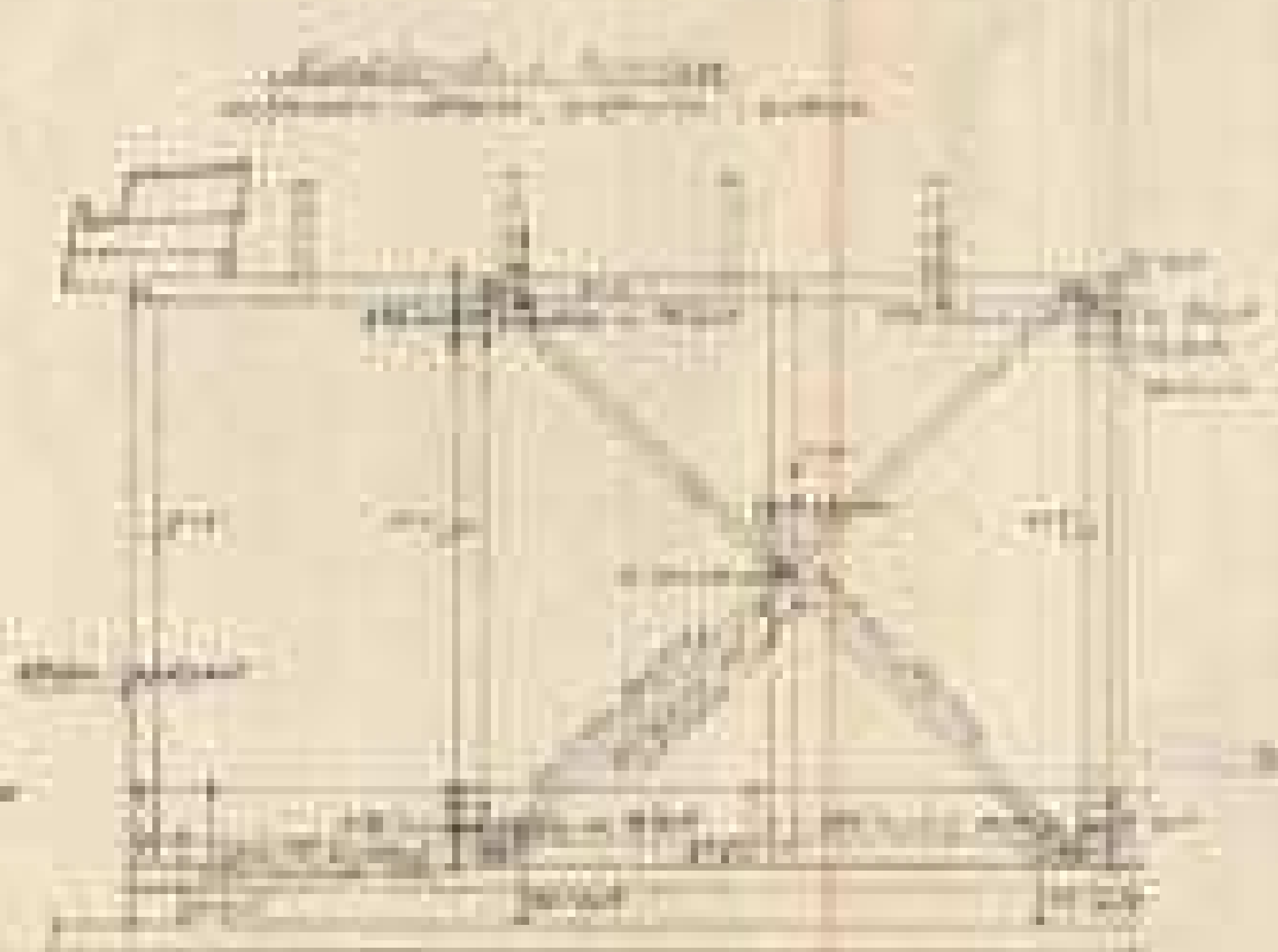
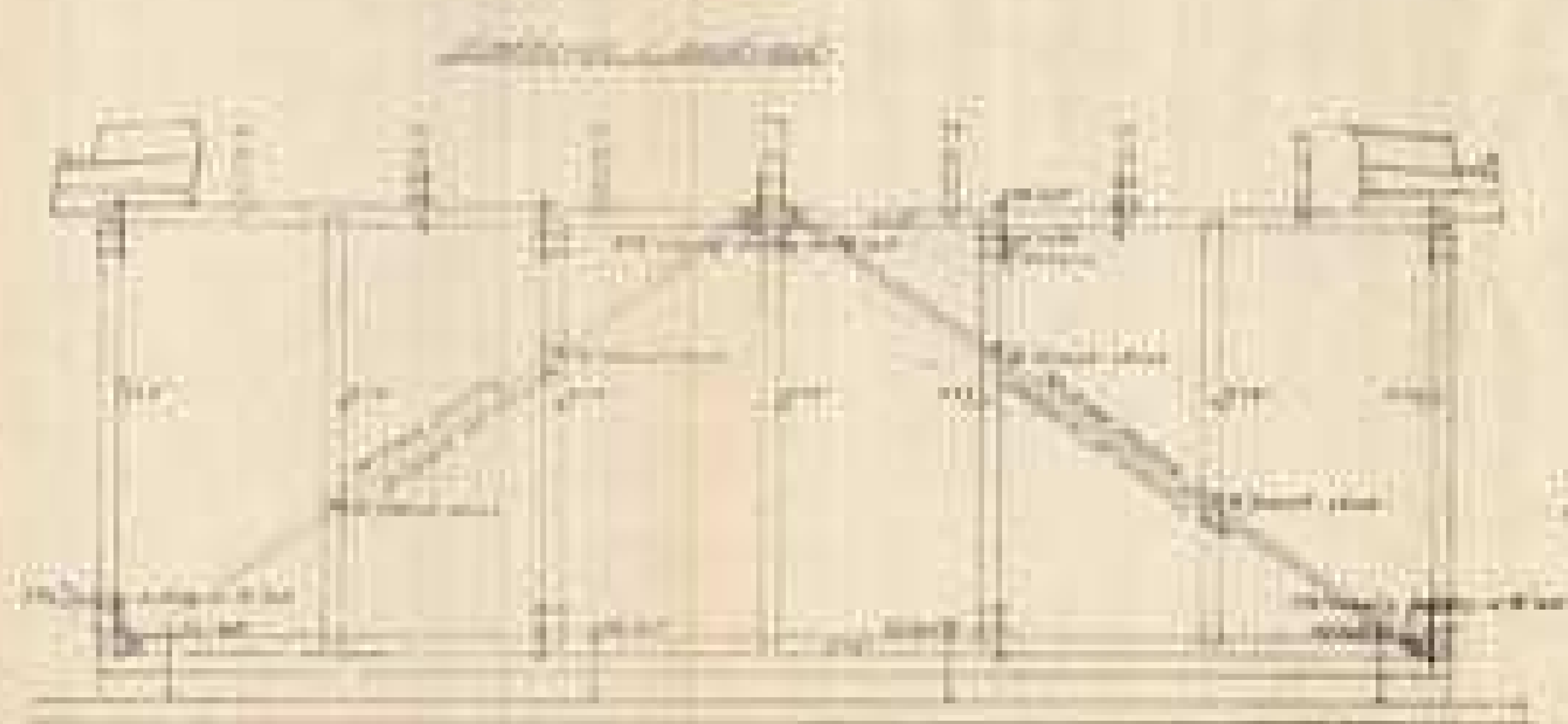
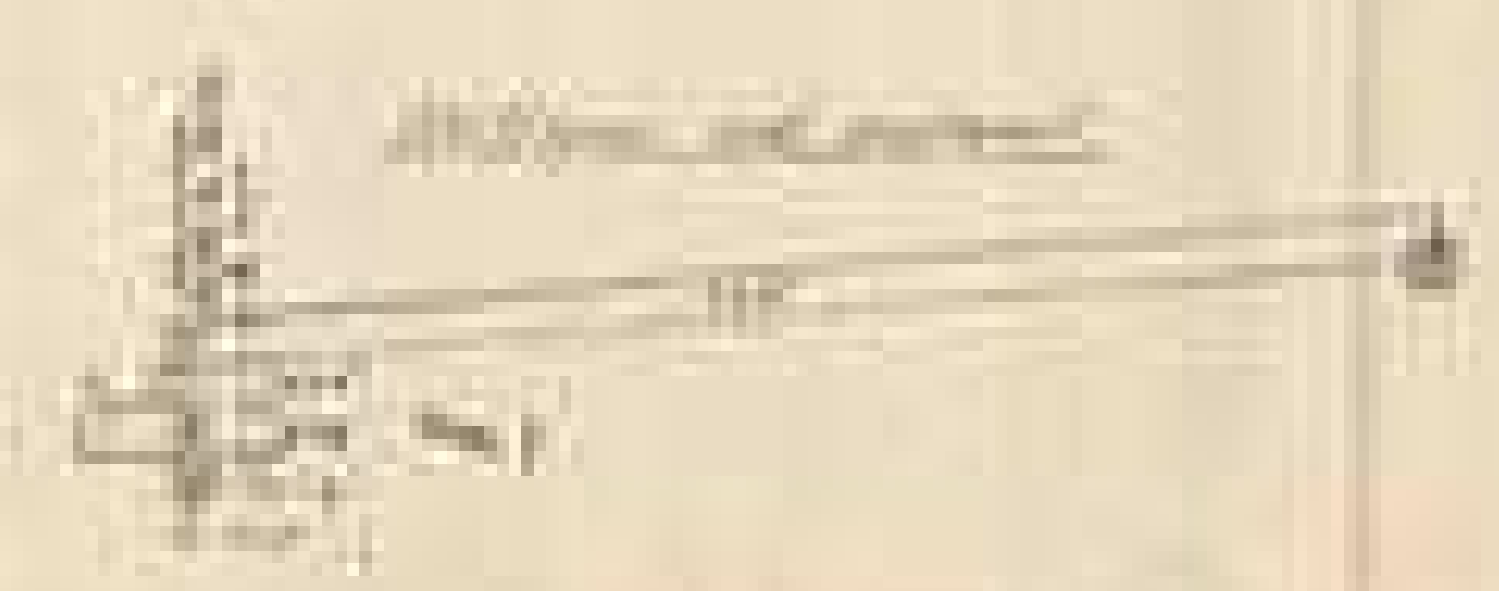
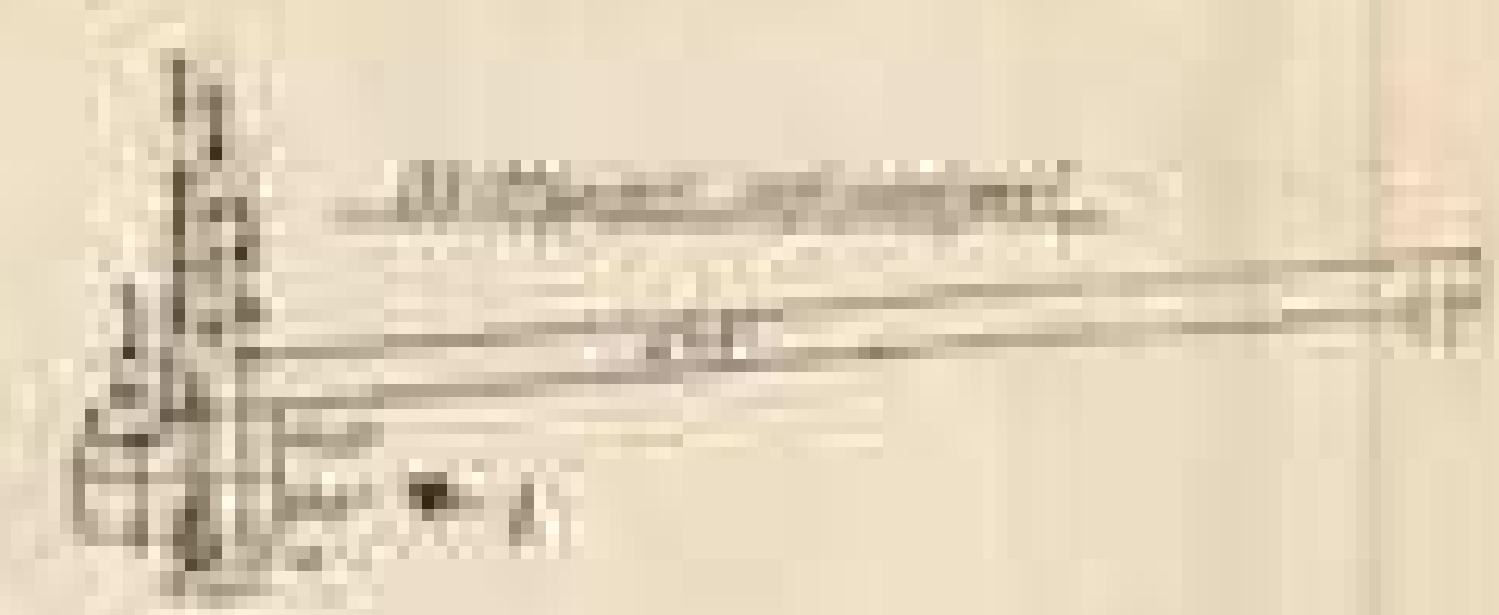
North Arrow

Architectural  
Drawing  
No. 1000  
1951



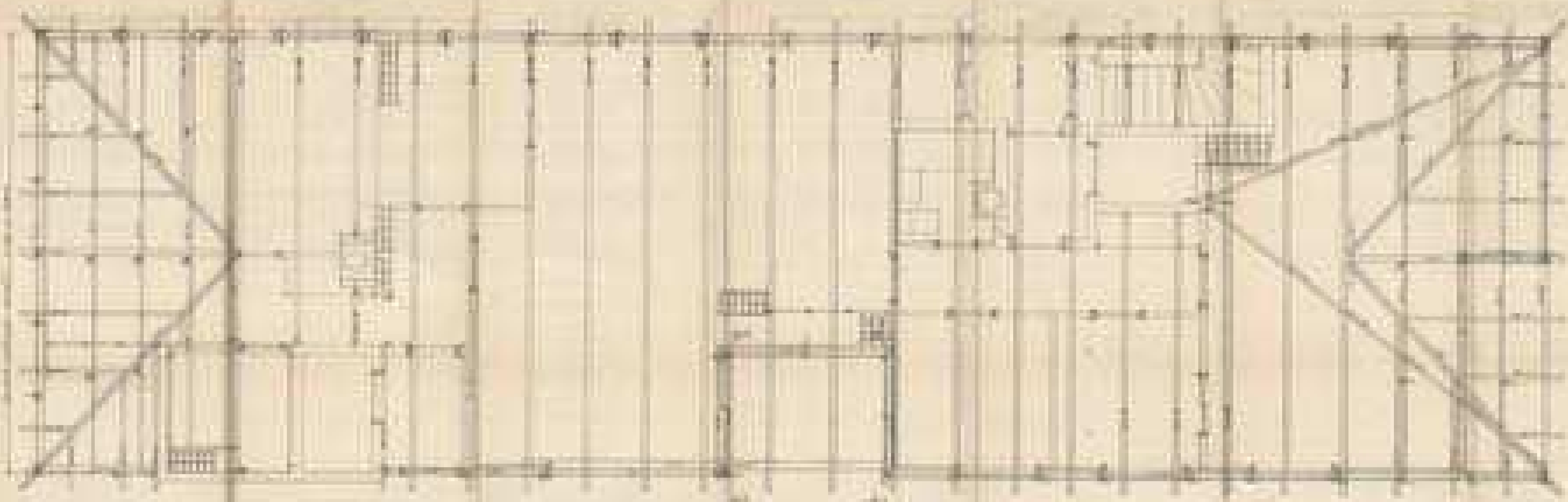






| Project Data     |                              |
|------------------|------------------------------|
| Project Name     | Structural Analysis of Truss |
| Project No.      | 12345                        |
| Project Date     | 10/10/2023                   |
| Project Location | City, State                  |
| Project Status   | In Progress                  |
| Project Manager  | J. Doe                       |
| Project Engineer | J. Doe                       |
| Project Designer | J. Doe                       |
| Project Checker  | J. Doe                       |
| Project Approver | J. Doe                       |







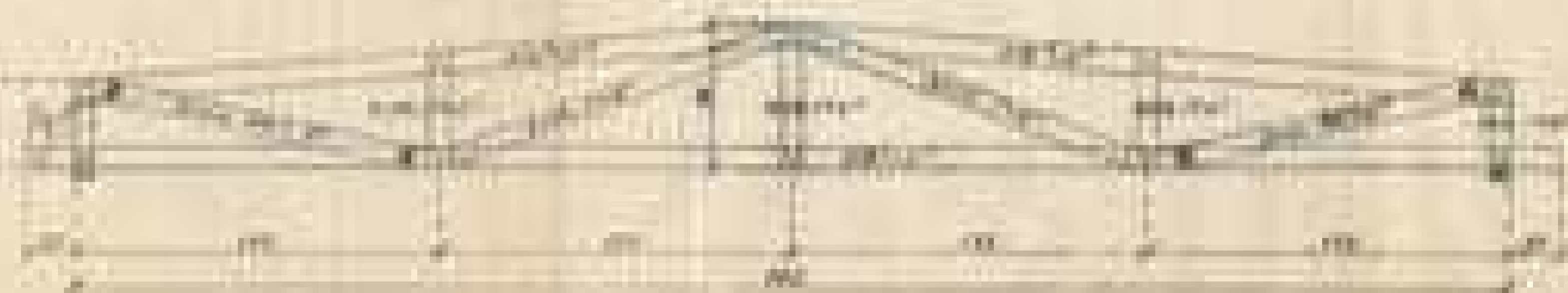


Figure 1 of 17



Figure 2



Figure 3



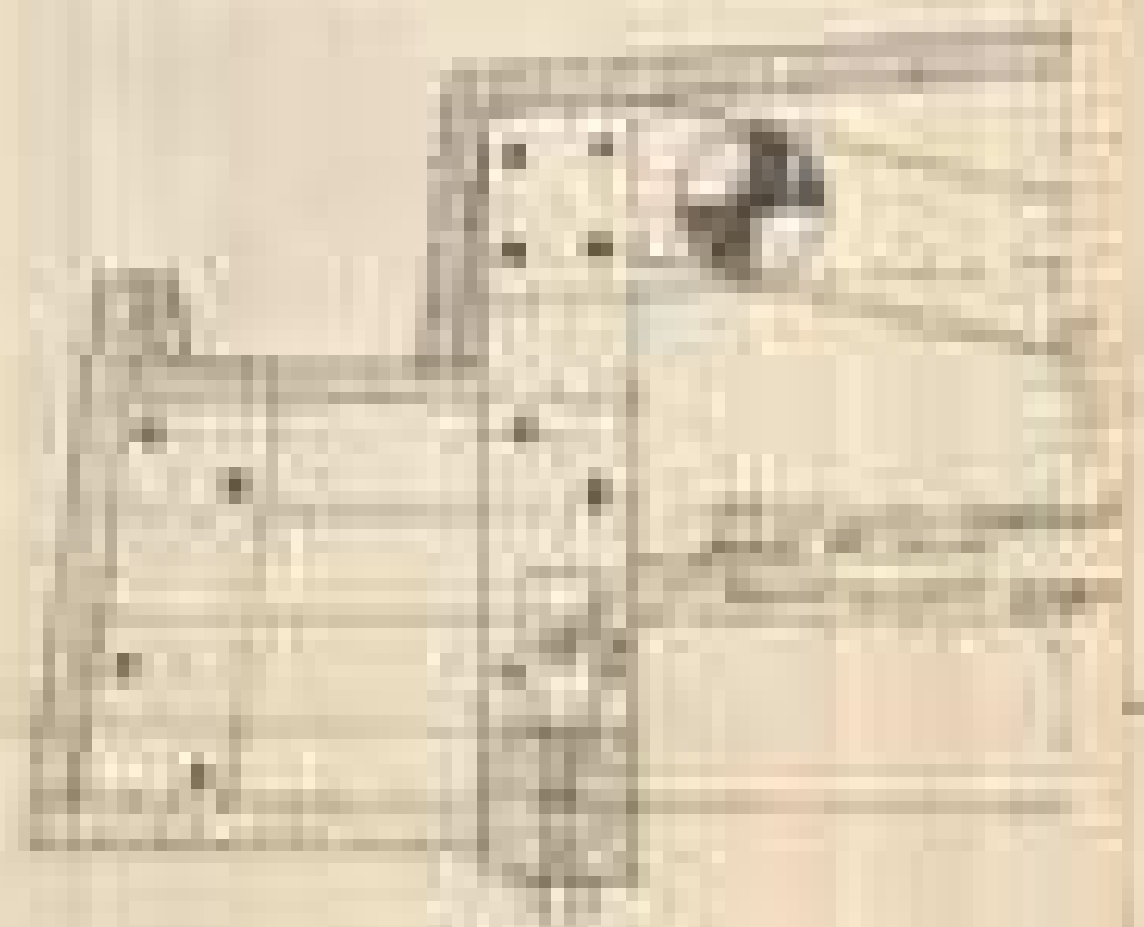
Figure 4



Figure 5



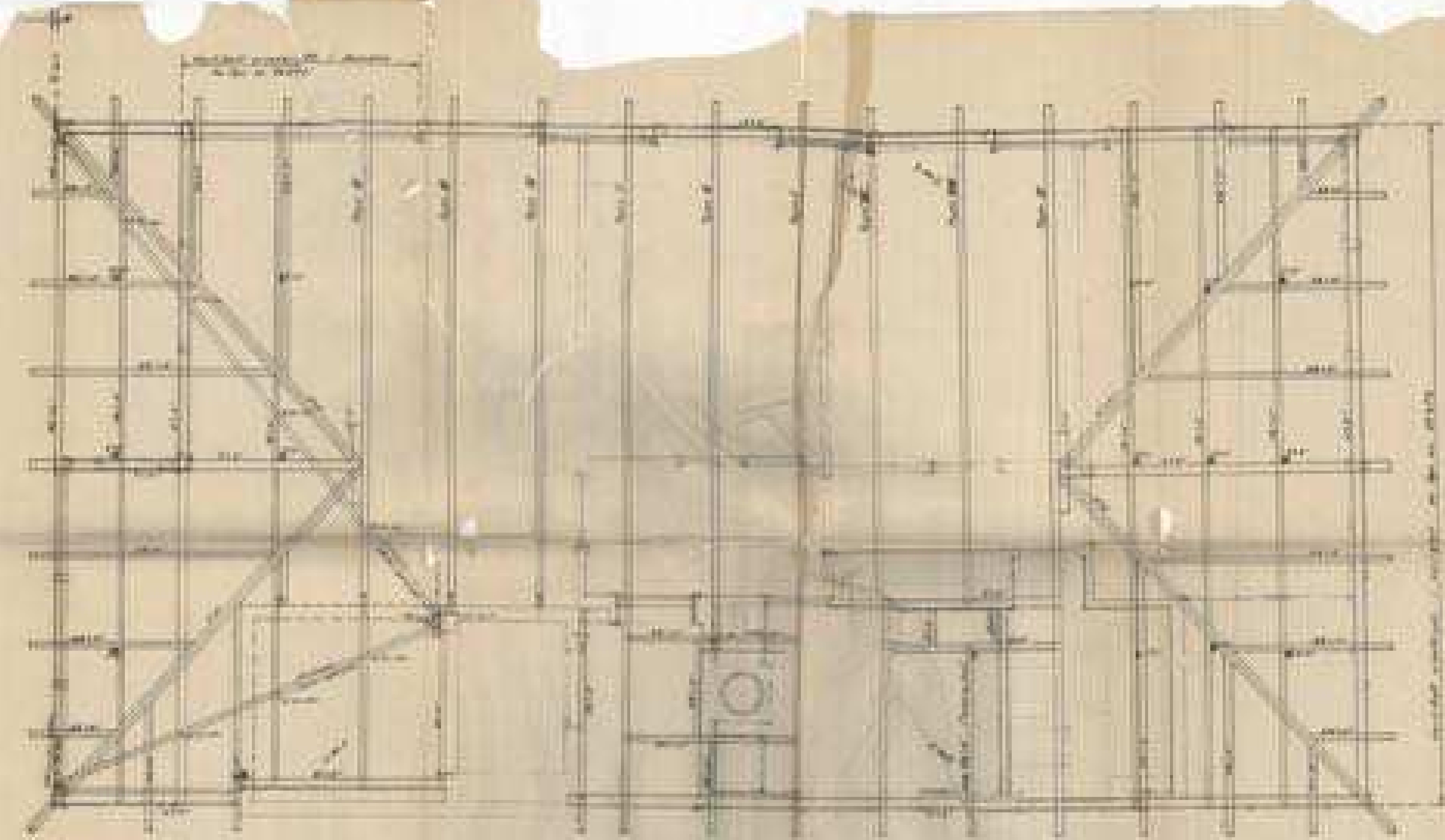
Figure 6



Detail of joint of truss members

| Member          | Size | Quantity | Remarks           |
|-----------------|------|----------|-------------------|
| 1. Top chord    | 4"   | 2        | See note on p. 41 |
| 2. Bottom chord | 4"   | 2        | See note on p. 41 |
| 3. Vertical     | 4"   | 2        | See note on p. 41 |
| 4. Diagonal     | 4"   | 2        | See note on p. 41 |
| 5. Horizontal   | 4"   | 2        | See note on p. 41 |





Scale 1 inch = 100 feet  
Scale 1 inch = 200 feet

UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR  
BUREAU OF LAND MANAGEMENT  
WASHINGTON, D. C.  
1910

100-1000



|           |                           |
|-----------|---------------------------|
| 172-402   |                           |
| DATE      | 1942                      |
| TIME      | 10:00                     |
| NAME      | John Doe                  |
| ADDRESS   | 123 Main St, New York, NY |
| TELEPHONE | 123-4567                  |
| REMARKS   | ...                       |

172-402



172-402



172-402



172-402



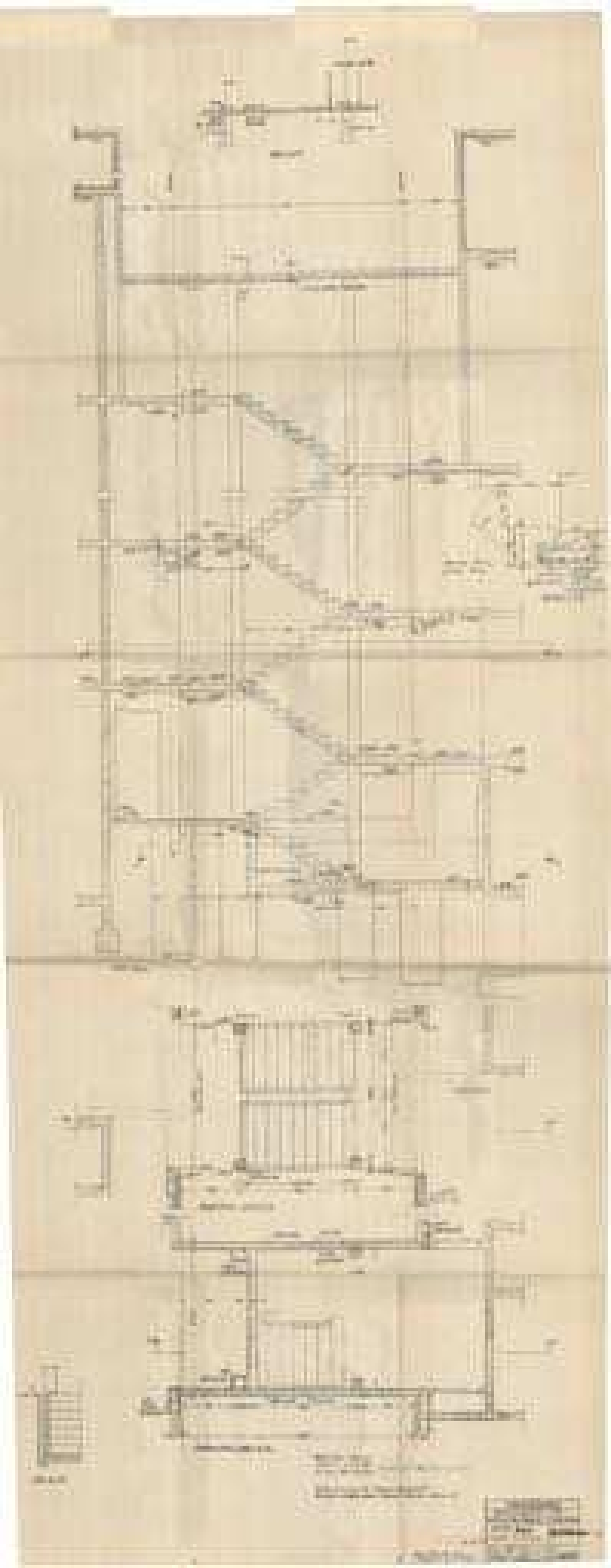
172-402



| DATE | TIME  | NAME     | ADDRESS                   | TELEPHONE | REMARKS |
|------|-------|----------|---------------------------|-----------|---------|
| 1942 | 10:00 | John Doe | 123 Main St, New York, NY | 123-4567  | ...     |
| 1942 | 11:00 | John Doe | 123 Main St, New York, NY | 123-4567  | ...     |
| 1942 | 12:00 | John Doe | 123 Main St, New York, NY | 123-4567  | ...     |
| 1942 | 13:00 | John Doe | 123 Main St, New York, NY | 123-4567  | ...     |
| 1942 | 14:00 | John Doe | 123 Main St, New York, NY | 123-4567  | ...     |
| 1942 | 15:00 | John Doe | 123 Main St, New York, NY | 123-4567  | ...     |
| 1942 | 16:00 | John Doe | 123 Main St, New York, NY | 123-4567  | ...     |
| 1942 | 17:00 | John Doe | 123 Main St, New York, NY | 123-4567  | ...     |
| 1942 | 18:00 | John Doe | 123 Main St, New York, NY | 123-4567  | ...     |
| 1942 | 19:00 | John Doe | 123 Main St, New York, NY | 123-4567  | ...     |

172-402









[illegible]

**THE**

KØBENHAVNS KOMMUNES  
RÅDGIVENDE INGENIØRKONTOR

ACT. ADVIS. BUREAU - COPENHAGEN 18

Central 1805 or 1806

43/445

København K. den 20. juli 1956.

Journal nr. 191/1956

Skema nr. 1 af 1955

*Offen*

Bydebygmesterens direktorat.



Vedr. Ballshøjbebyggelsen, K.K.B.,

matr.nr. 10, Øtterslev,

I fortsættelse af endragende af 22. oktober 1954 fremsendes hermed 1 3 eksemplarer med ansøgning om godkendelse, supplement 6 til konstruktionsberegningen, med tilhørende tegninger nr. 28570, 28580, 28582, 28586, 28587, 28588 og 28591. Supplement 6 omfatter følgende:

Bjgn. 1-6, jerndrager til bæring af gulvæstel

- 1-6, betondrager i tag over trappehus
- 6, træstøttrappe i østfløj  
vægge om træstøttrappe i østfløj
- 3-4-5-6, ændring af armering i visse støber ved  
3-løbstrapperne
- 1-6, beregning af altaner for  $400 \text{ kg/m}^2$ .

*Heieris*  
J. Børn.

RECEIVED BY THE CITY OF COPENHAGEN  
JUL 24 1956

Ing.

Byg. 10  
Byg. 10

3265 - 23 JUL 1956

KØBENHAVNS KOMMUNE  
RÅDGIVENDE INGENIØRKONTOR

1975. *Journal of Fish Biology* 7: 231-244.

100

**Keywords:** *Self-esteem; self-concept; self-identity*

Electron no. 1324

4.  $\Delta H_{\text{vap}} = 44.0 \text{ kJ/mol}$   
 5.  $\Delta H_{\text{fus}} = 6.01 \text{ kJ/mol}$   
 6.  $\Delta H_{\text{sub}} = 47.9 \text{ kJ/mol}$

# Home

Yakov, S. A. (1996). *Deception*. Leningrad, U.S.S.R.

post-hoc. 2007. *Journal of Interpersonal Violence*.

I fortsettelse af anbragte af 22. oktober 1974 fre-  
sendes hermed 1 3 eksemplarer, og erklæring om godkendelse, der  
1 dette anbragte indholdsfortegnelse omfatter supplement 1,  
afsnit 1 og 2 med tilhørende tegninger, samt supplement 4 med til-  
hørende tegninger, der omhandler farvelidsbestemmelse i svovls-  
syre i særlig. Vedrørende 5. og 6. vedrørende 1 tegning i  
samt tegning.

W. R. Emerson

78 JAN 1997



100

Stage 4: 1994  
Rising

3265 • JUNE 1995

KØBENHAVNS KOMMUNES  
RÅDGIVENDE INGENIØRKONTOR

København K., den 2. maj 1955.

SCT. ANNE, PALÆ - SØRSGADE 12

Journal nr. 191/1955

Central 1222 B. 1001

4. AFDELING 1. EKS.

AJ/HK

- 3 MAJ 1955 - 14

(Bemærk indf. ved Sammenlægning)

*Stam*

Stadsbygmesterens direktorat.  
Rådhuset.

*10 m. R.*  
Vedrører Bellahøjbebyggelsen K.K.B. matr. nr. 26.  
Utterslev.

- I fortsættelse af andragende af 22. oktober
- ./. 1954 fremsendes hermed 1 3 eksemplarer med anmodning om godkendelse af det i dette andragendes indholdsfortegnelse omtalte supplement 2 med tilhørende tegninger no. 28136 og 28137. Endvidere fremsendes 1 3
  - ./. eksemplarer følgende tegninger til supplerings af de
  - ./. den 22. oktober 1954 fremsendte: no. 28023, 28145, 28146, 28174, 28175, 28176, 28177, 28178, 28179, 28180, 28181.

*W. R. Simonsen*

W. R. Simonsen.

*ing*

STAMPED BY: JOHN C. HALL, FIELLS  
BYNDLINGSSTATION 12  
KØBENH. 97

UT

3265 - 3 MAJ 1955

15584

KØBENHAVNS KOMMUNES  
RÅDGIVENDE INGENIØRKONTOR

SCT. ANNA PÅL - FORGÆRDE 18

Centret 10000 af huset

AJ/PHM

København K., den 12. maj 1955.

Journal nr 191/1955.

(Sædvanlig betegnelse)

*H. J.*  
(Stadsbygmesterens direktorat)  
Rådhuset.

13 MAJ 1955

Vedrørende: Bellahøjbebyggelsen, K. K. B., matr. nr.  
10 af Utterslev.

I fortsættelse af andragende af 22. oktober  
1954 fremsendes hermed 1 3 eksemplarer med anmodning  
om godkendelse det i dette andragendes indholdsfor-  
tegnelse omtalte supplement 1 med tilhørende tegning  
nr. 28.182 visende trapper i bygning nr. 1, 2 og 3.  
Tegninger til bygninger 4, 5 og 6 vil blive fremsendt  
senere.

Beregning af de fabriksfremstillede løb vil  
blive fremsendt af A/B. K. Hindhede.

*V. R. Simonsen*

V. R. Simonsen

20 JAN 1955  
KØBENHAVNS KOMMUNE  
RÅDGIVENDE INGENIØRKONTOR

1955  
Maj 4. 1955

R. 10000

UT 3265 • 13 MAJ 1955

100

KØBENHAVNS KOMMUNES  
RÅDGIVENDE INGENIØRKONTOR

SECT. ARKIV, FALA - BØRGERGADE 18  
Central 1022 2 linier

AJ/BK

København K., den 4. juli 1955

Journal nr. 191/1955

Inden indlæsning af dokumentet

*Stem*

Stadsbygmesterens direktorat,  
Rådhuset.

191/1955-12  
191/1955-12

Vedr. Bellahøjbebyggelsen, K.K.B., matr.nr.10 af  
Utterslev.

I fortsættelse af andragende af 22.oktober  
./.. 1954 fremsendes hermed 1 3 eksemplarer, med an-  
modning om godkendelse, supplement 5 til konstruk-  
tionsberegningerne, omfattende ændringer af de tid-  
ligere opgivne betonbrudstyrker i indvendige vægge  
samt tegning af trappen i bygning 4 og 5.

*W.R. Simonsen*

W.R. Simonsen.

RECEIVED IN DEPT. OF WORKS & PUBLIC  
WORKS

28 JUL 1957

Mega. 4. Att. **UT 3265** - 5 JUL 1955

Ing.

KØBENHAVNS KOMMUNES  
RÅDGIVENDE INGENIØRKONTOR

BCT. ANNA PALA - SØNDERSGÅDE 18  
Centrum 1080 8 København

ARK/RK

København K., den 29. juni 1955.

Journal nr. 191/1955

(Børstet af den tekniske)

*Stbun*

Stadsbygmesterens direktorat,  
Rådhuset.

3. AFDELING  
30 JUNI 1955  
1. DEKONTROL

Vedr. Bellefsjæbebyggelsen, K.K.B.matr.nr.10, Utterslev.

I fortsættelse af andragende af 22.oktober  
./.. 1954 fremsendes hermed 1 3 eksemplarer, med anmodning  
om godkendelse, det i dette andragende omtalte supple-  
ment 3, omfattende indvendige vægge og fundamenter i  
bygning 6, vestfløj.

Tegningerne er fremsendt i andragende af  
16.juni d.å.

*A.R. Krog*  
A.R. KROG  
fs.

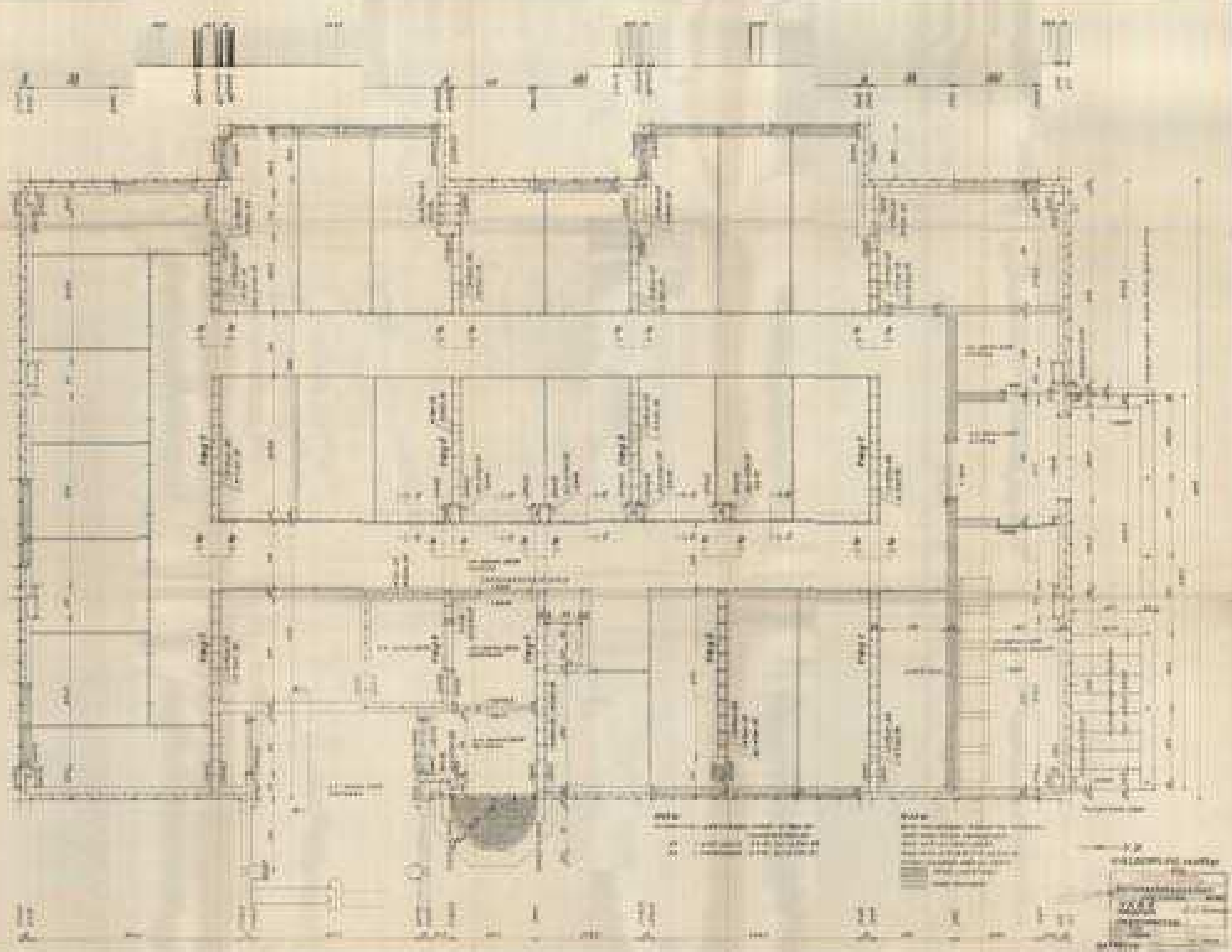
152

REKORDTIL FORHOLD I BUREAU  
INDENLÆGGE 28 JUN 1955

Kapt. A. Ald.  
Bsag Jr. UT 3265

30 JUN 1955







# BILAG 3

I dette holdningsstof udtrykker forfatteren sin personlige holdning om emnet.

---

SYNSPUNKT

# Ekspert har målt Bellahøjhusenes sikkerhed: Derfor kan det ikke gøres på andre måder

Byggeri

22. januar kl. 15:00

5

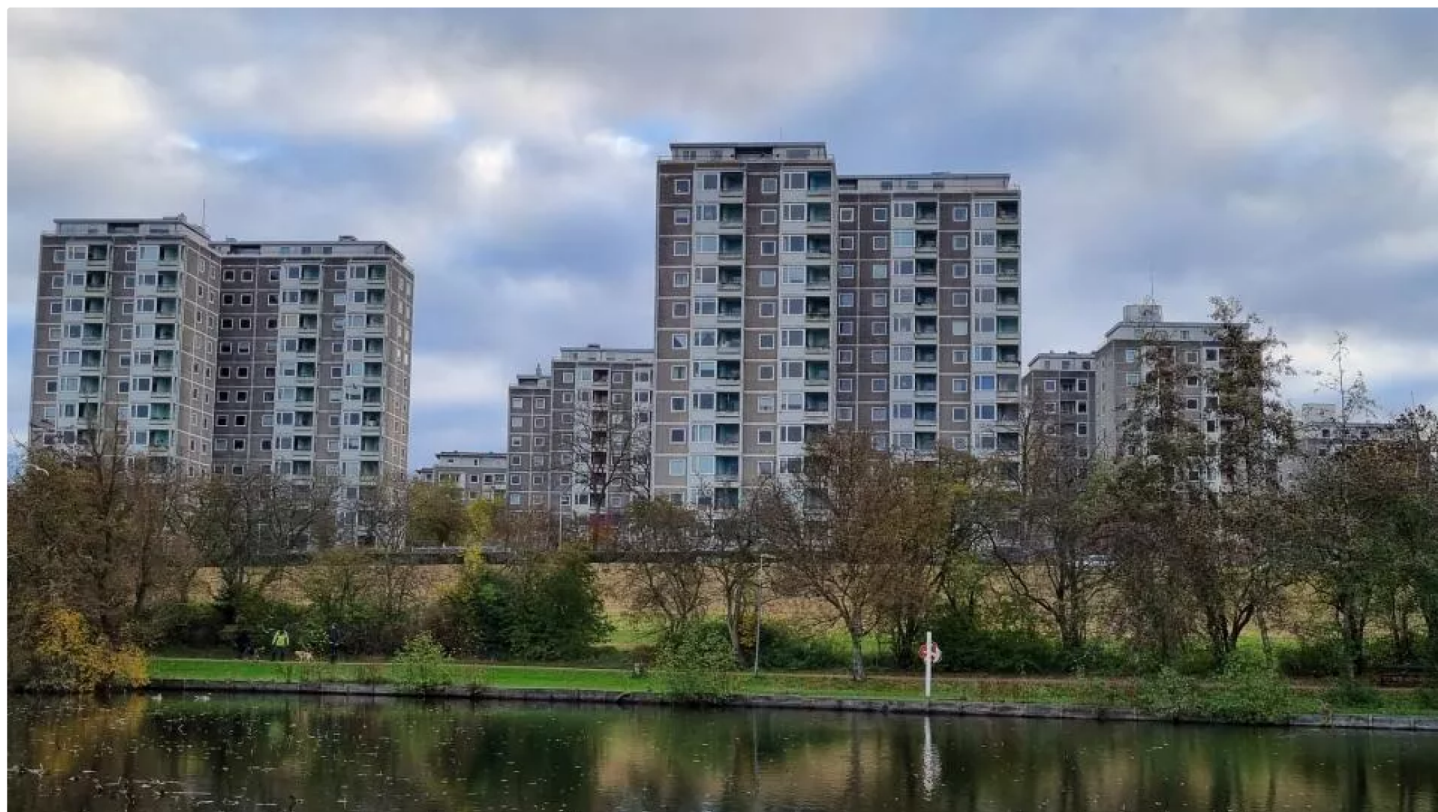


Illustration: Morten Munk Andersen.

**Beboerforening har kritiseret beregninger, der peger på risiko for sammenstyrtning og foreslået en ny regnemetode. Men det bliver for svært, for dyrt og for langvarigt, lyder svaret.**

**Rasmus Poulsen**

Afdelingsleder Konstruktioner, Niras

**Svend Ole Hansen**

Direktør, Svend Ole Hansen Aps.

**Bent Feddersen**

Senior teknisk chef, Rambøll

Artiklen er ældre end 30 dage

Dette er svar på [Bellahøjbeboernes indlæg](#). Svaret er udfærdiget af tre eksperter, fordi KAB fordelte beregningerne:

NIRAS har udført statiske beregninger, mens vindlast og tilknyttede sikkerhedsmæssige forhold er fastlagt af Svend Ole Hansen Aps. Rambøll har udført uafhængig kontrol af alle dele, og Landsbyggefonden har udpeget Jens-Peter Madsen Aps, Rådgivende ingeniører, til at udføre tredjepartskontrol.

## Problemet i beregningerne

Problemet i de oprindelige statiske beregninger fra halvtredserne er, at det anvendte vindbelastede areal af bygningerne er fejlagtigt fastlagt, og at der for visse vindretninger alene er én stabiliserende væg, som ved dæk over kælder overgår til en søjlekonstruktion. Væggen, der er 150 mm tyk og uarmeret over stueetage, er fyldt med huller og delvis opbygget af slaggebeton, ligesom samlinger til tilstødende ballasterende vægge er uarmerede.

Der er konstateret revner i betonkonstruktionerne, ligesom undersøgelser har vist udførelser, fx ved dækvederlag og støbeskel, der giver reducerede bæreevner. Vindlasten er fastlagt ved

detaljerede analyser med tilhørende vindtunnelforsøg, der er en velafprøvet og -dokumenteret metode, som er tilladt iht. normer. Vindtunnelforsøg er udført med 36 vindretninger på hver enkelt bygning, idet modellen består af hele Bellahøj bebyggelsen. Herved tages der hensyn til de komplicerede vindforhold, der gælder for hver enkelt bygning under hensyntagen til placering i bebyggelsen.

Der er gennemført accelerationsmålinger på flere af bygningerne på Bellahøj for at fastlægge deres egenfrekvenser. De regningsmæssige vindlaster på Bellahøjbygningerne er med disse tiltag blevet ca. halveret i forhold til den regningsmæssige vindlast, der bestemmes ved en traditionel anvendelse af normerne.

Når man projekterer/analyserer bærende konstruktioner, så skal der iht. normer gennemføres to særskilte undersøgelser, for henholdsvis anvendelsestilstanden og brudtilstanden. Den første undersøgelse har til formål at dokumentere, at konstruktionen har en fornuftig opførelse under anvendelse, dvs. at der fx ikke er for store deformationer/nedbøjninger, svingninger og revnevidder, hvilket bl.a. sikres via fornøden stivhed.

Den anden undersøgelse har til formål at dokumentere, at konstruktionen har den fornødne sikkerhed mod brud – kaldet regningsmæssige bæreevne. I bygningsreglement og normer er der krav til den sikkerhed, som bygninger der anvendes af mennesker, skal overholde. Typisk vil en konstruktions "virkelige" bæreevne være ca. dobbelt så stor som den regningsmæssige bæreevne. For eksisterende bygninger kan sikkerheden reduceres, hvilket er inkluderet i beregningerne, ligesom sikkerheden er reduceret, fordi der anvendes evakuering.

Konstruktionen er for anvendelsestilstanden forholdsvis stiv, og der er ingen statiske problemer. For brudtilstanden er konstruktionen af en sådan karakter, at bruddet formodentligt vil være et sprødt uvarslet brud. Manglende ballast på og længde af

den stabiliserende væg samt de mange huller gør, at den stabiliserende væg har en reduceret momentkapacitet, der afgør hvor store vindlaste, der kan optages. Det bemærkes, at bygningerne ikke har problem med lodret last.

Fokus har været på brudtilstanden, og der er gennemført et stort antal beregninger mhp. at optimere bæreevnen, så der kan optages så store vindlaste som muligt, ligesom fx gunstig indvirkning af facader, skillevægge, mm. er vurderet. Mellembygningen med trapper udgør et dilatationsafsnit.

## **Fuldskaalmålinger på bygningerne – fastlæggelse af vindlast**

I de foreslåede fuldskaalmålinger foreslås 2 bygningers bevægelser registreret ved måling over en periode på 3 måneder.

Omsætningen af de målte værdier til regningsmæssige vindlaste er behæftet med betydelige fejlkilder og usikkerheder, fx i forhold til:

De sædvanlige vindforhold, som måles, vil ikke nødvendigvis være gældende for ekstreme vindhastigheder. Termiske forhold er uden afgørende indflydelse ved ekstreme vinde; men termiske forhold kan ændre vindforholdene markant ved de sædvanlige vinde, eksempelvis vindens fordeling i højden over terræn.

Dette betyder, at fuldskaalmålingerne kun kan anvendes, hvis der i måleperioden optræder ekstreme vindhastigheder, og det ved alle relevante vindretninger. Dette kræver skønsmæssigt en måleperiode af størrelsesordenen 10 år, gerne længere, for at opnå tilstrækkeligt med måledata for både relevante vindforhold og vindretninger.



Det vindfelt, som rammer en bygning, er betydeligt påvirket af lægivning fra øvrige bygninger. Lægivning skal både opfattes som vindskygge fra én bygning til en anden og som accelererede vinde mellem grupper af bygninger. Denne komplicerede fysik er inkluderet i vindtunnelforsøgene, jf. tidligere beskrevne. Fuldskalamålingerne skal omfatte mange bygninger for at kortlægge betydningen af lægivninger tilstrækkeligt præcist, hvorfor måling af 2 bygninger som foreslået ikke er tilstrækkelig.



#### QUIZ

### Quiz | Hvordan vil byggebranchen begrænse nedrivningen og styrke incitamentet for renovering?

Byggeri

Bygningernes vindfremkaldte bevægelser er meget små, og det giver en betydelig risiko for generende målestøj, hvilket vil medføre store usikkerheder på de målte bevægelser.

Vindlasten bestemmes ved at multiplicere målte statiske bevægelser af konstruktionen med den dynamiske stivhed fastlagt ved målte egenfrekvenser. Denne metode kan anvendes for stålkonstruktioner, hvor den statiske stivhed kan regnes lig den dynamiske stivhed. Det er imidlertid fejlagtigt for betonbygninger, inkl. sekundære konstruktioner, komplementering og inventar, hvor den dynamiske stivhed vil være langt større end den statiske stivhed, som er den der er relevant for de statiske bevægelser, og dermed for konstruktionens virkemåde. Herved vil vindlasten blive betydeligt overvurderet, og det vil afstedkomme flere evakueringer end angivet for nærværende.

Erfaringer fra målinger på mange betonbygninger i Danmark og udlandet viser, at den dynamiske stivhed ofte er ca. det dobbelte af stivheden bestemt i FEM-beregninger. Bestemmes vindlasten som produktet af den dynamiske stivhed og de målte statiske bevægelser, vil vindlasten således blive overvurderet med en størrelsesorden på op til det dobbelte.

De angivne erfaringstal kan imidlertid ikke anvendes på bygningerne på Bellahøj pga. den daværende byggeteknik. Derfor er Brincker Monitorings foreslåede metode forbundet med store og ikke kvantificerbare usikkerheder.



SPONSERET BRIEFING

## **ING Online Briefing | Forsvarets uddannelser og klassificerede teknologier**

Forsvar

Det gælder, at de foreslåede fuldsalamålinger vil være behæftet med betydelige usikkerheder, som er blevet bekræftet i mange tidligere forskningsprojekter med fuldsalamålinger. Den betydelige usikkerhed på fuldsalamålingerne medfører iht. normerne betydeligt forøgede partialkoefficienter, hvilket vil øge de regningsmæssige vindlaster yderligere, ikke reducere dem.

Det konkluderes, at de foreslåede fuldsalamålinger ikke med tilstrækkelig præcision kan anvendes til bestemmelse af den karakteristiske vindlast. Dette ville kræve helt andre fuldskala målemetoder og langt mere omfattende målinger, hvor såvel tid som økonomi vil være betragtelig.



## Fuldskaletninger på bygningerne – fastlæggelse af bæreevne

Den angivne undersøgelse/måling knytter sig til anvendelsestilstanden. For visse materialer og konstruktioner er kurverne for opførslen kendte gennem hele forløbet af anvendelsestilstanden og brudtilstanden, fx visse typer af stålkonstruktioner. I de tilfælde kan det give mening at lave de anbefalede målinger, da de ikke blot giver informationer om anvendelsestilstanden, men også i et vist omfang om brudtilstanden.

For uarmerede betonkonstruktioner som bygningerne på Bellahøj er det ikke muligt at konstruere kurver for opførslen for hele forløbet af anvendelses- og brudtilstanden, hvorfor resultatet af fuldskaletningerne ikke vil kunne anvendes til fastlæggelse af bygningernes bæreevne. Brincker Monitoring forudsætter i deres beskrivelse, at der hos tidligere nævnte rådgivere eksisterer en sådan model, men det gør der ikke, da det ikke har været muligt at etablere en sådan model pga. de uarmerede konstruktioner.

Fuldskaletningerne er baseret på en løselig beskrivelse. Der foreligger ikke en detaljeret projektbeskrivelse, eksempelvis i forhold til proces og tekniske løsninger, herunder hvorledes resultater skal bruges i forhold til den faktiske konstruktion og hvorledes krav i bygningsreglement og normer overholdes, således at der er sikring af et resultat indenfor rammerne af en afsat økonomi. Der er ikke gennemført uafhængig kontrol eller tredjepartskontrol.

*Vil du bidrage til debatten med et synspunkt? Så skriv til vores debatredaktion på [debat@ing.dk](mailto:debat@ing.dk)*

Denne artikel

Beboerne fremlægger tal: Vi skal have fakta og nøgternhed i sagen om Bellahøjhusene

Kraftig blæst på vej til København: Ikoniske højhuse evakueres

Beboere skal ud af deres boliger: Bellahøjhuse er ikke sikre under kraftig blæst

Svage over for kraftige brande: Sådan skal Bellahøjhuse forstærkes

Nyt om regnefejl: Har ikke kalkuleret med vind fra vest

Efter mere end 60 år: Opdager fejl i statiske beregninger bag ikoniske højhuse

---

Emner

Byggeri

# BILAG 4a

**From:** JohnSteen Johansen <johnsteenjohansen@hotmail.com>  
**Sent:** 8. november 2023 15:58  
**To:** Ole Frederiksen; Kurt Manthey Larsen; Morten Lund; Rune Gamby  
**Subject:** Vedr. SAB Bellahøj II - Møde om målinger på Bellahøjhusene mandag den 6. november 2023  
**Attachments:** Kommentarer vedr mødet mandag den 6-11-2023 V1-3.pdf; Kommentarer vedr mødet mandag den 6-11-2023 V1-3.pdf; Bellahøj meeting with Svend Ole Hansen Oct 2023 V1-1.pdf; SOH\_21.0095 Bellahøjhusene - vind\_ Mødereferat - 20231106\_rev0.docx

Kære Ole Frederiksen, Kurt Manthey Larsen, Morten Lund og Rune Gamby.

Der foreligger et referat fra mødet om målinger direkte på bygningerne på Bellahøj (vedhæftet SOH\_21.0095).

I forbindelse med den videre drøftelse og kommende gennemførelse af målinger direkte på bygningerne, som afdelingsmødet besluttede den 27. april 2023 og de dermed forbundne perspektiver, er det relevant at fremsende Rune Brinckers kommentarer og præciseringer, som vedhæftet, samt den PP-præsentation Rune Brincker anvendte på mødet den 6. november 2023.

Med venlig hilsen  
John Steen Johansen  
Formand for afdelingsbestyrelsen for Bellahøj I og II, SAB  
31410057

## BILAG 4b



## Bellahøjhusene - vind

### Mødereferat

21.0095

6. november 2023 - Revision 0

Tid : Kl.14.00-16.30  
Sted : Sankt Jørgens Allé 5C, 1615 København V  
Deltagere : Rune Brincker (Brincker monitoring)  
Kurt Manthey Larsen (Område for byninger, KK.)  
Bent Feddersen (Rambøll)  
Rasmus Poulsen (Niras)  
Svend Ole Hansen (Svend Ole Hansen ApS)  
Marie Louise Pedersen (Svend Ole Hansen ApS) – Referent  
Dato for referat : 6. november 2023

|                                                                         | Ansvar / frist                                                        |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| 1. Præsentation af mødedeltagere                                        | Alle                                                                  |
| 2. Præsentationer ved Rune Brincker:                                    |                                                                       |
| a. Kort generel intro til den teknologi Brincker monitoring anvender.   |                                                                       |
| b. Kort forslag til hvad Rune Brincker mener giver mening for Bellahøj: | Rune Brincker                                                         |
| i. Step 1 – ”Basic condition check”                                     |                                                                       |
| ii. Step 2 – ”Full scale wind force estimation”                         |                                                                       |
| iii. Step 3 – ”Long term condition monitoring”                          |                                                                       |
| 3. Rådgivergruppens kommentarer og diskussion af disse                  | Bent Feddersen<br>Rasmus Poulsen<br>Svend Ole Hansen<br>Rune Brincker |



#### 4. Konklusion:

Brincker monitoring kan bestemme stivheden af bygningen ved en elastisk model og derved kan vindlasten bestemmes ved målinger.

Brincker monitoring kan bestemme vindlasten, via accelerations- og tiltmetermålinger. Usikkerheden på vindlasten kan ved målingerne nedsættes væsentligt ifølge Brincker monitoring. Dette vil i givet fald kræve et omfattende måleprogram med tilhørende analyser. Målingerne skal udføres på flere af bygninger og over lang tid (dvs. over en periode, hvor der opstår høje vindhastigheder på mindst ca. 10-15 m/s) for at få generel anvendelighed.

Bellahøjhusene er primært udført i uarmeret beton og derfor kompliceret at modellere mener rådgivergruppen.

Usikkerhed på den anvendte vindlast i de statiske beregninger er blevet reduceret til et minimum ved hjælp af vindtunnelforsøg og fuldskalamålinger. Denne reduceret usikkerhed er taget i regning ved de beregnede reducerede partialkoefficienter. Rådgivergruppen er således ikke enig i, at den foreslåede monitorering vil reducere usikkerheden yderligere.

Bent Feddersen  
Rasmus Poulsen  
Svend Ole Hansen  
Rune Brincker

# BILAG 4c



## Kommentarer og præciseringer vedr. mødet mandag den 6-11-2023

Rune Brincker, 08/11/2023

Det korte referat, der foreligger fra mødet mandag den 6. november 2023 vedr. målinger på bygningerne på Bellahøj giver anledning til at fremsende disse uddybende kommentarer og præciseringer som grundlag for videre drøftelse.

I min præsentation på mødet havde jeg tre forslag, som det er nævnt i referatet:

1. Et basalt check af bygningerne
2. Bestemmelse af vindkraften
3. Længerevarende monitorering

I referatet er dog kun omtalt drøftelser vedr. forslag 2, og det accepterede jeg, fordi jeg fandt, at bestemmelsen af vindkraften var det vigtigste forslag fra min side.

Da vi i mandags drøftede hvor lang tid målingerne ville tage, så nævnte jeg, at forslag 1 kan forventes at tage 3 måneder, forslag 2 vil tage den tid det tager at få et rimeligt antal storme med vindhastigheder fra 10 – 15 m/s, og det kan nok nås på omkring 6 måneder.

Når det gælder forslag 2, så nævnte jeg på mødet, at både middelværdien af vindkraften og usikkerheden på vindkraften kan reduceres, så der opnås en betydelig forøgelse af sikkerheden. Reduktionen af usikkerheden opnås altid når mængden af information øges, så reduktionen af usikkerheden er en sikker gevinst ved at måle. Når det gælder middelværdien, så nævnte jeg på mødet, at man ikke kan vide om den bliver større eller mindre. Men den bliver jo nok mindre, for Rådgiverne skal jo være på den sikre side, og hvis de er på den sikre side med deres vindestimat, så vil middelværdien blive reduceret ved måling.

Jeg nævnte også på mødet, at man bestemt ikke skal undervurdere forslag 1. For denne måling vil give en betydelig indsigt i hvordan bygningerne opfører sig, som meget vel kan føre til, at Rådgiverne må ændre deres opfattelse af hvordan bygningen fungerer statisk. Vi talte på mødet om, at rådgiverne bl.a. ikke har taget trappeopgangene med søjler m.m. med i deres beregninger. Trapperummenes konstruktion med trapper og søjler vil efter min mening have en betydelig afstivende virkning. Hvor meget det betyder, vil vi finde ud af ved at gennemføre forslag 1.

Jeg medvirker gerne til yderligere uddybning om nødvendigt.

For god ordens skyld vedhæftes min præsentation fra mødet mandag den 6. november 2023.

Mvh,

Rune Brincker

BILAG 4d



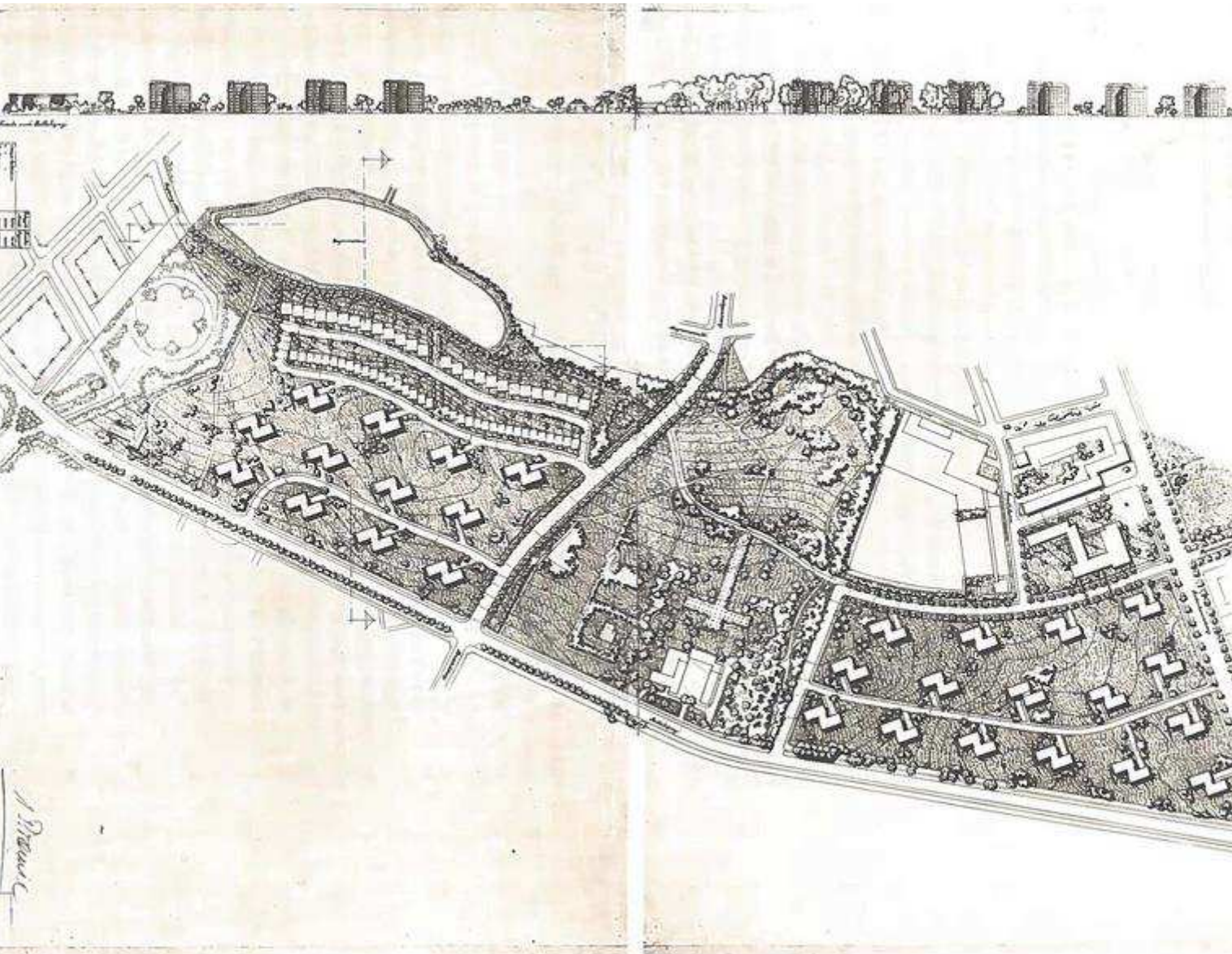
# Bellahøj Monitoring Meeting with Svend Ole Hansen Oct 2023

Rune Brincker





# Husene som de ser ud





# Step 1 – basic condition check

Scope: checking the based properties of the building



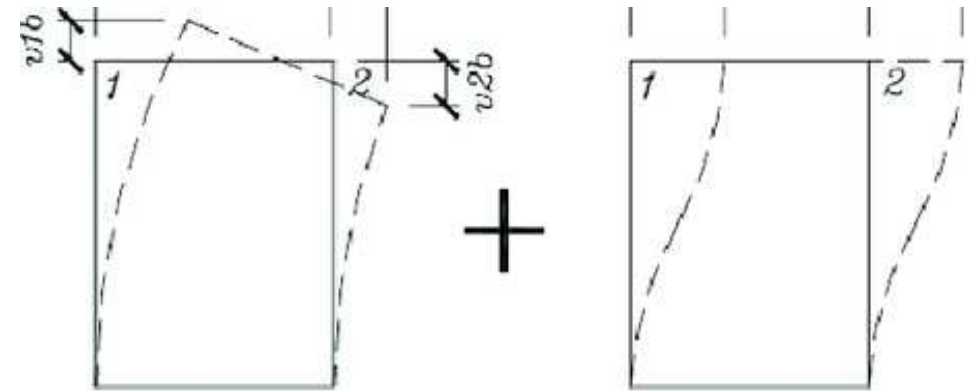
Response  
data



FE Model

4 x 3D sensors in two  
levels to separate  
bending and shear

Update FE Model to fit  
measurements



Bending Deformation

Shear Deformation

**Case specific: bending/shear**

## Evaluation:

Good updating: =>

Digital twin to be used in next steps

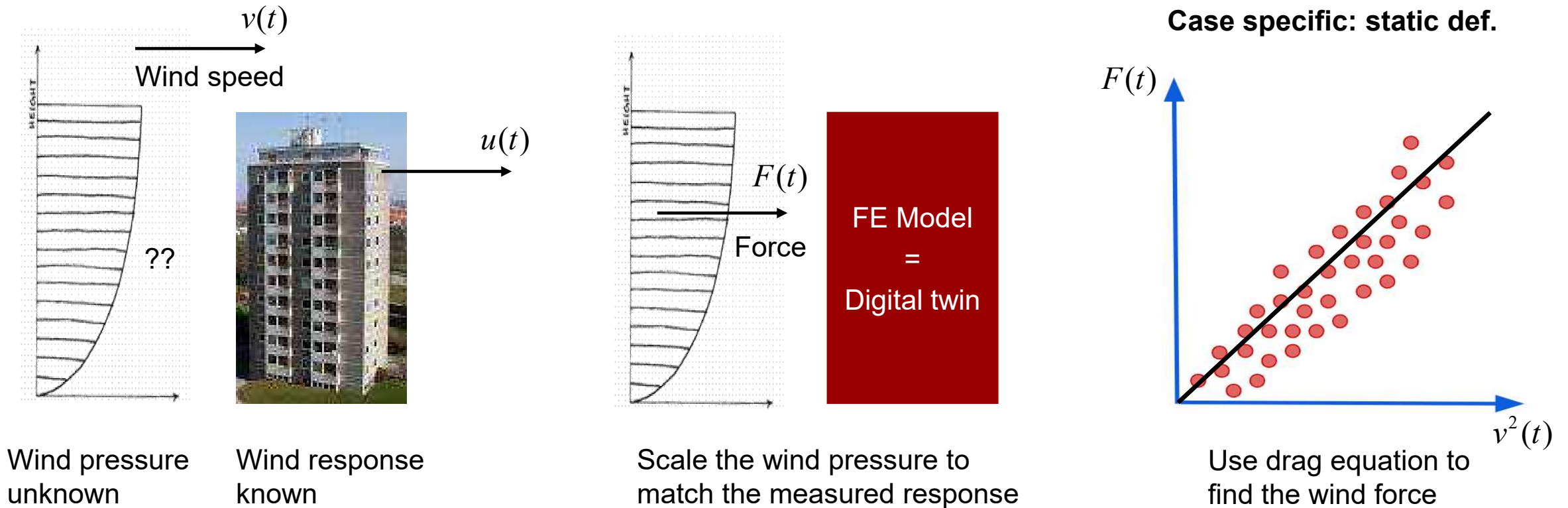
Not good updating: =>

Damage detection and repair



# Step 2 – full scale wind force estimation

Scope: Estimate wind force directly on the building



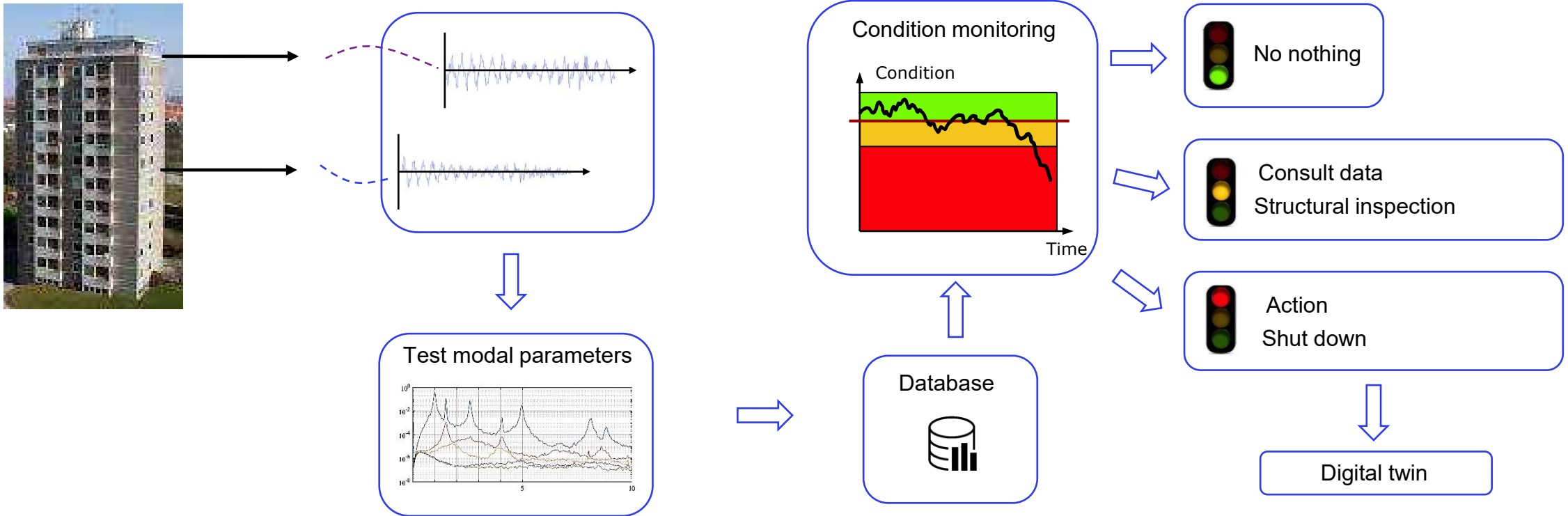
## Evaluation:

|                          |    |                             |
|--------------------------|----|-----------------------------|
| Wind force small enough: | => | All good                    |
| Not small enough :       | => | Repair and/or do monitoring |





# Step 3 – long term condition monitoring



## Cloud Solution:

- Natural frequencies
- + Wind force

# BILAG 5



## Note om målinger i tre skridt

Rune Brincker, Mar 2024

Som en del af trepartshøringen, ønsker jeg at indsende denne note som et sprogligt supplement til mit indlæg på mødet med Rådgiverne, se [1].

Min note handler altså om at fremlægge en skriftlig argumentation for de tre skridt, som jeg foreslog på mødet med rådgiverne.

Ikke desto mindre, så vil jeg først kort forklare på hvilke områder jeg er grundlæggende uenig med rådgiverne, idet denne grundlæggende uenighed er baggrunden for mit forslag i 3-skridt. Disse områder er følgende:

1. Rådgivernes påstand om "uvarslet brud"
2. Rådgivernes manglende hensyn til trappeopgangen imellem tvillingehusene
3. Rådgivernes manglende hensyn til svigt i facadeelementerne
4. Rådgivernes manglende redegørelse for begreberne brugstilstand og brudtilstand
5. Rådgivernes påstand om at "der kan ikke læres noget ved at måle"

Denne indledende kritik præsenterer jeg i det første afsnit, og herefter gennemgår jeg ideerne for de tre skridt som jeg har foreslået vedrørende målinger på Bellahøj.

### Indledende kritik

Min kritik knytter sig til grafikken vist i Figur 1, der til venstre viser arbejdskurven der afbilder sammenhængen imellem kraft og deformation, og til højre viser en frekvensrespons funktion (FRF) der afbilder sammenhængen imellem respons og frekvens.

Begge figurer, dvs. både arbejdskurven til venstre, og FRF'en til højre gælder for en vilkårlig konstruktion, dvs. både konstruktioner af træ, beton eller stål.

Ad. 1:

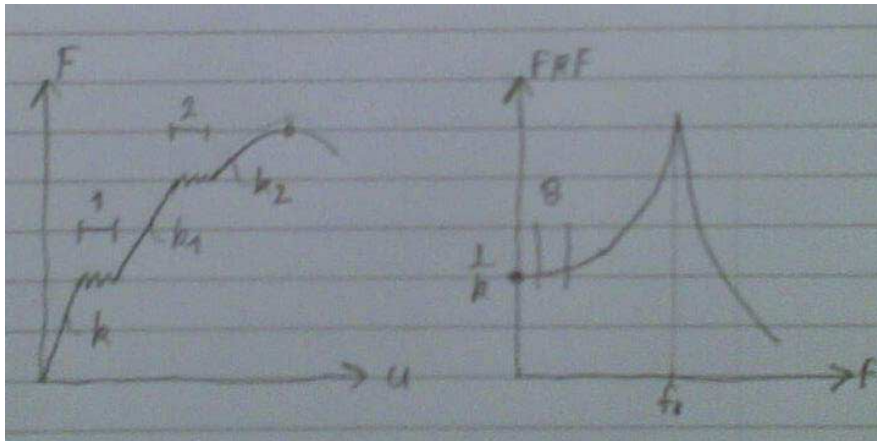
Her taler vi om brud. Lad mig starte med at sige, at jeg lavede mit PhD i brudteori i slutningen af halvfjerdsene, og jeg arbejdede med dette område både teoretisk og eksperimentelt som mit primære forskningsområde langt ind i halvfemserne.

Min holdning til begrebet "uvarslet brud" er, at det ikke er et velformuleret begreb i danske normer, og at det heller ikke er et centralt begreb i den internationale litteratur om brud.

Lad os starte med at betragte arbejdskurven, som vi meget vel kan opfatte som gældende for Bellahøj husene når de udsættes for en vandret vindvirkende vindkraft  $F(t)$  der resulterer i en flytning  $u(t)$ . Figuren viser at i starten hvor kræfterne er små, er kurven stejl og lineær, med maximal hældning svarende til stivheden  $k$ , således at vi har sammenhængen

$$(1) \quad u(t) = \frac{1}{k} F(t)$$

Sammenhængen er med god tilnærmelse lineær fordi vi ved lave værdier af kraften  $F(t)$  kun i ringe grad har haft små lokale svigt der påfører systemet ikke-lineariteter – det vil sige, at vi er i "brugstilstanden".



**Figur 1.** Til venstre skematisk arbejdskurve med partielle brud i områderne (1) og (2) resulterende i aftagende stivhed. Til højre FRF funktion for det modale respons der illustrerer at hældningen på FRF funktionen går mod nul ved DC således at responset i et smalt frekvensbånd B tæt på DC svarer til den statiske stivhed.

Vi kan nu forestille os at vi øger kraften således at der på et tidspunkt opstår mærkbare lokale svigt af en vis type (1), som markeret i figuren. Vi kan forestille os, at det er svigt i de såkaldte "dilatationsfuger", der er udført ved at betondækkene i trappeopgangen er ført ind i de tilstødende bygninger, men med afbrudt armering. Når der sker disse lokale brud, så mistes der stivhed, der viser sig ved en reduceret hældning på arbejdskurven svarende til stivheden  $k_1$ .

Tilsvarende kan vi forestille os de lokale brud der er markeret med (2) svarer til at facadeelementerne stopper med have trykspændinger i den luv side, således at elementer løfter sig en smule fra fundamentet. Igen vil dette svare til et tab af stivhed, således at vi efter disse lokale brud har en reduceret stivhed  $k_2$ , hvorefter deformationerne langsom øges, så vi til sidst nærmer os toppunktet på T på kurven.

Det er dette sidste stykke på arbejdskurven der betegner "brudtilstanden", hvor bæreevnen ved beregning må begrænses til de få elementer der stadig kan sikre bygningens bæreevne.

Min kritik af anvendelsen af begrebet "uvarslet brud" handler om, at vi inden vi når til "brudtilstanden", har haft en række svigt i de bygningsselementer som Rådgiverne ikke har medregnet brudtilstanden, og at disse lokale svigt har jo netop har givet anledning til revner, ekstra deformationer, og reduktioner af stivhed. Alt sammen noget der varsler om brud.

Altså: Når Rådgiverne siger, at de ikke vil medtage elementer i styrkeberegningen fordi de ikke kan regnes med i "brudtilstanden", så kan de ikke samtidig påstå, at der er tale om uvarslet brud, fordi når disse elementer ophører med at virke bærende og afstivende, så sker der ekstra deformationer, og der sker tab af stivhed, og disse fænomener er varsling om brud.

Ad 2:

Trapperne i opgangene opfører sig formentligt som en stiv 3-dimensionel drager der kun vanskeligt lader sig deformere. Dette skyldes primært deres udførelsen med de 4 lodrette søjler. Den kan i brud primært kun bevæge sig som et stift legeme, hvorved den tvinger de to tvillingehuse til at følges ad.

Kun hvis der opstår deformationer i dilatationsfugerne kan de to tvillingebygninger bevæge sig uafhængigt af hinanden.

Det gode spørgsmål er så: sker der bevægelser i dilatationsfugerne? Jeg vil sige: Det gør der nok ikke, for hvis der gjorde det, så ville der være tydelige følger af de bevægelser. Omkring betondækkenes indløb fra trappetårnet til bygningerne, vil der på grund af bevægelserne opstå revner imellem betondæk og bygning, og der vil derfor normalt ske afskalninger af beton, resulterende i støv og betonrester på gulvene efter storm – og dette er vel ikke rapporteret?

Det vil sige, at der formentlig slet ikke er sket bevægelser i dilatationsfugerne. Dette er da et ret afgørende spørgsmål !

Ad 3:

Rådgiverne tager ikke hensyn til facadeelementerne fordi de ikke stoler på fugerne, og fordi samlinger ikke er armerede. Men så længe der er tryk i fugerne, så er alt vel godt. Så virker de jo som de skal og medvirker til stivheden af bygningen.

Først når trykspændingerne forsvinder i den luv side sker der en svækkelse af bygningen.

Men ligesom med dilatationsfugerne, så vil en bevægelse der åbner en nok så lille revne i den luv side af bygningen føre til afskalninger på fundamenter, resulterende i betonrester og støv på jorden - og dette er vel ikke rapporteret?

Det vil sige at der formentlig slet ikke er sket åbning af revner ved fundamentet, hvilket betyder at facadeelementer har fuld virkning. Dette er da et ret afgørende spørgsmål !

Ad 4:

Som det er forklaret ovenfor, så vil lokale svigt normalt medføre ekstra deformationer, afskaldning af beton med nedfald af betonsmulder og støv, og det vil medføre en reduceret stivhed.

Min kritik går her på, at Rådgiverne glemmer at de nødvendigvis må argumentere for, at bygningen er så svækket, at der kun er de få hovedelementer tilbage til at bære vindlasten. Det mener jeg ikke at de har gjort.

Når der ikke har været observationer af betonafskalning osv. så må Rådgiverne jo indse, at der er en overgang fra brugstilstand til brudtilstand, som skal tages i betragtning.

Altså, hvis bygningen slet ikke er vækket, men stadig står der med aktive forbindelse imellem trappeopgange og bygninger, og med fuld virkning af facadeelementerne, det vil sige uden nogen betydelige lokale svigt, så bør vi vel indse, at disse lokale svigt der opstår i overgangen fra brugstilstanden til brudtilstanden, er en vigtig kilde til information.

Det er de fordi, at hvis der begynder at opstå lokale svigt, så opstår de normale fænomener som afskalning, ekstra deformationer og tab af stivhed, og vi får derved en advarsel om at et brud land tid før endeligt kollaps opstår.

Altså er overgangen fra brugstilstand til brudtilstand en proces der sikrer at vi vil få information i god tid, det vil sige, denne proces sikrer at vi bliver varslet om brud.

Ad 5:

Dette argument fra Rådgivernes side er fundamentalt fejlagtigt. Det er objektivt forkert at påstå "at man ikke kan lære noget" ved at indsamle information.

Jeg vil bede rådgiverne lægge mærke til, at jeg ikke har påstået noget om hvad vi vil lære ved at måle. Jeg lærer altid noget af at måle på virkeligheden, men det sker ofte, at jeg lærer noget andet end det som jeg forventede.

Sagen er den, at når man indsamler information om noget, så kan man aldrig vide hvad der kan komme ud af det. Ingen kan vide det, hverken jeg eller Rådgiverne kan vide det.

Vi kan kun finde ud af det ved at gøre det

Afsluttende bemærkninger:

Inden vi forlader dette indledende afsnit, så lad os betragte FRF funktionen til højre i Figur 1.

Denne funktion repræsenterer den opfattelse, som er helt central i teoretisk dynamik, nemlig at bevægelser er sammensat af modes. Den repræsenterer også en opfattelse af, at den betragtede konstruktion opfører sig tilnærmet lineært, således at det samlede respons kan beregnes ved superposition af de modale bidrag

Det er almindeligt accepteret at disse begreber kan anvendes i tilfælde med selv relativt store ikke-lineariteter, som f.eks. bygningers bevægelser under jordskælv, således at respons kan beregnes med modalanalyse ved at benytte reducerede naturlige frekvenser til beskrivelse af reduceret stivhed og forøget dæmpning til beskrivelse af forøget dissipation.

Det betyder i praksis, at den til ligning (1) svarende ligning i frekvensområdet er gældende

$$(2) \quad U(f) = H(f)X(f)$$

Hvor  $U(f)$  er den Fourier transformerede af  $u(t)$ ,  $H(f)$  er FRF funktionen, og  $X(f)$  er den Fourier transformerede af kraften  $F(t)$ . Det betyder så også, at FRF funktionen ved DC er lig med den inverse stivhed

$$(3) \quad H(0) = \frac{1}{k}$$

Hvor  $k$  her er den modale stivhed. Endeligt skal det nævnes, at den naturlige frekvens  $\omega$  angivet som  $2\pi$  gange frekvensen  $f$  målt i Hz er givet ved

$$(4) \quad \omega = \sqrt{k/m}$$

Hvor  $m$  er den modale masse. Det skal også nævnes at den naturlige frekvens givet ved  $f_0$  målt i Hz er vist i Figur 1 som den frekvens hvor der er en tydelig spids maximal værdi af FRF funktionen.

Dette illustrerer de basale principper i at bruge dynamikken til at vurdere stivheder, fordi hvis stivheden falder så falder frekvensen, så hvis frekvensen ikke falder, så er stivheden intakt.

Som det fremgår af FRF funktionen i Figur 1, så er den flad tæt på DC, så selv om vi ikke kan opnå målinger af deformationer ved DC, så kan vi benytte et smalt frekvensbånd tæt på DC til at finde de tilsvarende flytninger, således at vi kan skabe en sammenhæng imellem vind og flytninger.

### Step 1 – basic condition check

Dette forslag knytter sig til side 3 i [1]. Ideen er at opbygge en finite element (FE) model der svarer til de bevægelser der er målt, og som har de samme naturlige frekvenser som dem der er målt. Dette er en klassisk fremgangsmåde.

Hvis der kan opnås en god sammenhæng imellem model og virkelighed, så er der opnået en såkaldt "digital tvilling" der giver os mulighed for at kende responset andre steder end i de punkter hvor vi har målt. Sammenhængen imellem FE modellen og målingerne vurderes ud fra frekvensafvigelser og afvigelser af mode shapes ved beregning af den såkaldte MAC værdi.

Hvis der kan opnås en god overensstemmelse imellem model og virkelighed, så kan man, som det fremgår af grafikken fra side 3, benytte modellen til at undersøge i hvor stor grad deformationer består af bøjning og forskydning, som det er normalt at gøre når der er tale om bygninger.

Det afgørende er, at vi har opnået et grundlæggende check på om bygningen opfører sig som vi forventer den skal gøre i brugstilstanden.

Som det er forklaret ovenfor, så kan vi ikke vide på forhånd hvad vi vil lære af at gennemføre dette skridt, men vi har lov til at udtrykke en forventning, det man normalt vil kalde at formulere nogle hypoteser.

Mine hypoteser for skridt 1 vil være følgende:

1. Det vil være muligt at opstille og validere en FE model der svarer til måleresultaterne,
2. Modellen vil give et klart billede af i hvor høj grad trappeopgangen afstiver bygningerne,
3. Det forventes at trappeopgangens afstivning vil være afgørende for bygningernes stivhed,
4. Den aktuelle stivhed vil klart indikere at dilatationsfugerne ikke er aktiveret

## Step 2 – full scale wind force estimation

Hvis vi i skridt 1 har opnået en god model, så kan vi bruge den til at bestemme vindkraften på selve bygningen. Som det fremgår af grafikken på side 4 [1], så har vi også brug for en fordeling af vindkraften over bygningen, og vi kan her benytte forskellige fordelinger så betydningen heraf kan illustreres.

Vi vil normalt benytte accelerometre eller hastighedsmålere (geofoner), og i begge tilfælde kan disse signaler uden problemer integreres til bestemmelse af flytninger i et hvert frekvensbånd der ligger passende over DC. Problemet her er, at vi ikke kan integrere disse signaler til at bestemme af den statiske flytning (ved DC), fordi det integrerede signal går imod uendelig ved DC. Det er dog helt realistisk at integrere til flytninger i et smalt bånd f.eks. omkring 0.5 Hz (angivet som båndet B i Figur 1 til højre), hvor den aktuelle FRF er relativt flad.

Vi kender FRF matricen fra vores FE model, og da matricen er flad i det smalle bånd, så reducerer vores ligning 2 til en simpel kvasistatisk lineær ligning

$$(5) \quad y(t) = Cx(t)$$

Hvor  $y(t)$  er det målte respons i vindkraftens tyngdepunkt,  $C$  er compliance (altså  $1/k$ ), og  $x(t)$  er den tilsvarende ukendte kvasistatiske kraft. Denne ligning løses med linear regression, og så kender vi både  $C$  og den kvasistatiske kraft  $x(t)$ . Nu kan vi bruge drag ligningen (Det er nok Svend Ole der skal gøre det), som siger at kraften  $x(t)$  er proportional med vindhastigheden i anden potens

$$(6) \quad x(t) = Dv^2(t)$$

Og vi kan dermed bestemme drag koefficienten ved lineær regression og herefter bruge den bestemte drag koefficient til bestemmelse af den statisk vindkraft

$$(7) \quad F_0(t) = Dv_0^2(t)$$

Disse ligninger kan formuleres på forskellige måder, og vi bør vælge den metode der minimerer fejlen på de estimater vi får.

Vi kan bestemme den samlede vindkraft som summen af den kvasistatistiske vindkraft bestemt fra ligning (5) og den statiske vindkraft bestemt fra ligning (7).

Når vindkraften er bestemt på denne måde, så kan usikkerhederne kvantificeres ud fra de gennemførte lineære regressioner, og en regningsmæssig vindkraft bestemmes, eller der kan formuleres en beregning til bestemmelse af sikkerheden.

Hvis den samlede vindkraft er blevet reduceret, så kan sikkerheden forøges, og hvis der så er sikkerhed nok, så behøver vi ikke at gøre yderligere.

Mine hypoteser for skridt 2 vil være følgende:

1. Der vil kunne opstilles en vindmodel baseret på de gennemførte målinger
2. Dette vil resultere i reducerede vindkræfter og reducerede usikkerheder
3. Dette vil igen resultere i øget sikkerhed overfor svigt ved vindpåvirkning

### Step 3 – long term condition monitoring

Hvis ikke der efter en bestemmelse af vindkraften er sikkerhed nok, så kan man overveje at gennemføre monitorering over lagt tid og på denne måde tilføre ekstra sikkerhed

Ideen er her den simple, som vi tidligere har formuleret:

- Hvis der sker skader så falder stivheden og dermed falder de naturlige frekvenser
- Hvis ikke der sker ændringer af de naturlige frekvenser, så er der ikke nogen skade

Hvis der er sket skader, så kan vi benytte den digitale tvilling til at undersøge hvor de skader er sket, men denne proces ligger uden fokus af denne note.

Mine hypoteser for skridt 3 vil være følgende:

1. Baseret på resultater fra skridt 1 og 2 vil der kunne planlægges et passende monitoreringsprogram
2. Dette kunne ske ved at overvåge de naturlige frekvenser og så lokale svigt kan detekteres
3. Dette vil kunne sikre en forøget sikkerhed overfor svigt ved vindpåvirkning

### References

[1] Rune Brincker: Bellahøj meeting with Svend Ole Hansen Oct 2023 V1-1. Power point presented at the meeting, Oct. 2023.

End-of-doc

## BILAG 6

## Note om forøgelse af sikkerhed ved måling på Bellahøj

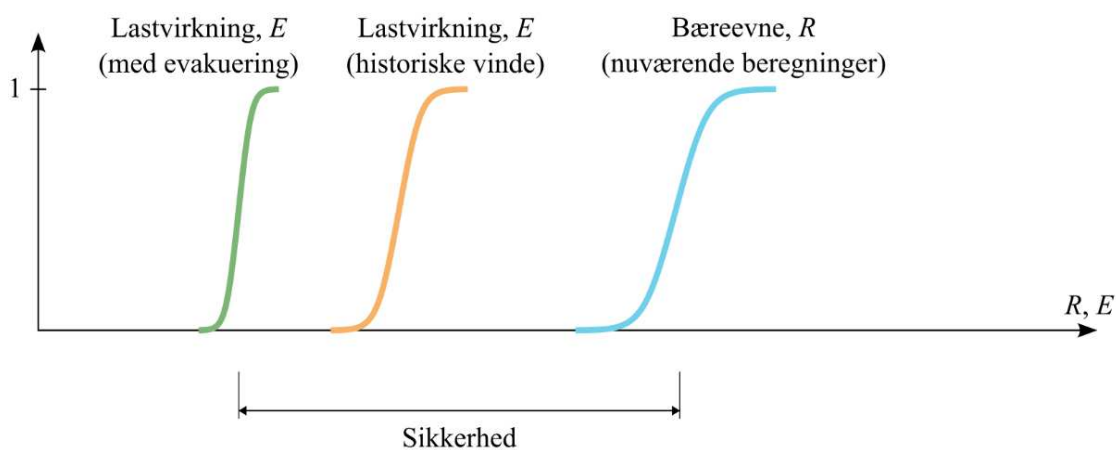
Rune Brincker, Brincker Monitoring ApS, Maj 2023

Denne note tager udgangspunkt i granskningsrapporten [1], hvor der arbejdes /opereres med en forklaring på, hvordan der med evakuering skabes sikkerhed for beboerne. Figuren fra nederst side 9 i granskningsrapporten er gengivet i Figur 1 nedenfor.

Det er her illustreret hvorledes lastvirkning  $E$  fra vindlasten vil kunne reduceres med evakuering idet den gule kurve rykker til venstre (til grøn kurve) hvorved afstanden imellem lastvirkning og bæreevnen  $R$  forøges med en forøgelse af sikkerheden til følge.

Vi vil i denne note tage dette argument fra granskningsrapporten et skridt videre og se på hvorledes en forøget viden om vindlasten, der kan opnås ved måling, kan forventes at påvirke sikkerheden. De grundlæggende spørgsmål som vi vil besvare er:

- Kan måling forøge sikkerheden på samme måde som evakuering øger sikkerheden?
- Og hvis ja: Hvor meget kan vi forvente at sikkerheden øges ved måling?



**Figur 1.** Kopi af figur nederst side 9 i granskningsrapporten der viser hvorledes sikkerheden øges med evakuering så der sker en reduktion af lastvirkningen ved at den gule kurve rykker mod venstre til den grønne kurve.

### Hvorfor information øger sikkerheden

Grunden til at der kan opnås en forøgelse af sikkerheden ved at forbedre viden om lastvirkningen  $E$  og bæreevnen  $R$  er at normerne skal "være på den sikre side", og at den store usikkerhed på både lastvirkning og bæreevne kan reduceres med en forbedret viden.

Den virkeligt forekommende lastvirkning vil derfor være mindre end den der er foreskrevet af normerne, og usikkerhed på lastvirkningen foreskrevet af normen vil også blive reduceret. Det betyder at den gule kurve i Figur 1 rykker mod venstre og bliver stejlere.



Den virkelige bæreevne vil derfor også være større end den der er foreskrevet af normerne, og usikkerheden vil også blive reduceret. Det betyder at den blå kurve i Figur 1 rykker mod højre og bliver stejlere.

Både den øgede afstand imellem kurverne for lastvirkning og bæreevne og den omstændighed at kurverne bliver stejlere vil øge sikkerheden.

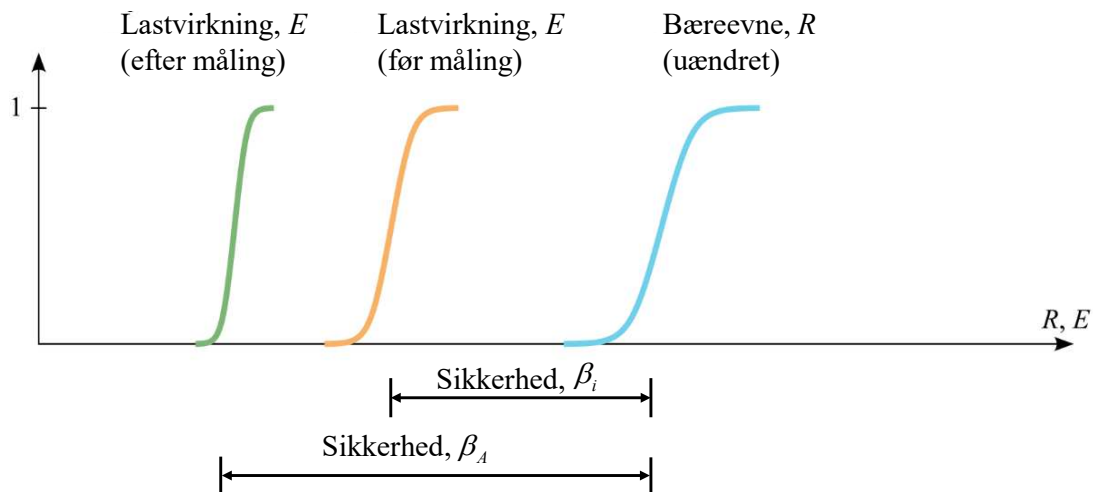
Vi vil dog i denne note udelukkende se på indflydelsen fra viden om lastvirkningen  $E$  og bruge en konservativ vurdering der ser bort fra den positive effekt på sikkerheden fra en forbedret viden om bæreevnen.

Hvis vi kun tager hensyn til indflydelsen på lastvirkningen  $E$ , så sker der altså nøjagtigt det samme som ved evakuering. Det øger sikkerheden. Da vi får en forbedret viden om vindlasten, så vil det mindske lastvirkningen, da normerne er på den sikre side, således at de virkeligt forekommende laster er mindre end dem der foreskrives af normerne.

Dette er illustreret i Figur 2, som er en videre udvikling af Figur 1. Figur 2 viser hvorledes den initiale sikkerhed  $\beta_i$  forøges ved at den gule kurve rykker imod venstre og således giver anledning til en sikkerhed efter måling givet ved  $\beta_A$ , således at  $\beta_A > \beta_i$ .

Forbedret viden om lasten, vil derfor ALTID føre til en forbedring af sikkerheden, forudsat normerne er på den sikre side.

Spørgsmålet er nu hvor meget vi kan forvente at sikkerheden vil blive forbedret ved at gennemføre målinger? Dette vil vi se på i det følgende.



**Figur 2.** Videre udvikling af figur nederst side 9 i granskningsrapporten der viser hvorledes sikkerheden øges med måling så der sker en reduktion af lastvirkningen ved at den gule kurve rykker mod venstre til den grønne kurve.

### Typiske lastreduktion ved naturlaster

Vi vil illustrere hvor meget lastvirkningen fra naturlaster som vind og bølger kan formindskes ved måling ved at betragte fatigue (udmattelse) der bestemmer levetiden af konstruktioner ud fra SN kurven  $N = CS^{-3}$  hvor  $N$  er levetiden (antal cykler) og  $S$  er spændingsvidden.

Det er almindeligt accepteret at den virkelige levetid typisk er 2-5 gange større end den der er foreskrevet af normerne. Det betyder at de virkelige forekommende spændinger  $S_A$  (efter måling) vil være ca 30 % mindre end de spændinger der foreskrevet i normerne, idet SN kurven

$N = CS_A^{-3} = CS^{-3} (0.7)^{-3}$  medfører en levetid baseret på spændingsvidden  $S_A$  der er 3 gange længere end baseret på spændingsvidden  $S$ .

Det er desuden dokumenteret, at usikkerheden (standardafvigelsen) på spændingsvidden reduceres med en faktor 3, se Nabuco et al [2], så den usikkerhed der foreskrives af normerne på 25 % reduceres til 5 – 8 %.

### Forøgelse af sikkerheden ved måling

I de følgende vurderinger vil vi bruge de konservative værdier

- Lastvirkningen fra vind reduceres med 10 % ved måling
- Usikkerheden på lastvirkning sættes til 15 % af middelværdien før måling
- Usikkerheden på lastvirkning reduceres med en faktor 2 efter måling
- Bæreevnen ændres ikke

Vi vil betragte to cases, en hvor det initiale sikkerhedsindeks er 2.0 og en case hvor det er 2.5, og se på hvor meget vi kan forvente at disse værdier for sikkerhedsindeks kan forbedres ved en forbedret viden om vindlasten opnået ved måling.

Vi ved ikke hvad det tilstræbte sikkerhedsindeks er for Bellahøj, men hvis vi tager udgangspunkt i Eurocode, klasse RC2, så foreskrives der et sikkerhedsindeks  $\beta \geq 3.8$ . De to betragtede cases er således valgt at ligge med et relativt lavt initialt sikkerhedsindeks i forhold til den tilstræbte værdi på 3.8.

Da sikkerhedsindeks kun afhænger af forholdet imellem lastvirkning og bæreevne kan vi sætte den initiale (ukendte) lastvirkning til 1, og med bæreevner på henholdsvis 1.42 og 1.54 opnår vi så de tilstræbte initiale værdier for sikkerhedsindeks på 2.0 og 2.5, se Tabel 1.

Ved at reducere lastvirkningen på grund af forøget viden om vindlasten som forklaret ovenfor, opnår vi herefter værdier for sikkerhedsindeks på henholdsvis 3.3 og 3.8 for de to betragtede cases, se Tabel 2.

For casen med initialt sikkerhedsindeks på 2.0, som er en meget lav værdi, så må vi forvente at måling vil forbedre viden om lastvirkning fra vind så der opnås et sikkerhedsindeks efter måling på mindst 3.3. Dette er en ganske væsentlig forøgelse af sikkerhedsindekset, og vil derfor medføre at vindhastigheder for evakuering kan forhøjes væsentligt.

For casen med initialt sikkerhedsindeks på 2.5, som stadig er en ganske lav værdi, så må vi forvente at måling vil forbedre viden om lastvirkning fra vind, så der opnås et sikkerhedsindeks efter måling på mindst 3.8 – det vil sige at efter måling kan vi forvente at opfylde kravet i Eurocode som netop foreskriver  $\beta \geq 3.8$ .

**Tabel 1.** Værdier for de to betragtede cases før måling. Værdierne  $\mu_E$  og  $\mu_R$  er middelværdierne for henholdsvis lastvirkning og bæreevne, værdierne  $\sigma_E$  og  $\sigma_R$  er de tilsvarende standardafvigelse, og  $\beta_i$  er det initiale sikkerhedsindeks.

| Parameter | $\mu_E$ | $\mu_R$ | $\sigma_E$ | $\sigma_R$ | $\beta_i$ |
|-----------|---------|---------|------------|------------|-----------|
| Case 1    | 1.0     | 1.42    | 0.15       | 0.142      | 2.0       |
| Case 2    | 1.0     | 1.54    | 0.15       | 0.154      | 2.5       |

**Tabel 2.** Værdier for de to betragtede cases efter måling. Værdierne  $\mu_E$  og  $\mu_R$  er middelværdierne for henholdsvis lastvirkning og bæreevne, værdierne  $\sigma_E$  og  $\sigma_R$  er de tilsvarende standardafvigelse, og  $\beta_A$  er det forventede sikkerhedsindeks efter måling.

| Parameter | $\mu_E$ | $\mu_R$ | $\sigma_E$ | $\sigma_R$ | $\beta_A$ |
|-----------|---------|---------|------------|------------|-----------|
| Case 1    | 0.90    | 1.42    | 0.0675     | 0.142      | 3.3       |
| Case 2    | 0.90    | 1.54    | 0.0675     | 0.154      | 3.8       |

## Konklusion

Vi har set på 2 cases til illustration af hvor meget sikkerheden kan forventes øget ved måling:

- Case 1 hvor det initiale sikkerhedsindeks er 2.0
- Case 2 hvor det initiale sikkerhedsindeks er 2.5

Vi har været konservative og kun taget hensyn til at vindlasten og usikkerheden på vindlasten vil blive reduceret, og vi har brugt konservative reduktioner af vindlasten og usikkerheden på vindlasten.

Klassiske beregninger af sikkerhedsindekset efter måling, dvs. efter at reduktionerne er medtaget til beregning af sikkerhedsindekset viser at

- For case 1 forventes sikkerhedsindekset forøget fra 2.0 til 3.3
- For case 2 forventes sikkerhedsindekset forøget fra 2.5 til 3.8

Det betyder at for case 1 kan vindhastigheder ved evakuering kan forhøjes væsentligt, og for case 2 er Eurocode opfyldt idet kravet her er fastlagt til netop et sikkerhedsindeks på 3.8.

## Referencer

[1] Jens-Peter Madsen ApS Rådgivende Ingeniører: *Bygningsstabilitet for SAB I og SAB II*, Granskningsnotat. Notat af 24.04.2023.

[2] B Nabuco, M Tarpø, UT Tygesen, R Brincker: Fatigue stress estimation of an offshore jacket structure based on operational modal analysis. *Journal of Shock and Vibration* 2020, pp.1-12.

# BILAG 7

# Eksisterende forhold SAB Bellahøj

Info til ekstern gransker

Arkitema K/S

Dato: 29. februar 2024

## Indhold

|           |                                                                                                |           |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>0</b>  | <b>Indledning.....</b>                                                                         | <b>2</b>  |
| <b>1</b>  | <b>Statisk system.....</b>                                                                     | <b>2</b>  |
| 1.1       | Oprindeligt statisk system for vandret last .....                                              | 2         |
| 1.2       | Statisk system i den midlertidige situation for vandret last .....                             | 3         |
| <b>2</b>  | <b>Information om Numerisk / Finite Element model af højhusene .....</b>                       | <b>3</b>  |
| <b>3</b>  | <b>Tegning/beskrivelse af typisk dæk og stabiliserende vægge (armeret / uarmeret?) .....</b>   | <b>3</b>  |
| 3.1       | Dæk.....                                                                                       | 3         |
| 3.2       | Vægge.....                                                                                     | 4         |
| <b>4</b>  | <b>Samlinger og støbeskel, fx mellem dæk og væg (tegninger og as-built info) .....</b>         | <b>8</b>  |
| <b>5</b>  | <b>Omfang af observerede revner og indikation af om de er statisk betingede eller ej .....</b> | <b>9</b>  |
| <b>6</b>  | <b>Dilatationsfuger / afsnit .....</b>                                                         | <b>10</b> |
| <b>7</b>  | <b>Insitu eller Præfab? .....</b>                                                              | <b>12</b> |
| <b>8</b>  | <b>Er der forskel på statisk model for SLS og ULS analyse .....</b>                            | <b>12</b> |
| <b>9</b>  | <b>Funderingsforhold (pæle / direkte?) .....</b>                                               | <b>12</b> |
| <b>10</b> | <b>Målerapport for vindtunnelforsøg .....</b>                                                  | <b>13</b> |
| <b>11</b> | <b>Målerapport for accelerationsmålinger på bygninger.....</b>                                 | <b>13</b> |

## 0 Indledning

Dette summary skal ses som en hjælp til at komme ind i det relativt omfattende projekt. Notatets informationer skulle gerne være korrekte, men er i sagens natur ikke komplette. For uddybende informationer henvises til projektmaterialet. Der er indsat relevante henvisninger til projektmaterialet, hvor der nogle gange kan findes flere informationer.

Notatet forholder sig kun til SAB2-bebyggelsen. Opmærksomheden henledes på at østfløjen i SAB2-6 har en anderledes plangeometri end de øvrige punkt-huse. Dette notat vil derfor hovedsageligt tage udgangspunkt i blokkene 1-5 og vestfløjen i SAB2-6.

I dette notat (og i projektmaterialet) refereres til bygningerne som SAB2-1, SAB2-2, SAB2-3, osv. I de oprindelige beregninger/tegninger bliver de tilsvarende bygninger dog kaldt KKB1, KKB2, KKB3, osv. Når der eksempelvis står KKB1-5 på en tegning betyder det således at tegningen gælder for blokkene SAB2-1, SAB2-2, SAB2-3, SAB2-4 og SAB2-5.

Nedenstående overskrifter følger spørgsmål stillet af granskingsgruppen i mail af den 24. februar 2024.

Som Supplement til nedenstående svar er vedlagt følgende dokumenter/mapper:

Oprindelige dokumentation:

- Oprindelige Konstruktionstegninger, dateret 1957
- Oprindelige Arkitekttegninger, dateret 1954 og 1958

Vindlast og sikkerhed:

- Bestemmelse af egenfrekvenser fra fuldskalamålinger, dateret 21. februar 2022.
- Globale vindlaste, med tilhørende Annex for hver SAB2 bygning, dateret 8 juni 2022.
- Bestemmelse af terrænuhed, dateret 8. juni 2022.
- Partialkoefficient på vindlasten, dateret 21. august 2022.
  - Anneks med Prognose usikkerhedsanalyse, dateret 21. august 2022

Statiske beregninger:

- Stabilitet af SAB2-1, SAB2-2, SAB2-3, dateret 24 november 2022
- Stabilitet af SAB2-6E, dateret 28 november 2022.
- Stabilitet af SAB2-6W, dateret 24 november 2022

## 1 Statisk system

Bygningerne er principielt simple skivebygninger.

For lodret last afleverer dækskiver last på tværvæggene, som føres helt til fundamentet.

### 1.1 Oprindeligt statisk system for vandret last

For vandret last afleverer dækskiver last til væggene, som fører det til dæk over kælder. Oprindeligt har væggene været regnet som et sammensat tyndfliget profil, og væggenes samlede tyngdepunkt/inertimoment er bestemt efter sædvanlig elastisk bjælke-teori. Derefter er de statiske momenter for den enkelte flange (tværvæg)

anvendt til at fordele bøjningsspændingerne fra vindlasten. Disse bøjningsspændinger er superpositioneret med lodrette laster, og det er konkluderet at væggene har tilstrækkelig tyngde til at modvirke trækspændingerne fra bøjningen, og at søjlevirkning er ikke vurderet kritisk. Vindlasten er regnet på to vindretninger nord/syd og øst/vest og det er antaget at vindlasten angriber i profilets forskydningscenter.

## 1.2 Statisk system i den midlertidige situation for vandret last

Under de midlertidige forhold er bygningen eftervist som en traditionel skivebygning, ved en trykstansmodel, med indbyrdes uafhængige vægskiver. Bygningerne er eftervist for 8 forskellige vindretninger med tilhørende vridende momenter. Der er regnet med at der kan over føres ballast i det uarmerende støbeskel mellem langs- og tværgående vægge ligesom der overføres kræfter i dørøverligger i den langsgående væg. Lastfordeling på vægge og placering/størrelse af ballast er optimeret i hver enkelt lasttilfælde for at opnå den største mulige bæreevne. Det er vist at vindlasten kan føres igennem dæk over kælder og til jorden via kraftfordeling i dæk over kælder og terrændæk.

## 2 Information om Numerisk / Finite Element model af højhusene

Der er ikke udført numeriske beregninger i forbindelse med stabilitetsberegninger og der findes derfor heller ikke en FE model af bygningerne. De stabiliserende vægge i bygningen er hovedsageligt udført i u-armeret beton og væggene undersøges kun i ULS, hvorfor det er vurderet at det ikke vil være hensigtsmæssigt at anvende FEM til dokumentationen i dette projekt.

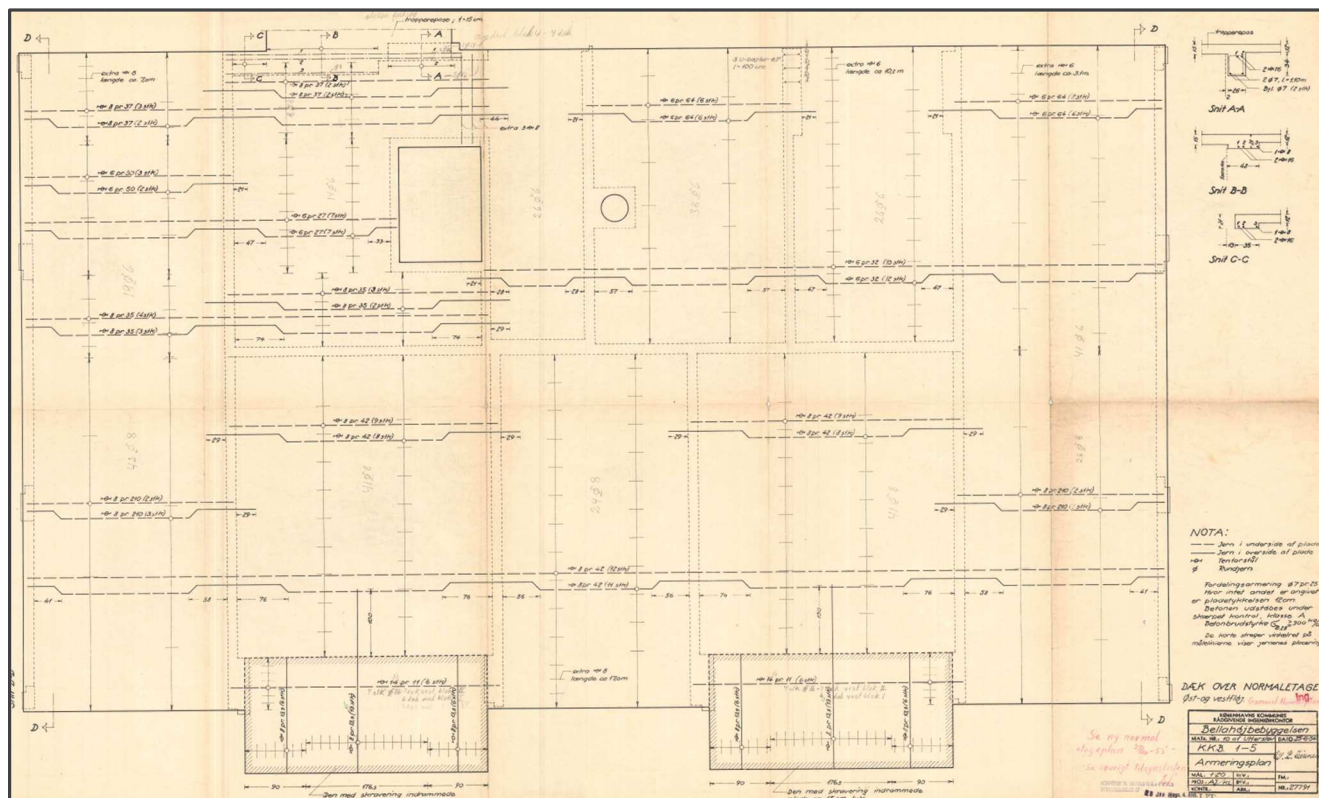
## 3 Tegning/beskrivelse af typisk dæk og stabiliserende vægge (armeret / uarmeret?)

### 3.1 Dæk

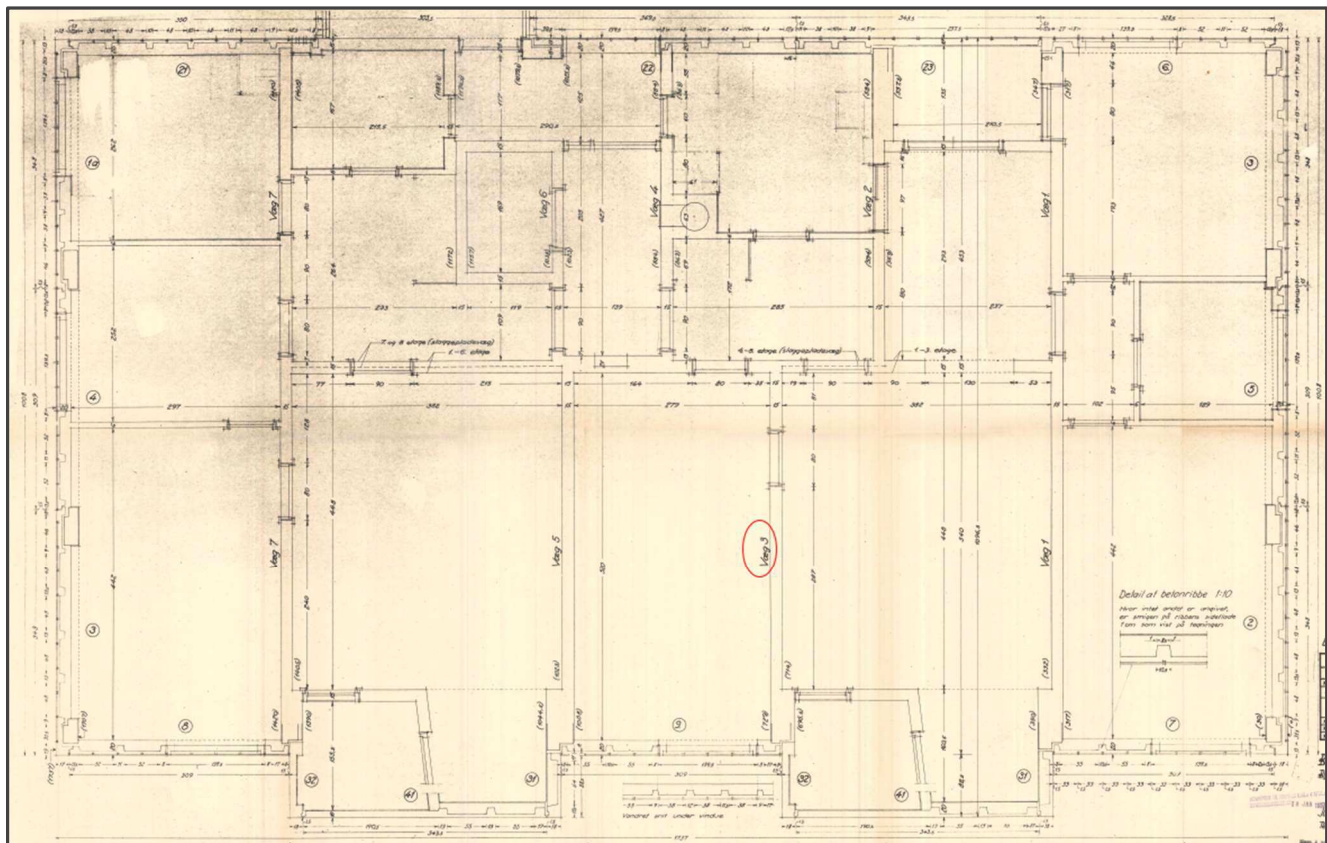
Dæk er armerede i to retninger. Deres hovedspændretning er i bygningernes længderetning (spænder mellem tværvægge). Armeringen i hovedspændretningen er kraftigere end fordelingsarmeringen på tværs, og der er anvendt tentorstål (T) i stedet for rundjern (Ø). Dæktykkelsen er almindeligvis 12cm (nogle steder øget til 15 cm, fx ved udkragede altanplader og store spænd). Dækkene er støbt henover væggene, med opbuktet armering iht. datidens byggetradition. I gavlene bæres dækket af søjler og en bjælke støbt i niveau med dækket.

Dækkene er støbt i "beton300". Der regnes med en omregning til kar. cylindertrykstyrker jævnfør DS11990, ved  $f_{ck} = 0,8^3 \cdot \sigma_B \cdot 1,25 = 19,2 MPa$ . Faktoren 1,25 er en 25% tilvækst i styrken, der vurderes at være kommet pga. den grovkornede cement, i øvrigt jævnfør DS11990. Da beton-væggene i praksis er uarmerede, er der regnet med en partialkoefficient på trykstyrken på  $\gamma_c = 1,6$ .

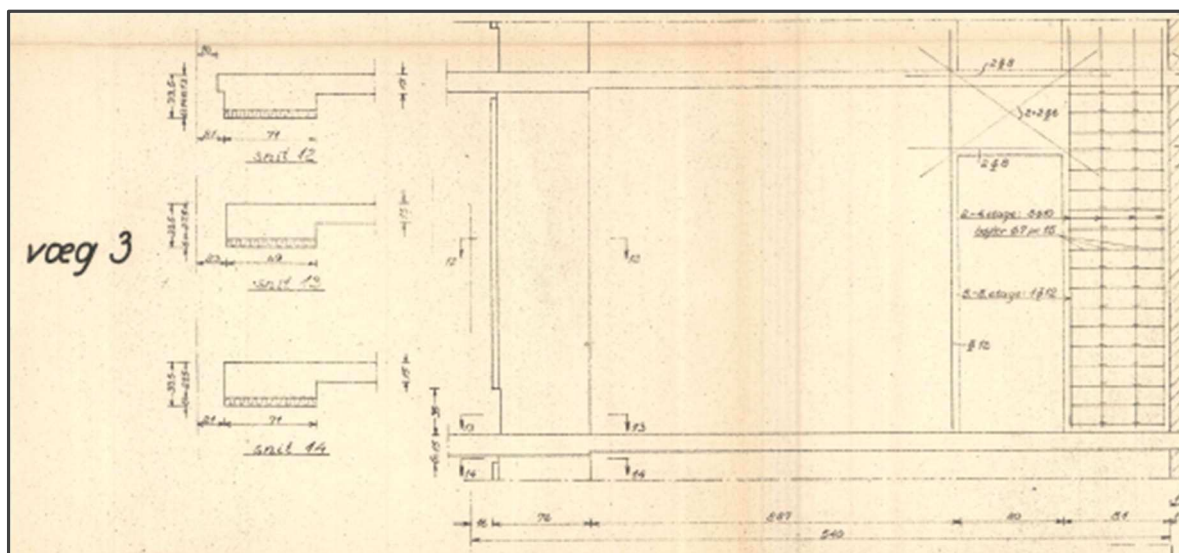
Se tegning 27791. Bemærk at fordelingsarmering (på tværs af bygningen) ikke er vist. Den er angivet i noten til Ø7mm/25cm, hvor Ø angiver rundjern.







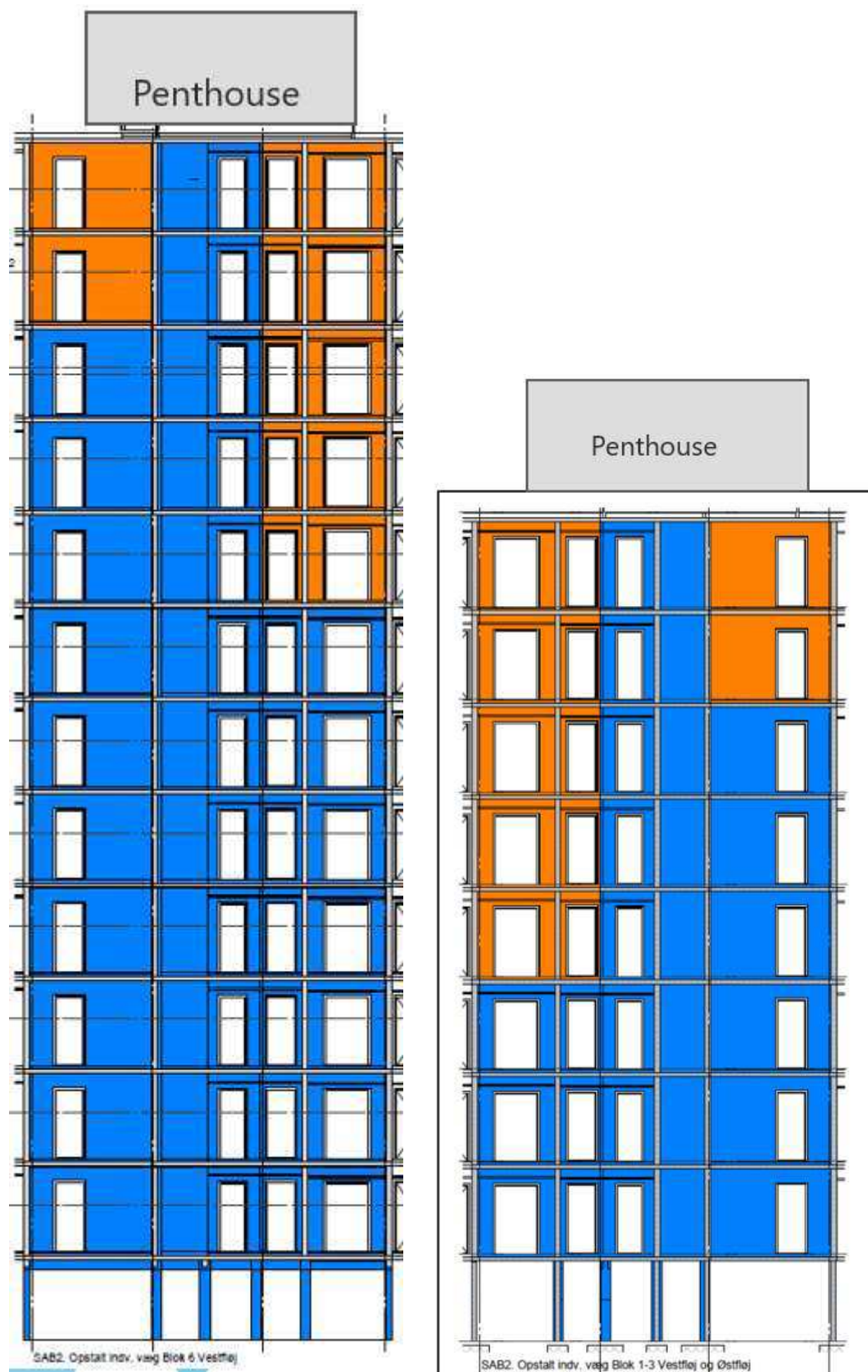
Figur 3.2. Udklip fra tegning 27776 Etageplan, østfløj. Væg 3 er markeret med rødt.



Figur 3.3. Udklip fra tegning 28113 KKB1-3, 2.-8. etage; Vægge - østfløj. Eksempel på armering i væg 3 på 2.-8 etage. På 1. etage er væggen dog armeret med et net i midten (ø7/25cm lodret og ø12/25 vandret iht. tegning 28111).







Figur 3.5. Opstalt af langsgående stabiliserende væg for SAB2-6 og SAB2-3. Blå farve angiver beton, mens orange angiver slaggeplader, idet det bemærkes at længdevæggen ikke er lodret bærende.

## 4 Samlinger og støbeskel, fx mellem dæk og væg (tegninger og as-built info)

Der er ingen oplysninger om hvor eller hvordan støbeskel er udført. Da dækarmering løber kontinuert over væggene, er det dog antaget at der er et støbskel mellem overside væg og underside dæk. Det vides ikke om der er etableret vandrette eller lodrette støbeskel i væggene på SAB2. Der pågår pt. destruktive undersøgelser der skal afklare dette. På de øvrige blokke, SAB1 samt nabo bygningerne der tilhører andre boligselskaber, er støbeskellene særdeles dårligt udført og for disse blokke er der igangsat en omfattende forstærkning af støbeskel i vægge. På nedenstående foto, Figur 4.1, ses en væg fra SAB1, hvor pudset er nedtaget. Det ses at der er vandrette støbeskel i væggen pr 0,5 m og at disse er meget dårligt udført og at sammenstøbningen mellem de 2 vægge er udført således at der trænger vand ind i forbindelse med slagregn, idet det bemærkes at facaden stadig er intakt.



Figur 4.1. Støbeskel i vægge på SAB1.

Der er kun de detaljer som fremgår af marginerne på tegningerne. Detaljerne er typisk for at vise geometri og armering i eksempelvis en bjælke, eller "savgakker" i væg-enderne mod facaderne. Der er ingen generelle detaljer for sammenstøbning af konstruktionerne eller krav til stød af armering. Væg-armering der er vist på opstalterne er generelt vist med stød til ovenliggende etage. Stødlængden er ikke generelt målsat, men det vurderes at der er tale om ~30cm. For større jern omkring døråbninger kan stødet være målsat til eksempelvis 90cm for en T20 og 100cm for en T25.

Der er på flere af tegningerne skitseret ændringer, som ikke er en del af en formel revision. Det er generelt observeret at de faktiske forhold stemmer overens med disse tilføjelser, hvorfor tegningsmaterialet vurderes at være as-built, med det forbehold at der kan være sket lokale ændringer i de mellemliggende 70 år.

## **5 Omfang af observerede revner og indikation af om de er statisk betingede eller ej**

Der er observeret revner mange steder i bygningerne. Om disse er statisk betinget eller ej er svært at afgøre, da vægge i det stabiliserende system fortrinsvis vil være i tryk og det forventes at en evt. statisk revne fra vindpåvirkning vil lukke sig igen. Derudover istandsættes lejlighederne i forbindelse med flytninger og evt. revner bliver malet over. Det bemærkes i øvrigt at væggene og lofter er pudsede.

Nedenstående ses revner 3 forskellige steder på SAB2. Disse revner er vurderet ikke at have betydning for den overordnede stabilitet af bygningerne, men indikerer at der optræder bevægelser i bygningerne.





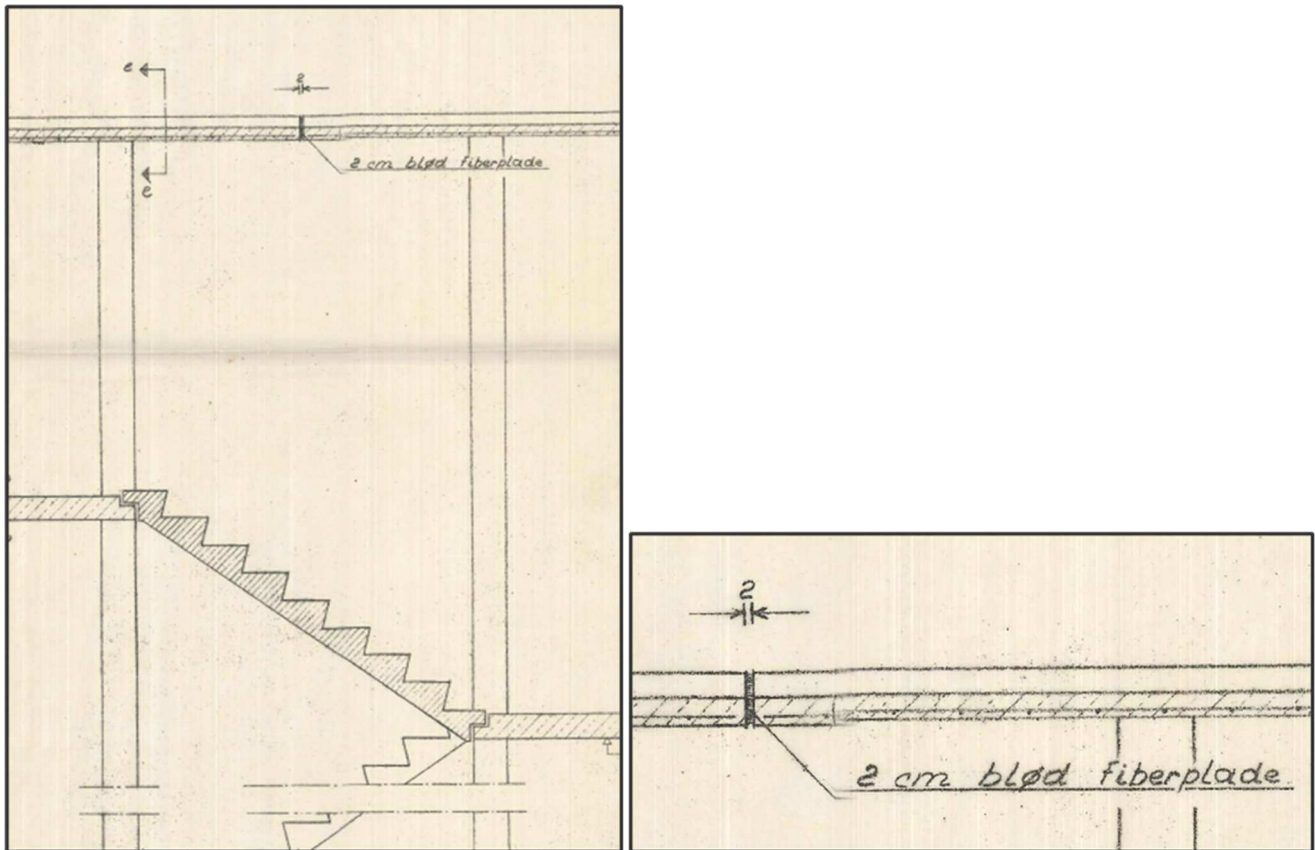
## 6 Dilatationsfuger / afsnit

Hvert tårn (fløj) udgør sit eget dilatationsafsnit, ved en dilatationsfuge placeret midt i trappetårnet/mellembygningen.

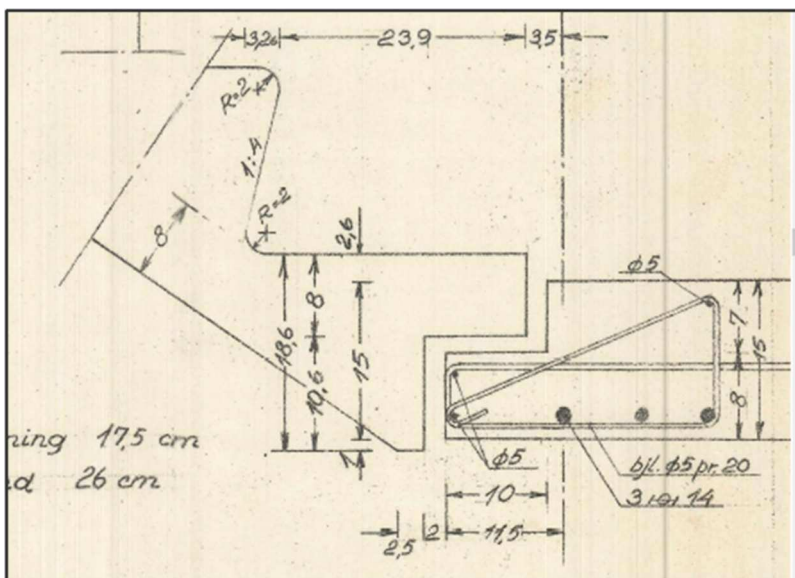
I taget på mellembygningen (der er udkraget fra hvert tårn) er der etableret en blød fuge midt i taget, mens bevægelser på etagerne optages mellem repos og trappeløb, hvilket er beskrevet i nedenstående udsnit af eksisterende dokumentation.

Trappereposerne støbes på stedet sammen med etagepladerne, mens løbene er fabriksfremstillede og oplægges på konsoller på reposerne. Hvert løb forankres forneden til reposen; foroven er løbet løst oplagt, således at en indbyrdes bevægelse af fløjene kan optages her.

Figur 6.1. Uddrag af eksisterende statiske dokumentation for mellembygningen.



Figur 6.2. Uddrag af opstalt af mellembygning med dilatationsfuge i taget af mellembygning.

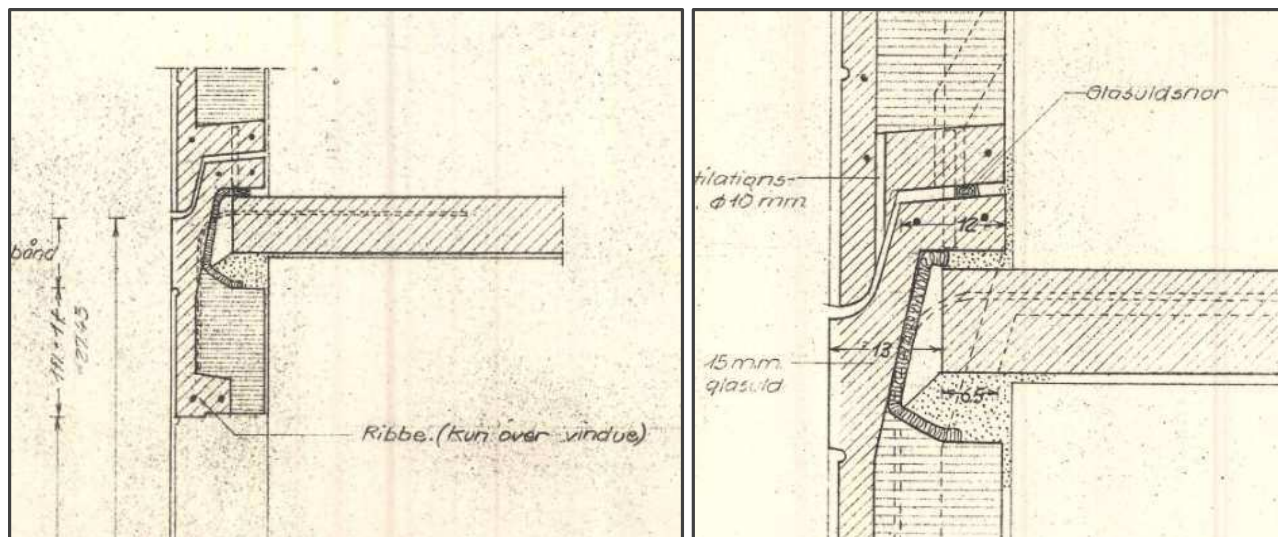


Figur 6.3. Samlingsdetalje mellem præfabrikeret trappeløb og insitustøbt repos.



## 7 Insitu eller Præfab?

Bygningerne er in-situ-støbte, dog med undtagelse af facaderne, som er elementer der hænger på dækkanten (for lodret last) og er fastgjort til underliggende facadeelement med 2 dorne per element (for overførsel af vandret last), se Figur 7.1. Fugerne omkring facade-elementerne er udfyldt med en uspecificeret mørtel og er af KAB oplyst at være et sædvanligt vedligeholdelses-punkt ved fraflytning, idet fugerne jævnligt revner, hvilket fremgår af billede i kapitel 5. Som angivet i kapitel 6 er trappeløb i mellembygningen også præfabrikeret.



Figur 7.1. Samlingsdetalje mellem facadeelement og dæk. Facaderne hænger etagevist i dækket

## 8 Er der forskel på statisk model for SLS og ULS analyse

Der er kun udført statiske beregninger i ULS da opgaven har været at dokumentere at bygningerne har den krævende sikkerhed ved en given vindlast.

Vindlasten er fordelt fra dækskiverne til væggene, hvor der er tilladt en omfordeling af lasten på den enkelte væg svarende til en faktor 4 i forhold til en lastfordeling dikteret af væggenes indbyrdes stivhed. Dette kræver i sagens natur deformation af væggene. I selve væggene er der anvendt en plastisk fordeling af de lodrette stabiliserende kræfter, og alle dørøverligere er regnet aktive hvilket ligeledes vil kræve deformation af væggene, før denne kraftfordeling vil optræde.

I ULS beregningerne er insitustøbte betonkonstruktioner taget i regning (regnet stabiliserende), mens der er set bort fra facader samt indvendige vægge udført i andre materialer eksempelvis slagger/koks/brædder.

Hvis der skal udføres en beregningsmodel der beskriver bygningens stivhed i SLS tilfældet ville den derfor være forskellig for den statiske model for ULS tilfældet.

## 9 Funderingsforhold (pæle / direkte?)

Bygningerne er direkte funderede. Fundamentene er uarmerede. Det er dog muligt at vægarmeringen i kælderens delvist er forankret i fundamentene.



Fundamentsplanerne gælder for flere bygninger, og det er uvist om der i de enkelte bygninger er truffet forhold der har nødvendiggjort en ændret udførsel, lokalt. Det bemærkes at der kun er sribefundamenter i bygnings tværretning, da kun tværgående vægge er lodret bærende.

I forbindes med helhedsrenoveringen er der udført supplerende geotekniske boringer, hvor det er vurderet, at den u-drænede forskydningsstyrke kan hæves til 250 kPa, hvilket ligger til grund for fundamentsberegningerne udført i forbindelse med stabilitetsberegningerne.

## **10 Målerapport for vindtunnelforsøg**

Se vedlagte dokumenter.

## **11 Målerapport for accelerationsmålinger på bygninger**

Se vedlagte dokumenter.