



Statusnotat – hovedstatik

SAB Bellahøj

SAB 1 og SAB 2

KAB

Dato: 12. oktober 2022

Indhold

1.	Indledning	3
2.	Historik	3
3.	SAB1	4
3.1	Renoveringsomfang	4
3.2	Baggrund	4
3.3	Fra stålforstærkninger til forstærkning af indvendige vægge.....	5
3.4	Forstærkning af etager	7
3.5	Forstærkning af kælder	11
3.6	Forstærkning af skaktgennemføringer	11
3.7	Brand.....	11
4.	SAB2	13
4.1	Renoveringsomfang	13
4.2	Nuværende forstærkninger.....	13
4.3	Nye forstærkninger.....	14
4.3.1	Forstærkning på etagerne	14
4.3.2	Forstærkning af kælder	15
4.3.3	Forstærkning af skaktgennemføringer	15
4.3.4	Altaner	15
4.4	Brand.....	16
5.	Beregningsforudsætninger	17
5.1	Robusthed	17
5.2	Vindlaster	18
5.3	KFi.....	19
5.4	Vandret masselast.....	19
5.5	Brandlast	19
5.6	Statikerordning.....	19
	Bilag A – Nye vindlaster	20
	Bilag B – Sammenligning af forstærkningsprojekt SAB I	23
	Bilag C – Vurdering af alternative forstærkninger SAB I	24

1. Indledning

Nærværende notat er udarbejdet efter ønske fra KAB for at danne et samlet overblik over de undersøgelser og forstærkninger, der skal udføres i forbindelse med renovering af SAB 1 og SAB 2.

Notatet er et statusnotat, der blandt andet opsummerer viden fra tidligere notater. Ligeledes vil notatet belyse status på projektet i dag og de forudsætninger, der ligger til grund for dette.

Notatet er udarbejdet på baggrund af den viden og det niveau projektet er på i dag. Notatet er derfor et øjebliksbillede, der kan opdateres efter aftale i projektet.

Notatet omhandler efter aftale med KAB kun forhold omkring stabilitet, brand og skaktforstærkninger i renoveringsprojektet.

Øvrige forhold omkring altaner, trappetårne, stillads mv. er ikke berørt i dette notat. Eksisterende forhold frem til renoveringen er heller ikke belyst i dette notat.

2. Historik

KAB har ønsket at få belyst årsagen til, at der skal udføres ny beregningsdokumentation for stabilitet på bygningerne i SAB 1 og 2. Baggrunden for dette er blandt andet beskrevet i notaterne SAB_NK101, SAB_NK102 og SAB_NK115.

Et kort resume heraf:

De beregninger, der oprindeligt er udført for bygningerne, har været belastet af en lang række regnefejl (også efter datidens normer). Ligeledes er der flere af de udførte forhold, der ikke stemmer med hhv. beregninger og tegninger. Dette er undersøgt ved forskellige destruktive undersøgelser på de aktuelle bygninger, se eksempelvis notat SAB_K104.

Foruden ovenstående fejl i det eksisterende materiale, ændres der ydermere på bygningernes virke, da der fjernes en betydelig last fra den eksisterende facade i renoveringsprojektet i forhold til det oprindelige projekt. Facadelasten blev anvendt som ballast til at stabilisere bygningerne med.

Ovenstående er alle årsager til, at det kræves, at det på ny dokumenteres, at bygningerne har den nødvendige kapacitet og sikkerhedsniveau, når de står færdige efter endt renovering. Regnefejlene alene har en karakter, der vil kræve en ny dokumentation.

Vurdering af disse forhold har været gennemgået af 3. parts kontrollant (Jørgen Nielsen – rådgivende ingeniører A/S – udpeget af Landsbyggefonden) i sommeren 2021. Resultatet af denne gennemgang var helt overordnet, at Jørgen Nielsen var enige i NIRAS's betragtninger om hvorvidt der skulle udføres nye beregninger af bygningerne. Det vil sige, at der var enighed omkring de statiske vurderinger af bygningerne og de nødvendige indgreb som følge heraf. Ligeledes var de enige i de forstærkningsforslag NIRAS havde implementeret i projektet, med de forudsætninger der var på daværende tidspunkt.

Spørgsmål stillet af Landsbyggefonden til denne granskning var følgende:

- Hvordan var den oprindelige statik for bygningerne?
- Hvordan er de udførte statiske forhold?
- Vurdering af foreslåede statiske stabilisering af bygningerne?
- Er der alternative statiske løsninger (inkl. prisoverslag)

Se konklusion fra granskningen i notat KAB/SAB – Bellahøj I og II, 2700 København, Granskning af konstruktionsundersøgelser vedrørende bygningsstabilitet, NIRAS A/S d. 12. juli 2021.

3. SAB1

3.1 Renoveringsomfang

På SAB 1 udføres en facaderenovering samt etablering af nye installationer og dertilhørende føringer lodret og vandret. Det gør, at de eksisterende bygninger konstruktivt påvirkes af en aflastning i facaderne og en svækkelse af vægge og dæk, hvor der udføres nye huller / gennemføringer og skakte i forhold til tidligere.

Disse ændringer er af en karakter, som man ikke kan se bort fra i en renoveringssag, da lastændringen ved ændring af facadelasten alene vil give anledning til en større lastændring end de 5%, der kan gå under en bagatelgrænse. Se notat SAB_NK101.

Foruden ændringerne pga. renoveringen, vil der som nævnt i indledningen alligevel være behov for at genbesøge beregningerne, da der er fundet kritiske regnefejl og udførelsesfejl, som man ikke kan sidde overhørig.

3.2 Baggrund

I forbindelse med klargøring til myndighedsandragende blev der udarbejdet et forstærkningsprojekt på baggrund af daværende forudsætninger. Dette forstærkningsprojekt blev som nævnt i afsnit 2 fremsendt til kontrol af 3. part Jørgen Nielsen på opfordring fra Landsbyggefonden og projektet har gennemgået en granskning med enighed fra alle parter omkring de valgte tiltag og baggrunde herfor.

Forstærkningsprojektet for stabiliteten af SAB 1 bestod for daværende primært af følgende:

- Medregning af facadevægge til stabilitetsundersøgelserne. Disse var ikke medtaget i de eksisterende beregninger.
- Stålforstærkning af ovenstående facadevæggene pga. mer-belastningen i stabilitetstilfældet.
- Fundamentsforstærkninger under facadevæggene pga. mer-belastningen i stabilitetstilfældet.
- Stålforstærkninger v. ståltrækbånd oven på dækket for at flytte kræfterne rundt til de "nye" supplerende stabiliserende vægge.

Der var i det daværende forstærkningsprojekt kun regnet på den høje bygning SAB 1_3-4 vest. De resterende bygninger blev vurderet ikke at have nogle nævneværdige muligheder for besparelse i forhold omfanget af stålforstærkninger jf. notat SAB_NK115 afsnit 2.4. Der blev derfor indført samme forstærkninger på alle bygningerne i SAB 1.

Valget af løsning med at inddrage facaderne i det stabiliserende system og afstive dem, var med fokus på ikke at påvirke indretningen af boligerne, hvis det var muligt at undgå.

I perioden vinter 2022 til sommeren 2022 blev der i forbindelse med en gennemgang af de eksisterende forhold udført vindtunnelforsøg samt målinger af vindlaste on-site, hvilket flere steder resulterede i en merbelastning på kritiske steder for forstærkningsprojektet.

Dette resulterede i flere ændringer i forhold til designgrundlaget. Se yderligere herfor i bilag A. Resultaterne bevirkede, at stålforstærkningerne ikke længere var tilstrækkelige til at sikre bygningerne i deres helhed. Det var derfor nødvendigt endnu engang at forholde sig til daværende forstærkningsprojekt. Der blev derfor lavet en vurdering af, om forstærkningsprojektet i stedet skulle udføres indvendigt som betonvæg-forstærkninger, som det allerede var tilfældet for SAB 2. Dette har været gennemgået og fremlagt for KAB. Det er fra bygherreside besluttet, at arbejde videre i denne retning, baseret på indstilling fra rådgiverteamet.

3.3 Fra stålforstærkninger til forstærkning af indvendige vægge

Den primære årsag til, at det oprindelige forstærkningsprojekt ikke længere er muligt at anvende er, at der er kommet betydeligt større kombineret vind og vridning. Det vil sige vind der virker samtidig i flere retninger.

Det oprindelige stålforstærkningsprojekt var udnyttet fuldt ud og var baseret på at anvende ballasten fra tværvægge til fulde. Da der i de nye laster er en betydeligt større samtidig virkende tværvind, vil der ikke længere være tilstrækkelig ballast på væggene i hovedretningen, hvilket gør at trykzonerne ikke længere holder sig inden for grænseværdierne.



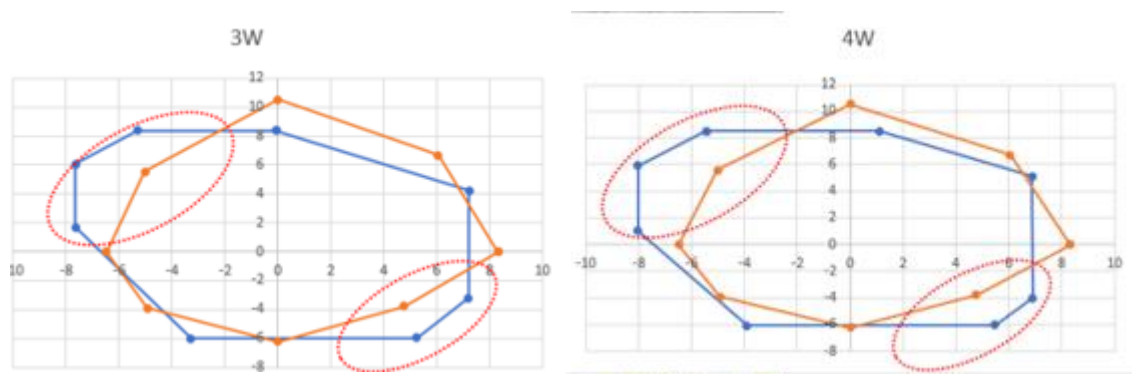
Figur 3.1, oversigt over bygningsnummerering

Ved en vurdering af bygningerne i forhold til nuværende stålforstærkning med de øgede vindlaster (jf. afsnit 5.2) er følgende blevet fremlagt for KAB:

Bygning 3 og 4 vest (høje bygninger):

Bygningerne er i sin helhed allerede fuldt udnyttede og vil ikke med den nuværende stålforstærkning i facaderne og tilhørende fundamentsforstærkninger, kunne håndtere den nye merbelastning, som kommer fra vinden. Det eksisterende forstærkningsprojekt kan derfor ikke længere anvendes på disse bygninger.

De nye vindlaster er illustreret herunder på figur 3.1, hvor den orange viser de oprindelige designparametre for stålforstærkningen, og den blå kurve viser de nye. Akserne angiver verdenshjørnerne N/S/Ø/V. Som det ses, er der flere steder, hvor de blå kurver ligger betydeligt højere end de orange. Det er primært i kombinationen af vind fra to retninger det giver udfordringer. Foruden de angivne vindlaster i de to retninger er der også tilkommet et vridende moment fra vinden i de nye rapporter fra Svend Ole Hansen.



Figur 3.2, Orange = designparametre ved stålforstærkning, blå = designparametre efter vindtunnelforsøg for hhv. bygning 3 og 4 Vest

Bygning 3 og 4 øst – den lange bygningskrop:

Bygningerne er i sin helhed også fuldt udnyttet til trods for det øgede antal tværgående vægge i denne bygning, da vinden samtidig også er det større pga. en større flade. Det forventes derfor ikke, at projektet med stålforstærkninger kan bibeholdes for denne bygning.

Bygning 2:

Bygningen vil forventeligt ikke kunne håndtere de nye vindlaster med det oprindelige forstærkningsprojekt. Det vil samtidig kræve et stort beregningsmæssigt arbejde, før vi med sikkerhed kan udtale os herom, da denne bygning ikke har været designgivende for tidligere vindlaste og dermed skal genregnes på ny. Der vil være en stor risiko indlejret i projektet indtil vi er længere fremme med designet og er sikre på, at det kunne være en farbar vej.

Bygning 1:

Vil formodentlig godt kunne håndtere de nye laster over terræn med den oprindelige forstærkning, men det vil samtidig også kræve fundamentsforstærkninger under hele facadens udstrækning. Den vil også skulle genberegnes med de nye vindlaster, da vi ikke længere kan sammenligne bygningerne, da de alle har forskellige kombinationer og størrelser på vindlasten. Det vil derfor medføre en vis risiko indlejret i projektet, indtil vi er længere fremme med beregningerne og den dertilhørende risiko, der er forbundet herved.

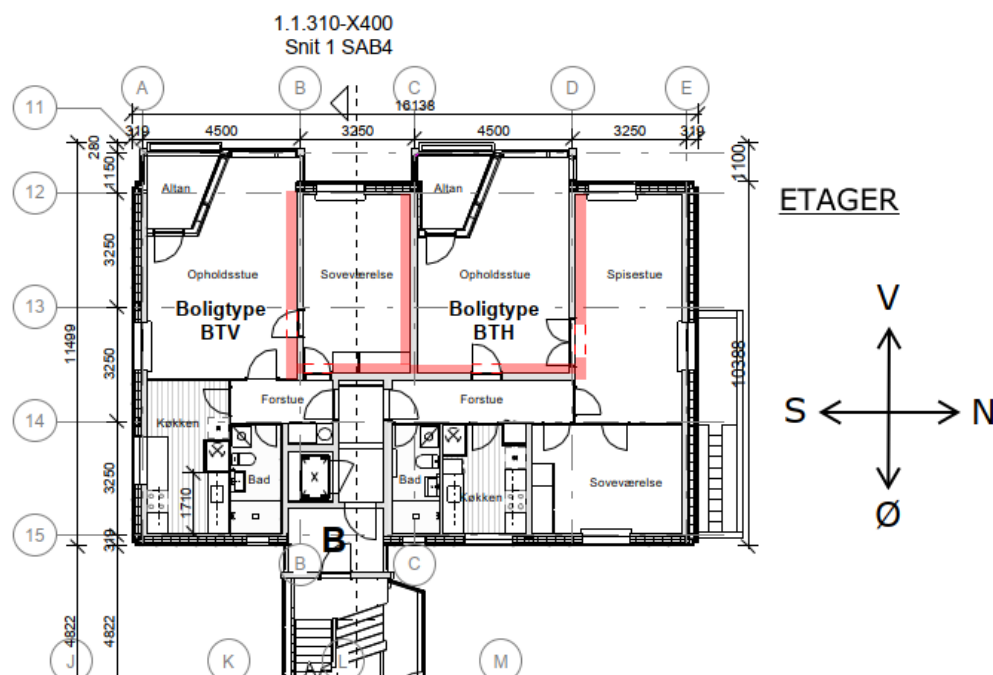
Anbefaling:

Da vi ikke undgår en ny løsning for bygning 3 og 4 og som nævnt ovenfor forventeligt også for flere af de øvrige

bygninger, anbefaler vi, at tænke en ny fælles og robust løsning for alle bygningerne i SAB1, så vi mindsker risiciene fremadrettet i projektet. Ligeledes sikrer vi, at kan matche både de øgede vindlaste og samtidig tilgodese bygningernes nuværende relative uflexible konstruktive opbygning.

Anbefalingen til KAB har derfor været, at finde en ny mulig og farbar vej i forhold til en løsning, der i grundtanken tilgodeser de beskrevne forhold, men som også faktisk influerer på vægtykkelserne ved nogle af de eksisterende vægge og dermed partielt på arealforholdene i lejlighederne.

Grundtanken i løsningen er baseret på en forstærkning af den centrale stabiliserende langsgående midtervæg i nord-syd-retning samt forstærkning af to/tre tværvægge i øst-vest-retning, som erstatning for stålforstærkningerne af facaderne. Løsningen varierer naturligvis i de forskellige blokke afhængig af geometriske forhold, bygningshøjde osv.



Figur 3.3 Principtegning af forstærkede vægge foreslået pr. medio juni 2022 – her i blok 3/4 – vestfløj – 13 etager

Løsningen tilfører, ud over den grundlæggende evne til at optage de øgede aktuelle stabilitetskræfter, også bygningen en ønsket øget konstruktiv robusthed samtidig med at kraftoptagelsen sker relativt centralt i bygningskroppen i begge akser, hvilket sikrer, at den noget beskedne eksisterende skivekapacitet ikke udfordres i afgørende grad.

Det forventes, at alle ståltrækbåndende på oversiden af dækket udgår ved at skifte til denne løsning, da de stabiliserende kræfter bibeholdes i den kerne af vægge, de var tiltænkt fra starten.

3.4 Forstærkning af etager

Etagerne forstærkes med påstøbte vægge indvendigt som angivet på figur 3.4, 3.5 og 3.6.

Væggenes tykkelser varierer mellem 150-300 mm. Dette beregnes nærmere i den efterfølgende projektering, men er bedste bud for nuværende. De nye vederlag for dækkene kan godt håndteres i forhold til det eksisterende dæk og dækkets oprindelige armering.

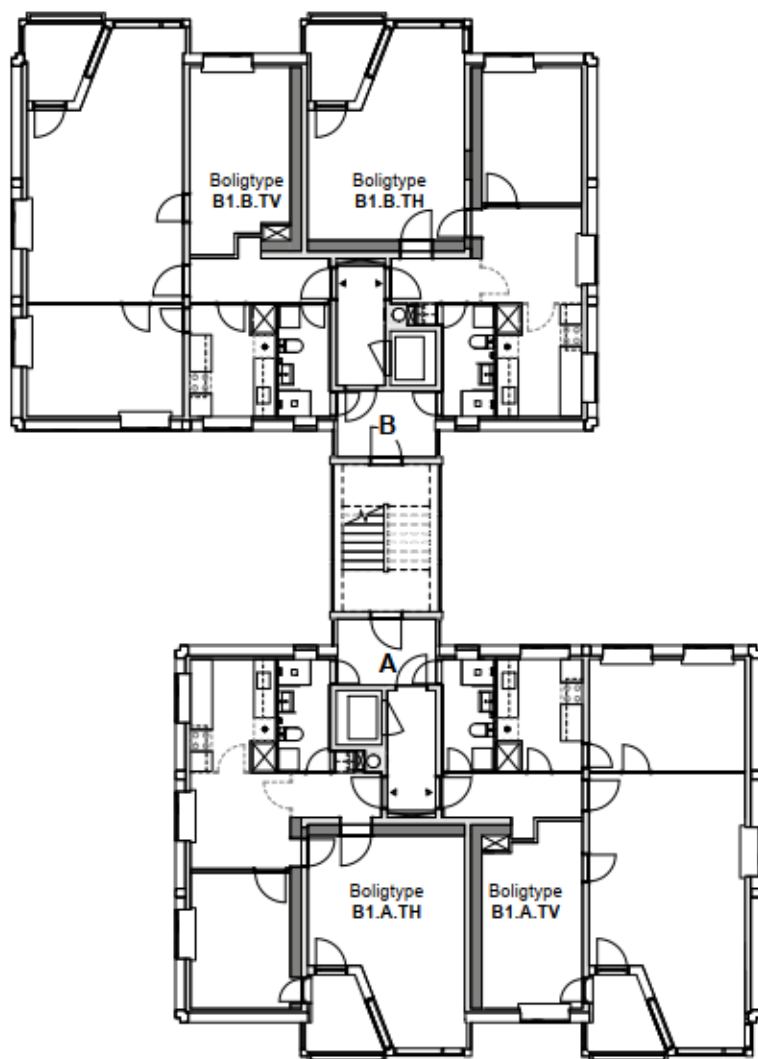
Ved implementering af fortykkelserne på de indvendige vægge, fjernes alle lodrette stålforstærkninger i facaden samt

alle fundamentsforstærkninger af facadevæggene.

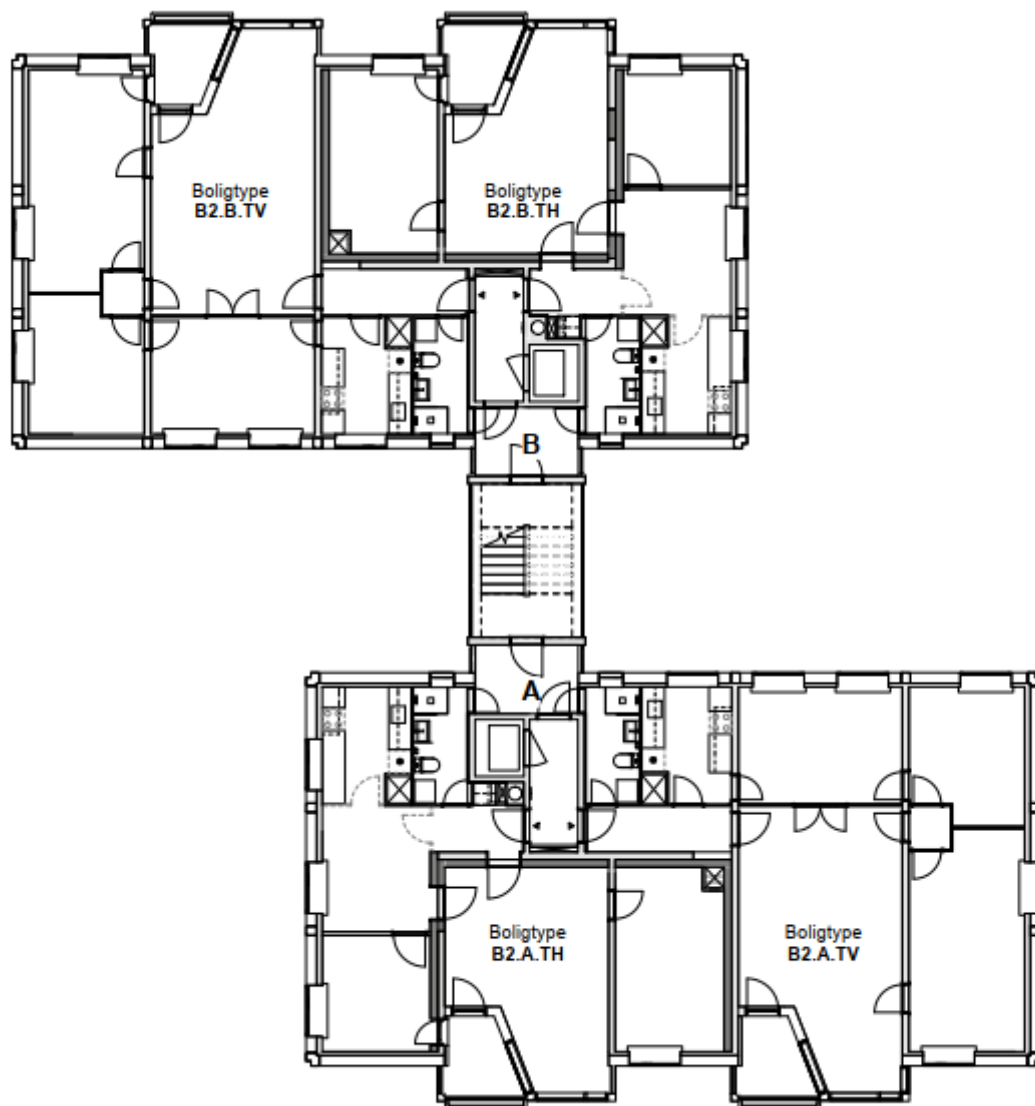
Der vil dog forventeligt blive behov for fundamentsforstærkninger under flere af de nye indvendige vægge. Dette undersøges nærmere i den efterfølgende fase.

Stålforsærkninger ved ståltrækbånd forventes at udgå helt.

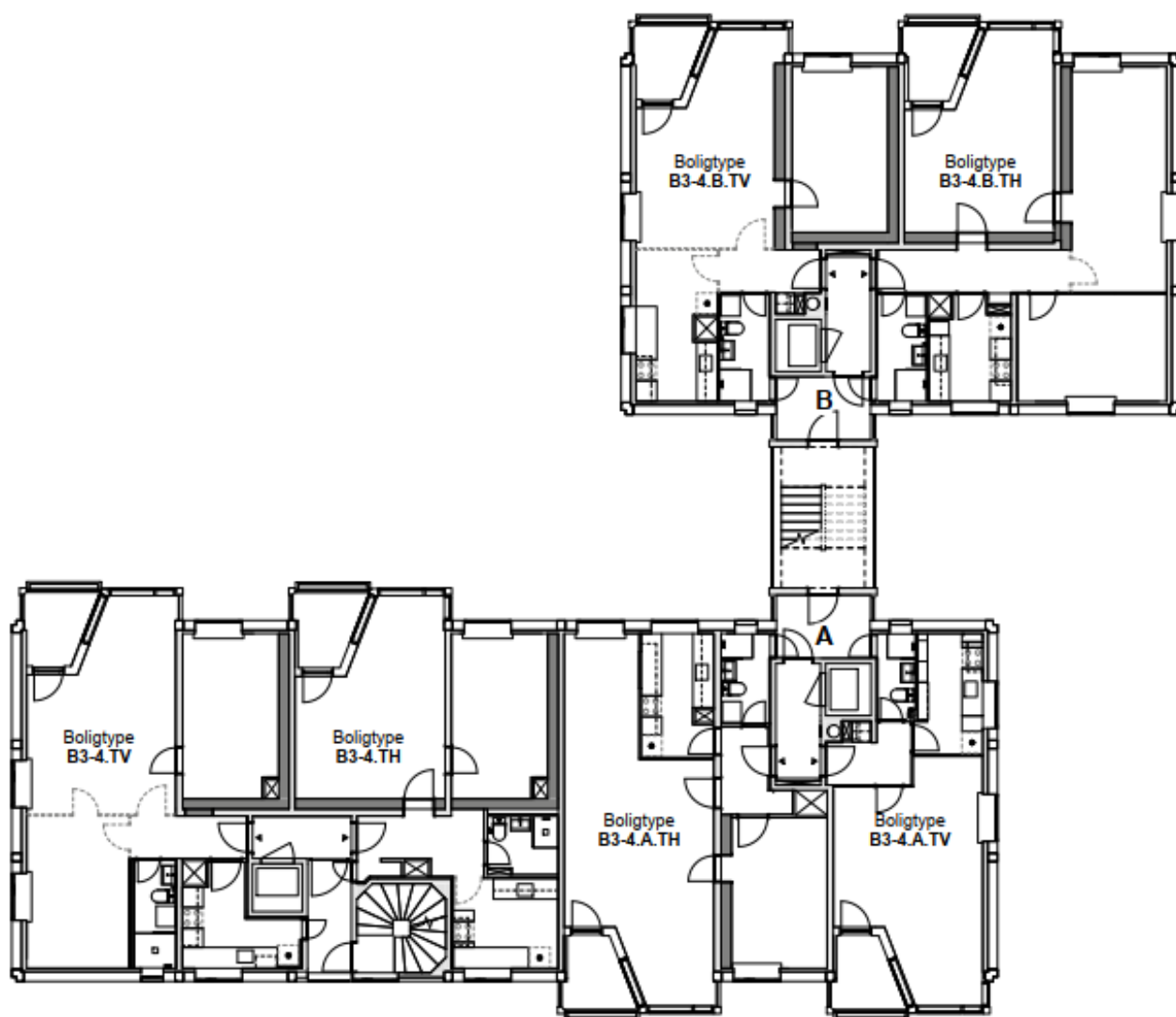
Excentriciteter i forhold til de nye vægge forventes ikke at give udfordringer på etagerne, da alle vægge føres helt til fundament, hvor der suppleres i nødvendigt omfang for den excentriske last.



Figur 3.4, SAB 1-1 etage 1-8



Figur 3.5, SAB 1-2 etage 1-10



Figur 3.6, SAB 1-3/4 etage 1-12

3.5 Forstærkning af kælder

Forstærkning af kælderen vil i sin helhed ligne forstærkningen på etagerne. Hvor der er mulighed for at tilgodese en mere fordelagtig indretning af kælderen i forhold til pulterrum og installationer, tilpasses dette i kælderprojektet fremadrettet.

3.6 Forstærkning af skaktgennemføringer

Skaktgennemføringer påvirker som udgangspunkt ikke stabiliteten af bygningen.

Skaktgennemføringer udføres med stålforstærkninger i fladstål på over- og underside af dækket forbundet med gennemgående bolte.

Langt de fleste afkastkanaler føres i eksisterende udspæringer.

3.7 Brand

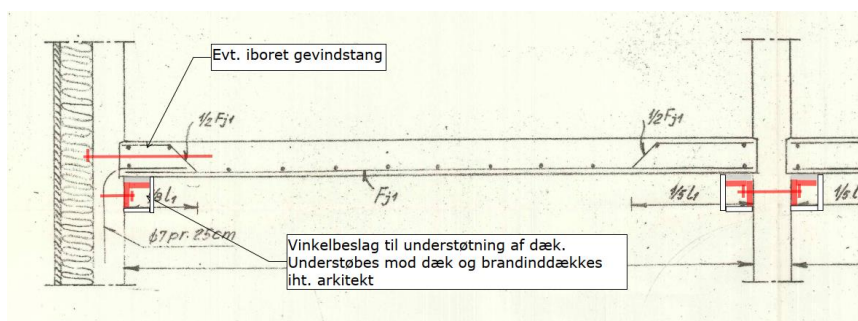
Hele SAB 1 designes for REI 60 iht. skrivelse fra boligkommissionen 2022-0167801-9 *Besvarelse af henvendelse om brandtekniske forhold i Bellahøj af d 45445999_1_0*.

I de oprindelige beregninger er der ikke taget højde for et brandtilfælde. I forbindelse med renoveringssagen har COWI / brandrådgiver angivet, at bygningerne fremadrettet skal dimensioneres for en 60 minutters brand, hvilket i ovenstående notat til boligkommissionen er blevet fremlagt og godkendt.

Ved gennemgang af konstruktionerne viser det sig, at vederlagene på dækkene ikke har den tilstrækkelige bæreevne i forhold til dette brandkrav. For at imødekomme dette udføres et vinkelbeslag ved alle dækvederlag, der øger kapaciteten i brandtilfældet, så der ikke er risiko for, at dækket falder ned i tilfælde af brand. Herved vurderes det, at kravene til REI 60 overholdt for bygningerne i sin helhed.



Figur 3.8, princip for placering af vinkelbeslag fra SAB 1 blok 2, vest illustreret med rød på figuren



Figur 3.9, Princip for vinkelbeslag for vederlag i brandtilfældet

4. SAB2

4.1 Renoveringsomfang

På SAB 2 udføres som udgangspunkt ligeledes en facaderenovering, hvor de eksisterende facader dog i modsætning til SAB 1 fjernes helt og erstattes af en ny og lettere facade. Derudover etableres der nye installationer og dertilhørende føringer lodret og vandret. Det gør, at de eksisterende bygninger konstruktivt påvirkes af en aflastning i facaderne og en svækkelse af væggene hvor der udføres nye huller / gennemføringer og skakte i forhold til tidligere.

Disse ændringer er af en karakter, som man ikke kan se bort fra i en renoveringssag, da lastændringen ved ændring af facadelasten alene vil give anledning til en større lastændring end de 5% der kunne gå under en bagatelgrænse. Se notat SAB_NK102.

Foruden ændringerne pga. renoveringen, vil der alligevel være behov for at genbesøge beregningerne af følgende årsager (jf. notat SAB_NK102):

- Fejl i flere af de oprindelige beregninger
- Facader forventes at virke stabiliserende i et vist omfang iht. notat SAB_NK104, til trods for det ikke er tiltænkt
- Indledende overslagsberegninger viste tidligt, at kælder skal forstærkes kraftigt

Statisk er SAB 2 meget anderledes end SAB 1, da facaderne er udført som hængende facader, der hænger etagevis på dækkanten. Det har derfor ikke været muligt at "skåne" bygningen for indvendige forstærkninger, som det oprindeligt var tænkt på SAB 1, hvor de eksisterende facader var tunge med gennemgående armerede vægge og derfor kunne medtages til stabilitetsberegningerne af bygningerne i den fremtidige situation.

4.2 Nuværende forstærkninger

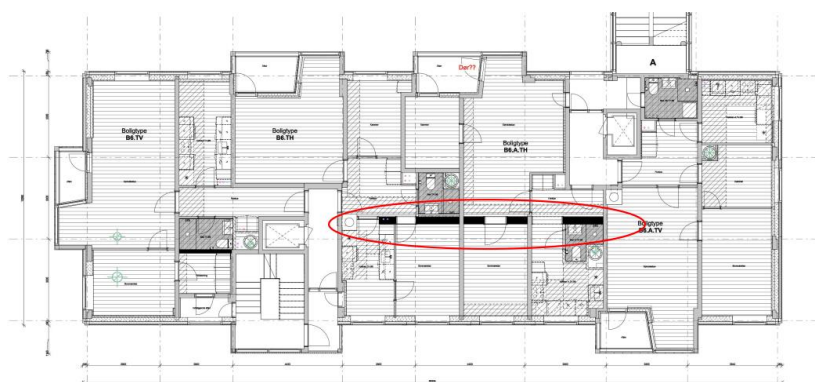
I forbindelse med klargøring til myndighedsandragende blev der udarbejdet et forstærkningsprojekt på baggrund af daværende forudsætninger. Dette forstærkningsprojekt blev fremsendt til kontrol af 3. part Jørgen Nielsen på opfordring fra Landsbyggefonden.

Forstærkningsprojektet for stabiliteten af SAB 2 bestod af følgende parametre:

- Ændring af oprindelige slaggevægge op gennem bygningen til armerede betonvægge.
- Etablering af stabiliserende væg i kælder, som tidligere blot stod på søjler.
- I blok 6 østfløj er der tilføjet en ny stabiliserende væg i alle etager samt fundament, hvor der tidligere har været en let væg.



Figur 4.1, Princip for vægge der ændres fra slaggevægge til betonvægge af SAB2 blok 1-6



Figur 4.2, Princip for forstærkning af SAB 2 blok 6 øst alle etager

I foråret 2022 blev der i forbindelse med en gennemgang af de eksisterende forhold udført vindtunnelforsøg samt målinger af vindlaster on-site.

Dette resulterede i flere ændringer i forhold til designgrundlaget. Se yderligere herfor i bilag A.

Da forstærkningsprojektet allerede var tænkt som et robust indvendigt system pga. de lette facader, har ændringerne i vindlasten ikke haft så store yderligere konsekvenser for SAB 2 som for SAB 1.

4.3 Nye forstærkninger

4.3.1 Forstærkning på etagerne

Foruden forstærkningerne beskrevet i afsnit 4.2, vil der pga. de nye vindlaster blive behov for at fortykke den langsgående midtervæg på de højere blokke med op til 200 mm.



Dvs. beregningsmetodikken forbliver den samme og forstærkningsprojektet forbliver samme koncept. Der bliver behov for at tilføje noget ekstra kapacitet til midtervæggen, som vi i forvejen er inde og arbejde med på disse bygninger.

4.3.2 Forstærkning af kælder

Det samme gør sig gældende for kælderen på SAB 2.

Forstærkninger føres med ned i kælder. Det vil sige, at der støbes nye vægge i kælder. Døråbninger mv. forsøges tilpasses i bedst muligt omfang. Dette undersøges nærmere i den fremadrettede projektering.

4.3.3 Forstærkning af skaktgennemføringer

Skaktgennemføringer påvirker ikke som udgangspunkt stabiliteten af bygningen

Skaktgennemføringer udføres med stålforstærkninger i fladstål på over- og underside af dækket forbundet med gennemgående bolte.

4.3.4 Altaner

Foruden stabiliteten pågår der også undersøgelser og analyser vedrørende altanerne på SAB 2. Dette afrapporteres i særskilt regi.

4.4 Brand

Hele SAB2 designes for REI60 iht. skrivelse fra boligkommissionen 2022-0167801-9 *Besvarelse af henvendelse om brandtekniske forhold i Bellahøj af d 45445999_1_0.*

Det er for nuværende ikke vurderet at give anledning til nogle ekstra tiltag.

5. Beregningsforudsætninger

5.1 Robusthed

På opførelsestidspunktet var der ikke eksplicite krav til konstruktions robusthed.

Hvad angår robusthed i henhold til nugældende regler gælder jf. DS INF 146 2003, afsnit 1.2, er definition af robusthed, at:

En konstruktion er robust

- Når de sikkerhedsmæssigt afgørende dele af konstruktionen kun er lidt følsomme over for utilsigtede påvirkninger og defekter eller
- Når der ikke sker et omfattende svigt af konstruktionen, hvis en begrænset del af konstruktionen svigter.

Ovenstående nugældende krav til robusthed er ikke opfyldt i hverken SAB 1 eller SAB 2. Det vurderes ikke, at krav til opbygningen af brosystemer kan dokumenteres, ligesom kravet til nøgleelementer med ekstra sikkerhed heller ikke kan dokumenteres.

For yderligere baggrund omkring robusthed kan man for SAB 1 se notat *SAB1_K09_c5_Brandforhold – indledende undersøgelse – baggrundsnotat*, afsnit 3.4 og 4.2.2-4.2.3

Der er ikke eksplicite krav til, at bygningen efter renovering skal overholde regler til robusthed iht. BR18, da det ofte ikke er en reel mulighed i et renoveringsprojekt.

Forhold og tiltag der er implementeret i projektet, som giver bygningen en vis robusthed:

- På SAB 1 udføres brand-vinkelbeslag i videst muligt omfang som gennemgående. Dette vil øge de vandrette trækforbindelser både i periferien og generelt gennem bygningerne i den tværgående retning.
- Gennemgående nye armerede vægge er med til at øge de lodrette trækforbindelser betragteligt på både SAB 1 og SAB 2.
- Det er kontrolleret ved destruktive undersøgelser på SAB 1, at der er gennemgående armering i facaderne, hvilket også er med til at sikre et vist omfang af lodrette trækforbindelser i projektet. Dette er *ikke* tilfældet for SAB 2 hvor facaderne er lette og etableret som "hængeelementer" på hver enkelt etage.

Mulige tiltag der ikke er valgt implementeret i projektet for nuværende, som vil kunne øge robustheden af bygningen yderligere:

- På SAB 1 kan de lodrette trækforbindelser i facadeelementerne suppleres ved at placere stål-trækbånd på ydersiden af facaden. Dette er ikke implementeret i projektet i dag, men kan tilføjes hvis man ønsker bygningen bedre sikret i forhold til robusthed.
- På SAB 1 og 2 kan der indføres gennemgående ståltrækbånd på overside af dækket for at skabe interne- og periferer gennemgående trækforbindelser. Trækforbindelserne er kun i mindre grad til stede for nuværende i hhv. dækkarmering og delvist ved vinkelbeslagene på SAB 1. Trækforbindelserne ved ståltrækbånd på oversiden af dækkene er ikke implementeret i projektet i dag, men kan tilføjes hvis man ønsker bygningen bedre sikret i forhold til robusthed.
- På SAB 1 og 2 kan de lodrette trækforbindelser implementeres ved at etablere fladstål i hele bygningens højde på de indvendige tværvægge, hvor der ikke påstås nye indvendige betonvægge. Dette er ikke implementeret i projektet i dag, men kan tilføjes hvis man ønsker bygningen bedre sikret i forhold til robusthed.

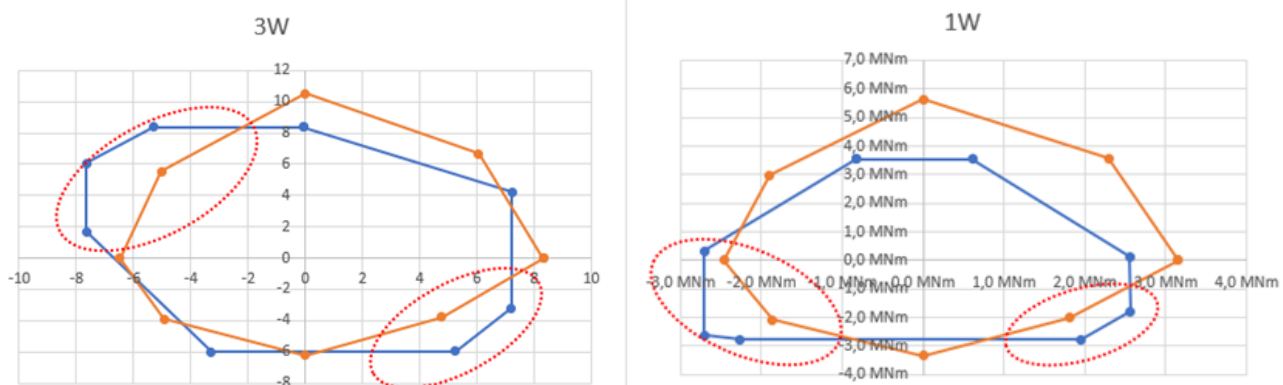
5.2 Vindlaster

Den hidtil foreslåede stål-forstærkningsmetode på SAB1 blev relativt tidligt i processen valgt qua de vindlaster, der var tilgængelige på daværende tidspunkt samt ud fra en helhedsbetragtning, der omfattede både de statiske, udførelsesmæssige og økonomiske aspekter i forhold til renoveringen. Ligeledes har der ved valg af løsning været stort fokus på ikke at påvirke indretningen af boligerne, hvis muligt.

Da bygningskroppenes statiske integritet, i deres oprindelige form, principielt er beregningsmæssigt udfordret, blev det besluttet, at der skulle udføres mere udførlige vindlastundersøgelser indeholdende vindtunnelforsøg og efterfølgende beregninger/vurderinger i forhold til ny vindlast, formfaktorer og i øvrigt bygningernes indbyrdes påvirkning af hinanden hvad angår vinden. Dette i håb om at mindske de beregningsmæssige vindlaster på bygningerne. Resultaterne herfra blev rapporteret fra start 2022 og frem til sommeren 2022.

Dette har resulteret i nye vindlaster på bygningerne iht. notat "BELLAHØJHUSENE – vindtunnelforsøg – karakteristiske globale vindlaster – 21.0095 rev. 4 d. 8. juni 2022." af Svend Ole Hansen.

Resultaterne herfra reducerede i nogle retninger lasterne, men øgede desværre også flere af påvirkningerne på de kritiske steder for forstærkningsprojektet. Primært påvirkningen med den øgede fleraksede samtidighed i vindlasten, satte det hidtil valgte system under pres og tvang til en gentænkning af totalløsningen for særligt SAB 1, da de nuværende modeller for flere af bygningerne statistisk ikke kunne håndtere de kombinerede vindlaster, da bæreevnen for stålforstærkningsprojektet allerede var fuldt udnyttet.



Principiel grafisk afbildning af udvalgte øgede vindlaster i forhold til tidligere vindlaster – med indcirklede kritiske overskridelser

Alle de nye vindlaster sammenlignet med de oprindelige vindlaster for SAB 1 og 2 er vedlagt i bilag A.

Foruden ændringen i de karakteristiske vindlaster er der generelt også en overordnet betragtning om, at sikkerhedsniveauet kan nedsættes på vinden, da der er foretaget så mange målinger på denne. Dette forhold udestår dog stadig, hvorfor det almindelige gældende sikkerhedsniveau på 1,5 for vindlasten er anvendt i beregningerne for nu i stedet for de reducerede 1,39 som de eksisterende konstruktioner for nuværende regnes for. Hvis dette senere i forløbet reduceres for de fremtidige forhold, vil dette implementeres i projektet og nedsætte forstærkningsbehovet. Det vil dog stadig ikke mindskes tilstrækkeligt til at bibeholde projektet med stålforstærkningerne.

5.3 KFi

Der regnes ikke med $K_{Fi} = 1,1$ på bygningerne for høj konsekvensklasse i den midlertidige situation indtil renoveringsprojektet udføres. Dette med baggrund i, at der ikke ændres på bygningernes virkemåde indtil da.

I forbindelse med renoveringsprojektet og de dertil ændrede lastforudsætninger, vil sikkerhedsniveauet øges på bygningerne, da de vil blive indplaceret i KK3 og dermed have en ekstra sikkerhed på $K_{Fi} = 1,1$ på lasterne. Dette medtages i beregningerne af de nye forstærkningsprojekter.

5.4 Vandret masselast

Tilbage ved opførelsen af bygningerne, blev der ikke regnet eksplicit for lasttilfældet med vandret masselast / seismisk last. Det er nødvendigt i dag i forhold til opfyldelse af de gældende normer for renoveringsprojektet. Dvs. hovedstabiliteten af bygningen skal, foruden vindlast, også designes for vandret masselast.

I forbindelse med indsendelse af projekterne til byggeandragende hhv. d. 19. december 2019 for SAB1 og d. 30. juni 2020 for SAB2 blev beregningsgrundlaget for de to respektive sager låst. Dvs. at de gældende regler for blandt andet vandret masselast for de daværende datoer er det, der er gældende for projektet. Det er dermed regler for vandret masselast fra før 01.07.2020 der er designgrundlag for SAB1 og SAB2. Efter 01.07.2020 er vandret masselast ændret til seismisk last i forbindelse med udgivelsen af DS/EN 1998-1 hvilket dog ikke er gældende for dette projekt.

5.5 Brandlast

Som nævnt i de tidligere afsnit udføres bygningerne generelt til en brandbelastning på REI 60.

5.6 Statikerordning

Både SAB 1 og SAB 2 er indsendt til myndighederne under ordningen for Anerkendte Statikere og dokumenteres iht. BR18 og tilhørende SBI223.

Bilag A – Nye vindlaster

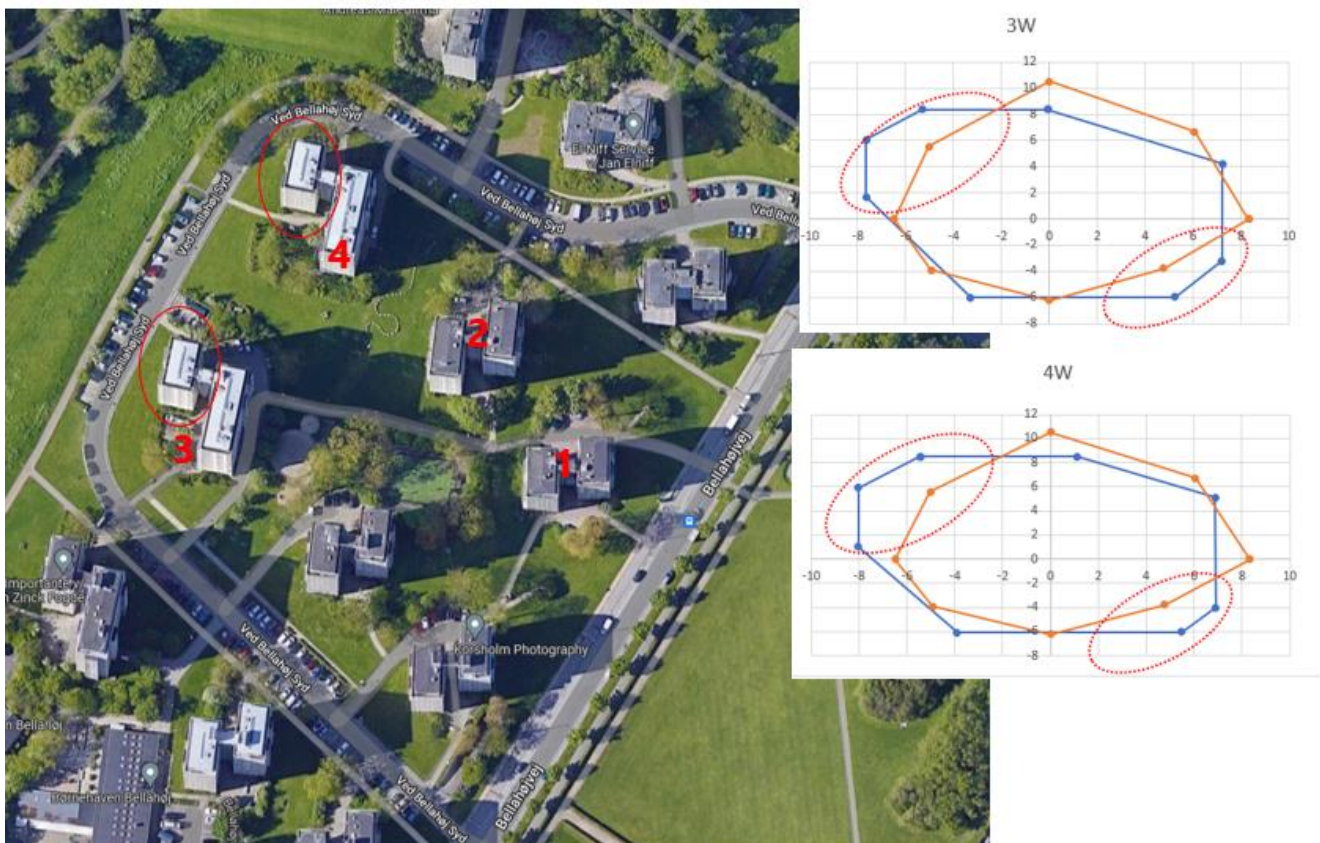
De nye vindlaster der er målt på SAB 1 og SAB 2 er samlet i dette bilag for at give et overblik over de påvirkninger vindlasterne har på bygningerne i hhv. N/S/Ø/V vindretninger.

De blå kurver er påvirkningerne på bygningen fra de nye vindlaster. De orange kurver er de eksisterende vindlaster. Akserne er vindretningerne.

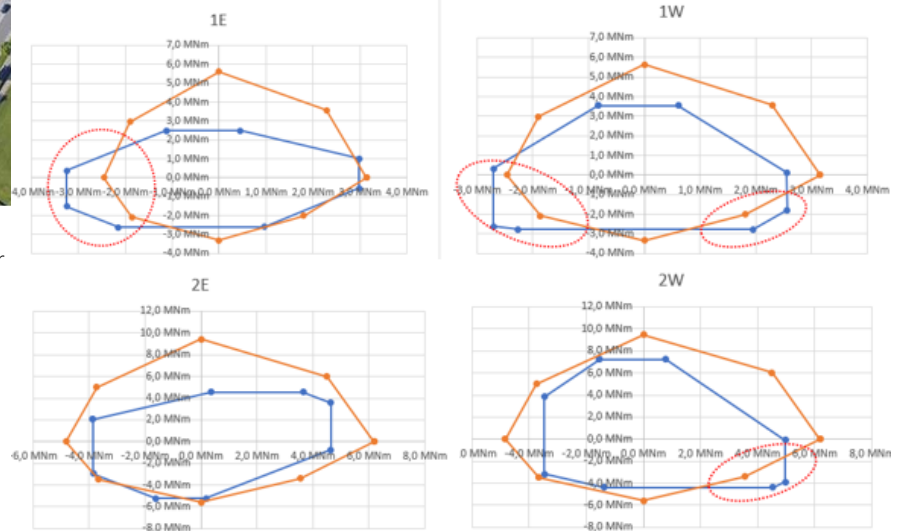
Foruden de angivne vindlaster i hovedretningerne er der også tilkommet et større vridende moment i bygningen, som skal medtages i stabilitetsberegningerne.

Yderligere data for vindlaster findes i notat "BELLAHØJHUSENE – vindtunnelforsøg – karakteristiske globale vindlaster – 21.0095 rev. 4 d. 8. juni 2022." af Svend Ole Hansen.

SAB 1

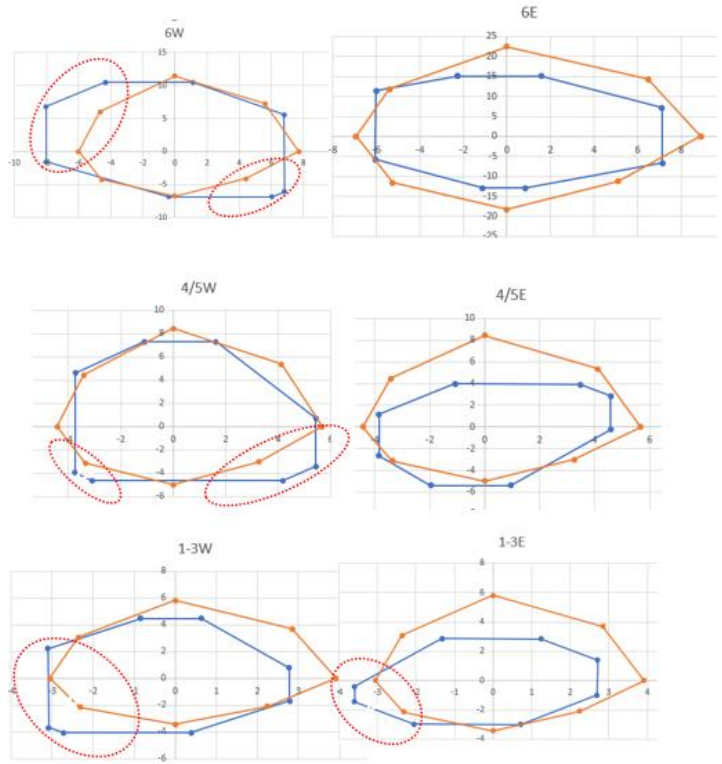


Figur 0.1, Vindlaster på SAB 1 bygning 3 & 4 vest



Figur 0.2, Vindlaster på SAB 1 øvrige bygninger

SAB II

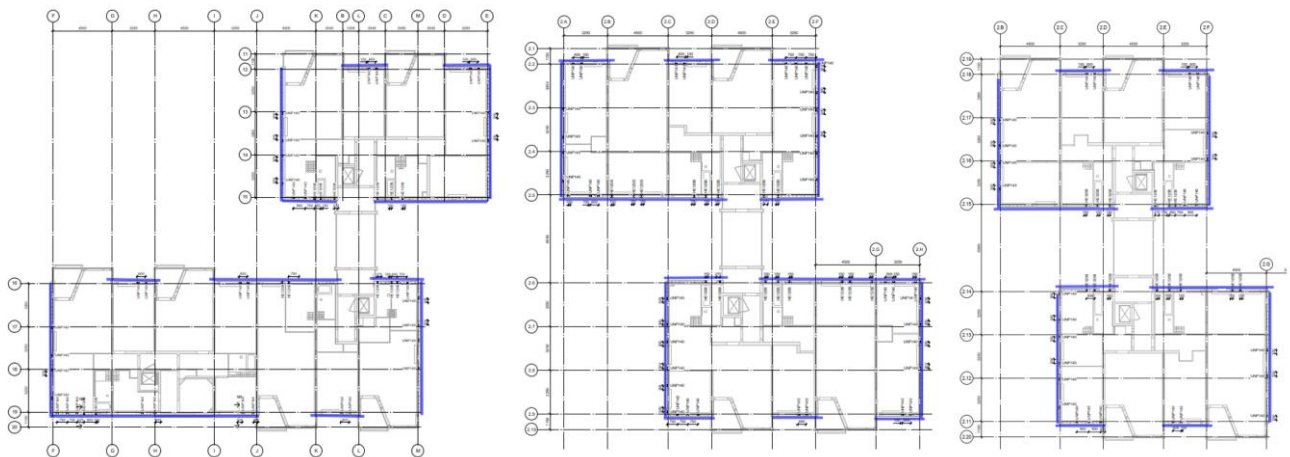


Figur 0.3, Vindlaster på SAB 2

Bilag B – Sammenligning af forstærkningsprojekt SAB I

Herunder illustreres omfang af de oprindelige stålforstærkninger i facaden kontra de nye fortykkelser af de indvendige vægge i det fremtidige.

OPRINDELIGE FORSTÆRKNINGER



Figur 0.1, Stål i facaderne samt tilhørende fundamentsforstærkninger i områder markeret med blå. Foruden det markerede er der også fladjern på dækkene som ikke er illustreret på figuren.

ANBEFALING



Figur 0.2, Indvendige vægforstærkninger med tilhørende fundamentsforstærkninger i områder markeret med grå

Bilag C – Vurdering af alternative forstærkninger SAB I

Sideløbende med, at den skitserede nye løsning vil løse de grundlæggende statiske udfordringer, vil løsningen således analogt påtvinge en vis tilpasning i forhold til den arkitektmæssige planløsning, hvilket følgelig fordres adresseret og løst.

Ved orienteringen d.29. juni 2022 af denne løsning fremsatte KAB forståeligt en række forslag/spørgsmål i forhold til alternative løsninger, som i det følgende vil forsøges adresseret i forhold til realisme og afledte konsekvenser. Der er i den forbindelse undersøgt en del alternative løsninger, som ligeledes er fremlagt for KAB.

Følgende spørgsmål/forslag blev stillet/givet:

- **#1** Gældende for SAB 3/4 – østfløj
 - a) Kan skakten fyldes op med beton og således fungere som alternativ ballast i forhold til fortykkelse af eksisterende væg?
 - b) Kan man anvende eksisterende lejlighedsskel som ballastgivende tyngde i stedet for viste vægge?
- **#2** Generelt gældende
 - Kan nødvendig ballast etableres ved forøgelse af dækttykkelse i form af påstøbt betonlag?
- **#3** Gældende generelt
 - Kan nødvendig ballast skabes ved påstøbning af beton på begge sider af eksisterende vægge?
- **#4** Gældende generelt
 - Vil en kombi-løsning med en reduceret stålförstärkning suppleret med en mindre omfattende vægforstärkning være en farbar vej i forhold til udförrelse og økonomi?
- **#5** Gældende generelt
 - Er det muligt at opnå den fordrede øgede stabilitetskapacitet ved brug af bygningernes facadevægge?

Alternativerne har dog ikke åbnet op for andre mulige løsninger til stabilitetsudfordringerne på SAB 1.

Refererende dels til tidligere status pr. 29.06.22 og dels til overstående gennemgang, er det NIRAS og øvrig projektgruppes anbefaling, at konklusionen fra førnævnte status i grundtanken bibeholdes omkring at ændre forstærkningsprojektet fra stålförstärkninger i facaderne til en indvendig betonforstärkning.

Dette grundet de ændrede vindbelastninger og forudsætninger, som flere af de eksisterende bygninger med stålförstärkninger helt grundlæggende ikke kan håndtere på forsvarlig og anbefalelsesværdig måde.

Løsningen indbefatter en forstärkning af eksisterende vægge i begge akser, henholdsvis central midtervæg i NS-retning og to/tre vægge i ØV-retning.

Længden af vægforstärkningen/evt. forlængelse (gældende for den centrale midtervæg) og fordrede tykkelse er principielt korrelative størrelser, hvorfor den endelige og samlede mindst generende udgave af forstärkningen, endeligt skal udformes under hensyntagen til de konstruktive krav og den arkitektmæssige planløsning.

Løsningen vil generelt friholde eksisterende facader og tilhørende fundamentsforstærkninger under disse. Disse tiltag vil i betydelig grad øge robustheden af bygningerne.

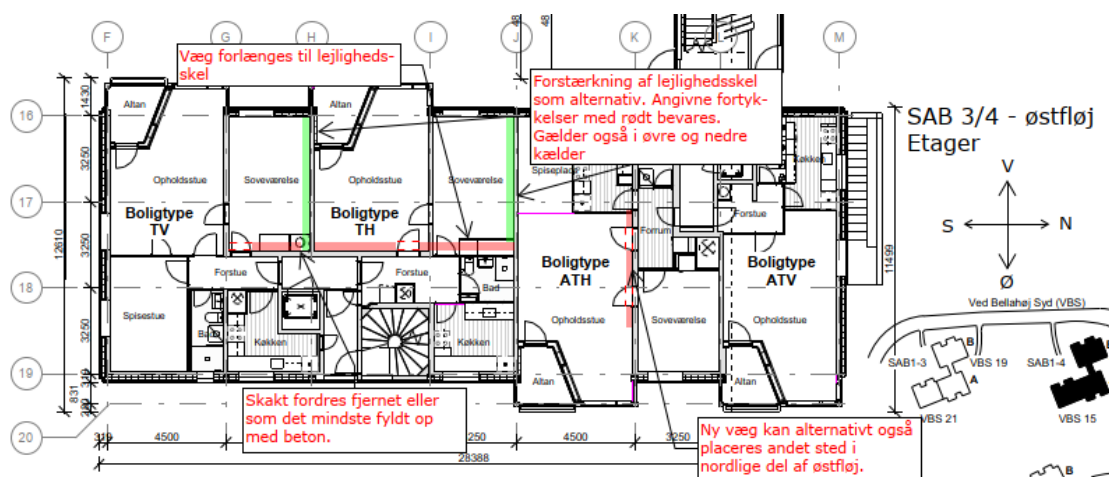
Som tilføjelse til dette, anbefales det i konstruktivt perspektiv, at beskrevne forstærkninger etableres i alle blokke for SAB1, da dette vil introducere en stærkt efterspurgt øget robusthed til alle bygningerne og samtidig sikre en vis genkendelighed og stringens i den videre renoveringsproces.

I det følgende vil ovennævnte scenarier blive vurderet og analyseret i forhold til konsekvens og effekt.

Den primære grund til kompleksiteten i forhold til løsninger og eventuelt udbytte af disse, er den eksisterende bygningens relative urobuste opbygning, hvilket indsnævrer løsningsmulighederne samt det faktum at bygningen er udfordret i begge akser, hvilket aftvinger en løsning, som tilgodeser dette.

#1 - a En opfyldning af skakten i SAB 3/4, østblok, ville kun i meget ringe grad bidrage til den fordrede stabiliserende ballast. Skaktens placering og udbredelse umuliggør en effekt, der ville kunne erstatte allerede angivne tiltag i forhold til fortykkelse af midtervæg. Dog kunne en betonopfyldning eller fjernelse af skakten muliggøre en bedre løsning omkring skakten i forhold til kræfternes forløb igennem stabiliserende midtervæg, som gennembyrdes af netop skakten. Der ses nærmere på dette forhold i den fremadrettede projektering. Der arbejdes pt. med løsningen, hvor skakten fjernes.

#1 - b



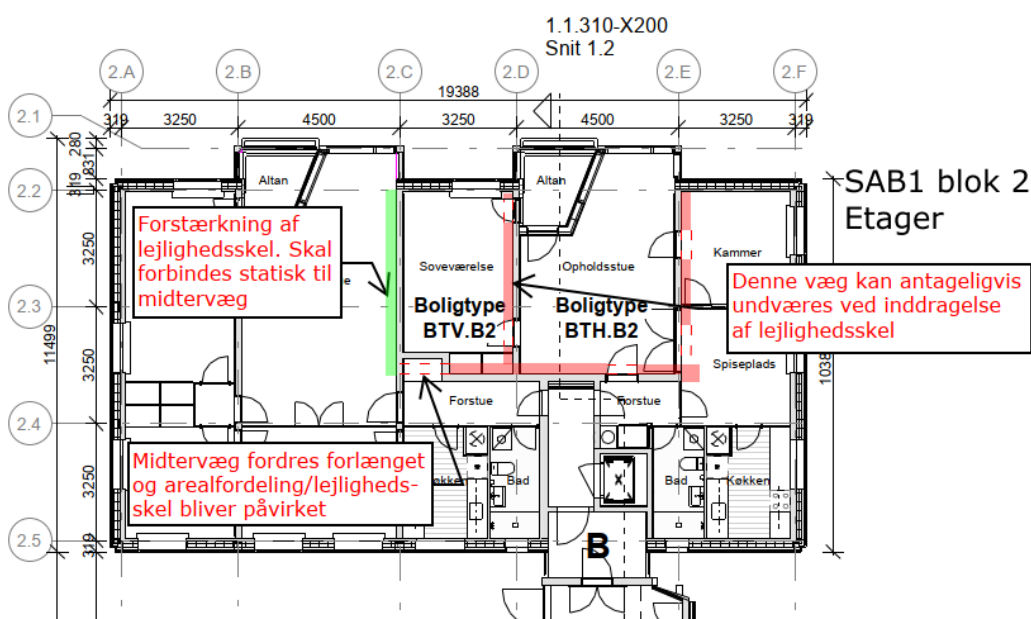
Principskitse i østfløj ved brug af ballast ved lejlighedsskel – bemærk midtervæggens forlængelse

Indledningsvist skal det fastslås, at det kun er muligt at bruge lejlighedsskel i blok 3 og 4, østfløj.

Det er muligt i blok 3/4, østfløj, at benytte lejlighedsskellene, som vist på skitse. Dette forudsætter imidlertid en forlængelse af midtervæg, således lejlighedsskel og midtervæg er i konstruktiv forbindelse. Dette kræver yderligere en løsning på og accept af den rent arkitektoniske planløsning, da rumstørrelserne ændres, dog i mindre grad. Dette udgør dog i projektteamets optik ikke et reelt problem, hvorfor løsningen er en mulighed. Løsningen i kældrene anses også for at være håndterbar. Ved denne løsning fordres der en løsning på skakten – antageligvis en fjernelse af denne. Vi vil derfor anbefale, at vi i blok 3/4 øst ændrer forstærkningerne til lejlighedsskellene og forlænger midtervæggen.

Ved blok 1 og 3/4- vest benyttes allerede lejlighedsskel som ballast, og ved blok 2 vil inddragelse af tværgående lejlighedsskel som ballast interferere i arealfordeling mellem lejlighederne, da midtervæg ved denne løsning fordres forlænget og forbundet statisk til tværgående lejlighedsskel. Ved udretning af denne væg kan lejlighedsskillevæggen anvendes i stedet, hvilket er implementeret i projektet for nuværende.

Lejlighedskellene omkring indgang og elevator (som ballast) vil qua sin geometriske placering i forhold til midtervæggens centerakse ikke give et brugbart bidrag til den stabiliserende effekt. Ydermere ville en forøgelse af vægtykkelsen ved lejlighedskellene i dette område kun kunne udføres mod gangen (hvilket ville give en meget smal gang), da der alternativt skulle reduceres i bredden i badeværelset og ind i elevatorskakt, hvilket ikke anses som en mulighed.



Principskitse ved blok 2; ved forlængelse af midtervæg vil lejlighedsskel mellem lejligheder blive påvirket

#2

I forhold til etablering af nødvendig ballast fra en forøgelse af udvalgte dækykkelser, vil dette grundlæggende være en reel udfordring af dækkenes bæreevne. Hvis dette scenarie skulle være statisk betydende, fordres en mertykkelse, som ville kræve en decideret armering af det "dæk", da eksisterende dæk kapacitet ville være overskredet. Den ændrede højde ville potentielt kreere udfordringer i forhold til vinduer og døre og ville formodentlig kræve en tilpasning af gulvtyper osv.

Rent statisk ville tværvægge, som danner vederlag for dæk, blive udsat for en ikke ubetydelig akkumuleret merlast, hvilket de i udgangspunktet ikke er beregnet for.

Yderligere ville et sådant tiltag ikke direkte hjælpe den centrale midtervæg ud over ballast fra stabilitetsgivende tværvægge – vægtykkelsen af denne midtervæg skulle stadig forøges.

Endelig ville de differentierede råbeton-niveauer skulle adresseres.

Samlet set er dette en ganske ufarbar vej og anses ikke som anbefalelsesværdig.

#3

Refererende til ønsket om en løsning med mindre arealtab i lejlighederne, vil en løsning hvor den stabiliserende ballast ved eksisterende vægge etableres ved en påstøbning på 100/100 mm på begge sider af væggen, ikke give den ønskede effekt.

Dette skyldes det princip, at eksisterende vægge "blot" fungerer som ballastgiver og ny væg skal fungere som kraftoptagende stabiliserende væg. Ingen påstøbning kan af praktiske og udførelsesmæssige årsager antage tykkelser under 100 mm – nok nærmere 150 mm.

Den bærende del af påstøbningen (på den ene side af væggen), der skal fungere som stabilitetsoptagende væg, kan med aktuelle kræfter ikke antage tykkelse under 200-250 mm, hvilket giver en samlet mer-tykkelse på min. 300-350 mm.

Et scenarie hvor man betragter relativt tynde påstøbninger på begge sider af væggen som samvirkende i forhold til samlet lastoptagelse, anses for at være statisk udfordrende, og svært, omstændeligt og dyrt rent praktisk i forhold til at opnå en troværdig og valid sammenhæng.

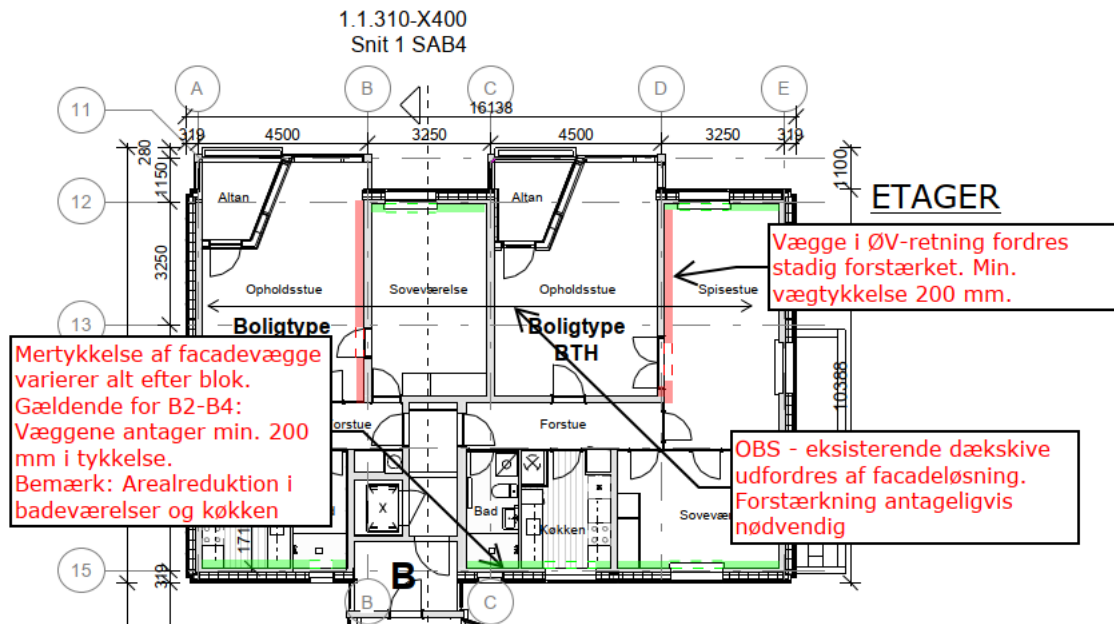
Denne løsning er således ikke en konstruktiv og brugbar vej i forhold til arealbesparende tiltag, som samtidig er udførelsesmæssigt forsvarligt.

Samtidig er løsningen prismæssigt en del tungere, da den fordrer en forarbejdning på begge sider af væggen.

Hvis løsningen skulle implementeres, ville det rent statisk i højere grad være muligt ved tværvæggene i ØV-retning end ved midtervæggen i NS-retning, hvor kræfterne er betragteligt højere. Dog er den aktuelle placering af påføringerne ved tværvægge flere steder bundet af den arkitektoniske planmæssige løsning i forhold til altaner/døre osv.. Økonomisk ville det stadig være ufordelagtigt.

Vi anbefaler derfor ikke at dele væggene i en påstøbning på hver side af væggene.

- #4** En kombi-løsning hvor en reduceret stålforstærkning forsøges kombineret med en mindre omfattende vægforstærkning, udfordrer den samlede konstruktive integritet af bygningerne. Bevægelser i bygningerne og revnestyring vil i højere grad være svære at vurdere og styre, hvilket ikke er anbefalelsesværdigt og uheldigt i en i forvejen relativ sammenhængsmæssig skrøbelig eksisterende konstruktion. Rent statisk vil det være en splittet og urobust løsning, som rent økonomisk ville være meget dyr, hvor der ikke opnås besparelser i forhold til at vælge én vej, men kombinerer to dyre løsninger uden decidede besparelser ud over eventuelle dele af materialeudgiften, da hele setup'et ved både ståløsning og vægforstærkning skal etableres. Vi anbefaler derfor ikke en kombineret løsning med både stål og indvendige vægge.
- #5** Et scenarie hvor man indtænker eksisterende facadevægge som værende hovedaktør i optagelsen af vandrette last i NS-retning afstedkommer adskillige overvejelser og begrænsninger. Forudsat er, at midtervæg i hele bygningshøjden er en homogen betonvæg i ens tykkelse, 150 mm. Yderligere kan det konstateres at store dele af facade væggene befinder sig i rum, som er specielt følsomme i forhold en arealreduktion – det være sig køkken og badeværelser. Gældende for denne løsning er at hele facadevægstrækningen behøves for at holde stabilitetskræfterne i en håndterbar størrelse i forhold til fundamentsforstærkninger. Dette vil kolliderer med indretning af nye køkkener og badeværelser, hvilket i projektteamet anses for at være invaliderende i forhold til indretning og funktionalitet af køkken og badeværelser, som i forvejen er presset på størrelse. Modsat ville en friholdelse af facadevægge i disse rum, betyde en reduktion af den aktive væglængde, som ville indikere at dette scenarium, efter alt at dømme, ikke ville være en farbar vej, da det ville fordrer urealistisk store påstøbninger på den resterende del af væggene.



Principskitse af vægforstærkninger ved facadevægge. Forstærkninger af vægge i ØV-retning bibeholdes

Et potentielt meget fordyrende omstændighed er at denne løsning omlejrer de vandrette kræfter qua det faktum at en betydelig del af optagelsen sker i den østlige del af facaden. Dette bevirker en betydelig decentral påvirkning af dækskiven, hvilket denne ikke er designet til optage, hvorfor et sådan et valg, ville citere en forstærkning af skiven. Dette vil følgelig ikke kun være fordyrende i forhold til økonomien, men også være usund i forhold til bygningens statiske formåen.

Scenariet ville således kræve en afbalanceret udligning af kraftoptagelsen i de to facadelinjer, hvilket qua deres ganske uens effektive længder, enten ville betyde at begge facader overordnet optager hvad den "svageste" facadelinje har kapacitet til, eller en voldsom og urealistisk mertykkelse ved "svageste" facadelinje. Hvis dette på nogen måde skal være realistisk, kræves en forventeligt yderligere medvirken fra midtervæggen, som i så fald skal forstærkes.

Der vil ved denne løsning være en udfordring i forhold arbejdsadgang og pladsforhold i elevatorspilrummet ved eksisterende kældervægge, som der pt. ikke er overblik over.

De forventede påstøbninger af facadevæggene forventes at være 150-300 mm i fuld udstrækning, alt efter hvilken blok der betragtes.

Vi anbefaler derfor, at der arbejdes videre med midtervæggene i stedet for facaderne, da dette som udgangspunkt primært vil være en fordyrelse af projektet og medføre flere ulemper i forhold til indretning af lejlighederne.