

Samvirkende Boligselskaber (SAB I), Bellahøj I, Ved Bellahøj Syd 17B

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. : 112-24286.04 AKN/BK/jtj

Brøndby, 15. august 2012

Materialer og Miljø



Foto 1. Vestvendt facade på undersøgte bygning opgang, 17B

Indhold

Baggrund	2
Formål med undersøgelsen	2
Undersøgelsens omfang	2
Yderligere oplysninger og konstruktionsudformning	3
Undersøgelsesperiode	4
Sammenfatning af resultater	4
Prøveudtagning	4
Sporadisk visuel inspektion	4
Undersøgelse af betonkonstruktioner, altan	6
Undersøgelse af betonavæg	7
Tykkelse* ¹	9
Undersøgelse af fliser	11
Samlet konklusion	14

Bilag 1: Foto fra visuel inspektion

Bilag 2: Oversigt, kerner altaner

Bilag 3: Undersøgelse af betonavæg, mikroslibsanalyse, makrobestemmelse samt bestemmelse af trykstyrker

Bilag 4: Vedhæftning af betonfliseskaller

Bilag 5: Ophugning for visuel inspektion af kobberstritter

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 få udført en tilstandsundersøgelse af udvalgte betonkonstruktioner på højhuset.

Formål med undersøgelsen

Formålet med stikprøveundersøgelsen er at vurdere tilstanden af:

- konstruktioner på altankarnapper. Der skal foretages undersøgelse af altansøjle, brystning samt altandækplade
- bagvæggens tilstand
- facadeelementernes vedhæftning til bagvæg.

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.

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

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

Undersøgelsens omfang

Omfanget af undersøgelsen er fastlagt i tilbud på baggrund af erfaringerne i den tidligere undersøgelse.

Antal af undersøgelsesområder, dvs. altaner/facader/bagvægge, er fastlagt, i henhold til aftale med ingeniør Kurt Henriksen, som en stikprøveundersøgelse, og udvalgt fuldstændigt tilfældigt.

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	Trykstyrke	Makroanalyse	Mikroslibanalyse	Bemærkning
Altankarnap						
Syd 17B, 4. th., Finn Justesen	17-4-S	X		X		3 kerner
	17-4-B	X				
	17-4-L	X				
Syd 17B, 7. th., Birthe Reeckmann	17-7-S	X		X		3 kerner
	17-7-B	X				
	17-7-L	X		X		
Syd 17B, 11. tv., Franck Siversen	17-11-S	X		X		3 kerner
	17-11-B	X		X		
	17-11-L	X		X		
Betonbagvæg						
Syd 17B, 1. tv., K. Moren	17-1-BV	X			X	1 kerne
Syd 17B, 3. tv., K. Wahlberg Sørensen	17-3-BV	X			X	1 kerne
Syd 17B, 4. th., Finn Justesen	17-4-BV		XX			2 kerner
Syd 17B, 7. th., Birthe Reeckmann	17-7-BV		X			1 kerne
Syd 17B, 9. tv., T. Ulvø	17-9-BV	X			X	1 kerne
Syd 17B, 12. th., G. Olausen	17-12-BV	X			X	1 kerne
Facader						
	Ophugning nr.					
Område A, nordvendt	A5, etg. 4 A6, etg. 5	X X				2 ophugninger
Område B, nordvendt	Ingen					
Område C, østvendt	C2, etg. 2	X				1 ophugning
Område D1, vestvendt	Ingen					
Område D2, vestvendt	D2, etg. 2	X				1 ophugning

Table 1. Oversigt over prøveudtagning og udførte undersøgelser.

Yderligere oplysninger og konstruktionsudformning

Bebyggelsen består af en række højhuse med forskellige etageantal. Rådgiver har udpeget højhus med adressen Ved Bellahøj Syd 17B for samtlige undersøgelser. Højhuset har 12 etager. Bebyggelsen er opført i periode 1951 til 1954.

Det er desuden oplyst, at facaderne består af stavrillede beigefarvet fliseskaller fastgjort til betonbagvæg med flere kobberstrittere i yderkant af flise. Mellem flise og betonbagvæg er der udstøbt lecabeton. Desuden ses både vandrette og lodrette facadebånd i lysere farve.

Opbygningen af facadeelement er foretaget ved at ligge fliserne i formen, udstøbe lecabeton og sidst den armerede betonbagvæg. Fliserne har en tykkelse på ca. 30 mm og betonbagvæggen er oplyst at kunne variere mellem 150-200 mm.

Tagbrystning og penthouselejlighed er ikke medtaget i denne undersøgelse.

Vedrørende karbonatisering af betonen er der udført bestemmelser, opsummeret i tilstandsrapport fra 1995 (COWI), hvor følgende niveauer er fundet:

- Facader, ikke oplyst, muligvis ikke målt
- Altansøjler, karboniseringsdybden er bestemt til ca. 1-3 mm
- Karnapsøjler/sidevæg, karboniseringsdybden er ca. 1-3 mm
- Altanbrystning, karboniseringsdybden er målt til ca. 1 mm

Undersøglesperiode

Indledende undersøgelse blev foretaget i starten af juli 2012, hvorefter selve feltundersøgelsen og herunder prøveudtagning påbegyndtes i uge 31, 2012, og afsluttedes sidst 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

Resultater 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 9 stk. borekerner Ø50/Ø38 mm fra altankonstruktioner, 7 stk. borekerner Ø45/Ø82 mm fra betonbagvæggen, samt foretaget 4 stk. ophugninger for vurdering af kobberstritteres tilstand.

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

Sporadisk visuel inspektion

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

Altankarnapper

Det er 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.

Der ses enkelte steder, hvor overfladebelægningen er boblet op, muligvis grundet vandindtrængning. Dette ses for det meste ved overgang fra loft til søjle, og på søjlens inder-side. Desuden ses tværgående revner ved fugesammenføringen. Enkelte steder ses afskalning på yderside af altankarnapper, især hvor dæklaget til armeringen er lille, under 10-15 mm.

Der blev observeret en større afskalning på ydersiden af en sidebrystning. Afskalningen viste sig ved nedtagning at være en afskalning af betonen. Der fandtes ikke noget armering under afskalningen.

Ved samtlige altankarnapper ses revner på væg mod stue, ofte strålende ud fra hjørner fra enten dør eller vindue. Ved øverste del af altansøjle ses afskallende løs maling, muligvis stammende fra ophobet fugt/vand. Overfladebelægningen på inderside af brystning og søjle synes ellers intakt. Der ses primært vandrette revner på ydersiden af søjle, i område ved overgangen til overliggende karnap, kan muligvis være en løs påstøbning.

Facadeelementer

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

- Nordsiden, de to kolonner af elementer uden vindue
- Østsiden, mellem vindue og nordvæg
- Vestsiden, mellem vindue og nordvæg
- Vestsiden, mellem altaner.

Fugen mellem fliserne ses flere steder at være stærkt nedbrudt. Den hårde ydre del af fugen er væk og det der er tilbage kan let kradses løs med en finger. På betonfliserne og søjlerne i siden af elementerne sidder der ofte løse stykker af fugen.

Der ses enkelte fliser, hvor der er revner i fugen mellem fliserne. Der ses både vandrette og lodrette revner. Der er ikke noget tegn på, at fliserne sidder mere løse ved revner, og de kan ikke rokkes. Der ses nogen variation i flisernes kvalitet. Nogen har en tæt og glat overflade, mens andre er mere porøse med fritlagte sten i overfladen. Der ses reparationer fra tidligere undersøgelser. Visuelt ser tilstanden af fliserne og de lodrette og vandrette facadebånd generelt god ud.

Der er flere fliser, der ved let anslag med lille hammer, lyder meget hule. Der er typisk 3-5 fliser i hvert element, der lyder hule. Der ses ikke noget mønster i hvilke fliser, der lyder

hule. De fliser der lyder hule, virker dog ikke som om de sidder løse, heller ikke når der hives kraftigt i kanterne eller de prøves brækket ud med en stor skrueetrækker.

På vestsiden er der over to vinduer observeret, at fliserne buer nedad, og en lille smule udad for oven. Det har heller ikke her været muligt ved ryk at konstatere løse fliser.

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

Undersøgelse af betonkonstruktioner, altan

Der er i alt udboret 9 stk. betonkerner fra 3 tilfældigt udvalgte altaner i 3 niveauer. Ved samtlige udboringer er bestemt dæklag, både lodret og vandret. Kernerne er efter udtagning blevet halveret, og dybden af karbonatiseringsfronten er blevet bestemt med phenolphthalein ved farveskift. Et mindre antal kerner er nærmere gennemgået for betonsammensætning (såkaldt makroanalyse).

Fordelingen af kerner og resultatet af betonundersøgelser er som følgende:

Kerne mrk.	Konstruktion	Område	Min dæklag Vandret/lodret [mm]	Max karbonatisering [mm]	Mulig korrosion ¹
4. etage th.					
17-4-S	Søjle	Inderside	15/28	22	Ja (bøjle)
17-4-B	Brystning	Sidebrystning	24/35	4	Nej
17-4-L	Loft	Bag facadeplan* ²	37/70	14	Nej
7. etage th.					
17-7-S	Søjle	Inderside	26/27	2	Nej
17-7-B	Brystning	Frontbrystning	30/23	3	Nej
17-7-L	Loft	Bag facadeplan	43,20 (lokalt)	12 (lokalt)	Sandsynlig
11. etage tv.					
17-11-S	Søjle	Inderside	36,41	2	Nej
17-11-B	Brystning	Sidebrystning	33/25	2	Nej
17-11-L	Loft	Bag facadeplan	34/46	11	Nej

Tablet 2. Opsummering af resultater for altan.

*¹ Her gives svar på sandsynligheden for, at den indstøbte armering findes i karboniseret beton?

*² Her menes prøve er udtaget på den inderste del af loft

På samtlige kerner fra søjler ses først et malingslag, derefter et pudslag (op til 0,5 mm), og derefter betondelen. Der observeres ikke revner i kernerne.

Kerner fra brystning og underside af altanplade har et varierende udtryk. Kerne mrk 17-7-L har lys grå beton, indeholdende flint, med alkalireaktive sandkorn. Dette har dog ikke givet anledning til skader i form af revne i betonen.

Grå beton og flintring tilslag ses i kernerne mrk. 17-11-B og 17-11-L. I disse ses ingen potentielt frostfarlige sten, eller alkalireaktive korn, hvorfor denne beton skønnes at være frostbestandig. Da der formentlig er benyttet portlandscement tilsat flyveaske og/eller mikrosilica vurderes beton at være af yngre dato end de øvrige undersøgte kerner.

Delkonklusion

På baggrund af undersøgelsen vurderer vi følgende:

- Mulighed for korrosion ved karbonatisering vurderes kun for nuværende ved bøjlearmeringen i søjle på altan ved etage 4. Dog er karbonatisering betydelig mere fremskreden ift. målinger foretaget i 1995.
- Af makroundersøgelsen ses, at der er anvendt samme betontype til søjler, og at betonen ikke vurderes at være frostbestandig, grundet for lille indhold af luft, dvs. ved stor vandophobning og kraftig frost må betonen forventes at få skader som revner og afskalling
- Afsluttende vurderes, at gråfarvet beton i brystning og loft (etage 11) er yngre end de øvrige undersøgte kerner.

Undersøgelse af betonvæg

Betonbagvæggen er oplyst at have varierende tykkelse (150-200 mm), er armeret, og indeholder kobberstrittere til brug for befæstigelse af fliseskaller.

Der er udboret i alt 7 kerner i varierende højde og retning. I nedenstående tabel ses en oversigt over, hvilke undersøgelser kernerne har været udvalgt til.

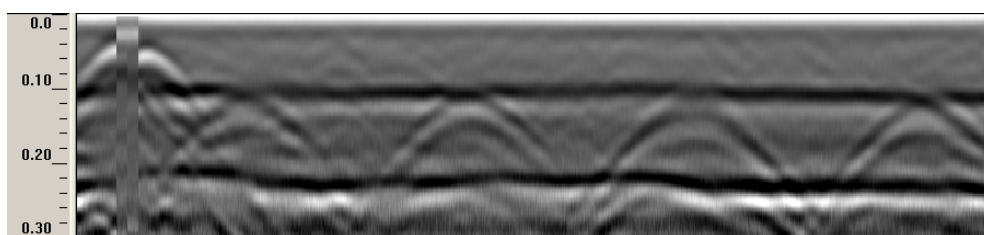
Kerne mrk.	Retning	Mikroslib Analyse	Best. af trykstyrke	Bemærkning
17-1-BV	Stue, sydvendt	Ja	Nej	
17-3-BV	Badeværelse, østvendt	Ja	"Nej"	Best. optisk på slib
17-9-BV	Soveværelse, vestvendt	Ja	Nej	
17-12-BV	Soveværelse, nordvendt	Ja	Nej	
17-4-BV	Soveværelse, nordvendt	Nej	Ja	Udboret 10. aug. 2012
17-7-BVI	Stue, Vestvendt	Nej	Ja	Udboret 10. aug. 2012
17-7-BVII	Soveværelse, østvendt	Nej	Ja	Udboret 10. aug. 2012

Tabel 3. Oversigt over undersøgelser af beton fra bagvæg.

For at få vurderet eventuelle skadesmekanismer i betonen, blev 4 betonkerner undersøgt ved mikroslibanalyse. Herunder skulle vi også have en bestemmelse af den optiske styrke.

Dette var imidlertid ikke muligt ved andre kerner end 17-3-BV, hvorfor vi måtte udbore yderligere 3 kerner til bestemmelse af trykstyrke efter standard DS/EN 12390-3. Dog skal det påpeges, at grundet tidspres er kernerne ikke vandlagret i 3 døgn som beskrevet i standard.

I forbindelse med udtagning af kerner i lejlighederne er der desuden lavet en undersøgelse af flere af ydervæggene i lejligheden med radar. Radaren bruger elektromagnetiske bølger, som når de sendes ind i konstruktionen, vil give refleksioner fra armering, kobberstrittere samt grænsefladen mellem de enkelte lag i konstruktionen. Nedenfor er vist et eksempel på et af disse radarscan.



Figur 1. Typisk billede af et scan af betonvæg.

Radaren er trykket 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. 10 cm dybde, er refleksionen fra grænsefladen mellem betonbagvæggen og lecabetonen. De hyperbler der ses at have deres top her, er refleksioner fra kobberstritterne eller armering. Det ses at gå en lille smule ind i betonbagvæggen. Afstanden mellem disse refleksioner er 50 cm.

Den nederste sorte linje, der ses, er en refleksion fra ydersiden af væggen, altså væggens samlede tykkelse.

I starten af scannet (tv.) ses der refleksion fra et armeringsjern i ca. 4 cm. dybde.

I nogle elementer ses der kun armering i kanterne af elementerne og ikke noget inde i midten af elementerne. I andre ses der armering med en indbyrdes afstand på 50-60 cm.

En opsummering af resultaterne er samlet i tabellen nedenfor og kan ses detaljeret i bilag 3.

Kerne mrk.	Retning	Tykkelse* ¹ (Radar-mål) Beton/Samlet [cm]	Minimum dæklag Fra inderside [cm]	Indbyrdes afstand [cm]	Karbonatisering Max, min, gen- snit [mm]
17-1-BV	Stue, Sydvendt	S: 16/30	4-6	16-70 Nær hjørne	I: 73, 68, 70 Y: 40, 30, 35
17-3-BV	Badeværelse, østvendt	Ø: 13/25	4-7	20-51 Nær vindue	I: 30, 17, 25 Y: 20, 17, 18
17-9-BV	Soveværelse, vestvendt	V:10/22	3-4	49-56	I: 52, 48, 50 Y: 30, 25, 27
17-12-BV	Soveværelse, nordvendt	N:17/-	3	48-63	Fuldt karbonati- seret (160 mm)
17-7-BV	Soveværelse Soveværelse Stue	N: 15/27 Ø: 15/27 N: 16/28	4-6 3-6 3-4	20-150 20-150 20-150	Ikke målt
17-4-BVI	Stue	V: 12/24 N: 14/26	4-5 4-6	20-150	Ikke målt
17-4-BVII	Soveværelse, østvendt	Ø: 12/24	4-7	20-150	Ikke målt

Table 4. Oversigt over undersøgelser af beton fra bagvæg. I:side mod lejlighed. Y:side mod lecabeton.

*¹ Der vil være en mindre misvisning i tykkelse af lecabeton, da instrumentet er indstillet på at måle tykkelser af beton.

Umiddelbart ses armeringen placeret langs kanter af betonvæggen, med større uarmeret område. Ud fra vore målinger kan vi ikke se refleksion fra kobberstritter i betonvæggen.

Mikroslibsanalyse

Der er foretaget tyndslibsanalyse af 4 stk. kerner, se bilag 3. Prøverne er udtaget af de inderste dele af kernen, dvs. mod lejlighed. Analysen er foretaget med henblik på en vurdering af betonens kvalitet og holdbarhed.

Det vurderes, at der er anvendt samme betontype i samtlige undersøgte kerner, hvorfor de er beskrevet under et. Dog ses en lille variation i kerne 17-3-BV, som vil blive omtalt senere.

Samtlige undersøgte prøver repræsenterer de yderste ca. 40 mm, hvor overfladen er tapetbelagt og der ses op til 15 mm puds. Der er i beton anvendt delvist knust og flintringt tilslag med højt indhold af porøse potentielt frostfarlige sandkorn. Dette vil under kraftig opfugtning og pludselig frysning kunne forårsage frostskafer.

Som sandtilslag er der anvendt et flint- og kalkrigt sand og det vurderes, at porøs, alkali-reaktiv flint udgør mere end 2 vol%, således at betontypen kun vil kunne henføres til passiv miljøklasse.

Der er ikke observeret skader (revnedannelser) i konstruktionsbetonen som følge af alkali-kiselreaktion. Indholdet af alkalireaktiv porøs flint er dog så højt, at der ved ændrede eks-

poneringsforhold (øget tilgang af fugt og alkalier) vil kunne udvikles skader, som følge af alkalikiselreaktion.

Der er, udover bleeding-revner opstået ved udstøbningen af betonen og mikrorevner opstået som følge af betonens normale modenhedsudvikling, observeret enkelte fine revner i den inderste del af væggen op mod væggens inderside i kerne 17-1. Revnerne har vidde på max. 0,05 mm og skærer stedvis tilslagskorn. Årsagen til revnedannelsen kan ikke fastlægges på foreliggende grundlag. Det kan ikke afvises, at revnerne er opstået ved udtagningen af kernen.

Med undtagelse af kerne 17-3-BV er betonen dybt karbonatiseret, og derfor har det ikke været muligt at kunne bestemme vand-/cementindholdet i disse. På baggrund af den dybere karbonatisering kan det ikke afvises, at betonen i kerne 17-1, 17-9 og 17-12 har haft et højere vand-/cementforhold end i kerne 17-3. Cementpastaen er generelt inhomogen med udbredte tegn på, at der er sket udskillelse af vand fra pastaen ved støbningen. Der er herved opstået revner og porøse områder i betonen.

Til cementpastaen er der anvendt en medium formalet, formentlig hurtigt hærdende cement. Cementpastaen har i kerne 17-3-BV på nuværende tidspunkt en kapillarporøsitet svarende til et vand-/cementforhold i området 0,50 – 0,60, og på baggrund af betonens sammensætning estimeres betonens trykstyrke i kerne 17-3-BV at ligge i området 34 – 43 MPa.

Betonen er ikke luftindblandet og må betegnes som ikke-frostbestandig.

Denne signifikante forskel mellem kernernes karbonatiseringsgrad kan skyldes enten, at betontypen i kerne 17-3-BV er meget forskellig fra de øvrige kerner, eller at konditioner, hvormed denne kerne har befundet sig i, er meget forskellig i forhold til de øvrige kerner.

Trykstyrker bestemt ved kerner

Yderligere 3 kerner blev udboret fra betonbagvæg for nærmere bestemmelse af betonens trykstyrke, afprøvet efter standard DS/EN12390-3:2009, vedlagt i bilag 3. Afvigelse fra standard er udover de beskrevne forhold i bilag også, at prøverne ikke er blevet vandlagret i 3 døgn.

Det skal ligeledes bemærkes, at det angivne interval af styrker ved kerne mrk. 17-3-BV fremkommer ved mikroslibsanalysen, og er estimeret efter betonens sammensætning.

Følgende trykstyrker er fundet:

Kerne nr.	Trykstyrke før omregning [MPa]	Trykstyrke efter omregning [MPa]	Bemærkning
17-7-BV	45,6	Opfylder ikke standardens krav på højde-/diameterforholdet	
17-4-BV I	56,6	56,7	
17-4-BV II	62,8	55,4 ^{*1}	
17-3-BV	--	34 - 42	Skønnet efter slib, optisk styrke

Tabel 5. Bestemmelse af trykstyrker. ^{*1}, Omregnet fra kube til normcylinder

Delkonklusion

På baggrund af vore iagttagelser og prøvning af beton fra bagvæg kan følgende opsummeres:

- Der ses meget varieret betontykkelse, 8,8-14,5 cm på kerner, og ved ikke destruktive radarmåling vurderes tykkelse at ligge i intervallet 10-17 cm. Samlet tykkelse af hele konstruktionen er fundet at være 22-30 cm.
- Der registreres ingen klar sammenhæng mellem retning og betontykkelse
- Betontypen til bagvæg er flintholdig men med god fordeling, synes velkomprimeret, dog med inhomogen cementpasta, som kunne type på udskillelse af vand ved støbning. Der ses derfor revner og porøse områder i betonen
- Betontype må opfattes som tilhørende passiv miljøklasse, og er ikke frostbestandig
- Som forventet er karbonatisering fremskredet, og det må forventes, at armeringen findes i neutraliseret beton, og betonen er dermed ikke i stand til at beskytte den indstøbte armering
- Der er ikke set nogen indikation på kobberstritternes befæstigelse til betonvæg, da der udelukkende ses refleksion mellem lecabeton og bagvæg
- Dog ses betonen at have forholdsvis høje trykstyrker, 45-55 MPa, dog kun vurderet på 3 kerner. Den optiske styrke af 17-3-BV er fundet ved mikroslibanalysen, og estimeres at være i intervallet 34-42 MPa.

Undersøgelse af fliser

Afprøvning af vedhæftning af fliser

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

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 (her på hver flise), 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.

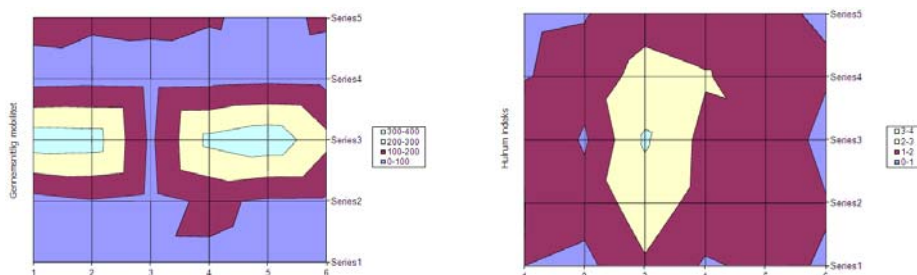
Den ene parameter angives som en middel mobilitet [m/s/N] mellem 100-800 Hz og er direkte relateret til densitet, tykkelse og understøtning. Des mere flisen svinger des højere bliver mobilitet. En høj mobilitet sammenlignet med de andre testede fliser tolkes som, at flisen ikke er lige så godt vedhæftet/understøttet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

Den anden parameter 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.

Da fliserne er støbt fast i den bagvedliggende lecabeton, og desuden er fastholdt med et antal kobberstrittere, vil resultatet være en blanding af, hvor god vedhæftningen er til lecaen og hvor godt fast stritterne sidder. Det er dog vurderet, at dårlig lecabeton eller slip mellem lecabeton og flise vil give større risiko for nedbrydning af kobberstrittere, hvorfor metoden vurderes egnet til at finde de mest udsatte fliser.

Der er lavet ikke destruktiv prøvning i samme områder, som der er lavet visuel inspektion i. Der er dog ikke lavet målinger på alle fliser. Det vurderes, at der totalt er lavet målinger på ca. 1.050 fliser.

Neden for er vist eksempel på resultat fra måling på nordvæg, venstre element, 4. etage.



Figur 2: Til venstre ses den gennemsnitlige mobilitet og til højre ses hulrums indekset. Alle diagrammer ses i bilag 4

Der er udført en måling på hver af fliserne i ovenstående element. Hver koordinat er således et målepunkt på 30 forskellige fliser.

I diagrammet med den gennemsnitlige mobilitet ses det tydeligt, at der er en større mobilitet af fliserne i pkt. (1,3), (2,3), (4,3) og (5,3). Disse 4 fliser blev ved testen observeret at have en hult lydende klang.

I diagrammet med hulrums indekset ses punkt 3/3 at have en større værdi. Den er dog kun i intervallet mellem 3-4, hvorfor den ikke er vurderet at være kritisk.

Efter at alle målinger var udført, blev data analyseret og der blev udvalgt områder, hvor der sås en større mobilitet og på baggrund heraf, blev der foretaget 4 ophugninger til kobberstritterne, for at se tilstanden og vedhæftningen af disse. Dette er beskrevet i næste afsnit, se yderligere bilag 5.

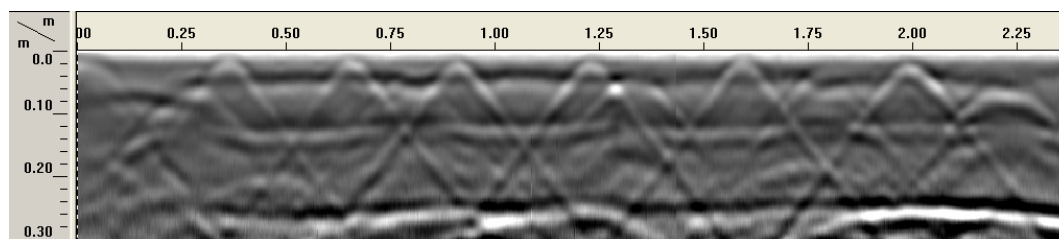
Generelt blev der ikke set nogle rigtig høje værdier for hulrums indekset. De steder, hvor der blev observeret større gennemsnitlige mobiliteter, var typisk også ved de fliser der lød hule.

I bilag 4 ses resultaterne fra undersøgelsen, sammen med en beskrivelse og oversigt over, hvor målingerne er lavet.

Der blev også lavet målinger på fliserne over vinduerne på vestsiden, hvor fliserne buede nedad og lidt udad. Der blev ikke set nogen forskel på disse målinger og resten af fliserne i samme område.

I forbindelse med den ikke destruktive undersøgelse af fliserne, blev der lavet målinger med radar oven på fliserne.

Nedenfor er vist resultatet fra sådan en måling.



Figur 3: Radar – måling udført oven på fliserne

Det ses, at kobberstritterne typisk har et dæklag på ca. 20-25 mm fra overfladen. Flisen er ca. 3 cm tyk (øverste sorte linje). Lecabetonen går ca. til 12-14 cm dybde og den total tykkelse er her ca. 24-26 cm. Afstanden mellem stritterne er 30-35 cm.

Visuel inspektion af kobberstrittere og verificering af S'MASH måling.

På baggrund af den ikke destruktive undersøgelse blev der udpeget 4 områder for nærmere inspektion af vedhæftning til strittere. Der er lavet ophugninger i 3 retninger, nord-, øst- og vestvendt facade, fra 2. etage til 5. etage, idet det var, hvad der kunne nås fra liften, der blev brugt til de destruktive undersøgelser.

Ved hver ophugning er kobberstritterens overflade, diameter og dæklag registreret, befæstigelse til både fliseskal og lecabeton/bagvæg afprøvet, og afslutningsvis er karbonatiseringsfronten bestemt i dæklaget over kobberstritter. Efterfølgende er der foretaget reparation af området. Alle informationer er samlet i bilag 5.

Ved fliserne på nord- og østsiden sidder der to kobberstrittere for oven og 2 for neden. De sidder typisk i den 2. yderste stav. Der er 6 stave i en flise. På vestsiden sidder der typisk kun 1 stritter for oven, og en for neden. De sidder i den midterste stav ud af de 5 stave, der er på de testede fliser.

Ved samtlige 4 ophugninger sås der intakte Ø3 mm kobberstrittere, med god vedhæftning til såvel underlag og fliseskal. Det var ikke muligt at trække stritteren, hverken ud af flisen eller ud af lecabetonen og bagvæggen.

I to ud af 4 prøver befandt kobberstritterne sig i karbonatiseret beton. Der ses enkelte rødlige og mørke områder på kobberstrittere, men ingen grubetæring, og følgelig ingen tværsnitsreduktion.

I alle 4 ophugninger blev der set en god vedhæftning mellem flisen og lecabetonen.

Vedhæftningsmæssigt var der ikke noget, der tydede på, at de fliser, der havde en større gennemsnitlig mobilitet, skulle sidde løse eller have en ringere vedhæftning. I alle de ophugninger der blev udført, blev der observeret enten porøse områder i lecabetonen eller fuger i lecabetonen bag ved flisen. Det er disse mere porøse områder samt fuge i lecabetonen som har givet anledning til den hule klang, når de blev anslået med en lille hammer, og dermed har givet den forhøjede gennemsnitlige mobilitet.

Delkonklusion

På baggrund af vore iagttagelser og prøvning af fliser på facaden kan følgende opsummeres:

- Der er ikke fundet nogle fliser der sidder løse eller som kan rokkes ved kraftig påvirkning
- Nogle af kobberstritterne befinder sig i karbonatiseret beton
- Der er ikke observeret tegn på nedbrydning på nogle af de kobberstrittere, der er lavet ophugning til
- Der er ikke nogle af de frilagte kobberstritterne, der har kunnet trækkes ud ved kraftigt træk.

Samlet konklusion

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

Altaner

De undersøgte altandele befinder sig primært i en beton, der ikke er karbonatiseret ind til armeringen. Der er dog set, at bøjlerne på en søjle ligger i karbonatiseret beton, hvorfor de ikke er beskyttet. Der er på ydersiden af altankarnapperne observeret nogle afskalninger i de steder, hvor armeringen lokalt har et lavt dæklag.

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.

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

Betonbagvæg

Den undersøgte beton har vist sig at have en forholdsvis god styrke. Betonens er dog karbonatiseret i en sådan dybde, at armeringen ikke længere er beskyttet mod korrosion. Ydermere indeholder betonen alkaliskelreaktive tilslag og den er ikke frostbestandig.

Dette betyder, at konstruktionen er meget følsom over for vandpåvirkning. Hvis betonen holdes tør, vil der ikke forekomme nogen nedbrydning af hverken armeringen eller af betonen. Hvis betonen derimod opfuges lokalt, er der risiko for, at armeringen begynder at korrodere samt at der opstår alkaliskel skader..

Det vurderes, at den manglende frostbestandighed ikke har nogen indflydelse, med mindre der foretages en kraftig isolering indefra, der vil hindre, den nuværende passive opvarmning af betonen. Risikoen for, at betonbagvæggen bliver opfugtet, vurderes dog at være mindre sandsynlig med forplade af lecabeton og fliser. Der vurderes derfor ikke at være nogen umiddelbar risiko for nedbrydning af betonbagvæggen.

Facadefliser og fuger

Vore observationer indikerer, at facadefliserne og -båndene sidder rimeligt forsvarligt fast på facaden. Der er heller ikke gjort nogen observationer af, at der skulle være afskalninger på nogle af de undersøgte konstruktionsdele.

Selv om nogle af kobberstritterne skulle befinde sig i karbonatiseret beton, er der ingen tegn på nedbrydning af disse, hvilket indikerer, at de stadig er intakte og opfylder deres funktion til fulde.

Fugerne mellem fliserne og mellem facadebåndene er til gengæld stærkt nedbrudte og det må forventes, at de fortsat nedbrydes som følge af regn, vind og frost. Der er flere steder, hvor fugen er helt væk. De manglende fuger vil give anledning til, at der kommer mere

vand ind i lecabetonen og påvirker vedhæftningen mellem lecabeton, flisen samt det miljø, som kobberstritterne befinder sig i og i sidste instans kunne fugte bagvæggen op, således at de instøbte armeringsjern vil tæres.

Hvis konstruktionen dækkes ind eller fugerne skiftes, vurderes der ikke at være nogen risiko for holdbarheden af facaden de næste årtier ift. denne undersøgelses resultater.

Anbefaling

Vi anbefaler at få verificere kobberstritternes nøjagtige befæstigelse i betonvæggen, da de udførte undersøgelser ikke har kunnet dokumentere, at det er udført i overensstemmelse med den udleverede tegning.

Dette kunne gøres ved grundig ikke destruktiv gennemgang af 1-2 facadeelementer i terrænniveau, med efterfølgende ophugning for visuel inspektion i mindre områder.

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

Brian Kofoed
Specialist
Beton


Allan Lion Kristensen
Specialist
Beton