

# **Samvirkende Boligselskaber (SAB II), Bellahøj II, Ved Bellahøj Syd 24A/B og 26**

## **Tilstandsundersøgelse af betonfacader med tilhørende bagvæg, samt altaner**

Rekvireret af : Rådgivende ingeniørfirma Dominia, att.: Kurt Henriksen  
Udfærdiget af : FORCE Technology, Allan Lion Kristensen og Brián Kofoed  
Gennemlæst af : FORCE Technology, Birgitte Leth  
Vores ref. : 112-24286.07 AKN/BK/jtj

Brøndby, 15. august 2012

**Materialer og Miljø**



Foto 1. Nord- og vestvendt facade på bygning 24A/B og 26

## Indhold

Baggrund .....	3
Formål med undersøgelsen .....	3
Undersøgelsens omfang.....	3
Yderligere oplysninger og konstruktionsudformning.....	4
Undersøgelsesperiode.....	5
Sammenfatning af resultater .....	5
Prøveudtagning.....	5
Sporadisk visuel inspektion .....	5
Undersøgelse af betonkonstruktioner .....	6
Facadeelementer.....	8
Bestemmelse af kloridindtrængning .....	9
Dæklag på undersøgte facadeelementer.....	10
Vedhæftning af facadeelementer .....	12
Visuel inspektion af forankringsjern.....	13
Visuel inspektion af frilagt låsejern efter fjernelse af afskalling .....	16
Konklusion.....	16
Anbefaling .....	17
Forbehold.....	18

Bilag 1: Fotobilag

Bilag 2: Oversigt over undersøgelse af altankarnapper, herunder makrobestemmelse

Bilag 3: Undersøgelse af elementtå

Bilag 4: Bestemmelse af karbonatisering og kloridindhold

Bilag 5: Vedhæftning af facade halvægselementer

Bilag 6: Ophugning for visuel inspektion af forankringsjern

Bilag 7: Visuel inspektion af enkelte låsejern i altankarnap

## Baggrund

I forbindelse med en helhedsplan for hele boligkomplekset, og herunder mulig tilskud fra Landsbyggefonden, har Dominia A/S ved ingeniør Kurt Henriksen kontaktet betonafdelingen hos FORCE Technology for at udføre en tilstandsundersøgelse af udvalgte betonkonstruktioner på højhuset.

Undersøgelsen skal dels tilvejebringe informationer omkring udviklingen af nedbrydningen siden sidste betonundersøgelse i 1996 udført af COWI, samt vurdere restlevetiden af facadefliserne, og disses vedhæftning til bagvæg samt eventuel yderligere nedbrydning af bagvæg.

## Formål med undersøgelsen

Formålet med denne stikprøveundersøgelse er at vurdere tilstanden af:

- Konstruktioner på tilfældigt udvalgte altankarnapper. Der skal foretages undersøgelse af altansøjle, brystning samt altandækplade
- Facadevægselementerne undersøges for tilstand af forankringsjern og bestemmelse af mulig nedbrydning i betonen både ved elementets tå og ved forankringsjern
- Befæstigelsen af facadevæg undersøges ved ikke destruktiv undersøgelse.

Undersøgelsen er i øvrigt udført i henhold til tilbud fra den 16. marts 2012, med yderligere specificering ift. mail 30. juli 2012.

Desuden er der udleveret tilstandsrapport/bygningsdelsbeskrivelse udført af COWI, dateret den 15. maj 1995.

## Undersøgelsens omfang

Omfanget af stikprøveundersøgelsen er dels fastlagt i tilbud på baggrund af erfaringerne i den tidligere undersøgelse og dels efter krav fra rådgiver. Valg af undersøgelsesområder, dvs. altaner/bagvægge, er fastlagt fuldstændigt tilfældigt i henhold til aftale med rådgiver.

Omfanget er reduceret i forhold til tilbuddet efter ønske fra rekvirent.

Undersøgelse af facadeelementer er foretaget, hvor adgangsforholdene var rimelige og kunne nås fra lift. De udførte undersøgelser og den gennemførte prøveudtagning er sammenfattet i tabel 1:

Konstruktionsdele	Kerne nr.	Karbonatisering	Makro-analyse	Kloridbest.	Bemærkning
<b>Altan karnap</b>					
Syd 26, 2. tv Aase Johansen	26-2-S 26-2-B 26-2-L	X X	X		2 kerner
Syd 24B, 6. th Ulla Kellum	24-6-S 24-6-B 24-6-L				Ingen kerner Ikke hjemme på aftalt tidspunkt
Syd 26, 10. tv Lizzie Werner	26-10-S 26-10-B 26-10-B*	X X			2 kerner
<b>Facader</b>					
	<b>Ophugning nr.</b>				
Område F, østvendt	F8	X			1 ophug
Område G, østvendt	G2 G3	X X			2 ophug
Område H, sydvendt	H2 H3	X X			2 ophug
Område I, vestvendt	I, ref I3	X X			2 ophug
<i>Facadeelement tå</i>	Kerne nr.				
Stueplan, nordvendt	24--Tå	X			1 kerne
Stueplan, sydvendt	24-S-Tå	X			1 kerne
Stueplan, nordvendt	26-N-Tå	X			1 kerne
Stueplan, østvendt	26-Ø-Tå	X			1 kerne
<i>Facadeelement</i>	Kerne nr.				
Terræn, nord for opgang 24.	24-N-T	X		X Profil	1 kerne
Terræn, syd for opgang 24.	24-S-T	X		X	1 kerne
Midt på element	26-Ø-F	X		X Profil	1 kerne

**Table 1.** Oversigt over prøveudtagning og udførte undersøgelser.

### Yderligere oplysninger og konstruktionsudformning

Bebyggelsen, Bellahøj II, består af 6 højhuse med varierende antal etager, fra 8 til 12 etager. Rådgiver har udpeget højhus med adressen Ved Bellahøj Syd 24A/B og 26, hvor samtlige undersøgelser er foretaget.

Højhuset har 12 etager inkl. penthouseetage. Bellahøj II-bebyggelsen er opført i perioden fra 1955 til 1958.

Det er desuden oplyst, at facaderne er præfabrikerede betonelementer, fastholdt til både de indvendige søjler og etageadskillelser. Facadepladen er opdelt (ved udsparring) i kvadratiske flise-mønster i grålig nuance, afgrænset af lyse facadebånd. Vægelementet fastholdes ved et antal forankringsjern til den bagvedliggende etageadskillelse, og er indbyrdes fikseret med rustfrie dorne i bunden af element. Elementets bagside er udstøbt i lecabeton. Facadeskallens tykkelse er oplyst at variere fra 40-130 mm.

Tagbrystning, penthouselejlighed og fundament er ikke medtaget i denne undersøgelse.

## Undersøgelsesperiode

Indledende undersøgelse blev foretaget i starten af juli 2012, hvorefter selve feltundersøgelserne og herunder prøveudtagning påbegyndtes i uge 31, 2012, og afsluttedes i uge 32, 2012. Undersøgelsen er udført af Finn Ullmann, Allan Lion Kristensen og Brián Kofoed.

Laboratorieundersøgelser er løbende iværksat efterhånden som prøverne blev udtaget, og afsluttet den 13. august 2012.

## Sammenfatning af resultater

Resultaterne af de gennemførte undersøgelser er givet på detaljeret form i bilagene. Nedenfor sammenfattes disse resultater på kort form for hver af de undersøgte konstruktionsdele.

## Prøveudtagning

Der er udtaget i alt 4 stk. borekerner Ø50 mm fra 2 stk. altankarnapper, og 7 stk. Ø50 mm borekerner er udboret fra facadevægselementer. Der er foretaget 7 stk. ophugninger for vurdering af forankringsjernenes tilstand. Desuden sås flere afskalninger, især på de lyse facadebånd, som blev nedtaget. Desuden er vurderingen af en større afskalning fra indstøbt låsejern medtaget.

## Sporadisk visuel inspektion

Vi har foretaget en sporadisk visuel inspektion af indersiden af altankarnapperne samt overflade af facadeelementer med tilhørende facadebånd i områder nær vore målinger.

### *Altankarnapper*

Ved samtlige undersøgte altankarnapper ses revner på altanvæg med altandør, ofte strålende ud fra hjørne. Desuden bemærkedes afskallende løs overfladebehandling i loftet, som kunne stamme fra ophobet fugt/vand fra karnap ovenfor. Overfladebelægningen på inderside af brystning og søjle synes ellers intakt.

Der ses enkelte steder, hvor overfladebelægningen er boblet op, muligvis grundet vandindtrængning. Dette ses for det meste ved overgang fra dæk til søjle, og på søjlens inderside og underside af dæk.

Desuden ses tværgående, ofte vandrette revner på ydersiden af altansøjler, hvor søjlearmeringen bøjes ind i altandækpladen. Enkelte steder observeres også afskalning på yderside af altankarnapper, især hvor dæklaget til armeringen er tyndt, vurderet til under 10-15 mm.

### *Facadeelementer*

Der er ved hjælp af lift lavet visuel inspektion af facadefliser på følgende områder:

- 24. A, nordsiden, kolonner af elementer uden vindue i hjørnet mod øst
- 24. A, østsiden, mellem vinduer og nordhjørnet
- 26, østsiden, element uden vinduer mod sydhjørnet. Kun til 5. etage
- 26, sydsiden, element mod østhjørnet. Kun til 5. etage
- 24. A, sydsiden, element mod vesthjørnet. Kun til 5. etage
- 24. A, østsiden, element mellem indgang og sydhjørnet. Kun til 5. etage.

Der ses flere steder skrå revner i hjørnerne af elementerne og enkelte steder er der sket afskalninger af disse hjørner. Der er observeret flere lodrette revner fra øverste facadebånd og ned i den øverste vandrette række af udsparinger. Nogle gange ses revnen kun i facadebånd eller i udsparring. Måling med dæklagsmåler viser, at disse revner er beliggende over armeringen.

Enkelte steder ses der vandrette revner i nederste del af elementerne. Måling har vist, at disse revner også er beliggende over armeringsjern. Der er endvidere observeret flere afskalninger i elementerne og i facadebåndene. De afskalninger, der har kunnet nås, er alle nedtaget. Ved alle afskalninger er årsagen yderligt liggende armering, som er korroderet i sådan et omfang, at det har skudt betonen af.

Ved karnap på østsiden af 24A er der observeret en større afskalning i hjørnet. Fjernelse af afskalningen afslørede, at låsejernet var voldsomt korroderet og at det var dette, der var årsag til afskalningen, se kommentar senere i rapport.

På nordsiden af 24A, i 7. etages højde, blev der observeret et yderligt liggende forankringsjern til facadepladen, som synes at være skåret over med vinkelsliber (fra tidligere arbejder).

Der kan ses eksempler på de observerede skader i bilag 1.

### **Undersøgelse af betonkonstruktioner**

For at kunne vurdere eventuel udvikling af skadesmekanismer, herunder især forløbet af karbonatiseringen i betonen, benyttes oplysningerne fra COWIs "Arbejdsbeskrivelse" fra 1995. Her er opsummeret de fundne karbonatiseringsdybder i forskellige konstruktionsdele på Bellahøj II, med følgende resultat.

- Facader, 10-20 mm, målt både fra for- og bagside af gavlhjørner
- Altansøjler/sidebrystning, 10-20 mm

- Karnapsøjler/sidevæg, 10-20 mm
- Altanbrystning, forside ca. 5 mm og bagside 5-10 mm

Det er ligeledes blevet oplyst, at man under renoveringen i 1995/1996 påsmurte betonen i og ved altaner med karbonatiseringsbremsende overflademaling, hvor også nye fuger blev isat. Der ses også beslag for fastholdelse af frontbrystning i begge sider ved søjle.

#### Altankarnapper

Der er i alt udvalgt 3 tilfældige altankarnapper, hvor undersøgelsen skulle foregå. Men desværre viste det sig, at adgang til Syd 24B, 6. etage, ikke var mulig, da beboer ikke var hjemme på det aftalte tidspunkt. Desuden kunne prøve fra dækplade ved altan på 2. etage ikke udtages, da store dele af undersiden var delamineret, op til 10-15 mm.

Ydermere valgtes at udbore 2 kerner fra brystning hos beboer på 10. etage, da der fandtes to altaner, en østvendt (indkraget) altan og en sydvendt altankarnap. Desværre viste det sig, at brystningen af den østvendte altan har en inderside af lecabeton, hvorfor ingen kerne blev udboret.

Vi har ved samtlige prøvesteder bestemt dæklag, både lodret og vandret, som ses i bilag 2, og der er i alt udboret 4 stk. betonkerner fra hhv. inderside af altansøjle samt inderside af brystning.

Fordelingen af kerner og resultatet af betonundersøgelser er som følgende:

Kerne mrk.	Konstruktion	Område	Min dæklag Vandret/lodret [mm]	Max karbonatisering [mm]	Mulig korrosion <sup>*1</sup>
26, 2. etg tv					
26-2-S	Søjle	Inderside	29/33	8	Nej
26-2-B	Brystning	Sidebrystning	44/51	5	Nej
26-2-L	Loft	Ingen kerne	12-18 Hele pladen	Delamineret	Vides ikke
24B, 6. etg. th					
24-6-S	Søjle	Ingen adgang	Ikke målt	Ikke målt	Vides ikke
24-6-B	Brystning	Ingen adgang	Ikke målt	Ikke målt	Vides ikke
24-6-L	Loft	Ingen adgang	Ikke målt	Ikke målt	Vides ikke
26, 10. etg. tv					
26-10-S	Søjle	Inderside	27/31	8	Nej
26-10-B	Brystning	Sidebrystning	64/56	7	Nej
26-10-L	Brystning ved østvendt altan	Ingen kerne	Over 80	Ikke målt	Inderside består af lecabeton

**Tablet 2.** Opsummering af resultater for altan.

<sup>\*1</sup> Her gives svar på sandsynligheden for, at den indstøbte armering findes i karboniseret beton

Da det visuelle udtryk fra de 4 stk. udborede betonkerner overvejende er ens, er makroanalyse udført på kerne mrk. 26-2-B, som repræsentant for alle de 4 udtagne kerner udboret fra altankarnapperne i dette højhus.

På den undersøgte kerne mrk. 26-2-B ses et tyndt gråligt malingslag med tyndpuds/svumme med samlet tykkelse på 0,2-0,3 mm ovenpå betondelen. Der ses god vedhæftning mellem lagene. På baggrund af makroundersøgelsen vurderes det, at der er anvendt samme betontype til disse altaner.

Der er fundet potentielt frostfarlige sandkorn i betonen, som vil kunne forårsage skader, hvis betonen udsættes for frysning i kraftigt opfugtet tilstand. Desuden er der anvendt flint- og kalkrigt sand, med skønsomt højt indhold af porøs alkalireaktivt flint. Der er dog ikke observeret tegn på skader efter alkalikiselreaktion i kernen.

Betonen vurderes til ikke at være frostbestandig, grundet for lille indhold af luft, dog ses ingen frostskaeder i kernen.

#### *Delkonklusion*

På baggrund af undersøgelsen vurderes følgende:

- Betontypen for de 4 udborede kerner synes at være ens
- Risiko for korrosion på indstøbt armering ved karbonatisering vurderes at være lav for de undersøgte kerner, da armeringen ligger noget dybere end karbonatiseringsfronten. De fundne karbonatiseringsdybder ligger indenfor intervallet fra tilstandsrapporten fra 1995.
- Der er en potentiel risiko for revnedannelse som følge af alkalikiselreaktioner, dog ikke observeret i kernen. Desuden er betontypen ikke frostbestandig, grundet for lavt indhold af iblandet luft.

#### *Facadeelementer*

Der er udboret 7 stk. Ø50 mm betonkerner samt foretaget ophugninger forskellige steder på facaden for bestemmelse af følgende mulige skader:

- For bestemmelse af kloridindtrængningen er der udboret 2 betonkerner nær terræn i umiddelbar nærhed ved indgang til opgang 24A/B. Som reference er udført analyse på kerner udboret i 1. sals højde, østvendt facade. Der er også bestemt karbonatiseringsdybde på disse kerner.
- Med henblik på bestemmelse af karbonatiseringsfront er der udtaget 5 kerner, opdelt med 4 kerner i elementtå samt 1 kerne midt i vægelement, hvor karbonatisering bestemmes fra både for- og bagside.



- Vore iagttagelser vedr. ophugningerne er primært fortaget på facadebånd, og medtages under beskrivelse af den visuelle tilstand af forankringsjern.

### **Bestemmelse af kloridindtrængning**

Vi har udboret to betonkerner nær indgangsparti til opgang 24A/B. Hver kerne indeholder et lodret armeringsjern, og er udboret nord og syd for indgangsdør. Som reference benyttes kernen fra 1. sal.

Kernerne er udboret ca. 20 cm over fliseareal, 1-1,5 m fra indgangsparti, altså i områder, hvor der erfaringsmæssigt saltes jævnlige. Kernerne er mærket hhv. 24-N-T, for kerne nord for indgangsdør, og kerne mærket 24-S-T er udboret syd for indgangsdør, mod sydlig gårdareal.

Ved kerne 24-N-T er den lodrette armering fundet at ligge forholdsvis yderligt, med dækklag på ca. 14-27 mm (omkring borestedet). Her er foretaget en profilanalyse, dvs. at bestemmelse af kloridindhold er sket stepvis igennem dækklag. Kloridindholdet i armeringsniveau er målt til 0,08 vægtprocent i forhold til betonvægt, hvilket er større end grænseværdien på 0,05, som normalt bruges som guideline for, hvornår der kan forekomme kloridindret korrosion. Det visuelle skadesbillede af det udboret armeringsjern er vurderet at have skadesgrad 1 efter BYG-ERFA, blad nr. 94 12 22, der angiver:

### **Rustgrad Bemærkninger**

0	Helt uskadt armering med matgrå hinde
1	Første små spor af rust
2	Korrosion mellem 1 og 3 – typisk tydelig overfladerust
3	Kraftig, afskallende overfladerust, begyndende tværsnitsreduktion.

Armeringen omkring borested 24-S-T er placeret dybere, hvor dækklaget over lodret armeringen er fundet at være min. 26 mm. Kloridindholdet i armeringsniveau er lavt (0,02 vægtprocent i forhold til betonvægt) og rustgraden af udboret armeringsjern er vurderet til 0-1.

Som reference benyttes udboret kerne fra facadeelement i 1. sals højde, mærket 26-Ø-F, på østvendt facade. Her er armeringen placeret med 17-24 mms dækklag og analysen er foretaget i 3 niveauer. Resultatet af analysen viser meget lav kloridindhold igennem hele dækklaget, 0,01 vægtprocent ift. betonvægt.

### **Delkonklusion**

- Der ses let forhøjet kloridindhold (0,08 W/W%/betonvægt) i armeringsniveau foran indgangsdør til opgang 24A/B. Der ses ingen synlige korrosionsskader på betonoverfladen i nærheden. Erfaringsmæssigt kan niveauet initiere korrosion på indstøbt armering, men betonens høje alkali har muligvis nedsat korrosionshastigheden betydeligt

- Der ses lav kloridindhold i borekerne udboret syd for indgangsdør og i referen-  
cekerne, udboret midt i facadeelement på 1 sal.

### Bestemmelse af karbonatisering af facadebeton med profilerede facadefliser

Nedenfor er vist en tabel med vore bestemmelser af karbonatiseringsfronten fra både for- og bagside, målt på alle kerner. Der er ikke noget armering i tåen af elementerne, så dæklaget ud fra kerner taget i tåen henviser til dæklag umiddelbart over tåen.

Kerne mrk.	Placering	Dæklag Vandret/ Lodret [mm]	Karbonati- sering Forside Max/min/ gennemsnit [mm]	Karbonati- sering Bagside Max/min/ gennemsnit [mm]	Korrosion* <sup>1</sup>
24-T-N	Terræn, vest- vendt, ind- gang	25/14	6, 3, 4	Lecabeton	Nej
24-T-S	Terræn, vest- vendt, gård	31/26	3, 1, 2	Lecabeton	Nej
26-F-Ø	Stue, østvendt	17/17	5, 2, 3	15,8,10	Nej
24-Tå-N	Tå, nordvendt	30/20	1, 0, 1	8, 6, 6	Nej
24-Tå-S	Tå, sydvendt	Ca. 30	3, 1, 2	23, 11, 15	Nej
26-Tå-N	Tå, nordvendt	Ca. 30	1, 0, 1	16, 10, 12	Nej
26-Tå-Ø	Tå, østvendt	Ca. 30	7, 2, 5	10, 6, 8	Nej

**Tabel 3.** Resultater. \*<sup>1</sup> Her gives svar på sandsynligheden for, at den indstøbte armering findes i karboniseret beton

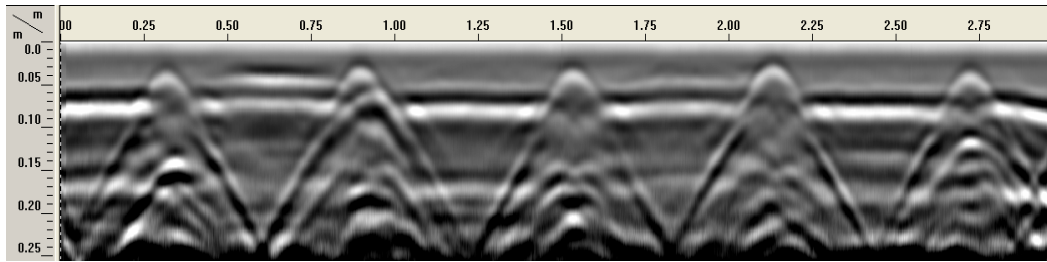
#### Delkonklusion

Fra vore undersøgelse kan vi vurdere følgende:

- Ved intakte og dermed revnefri dæklag ses lave karbonatiseringsdybder fra overside af facadebeton med profileret facadefliser. Bestemmelserne ligger i samme interval som analyser foretaget til tilstandsrapporten i 1995
- Det bemærkes, at karbonatisering er forholdsvis høj fra indersiden i elemen-  
tets tådel, men der er i dette område ikke fundet noget armering hvorfor det er uden betydning.

#### Dæklag på undersøgte facadeelementer

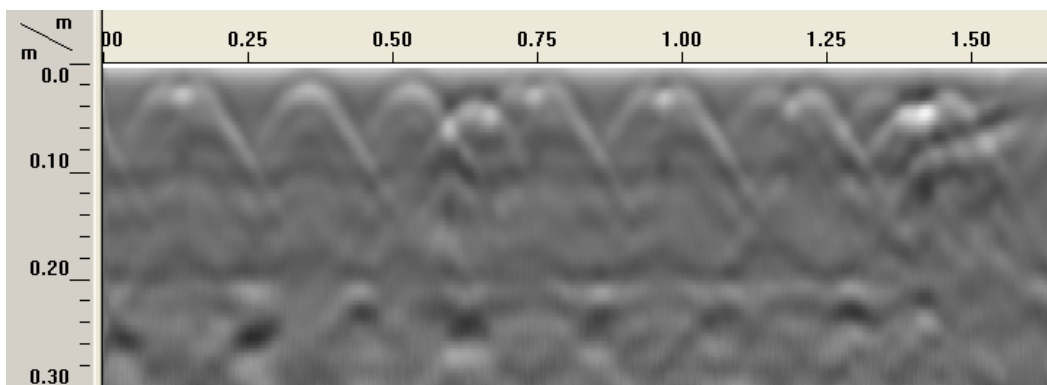
Inden der blev foretaget en undersøgelse af facadeelementernes vedhæftning, blev der undersøgt med radar, for at bestemme elementernes opbygning, specielt med hensyn til placering af forankringsjernene. Nedenfor er vist eksempel på en vandret radarmåling la-  
vet på den øverste række af profilerede facadefliser.



Figur 1. Vandret radar scan fra yderside af element

Radaren er trukket langs med overfladen af væggen, som er den øverste vandrette del af billedet. Radaren har udsendt 200 bølger pr. meter, som når de sættes sammen, giver et 2D billede af væggen. Den øverste sorte linje, der ses i ca. 6 cm dybde, er refleksionen fra grænsefladen mellem betonbagvæggen og lecabetonen. De hyperbler der ses at have deres top i ca. 3 cm dybde, er refleksioner fra armering, som formodes at være forankringsjernene. Afstanden mellem disse jern er ca. 60 cm. Der ses typisk 6 af disse lodretgående jern pr. element.

På det andet armeringsjern set fra venstre, ses der at ligge to armeringsstænger. Armeringen er beliggende ca. midt i betonforpladen. Målinger længere nede på elementerne viser, at der går armering hele vejen ned gennem elementerne i samme position. Scan efter vandret armering har vist, at der kun findes vandret armering i toppen og bunden af elementerne, så lang tid målingen laves på de profilerede facadefliser. Når målingen laves på det lodrette facadebånd, ses der imidlertid en del vandrette armeringsjern. Dette er vist i scannet nedenfor.



Figur 2. Lodret radarscan af facadebånd

Her ses der vandret armering pr. ca. 20 cm med dæklag mellem 10-15 mm. Ved hjørneelementer ses denne vandrette armering at gå et stykke ud i de profilerede facadefliser.

Generelt ses det, at forpladen har en tykkelse på 4-5 cm, mens hele væggen er ca. 15 cm tyk. Dæklagene varierer mellem 20-40 mm, hvor det typisk er mindst på de vandretliggende jern, specielt i de lodrette bånd.

### *Vedhæftning af facadeelementer*

For at teste om facadefliserne sidder ordentligt fast på facaden, er der brugt en ikke destruktiv undersøgelsesmetode, der hedder S'MASH-måling (Impuls-Respones).

S'MASH er velegnet til at teste vedhæftning af et større antal ens konstruktionsdele eller større områder.

Målingen udføres ved, at der slås med en hammer på overfladen, hvorved flisen sættes i svingninger. Vibrationerne i flisen opsamles i en geofon, der holdes mod flisen, og data analyseres i en computer. I denne undersøgelse har vi valgt at se på to resultatparametre.

Den ene parameter angives som en middel mobilitet [m/s/N] mellem 100-800 Hz og er direkte relateret til densitet, tykkelse og understøtning. Des mere flisen svinger des højere bliver mobilitet. En høj mobilitet sammenlignet med de andre testede fliser tolkes som, at flisen ikke er lige så godt understøttet og derfor sidder mere løs.

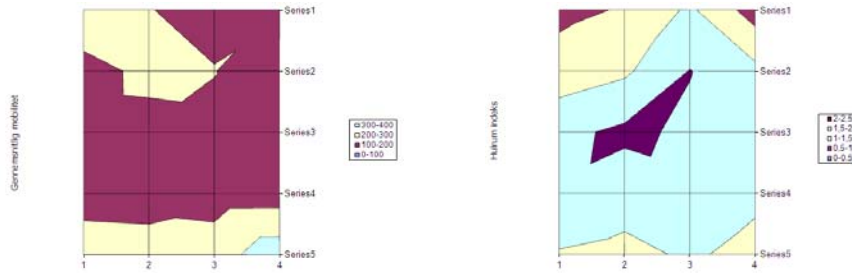
Det andet resultat angives som et hulrums indeks. Her ses der på mobiliteten for frekvenser under 100 Hz i forhold til den gennemsnitlige mobilitet. Normalt vurderes det, at værdier over 3-4 indikerer, at der er dårlig understøtning eller hulrum/områder med dårlige egenskaber under flisen.

Facadepladen er fastholdt med forankringsjern i toppen af elementet, der er støbt ind i dækelementerne og er ellers ophængt på konsoller på de bærende skillevægge. Elementerne består af en betonforplade med varierende tykkelse og påstøbt lecabeton bagved, hvorfor der forventes nogen forskel i målinger udført forskellige steder på pladen. Målingerne er derfor primært vurderet ved at sammenligne hele plader, der er ens i geometri samt ved at lave en sammenligning af enkelte målinger udført i toppen af pladen, hvor denne er fastholdt.

Der er udført undersøgelser i samme områder, som hvor der er foretaget visuel inspektion fra lift. Der er dog ikke målt på alle elementer. Der er totalt lavet målinger på 33 facadeelementer af forskellige typer og i forskellige retninger.

Der er for de fleste målefelter målt i et net, der svarer til et punkt på hver anden række og kolonne af profilerede fliser, således at et net indeholder ca. 20 punkter på et element. Senere blev antallet af rækker nedsat for at opnå flere positioner, samt da det kunne konstateres, at den mest brugbare information lå i den øverste del af elementet.

Nedenfor er vist eksempel på resultat fra måling på sydvæg på 24B, venstre element, 3. etage.



Figur 3. Til venstre ses den gennemsnitlige mobilitet og højre ses hulrum indekset, se også bilag 5

I diagrammet med den gennemsnitlige mobilitet ses det tydeligt, at der er en større mobilitet af den øverste venstre del af elementet end der er af den højre. Måleværdierne ligger dog lige over 200 m/s/N, som skiller bordeaux og gult interval, hvorfor forskellen reelt ikke er særlig stor.

I diagrammet med hulrum indekset ses lidt forhøjede værdier ved midten, dog kun i intervallet mellem 2-2,5, hvorfor den ikke er vurderet at være kritisk.

Efter at alle målinger var udført, og data analyseret, blev der udvalgt områder, hvor der var en forskel enten i gennemsnitlig mobilitet eller hulrum indeks og på baggrund heraf blev der foretaget 7 ophugninger, hvor et af forankringsjernene er visuelt inspiceret. Dette er beskrevet i næste afsnit.

I bilag 5 ses resultaterne fra undersøgelsen, sammen med en beskrivelse og oversigt over, hvor målingerne er lavet.

#### *Visuel inspektion af forankringsjern*

Efter vor vurdering af de ikke destruktive målinger af facadens elementer er i alt 7 områder blevet udpeget for en nærmere inspektion af vedhæftningen af forankringsjernene. Ophugningerne er for alles vedkomne foretaget i øverste facadebånd på elementet, netop hvor forankringsjernet føres fra facadeelementet og ind i etageadskillelsen. De omtalte ophugninger findes i hhv.

- målefelt F på østsiden af 24A,
- målefelt G på østsiden af 26,
- målefelt H på sydsiden af 26 samt
- målefelt I på sydsiden af 24A.

Ophugningerne er lokaliseret fra 1. etage til 5. etage.

Efter at have lokaliseret et forankringsjern med covermeter, er 2 riller skåret i facadebåndet, hvorefter betonen både over og under forankringsjernet er fjernet, og opsamlet for nærmere analyse på laboratorium. Dernæst er tilstanden af jernets overflade vurderet, diameter og dæklag registreret fysisk, hvorefter karbonatiseringsfronten er bestemt i

dæklaget over forankringsjernet. Disse informationer er samlet i bilag 6 og bilag 7. Forankringsjernet er efterfølgende omstøbt med egnet reparationsmørtel.

#### *Ophugning F8 etg 2, østvendt facade*

Punktet er udvalgt som reference, idet der ikke er set nogen signifikant forskel i mobiliteten eller hulrums indekset. I området ses større reparation, og ved ophugning ses 3 stk. armeringsjern, hvoraf det ene er beliggende i reparationen. Karbonatiseringsdybden er lav, max 15 mm i revne.

Visuelt er forankringsjernet vurderet at have skadesgrad 2-3, med en mindre ubetydelig lokal tværsnitsreduktion af diameteren, men synes for øjeblikket ikke aktivt korroderende. Jernet har visuelt god vedhæftning til betonen.

#### *Ophugning G3 etg 2, østvendt facade*

Punktet blev valgt, da der blev set en lille forøgelse i mobiliteten og forankringsjernet visuelt var synligt, grundet en afskalning i toppen af elementet. Ved bøjning ned i etageadskillelsen ses der kraftig korrosionsangreb med rustgrad 3 og betydelig tværsnitsreduktion. Længere nede af jernet sås rustgrad 2. Karbonatiseringsfronten er målt at ligge dybere (ca. 28 mm) end jern (5-25 mm), hvorfor man må forvente fortsat korrosion på forankringsjernet.

#### *G2 etg 3, østvendt facade*

Punktet blev valgt, da der blev set en lille forøgelse i mobiliteten og der blev observeret en tynd revne over forankringsjernet. Jernet har rustgrad 2 på hele den del, der er fritlagt. Karbonatiseringsfronten er målt at være i samme niveau som jernet, hvorfor man må forvente fortsat korrosion på forankringsjernet.

#### *Ophugning I3 etg. 3, sydvendt facade*

Punktet blev valgt, da der blev set en lille forøgelse i mobiliteten samt revne på facadebånd. Til trods for, at forankringsjernet ligger dybt (min. 40 mm), og der er bestemt lav karbonatiseringsdybde (5 mm) ses kraftig tæring med rustgrad 3 og reduktion af tværsnit med op til 20 % samt lagdelte rustflager på jern.. Den kraftige tæring skyldes dårlig omstøbning af hele den synlige del af forankringsjernet, og mulig neutralisering af betonen fra fuge.

#### *Ophugning H2, etg 3, sydvendt facade*

Punktet blev valgt, da der blev set en lille forøgelse i mobiliteten samt en voldsom forøgelse i hulrums indekset. Ophugningen viste, at forankringsjernet var korroderet med rustgrad 2-3, med en lille tværsnitsreduktion, hvor jernet er bukket ind mod etageadskillelsen. Reduktionen vurderes at være omkring 5 %. Dybden af karbonatiseringen er målt at være ca. 10 mm.

### *Ophugning H3, etg 2, sydvendt facade*

Punktet blev valgt, da der blev set en lille forøgelse i mobiliteten samt en revne over jern, som fortsætter fra facadebånd og ned i element. Revnen kan skimtes på foto i bilag 6. Ved ophugning blev der kun fundet et mindre armeringsjern, formentlig pladearmering, ca. Ø6 med kamme. Jernet vurderes at være pladearmering, og standser i toppen af elementet. Efter tegningen burde pladearmeringen være placeret udenpå forankringsjernet, som ikke blev fundet i ophugningen. Jernet havde rustgrad 3 med tydelig tværsnitsreduktion, trods for lav karbonatiseringsdybde.

### *Ophugning I etg 2, sydvendt facade*

Der er ikke udført nogen S'MASH måling i punktet. I ophugningen ses kun pladearmering. Revne ved hjørne af ophugning I, som ses på foto i bilag 6, er dannet under ophugningen. Der observeres mindre rustområder på jernet, dog ikke som grubetæring. Dybden af karbonatiseringen er lav. Vurderes som rustgrad 1-2. Jernet er desuden godt omstøbt af omkringliggende beton.

De observerede skader ved forankringsjernene, vurderes ikke at kunne have resulteret i den forøgede mobilitet. Disse blev konstateret ved de ikke destruktive undersøgelser, da elementet stadig er intakt fastholdt. Forklaringen på den forhøjede mobilitet, skal nok nærmere søges i kvaliteten og omfanget af den bagvedliggende lecabeton. Ophugningerne har dog vist, at der ikke er noget svigt i fastgørelsen af elementerne, selv i de områder, hvor der er set den største mobilitet.

Det skal pointeres, at S'MASH undersøgelsen samt ophugningerne udelukkende har været brugt til at kontrollere elementernes fastgørelse i etageadskillelsen, og derfor ikke omfatter ophængningen på konsoller på de bærende skillevægge, idet det ikke har været muligt at få et overblik over, hvordan denne del af konstruktionen er udført. Der er heller ikke foretaget ophugninger ved konsollerne. Dette er efter aftale med rekvirenten.

### *Delkonklusion*

På baggrund af vore observationer af forankringsjern kan følgende opsummeres:

- Af de 7 ophugninger kan konstateres forankringsjern i de 5 ophugninger. I de sidste to ophugninger ses armeringsjern, som forventes at ligge udenpå forankringsjernet, hvorfor disse er medtaget i den samlede vurdering
- Der ses korrosionsangreb på samtlige 5 stk. forankringsjern. Tæringen er primært observeret, hvor jernet bøjes ned i selve elementet, og hvor dæklaget er ses at være noget mindre end midt på facadebåndet. Rustgraden er vurderet at ligge i interval fra 1-3, dvs. fra synlig overfladerust til kraftig tæring, med betydelig tværsnitsreduktion
- Karbonatiseringen er nået til forankringsjern ved 2-3 af jernene
- Med undtagelse af ophugning I3, etg. har de resterende 6 stk. frilagte jern god omstøbning

- Der ses ikke nogen tydelig sammenhæng mellem S'MASH målinger og de registrerede skader
- Der er ikke registreret skader, der er så omfattende, at de på nuværende tidspunkt svækker elementernes fastgørelse.

#### *Visuel inspektion af frilagt låsejern efter fjernelse af afskalling*

Lokalt sås større afskalling ved karnapvindue på østvendt altankarnap, bygning 24A ved målefelt F. Afskallingen blev fjernet og omfanget af afskallingen målte ca. 25\*45 cm, og hang kun fast i den elastiske fuger mod element.

Bag afskallingen sås kraftigt tæret fladjern, rustgrad 3, samt både kraftigt tæret hovedarmering og vandret bøjlearmering, rustgrad 2-3. Afskallingen dækkede over detaljen omkring befæstigelse af brystning til karnapsøjle.

Fladjernet er oprindeligt ca. 55 mm bredt, men ca. 5-8 mm er tæret væk.

### **Konklusion**

På baggrund af de udførte felt- og laboratorieundersøgelser, samt de givne oplysninger kan FORCE Technology udtale følgende:

#### *Altankarnapper*

De undersøgte altandele udgøres primært af en beton, der ikke er karbonatiseret ind til armeringen. Der ses ikke så dybe karbonatiseringsfronter, som fundet og beskrevet i arbejdsbeskrivelsen fra 1995. Dette kan selvfølgelig skyldes, at nuværende undersøgelse er en stikprøveundersøgelse, hvor der ikke var mulighed for at udtage et passende antal prøver, samt generelt stor variation i karbonatiseringsdybderne ift. udtagesstederne. Dog observeres på ydersiden af altankarnapperne nogle afskalninger på steder, hvor armeringen lokalt har et lavt dæklag.

Ligeledes er der observeret kraftig korrosion på et fladjern (låsejern) på en af altankarnappernes østvendte yderside. Ved nærmere undersøgelse af afskalningen og låsejern sås betydelig tværsnitsreduktion af fladjern, både i bredden og godstykkelsen, men lav karbonatisering fra oversiden. Derfor er vor umiddelbare vurdering, at skaden er opstået i en kombination af to forhold. Bag elastisk fuger mod element sås ingen dækkende beton til fladjern, hvorfor der er en stor sandsynlighed for, at fladjern var mere eller mindre blotlagt. Ved passende fugt vil korrosionen påbegynde. Desuden vil korrosionsprocessen forløbe hurtigere, da fladjernet uden tvivl er i metallisk kontakt med de to indstøbt armeringsjern fra søjlen, og vil i denne sammenhæng blive anodisk ift. armeringsjernene.

Betonen er vurderet ikke at være frostbestandig, hvorfor der er risiko for skader ved opfugtning og frost. Der er flere steder observeret opboblinger i belægningen på altanerne, der kunne tyde på nogen fugtpåvirkning.



### *Facadeelementer*

Generelt er karbonatiseringen i elementerne begrænset til 10 mm, hvilket er minimalt, når konstruktionens alder tages i betragtning. Det vurderes derfor, at der ikke er risiko for skader de steder, hvor dæklag er tilstrækkeligt og hvor beton er defektfri, dvs. uden revner og med god omstøbning af forankringsjern.

De skader, der er observeret på facadeelementerne, vurderes at skyldes for tyndt dæklag, som er karbonatiseret og dårlig omstøbning i de pågældende områder. Dette gælder både for pladearmering i den profilerede del af elementerne, for armering i facadebåndene samt for forankringsjernene. Der er dog ikke nogen af skaderne, der på nuværende tidspunkt er så omfattende, at de truer elementernes fastholdelse til etageadskillelsen.

Skaderne må dog forventes at udvikle sig, idet der flere steder er observeret revner og afskalninger, hvilket alt andet lige vil give lettere adgang for fugtindtrængning og karbonatisering af betonen. Derved vil korrosionsprocessen fortsætte med at nedbryde forankringsjernene og pladearmeringen. Men da karbonatiseringsprocessen er en forholdsvis langsom nedbrydningsproces, forventer vi, at man vil se flere og flere afskalninger i disse områder de næste 5-10 år, dog uden betydelig forringelse af pladernes vedhæftning til dæk.

Ikke destruktive undersøgelser og ophugninger har vist, at fastholdelsen til etageadskillelsen i de undersøgte områder er intakt.

### **Anbefaling**

På baggrund af de foretagne observationer er det nødvendigt at holde altanerne under løbende eftersyn, evt. hvert 5. år. De skader der må forventes, er dels primært afskalninger over yderligt liggende armering og dels som følge af frostskafer. Skaderne vil dog være mere kosmetiske end de vil være truende for altanernes holdbarhed og bæreevne.

Dette gælder dog ikke for det observerede låsejern, der viste kraftig korrosion. Her bør der dels udføres en mere dybdegående ophugning, samt foretages en analyse således, at årsagen til den voldsomme korrosion kan fastlægges endeligt. Desuden bør der inddrages flere ophugninger. Denne undersøgelse bør herefter bruges til at vurdere, om der findes risiko for lignende korrosionsskader på andre låsejern, og finde den mest velegnet form for udbedring.

Der er observeret en del skader på det øverste vandrette facadebånd samt de øverste hjørner af elementerne på den undersøgte bygning, som må formodes at have relation til forankringsjernene. Der er ikke foretaget nogen registrering af disse skader, da det lå uden for omfanget af denne undersøgelse. Der bør dog laves en visuel undersøgelse af samtlige elementer, for at vurdere, hvor mange steder der er synlige skader på betonen over forankringsjernene. Det vurderes, at en sådan undersøgelse kan udføres fra terræn med en kraftig kikkert på stativ.

Efterfølgende bør der iværksættes flere ophugninger ved skadede og ikke skadede forankringsjern, for at få et bedre overblik over omfanget, idet de 5 forankringsjern, der er ophugget i denne undersøgelse, ikke er repræsentative for hele bygningskomplekset.

Ved gentagelse af denne skadesregistrering om 10-15 år vil udviklingen af skadesprocessen kunne vurderes.

### **Forbehold**

De anførte resultater er alene baseret på de udførte felt- og laboratorieundersøgelser. Resultaterne gælder kun for de konstruktionsdele, som de gennemførte undersøgelser er repræsentative for.

Med mindre andet udtrykkeligt ønskes, opbevares prøvematerialet i 6 måneder fra rapportdatoen.

FORCE Technology



Brián Kofoed  
Specialist

Beton



Allan Lion Kristensen  
Specialist

Beton