

REGNTÄTHET HOS PREFABRICERADE BETONGSANDWICHVÄGGAR MED FÖNSTER- OCH BALKONGANSLUTNINGAR



Besiktning i fält och laboratorieförsök

Lars Olsson

2021-09-13

FÖRORD

Projektet har finansierats av SBUF (huvudfinansiär), RISE och medverkande företag. PEAB sökte projektet och RISE, Lars Olsson har varit projektledare och författare.

Tack till UBAB och Abetong för visning av tillverkning av betongsandwichelement i fabrik, informerat allmänt om diverse byggprojekt och utfört projektering och tillverkning av försöksobjekt. Tack till fastighetsägare för tillåtelse till att besikta fasader.

Tack till Johan Olofsson, SFR för medverkan vid besiktningar.

Tack till André Martinsson för provningar och förberedelser och Rickard Dawson för förberedelser och Eva Sikander för synpunkter, samtliga RISE.

Tack till projekt- och referensgrupp för stort engagemang och värdefulla synpunkter.

Projektgrupp:

Henrik Carlsson	WSP
Magnus Jönsson (Göran Östergaard)	Abetong
Anders Lindgren och Andreas Simfors	UBAB
Mattias Gunnarsson	PEAB
Roger Persson	NCC
Johan Olofsson	SFR
Charlotte Svensson Tengberg	Skanska
Pär Åhman	Byggföretagen

Referensgrupp:

Mats Franzon	Akademiska Hus
Carl-Eric Hagentoft	Chalmers
Johnny Kronvall	Strusoft
Kristina Mjörnell	RISE
Paula Wahlgren	Chalmers

Tack till FoU-Väst för synpunkter på projektupplägget och för att ha följt arbetet:

Rolf Jonsson	Besab
Johan Alte	RO-Gruppen
Johan Bergström	Wästbygg
Joakim Dahlgren	Persson Hyrmaskiner
Andreas Furenberg	Peab
Charlotte Flygh	Tuve Bygg
Niklas Gustafsson	Besab
Tobias Hagrenius	Brixly
Mats Karlsson	Thomas Concrete
Fredrik Lansinger	Veidekke
Urban Lindmark	Serneke
Anders Ljungberg	NCC
Charlotte Svensson Tengberg	Skanska
Henric Wahlström	FO Peterson & Söner
Anna Lönn Lundbäck	Byggföretagen
Pär Åhman	Byggföretagen

Lars Olsson

Kalmar, september 2021

SAMMANFATTNING

Historiskt sett har det förekommit vatteninträngning och fortfarande finns det problem med vatteninträngning i nya ytterväggar med betongsandwichelement i varierande utsträckning. Det har tidigare inte kunnat ges en entydig bild över omfattningen men däremot att det finns problem (Brycke & Svensson Tengberg, 2019). Inläckageområden som översiktligt har pekats ut är skarvar och fogar i betongelement, fönster-, balkong-, och bjälklagsanslutningar. Dock var det oklart vad den exakta orsaken eller orsakerna är. Det förefaller tillämpas enstegstättade lösningar i betongsandwichväggar vilket är erkänt problematiskt.

Syftet med studien har varit att ta fram dokumenterad kunskap och data på regntäthet hos en vanlig typ av betongsandwichsystem med vanligt förekommande fasaddetaljer och tätningsprodukter och gradera tätheten vid olika tätningsprinciper samt vid försämrade täthet. Dessutom har en ny tätningsmetod med expanderande fogband testats. Vidare ska avvikelser, brister och aktuell funktion belysas för att skapa underlag inför att kunna förbättra lösningar som förhindrar vatteninträngning i ytterväggar med betongsandwich.

Studien har genomförts i två steg. Det första steget innefattade besiktningar av betongsandwichväggar (endast fasader) genom okulär kontroll samt mätningar av elementlängder och framförallt vertikala fogbredder. I det andra steget utfördes regntäthetsprovning, av försöksuppställningar, i laboratorium enligt standard EN 12865. Genom att skala ner betongelement och balkonger i uppställningen har flervåningsfasader med elementfogar kunnat studeras. Tätning av fogar mellan betongelementen och fönster- och balkonganslutningar har utförts av erfarna fogentreprenörer. Regtäthet har studerats vid tre testomgångar där den första läckagekontrollen utfördes okulärt och i de två andra kvantifierades inläckage genom att inläckageflöden mättes. Inför den tredje omgången skapades avsiktligt några brister, utifrån de brister som påträffats i besiktningarna i steg 1, och inläckageflöde mättes.

Besiktningar visade att i samtliga objekt var vertikala fogar ofta för smala. Den genomsnittliga skillnaden gentemot kontrollanvisningen ”tumregel” i RA Hus och SFR var att fogbredden var för smal mellan betongelementen för vertikala fogar vid besiktningstillfället. Dessutom var det vanligt med vidhäftningssläpp i fogmassan och en förklaring skulle kunna vara för smala fogar. Huruvida det kan vara orsakat av eller i kombination med andra orsaker går inte att utesluta. I en stor andel av objekten påträffades sprickor i fasadbetongen. Generellt sett var TDV-rör (T=tryckutjämnande, D= dränerande, V=ventilerande öppning) felplacerade, ofta placerade ovanför fogkors samt saknade tillräcklig lutning eller hade ingen lutning alls. I några fasader och objekt saknades helt eller delvis TDV-rör. Det påträffades otätheter vid anslutning mot fönster och glipor i expanderande fogband. Det fanns otätheter vid fönsterblecksanslutning mot fasad med risk för att vatten åtminstone kunde tränga in bakom fönsterblecket.

Resultat från laborieförsöken visade på inläckage vid några fönster redan utan vindtryck. När det gäller vindbelastning så har funktionen tryckutjämnning stor betydelse för flera typer av inläckage. Huruvida betongsandwichlösningar i allmänhet kan sägas ha en tryckutjämnning, saknas det uppgifter om. Däremot har en generell beräkning gjorts i studien som pekar på att en betongsandwichväggs insida måste i princip vara helt lufttät i förhållande till utsida med TDV-rör i varje fogkors. Ytterväggens insida behöver enligt en tumregel vara 20 ggr tätare än ytterväggens utsida, för att uppnå tryckutjämnning inuti vägg i förhållande till ute. I dessa försök har dock tryckskillnader uppkommit över fasadskiktet (yttre betongskivan) vid samtliga tryckssteg med vindtrycksbelastning och insidan har varit ungefär 10 ggr lufttätare än utsidan.

Dock är det osäkert hur väl dessa försöksuppställningar representerar verkliga ytterväggar eftersom sådana fältmätningar saknas. Tryckskillnaderna över fasad har varit relativt små eller måttliga, 80-180 Pa, motsvarar vindhastigheter av 10-16 m/s, i många fall när ytterligare inläckage startade. Det har uppkommit inläckage vid övervägande andel av fönsteranslutningar, i expanderande fogband och i både TDV-rör och TUDV-rör. Inläckageflödet uppmättes som mest till mellan 0,1-0,4 l/h vilket motsvarar en andel av 0,1-0,4% av vattenbelastningen per löpmeter fasadlängd. En viss andel av inläckagevatten har inte kunnat mätas då det sugits upp av betong eller ansamlats i isolering och därmed inte kunnat medtas varför inläckageflödena är något underskattade.

Vid laboratorieförsök (försök 1 och 2) var fogar med fogmassa (själva fogen) regntäta. I försök 3 skapades brister för att simulera vidhäftningssläpp. När springan ökades till 3 mm krävdes ingen tryckbelastning för inläckage. Inläckageflödet blev som högst 0,1 l/h vilket var aningen högre än inläckageflödet genom TDV-rör med dålig lutning.

Det fanns indikationer på att det är svårt att åstadkomma en regntät lösning med expanderande fogband. Fogband tog också upp vatten (ej undersökt för tryckutjämnad vägg). Det finns risk för inläckage genom TDV- och TUDV-rör ifall väggar inte är i princip tryckutjämnad.

Det förefaller finnas svårigheter att få den sekundära tätningen (vattenutledning av membran under fönsterkarm och fönsterbleck) under fönster att fästa mot betongen. Det föreföll praktiskt svårt att få den att täta i hörn och vinklar samt att vatten förmodligen kunde transporteras i ytskiktet av tätningen (ovansidan av membranet bestod av textilmaterial). Utformning och tätning av fönsterbleck mot karm var praktiskt svår eller omöjlig att få helt tät i dessa försök och bekräftar tidigare studier. Därför bör det ställas stora krav på sekundär tätning.

Studien pekar på några förbättringsområden för att minska risken för inläckage, bland annat inom följande:

- bristfällig projektering av vertikala fogbredder (fält),
- felaktig montering eller avsaknad av TDV-öppningar (fält),
- risk för inläckage via TDV-rör om tryckutjämnning i vägg är bristfällig (lab),
- TDV-rör kan knappast dränera ut vatten som görs gällande (lab),
- bristfällig montering av sekundär tätning under fönster (lab),
- det blev inte regntätt med ny tätningsmetod av expanderande fogband (lab).

Ett grundläggande problem är att verifiering av lösningar ofta verkar saknas vilket innebär att det kanske inte ens finns rätt förutsättningar för att kunna uppnå säkerställd funktion.

Det behövs mer kunskap om bland annat tryckutjämnning, förväntade tryckskillnader och hur vatten sprids och ansamlas i vägg och hur vatten kan dräneras ut. Det behövs också mer kunskap om vilken betydelse betongsprickor kan ha på regntätheten. Vidare behöver regntäthet undersökas hos andra tätningar och detaljer som inte varit med i denna studie exempelvis fönstertätningar och anslutning mot tak och grund. TDV-öppningen med överlappande fogmassa kan eventuellt ha bättre funktion än TDV-rör och behöver undersökas mer. Det behövs också ökad kunskap om tvåstegstätningar och huruvida det behövs en kombinerad vindtätning och sekundär regntätning.

INNEHÅLL

1	INTRODUKTION	7
1.1	BETONGSANDWICHELEMENT	7
1.2	MÅL/SYFTE	8
1.3	ÖVERSIKTLIG OMFATTNING	8
1.4	METOD	9
1.5	TEORI OCH BRANSCHANVISNINGAR	11
1.5.1	<i>Vindtryck</i>	11
1.5.2	<i>Designstrategier för regn- och lufttäthet</i>	11
1.5.3	<i>Tryckutjämnning av yttervägg</i>	11
1.5.4	<i>Kunskapsläget-några exempel</i>	12
1.5.5	<i>Rörelser i fogar</i>	12
1.5.6	<i>Branschanvisningar</i>	14
1.5.7	<i>Utländsk branschpraxis</i>	16
2	FÄLTUNDERSÖKNING	17
3	LABORATORIEFÖRSÖK	18
3.1	FÖRSÖKSUPPSTÄLLNING	18
3.1.1	<i>Försök</i>	20
4	RESULTAT	25
4.1	FÄLTUNDERSÖKNING	25
4.1.1	<i>Mätningar av element och fogbredd</i>	25
4.1.2	<i>Påträffade avvikelser</i>	27
4.2	REGNTÄTHET VID LABORATORIEFÖRSÖK	28
4.2.1	<i>Objekt 1 i försök 1</i>	28
4.2.2	<i>Objekt 1 i försök 2</i>	30
4.2.3	<i>Objekt 1 i försök 3</i>	32
4.2.4	<i>Objekt 2 i försök 1</i>	33
4.2.5	<i>Objekt 2 i försök 2</i>	35
4.2.6	<i>Objekt 2 i försök 3</i>	36
4.2.7	<i>Översiktlig sammanställning av resultat</i>	37
5	DISKUSSION	39
6	SLUTSATSER	42
7	FÖRSLAG PÅ FORTSATT FORSKNING	44
	LITTERATURFÖRTECKNING	45
	BILAGA 1	46
	RITNINGAR	46
	BILAGA 2	49
	BILDER FRÅN TILLVERKNING OCH LAGRING I FABRIKER	49
	BILAGA 3. BESIKTNING	52
	SPRINGOR, SPRICKOR OCH VIDHÅFTNINGSSLÄPP ETC.	52
	SPRICKOR I BETONGELEMENT	53

TDV-RÖR SOM SITTER FÖRHÖGT ELLER SAKNAR 45° LUTNING.....	54
BLAND ANNAT SPRINGOR VID TDV-RÖR	55
BRISTER I EXPANDERANDE FOGBAND VID FÖNSTERANSLUTNING.....	56
EXEMPEL PÅ YTTERLIGARE AVVIKELSER/BRISTER.....	57
EXEMPEL PÅ YTTERLIGARE AVVIKELSER/BRISTER.....	58
BILAGA 4 LABORATORIEFÖRSÖK.....	59
BILDER PÅ OBJEKT 1 INFÖR FÖRSÖK 1.....	59
<i>Fönster A10-A11</i>	60
<i>Detaljer</i>	61
OBJEKT 1 - DEMONTERING OCH UNDERSÖKNING AV INLÄCKAGEVÄGAR	62
<i>Fönster A10-A11 efter försök 3</i>	62
<i>Fönster B5-B6 efter försök 3</i>	63
OBJEKT 2.....	64
<i>Före montage av fönsterbleck</i>	64
<i>Bilder på pågående provning och detaljer -Försök 1 och 2</i>	66
<i>Försök 1</i>	67
<i>Försök 2</i>	68
<i>Demontering och undersökning av inläckagevägar</i>	69
Fönster A10 efter försök 3.....	69
Fönster B4 efter försök 3.....	70

1 INTRODUKTION

I en nyligen genomförd SBUF studie ID:13651, (Brycke & Svensson Tengberg, 2019) pekades det på pågående problem med vatteninträngning i ytterväggar bestående av betongsandwichelement. Historiskt sett har det förekommit vatteninträngning (Lacasse, 1996, Lacasse et al., 2009) med betongsandwichelement och även idag pekas det på problem med vatteninträngning i nya ytterväggar i varierande utsträckning, med betongsandwichelement. Det finns ingen entydig bild över omfattningen men däremot att det finns problem. Inläckageområden som översiktligt pekas ut är skarvar och fogar i betongelement, fönster- och balkonganslutningar och bjälklagsanslutningar. Dock är det oklart vad den exakta orsaken är. Det förefaller tillämpas enstegstätade lösningar av betongsandwichväggar vilket är erkänt problematiskt.

På senare tid har expanderande fogband börjat användas som tätning av fogar. Dock saknas det uppgifter om den regntätande funktionen vid tillämpning i betongelements skarvar. Däremot har expanderande fogband använts sedan tidigare som tätning vid exempelvis fönsteranslutningar. I en studie för ungefär tio år sedan (Van Den Bossche, 2013) gjordes regntäthetsförsök mellan aluminiumprofiler som visade att flera olika typer av expanderande fogband inte var regntäta vid pulserande lufttryckskillnader redan vid 100 Pa över fogen. Regntätheten var oftast sämre för expanderande fogband vid pulserande vindtryck än i jämförelse med statiskt tryck.

I en tidigare studie, SBUF ID:12847, (Olsson, 2018b, Olsson, 2018a) visade det sig att det är mer regel än undantag att väl utförda fasader (enstegstätade putsfasader och ventilerade fasader av skivor eller träpanel samt enstegstätad tunn betongskiva som fasad), läcker in vatten framförallt vid genomföringar och anslutningar såsom, fönster, balkong, el- och ventilationsrör etc. Det visade sig vara svårt eller omöjligt att praktiskt skapa helt täta tätningslösningar vid det yttersta skiktet, fasadbeklädnaden, i väggen. Ofta är otätheterna inte synliga för blotta ögat varför de är svåra att förhindra. Det innebär att utformning av ytterväggskonstruktionen bakom dessa fasadbeklädnader behöver vara anpassad till förväntade punktinläckage genom fasadskiktet även vid anslutningar, fogar, skarvar och genomföringar.

Så länge det saknas data på regntäthet och uppgifter på inläckagemängder och vattenspridning inuti väggar beroende på fasad och tätningslösning innebär det stora risker i form av bland annat fuktrelaterade skador, inomhusmiljöproblem och att inte kraven på energieffektivisering uppnås (Bednar & Hagentoft, 2015).

En fördjupad och dagsaktuell kunskap som är baserad på faktisk funktion är viktig för att minimera onödiga risker och för att kunna producera väl fungerande och hållbara konstruktioner och byggnader.

1.1 Betongsandwichelement

Betongsandwichelement består av två betongskivor med mellanliggande isolering (betongskivorna är ofta helt brutna med isolering), se bilaga 1 och 2. Isoleringen utgörs ofta av PIR, PF, EPS och mineralullsskivor. Beroende på brandkrav och som köldbryggeisolering används ofta flera olika isoleringar i samma element, se figur 1.



Figur 1. Exempel på gjutning av betongsandwichelement. Pågående gjutning av den andra betongskivan. I denna del av elementet användes mineralullsisolering närmast fönsteröppning och i övrigt EPS.

Den inre betongskivan är bärande och den yttre betongskivan är upphängd i den inre med rostfri/syrafasta anslutningar (bärankarsystem eller stegar). Elementen görs färdiga på fabrik med fönsteröppningar och fönstermontering utförs ofta i fabrik. Fasader målas ibland på fabrik. Ibland gjuts det på olika typer av fasadytskikt på den yttre betongskivan, exempelvis tegel, kakel etc. Vid montering behöver elementen ges en rörelsemån, både i vertikal- och horisontalled, på grund av framförallt temperatur och fuktrörelser i den yttre betongskivan. Fogarna på insidan gjuts vanligtvis igen med betong och att vissa anslutningar tätas med fogmassa. På utsidan sätts vanligtvis en tätningsfog av fogmassa. För att kunna applicera fogmassa krävs att fogen förses med en bottningslist först, se figur 4 och bilaga 1. Bakom bottningslistan ska det finnas en luftkanal, se figur 4, samt drevning längre in för att erhålla en obruten isolering, se figur 4. På senare tid har expanderande fogband börjat användas som fogtätning enligt uppgift.

1.2 Mål/syfte

Syftet är att ta fram och dokumentera information och data på regntätthet hos en vanlig typ av betongsandwichsystem med vanligt förekommande fasaddetaljer och tätningsprodukter och gradera tätheten vid olika tätningsprinciper och studera tätningar som förväntas försämrats med tiden. Dessutom ska studien försöka svara på frågan: vad krävs det för att åstadkomma regntäta principlösningar med några av dagens lösningar och material för att undvika vatteninträngning i ytterväggar med betongsandwich?

Målsättningen är att principer för bra lösningar och ny kunskap ska lyftas fram, och att dessa ska leda till att tillräckligt robusta lösningar används. Denna studie avser att vara en viktig pusselbit för att nå fram.

En övergripande och långsiktig målsättning är att utveckla metodik för generell bedömning av den byggnadsfysikaliska tillförlitligheten/risken med fasader och ytterväggar både för nyproduktion och renovering, vilket har beskrivits mer ingående i (Bednar & Hagentoft, 2015). Mer data behövs vilket denna studie ska bidra med.

1.3 Översiktlig omfattning

Studien omfattar dels okulär besiktning i fält av fasader av betongsandwichelement dels laboratorieförsök med regntäthetsmätningar av betongsandwichelement med fogar, fönster och balkonganslutningar. Betydelsen av inläckande vatten har inte ingått i studien. Studien involverar en vanlig typ av

betongsandwichsystem som beställts inom projektet av två tillverkare. Försöken i laboratorium omfattar framförallt betongsandwichväggar där tätningar utförts av erfarna fogentreprenörer men även till viss del riktade försök där brister skapats utifrån besiktningens resultat samt tidigare erfarenheter av brister som kan förväntas uppkomma över tiden. Laboratorieförsöken omfattar inte anslutningar mot tak och grund.

1.4 Metod

I fält har okulär besiktning av betongsandwichfasader utförts. Besiktningen har oftast skett från marken. Det innebär i de flesta fall att besiktning och mätning av fogbredder (vertikala fogar) och elementlängder har kunnat ske upp till maximalt 3 meter över marknivå. Mätning utfördes med måttband eller tumstock. Dessutom togs foton och iakttagelser dokumenterades, se bilaga 3. Objekten valdes stickprovsmässigt ut av författaren från en objektlista på ungefär 60 byggnader som hade uppförts under de senaste 15 åren. Objektlistan var också av författaren styrd till vissa områden/orter, för att effektivisera besöken, som Malmö-Lund-Kristianstad-Helsingborg, Göteborg, Borås-Ulricehamn, Växjö och Kalmar. För att säkerställa att inte antalet objekt underskreds valdes initialt extra objekt ut från listan för att sedan ta en första kontakt med fastighetsägare för att be om tillåtelse att besikta. I flera fall var det svårt eller inte möjligt att få kontakt eller så gavs det inte tillträde. Vid besök på plats var några byggnader inte åtkomliga eller så var betongsandwichväggar klädda utvändigt med ett helt annat fasadmateriell varför besiktningen utgick. Även om antalet besiktade objekt var minst 10 stycken så utfördes några extra besiktningar. Samtliga orter som fanns med i objektlistan behövde inte besökas då antalet objekt hade uppfyllts.

I laboratorium genomfördes regntätthetsförsök enligt SS-EN 12865 med pulserande vind- och regnbelastning. Tryckstegen var 0 Pa, 0-150 Pa, 0-300 Pa, 0-450 Pa och 0-600 Pa enligt standard och respektive trycksteg varade i en timma. För att kunna mäta inläckageflöde/inläckagemängder så monterades det in uppsamlingsrännor och uppsamlingsfolier som ledde vattnet via rör till luft- och vattentäta uppsamlingsbehållare. Behållarna vägdes efter varje trycksteg och vägningsmomentet tog ungefär 10 minuter. I de fall det samlades vatten under fönsterkarm så skars den invändiga tätningen upp och vattnet samlades upp med fuktsugande papper och vägdes och därefter förseglades tätningen noggrant. Dessutom monterades det in uppsamlingskar längst ner inuti vägg som vägdes efter avslutat försök.

Följande metoder användes för kontroll av vattenbelastningen på fasaden. Vattenflödet från fasadytan, från hela fasadhöjden, uppsamlades längst ner på en fasadbredd av 10 cm i samband med att försök 1 avslutades. Den uppsamlade ytan representerade ett vertikalt område mellan fönster och vertikal elementskarv tillsammans med hela fasadhöjden. Vattnet från fasadytan leddes ner i ett uppsamlingskärl under 1 min och vägdes (detta upprepades tre gånger) som var täckt i övrigt för att förhindra påverkan från vattenstänk och vattendroppar. Vattnets rörelser över fasadytan övervakades okulärt under mätningen och det konstaterades att vattnet rann vertikalt utan tecken på att vatten tillkom eller avleddes i sidled. I samband med försök 2 mättes vattenflödet genom att en plastbelagd metallplåt med små kanter (1 cm utstick) ställdes vertikalt dikt an mot fasaden där fönstren var placerade, (för både den högra och vänstra väggdelen), se figur 2a. Bredden på plåten var 270 mm. Allt vatten som rann på plåten samlades upp nedanför fasaden i ett uppsamlingskar under 5 minuter och vägdes därefter (detta upprepades två gånger), se figur 2b. Uppsamlingskaret var täckt för att förhindra påverkan i övrigt från vattendroppar och stänk.



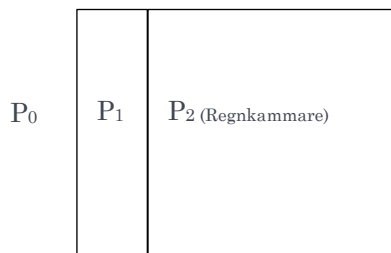
a)



b)

Figur 2. a) Plastbelagd metallplåt med små kanter placerad vertikalt dikt an mot fasaden. Plåtens underkant vilade i ett vattenkar. Vattenkaret täcktes med skiva. Skivan var försedd med en uppstickande kant närmast plåten och längs den motsatta kanten för att hindra eventuellt vatten på skivan att rinna över kanten mot karet. b) Uppsamlingskar med avrinnings slang.

Lufttäthetsmätning av väggens insida utfördes för båda objekten efter regntäthetsförsök 2. Det skapades ett mottryck (P_2) i regnkammaren som var lika stort ($P_1 = P_2$) som det lufttryck (P_1) som skapades inuti väggen med en separat fläkt med luftflödesmätare och slang som kopplades till väggen, se figur 3. Luftläckaget i väggen mättes vid dessa tryckskillnader (P_1) 25, 50, 75 och 100 Pa gentemot referenstryck (P_0), $P_0 = 0$ Pa, i laboratorielokalen.



Figur 3. Tryckfördelning mellan regnkammare (P_2), försöksvägg (P_1) och laboratorielokal (P_0)

1.5 Teori och branschvisningar

I dessa avsnitt ges en inblick i teori, fysikaliska fenomen och branschpraxis.

1.5.1 Vindtryck

Tryckskillnader över ytterväggar kan uppkomma på grund av vindbelastning, termik och frånluftsfläktar (Nevander & Elmarsson, 1994). Vid betydande vindhastigheter så har vindtrycket oftast störst betydelse. Exempelvis motsvarar vindhastigheter på 12 m/s, 17 m/s och 30 m/s vindtryck på ungefär 100 Pa, 200 Pa och 600 Pa (Gustavsson, 2009).

1.5.2 Designstrategier för regn- och lufttätethet

Några vanliga tätningsprinciper av fogar och skarvar är enstegstätning och tvåstegstätning (fib, 2014). Enstegstätning innebär exempelvis att fogar behöver göras helt täta eftersom regn och vindskydd ligger i samma plan. För tvåstegstätning separeras regn- och vindskydd med ett luftutrymme i mellan. Luftutrymmet kan vara en hel luftspalt eller en tryckkammare i anslutning till fogen och dessa luftutrymmen står i förbindelse med uteluften. Om luftutrymmet har en fullständigt tryckutjämnande funktion så uppkommer ingen lufttrycksskillnad över regnskyddet och därmed finns det inga tryckkrafter på grund av vind som driver in regnvatten. Däremot kan vatten ta sig in genom rörelseenergi hos vattendroppar, gravitation eller kapillära krafter. För att dessa tre krafter ska orsaka inläckage krävas exempelvis horisontella öppningar, öppningar som lutar in i väggen respektive öppningar på mindre än någon millimeter för kapillära krafter. Den kapillära kraften dominerar vid mindre än 0,1 millimeter. (Nevander & Elmarsson, 1994)

När det gäller enstegstätning så får väggens inre lufttätethet stor betydelse. Om väggens insida är betydligt lufttätare än fasaden så minskar tryckkraften på fasaden. Att väggens insida skulle vara betydligt lufttätare än en enstegstätad fasad är nog ofta inte troligt. Däremot får väggens inre lufttätethet mindre eller liten betydelse för tvåstegstätning eftersom tryckkraften uppkommer över vindskyddet och inte över regnskyddet.

Det kan vara svårt att säkerställa ett helt tätt regnskydd (Olsson, 2014) för dessa två tätningsprinciper. Dessutom kan kondens uppstå och yrsnö kan tränga in i luftspalter varför en sekundär regntätning bör eftersträvas. Den sekundära tätningen kan i många fall kombineras med vindskydd.

1.5.3 Tryckutjämnning av yttervägg

Ventilationsöppning i fasader behöver vara tillräcklig i förhållande till lufttätheter i väggens insida och disponibel luftvolym i vägg för att inte tryckskillnader ska uppkomma över ytterväggens utsida (fasad). I försök har det framkommit underlag för att kunna ta fram storleken på ventilationsöppningens area baserat på väggens lufttäthet, väggstommens uppbyggnad, väggens/luftspaltens volym (Rousseau et al., 1998), se formler nedan. Tryckskillnader kan uppstå av flera orsaker såsom vindpåverkan, termiska drivkrafter och allmänventilation av byggnaden. En uppskattning, genom beräkning, för påverkan av både dynamiskt och statiskt tryck kan göras enligt nedan. Den största ventilationsöppning av följande två formler är dimensionerande.

Dynamiskt tryck/tryckstötter:

Ventilationsöppning (m^2) \geq (Väggens volym som utgörs av tillgänglig luft (m^3) / 50 m), om väggen är rigid (betongvägg)

Om denna volym antas vara $0,02 m^3$ så behöver ventilationsöppningen vara $400 mm^2$ per kvadratmetervägg.

Statiskt tryck:

Ventilationsöppning (m^2) $\geq 20 \times$ läckagearean för väggindelning

Ett exempel på rimligt luftläckage av 0,1 l/s,m² vid 75 Pa motsvarar en ekvivalent läckagearea på 28 mm² (Rousseau et al., 1998) vilket vid 50 Pa skulle kunna motsvara ett ungefärligt luftläckage på 0,06 l/s,m², d.v.s. förutsätta 5 gånger bättre täthet än kravet, 0,3 l/s,m² enligt FEBY (Forum för energieffektiva byggnader). Det innebär att med ovanstående luftläckage behöver ventilationsöppning i fasader per kvadratmetervägg vara minst 20 x 28 mm² som är lika med 560 mm², vilket är sju gånger större än ett TDV-rör (10 mm diameter) som normalt fördelas i varje fogkors och ofta representerar en yta på minst 9m². Vidare innebär det att TDV-rörets öppningsarea blir 63 gånger för litet enligt denna tumregel för att kunna säkerställa tryckutjämning.

Dessutom, om det finns interna luftförbindelser i väggen så kan lokala skillnader i tryck uppkomma som inte inkluderas av ovanstående formler.

Detta resonemang visar på att det kan vara otillräckligt att tillämpa normalt antal TDV-rör för att uppnå tryckutjämning i betongsandwichväggar även om det endast finns små lufttätheter i väggens insida.

1.5.4 Kunskapsläget-några exempel

Det har ofta uppkommit otätheter i form av sprickor eller vidhäftningssläp kort tid efter fogning med fogmassa. Orsaken anses bero på för smal fog eller en olämplig fogmassa som inte varit tillräckligt klimatbeständig vid inverkan av rörelser (Nevander & Elmarsson, 1994, Lacasse, 1996, Lacasse et al., 2009). Brister i applicering av fogmassa är också ett vanligt problem (Lacasse et al., 2009). Vid applicering är det viktigt att det är släta och porfria betongytor samt att primning kan vara nödvändig (Nevander & Elmarsson, 1994).

Det är förhållandevis vanligt med inläckage i väggar vid fönsteranslutningar oberoende av typ av fasader (Olsson, 2014). Generellt sett förutsätter fönstertillverkare att fönster monteras så att tryckutjämning uppkommer runt hela fönsterkarmen. Även om tryckutjämning uppnås så kan vatten tränga in vid små eller osynliga otätheter på grund av gravitation (Olsson, 2018a). Därför rekommenderas att fönster- och dörröppningar i ytterväggar förses med en vattenutledning, s.k. sekundär tätning (Gustavsson, 2009).

1.5.5 Rörelser i fogar

Rörelse i fogar uppkommer dels initialt då betongen torkar dels vid varierande fuktighet. De varierande fuktrörelserna ger motsatt riktad rörelse i förhållande till temperaturrörelse vid högre temperatur men motsatt effekt vid låg temperatur. Den irreversibla fuktrörelsen kan ha betydelse framförallt om uttorkning/krympning inte sker eller inte sker samtidigt i övriga delar. Däremot ger temperaturrörelser större rörelser och är dominerande. Även andra rörelser såsom exempelvis rörelser av vindpåverkan eller markrörelser är ofta marginella i förhållande till temperaturrörelser. När det gäller fogar i fasadelement är det vanligast att elastiska fogmassor (F 25 LM) används med en rörelseupptagande förmåga av 25%. Det innebär att fogbredden behöver vara fyra gånger större än den totala fogrörelsen för att fogmassan inte ska överbelastas. För beräkning eller dimensionering av korrekt fogbredd se SFR Beräkningsmall nr 8 (SFR 2009). Vid kontroll används SFRs tumregel enligt SFR Montageanvisning nr 1 (SFR 2017), se i efterföljande avsnitt 1.5.6 ”Branschvisningar”.

Exempelvis om temperaturskillnaden (ΔT) antas till som mest till 100 °C (-30 °C och 70 °C) med längdutvidgningskoefficient (α) för betong inom intervallet ($6 \cdot 10^{-6}$ - $12 \cdot 10^{-6}$) (1/°C) ger det enligt formel (se kolumn 2 i tabell 1) en rörelse i fogen på 1,8 till 3,6 mm för 3 meters element (L) och 4,8-9,6 mm för 8 meters element (L) som möts (antar att infästningen medger en symmetrisk rörelse varför halva

elementlängden för de mötande elementen medräknas), se tabell 1. Den irreversibla rörelsen i betong ger en krympning (K), från vattenmättat till 50% RF, på 0,03*-0,06**%, se tabell 1 och kolumn 3. Utifrån ovanstående fogmassas rörelseupptagande förmåga så krävs att fogbredden görs fyra gånger större än förväntad rörelse vilket ger en fogbredd på minst 10,8 och mest 21,6 mm för 3 meters element och på minst 28,8 mm och mest 57,6 mm för 8 meters element. SFRs tumregel ger en fogbredd på 12 mm respektive 32 mm. Därmed överskattar SFRs tumregel erforderlig fogbredd i det minsta fallet med 11% och underskattar fogbredden med hela 44% för den största teoretiska rörelsen. Dessutom har inte de övriga rörelserna beaktas varför ytterligare rörelse kan ske vilket kan öka kravet på fogbredd ytterligare. Det ska tilläggas att om exempelvis betongelementen får krympa klart före applicering av fogmassa så behöver inte den irreversibla rörelsen beaktas men då behöver långtidstorkning kunna säkerställas. Dessutom behöver toleranser beaktas hos betongelement vid dimensionering av fogbredd, för att säkerställa tillräcklig fogbredd, vilket innebär att fogbredden behöver dimensioneras större än vad enbart fogmassan kräver. Det leder till att den färdiga fogen borde oftast bli större än vad som krävs för fogmassan, se utförligare beskrivning längre ner i detta avsnitt.

Tabell 1. Beräkning av elementrörelser (min-max) enligt formler, erforderlig fogbredd och fogbredd enligt SFRs tumregel.

Längd på element (mm)	Temperaturrörelse, Formel $\Delta L_c = \Delta T \times \alpha \times L$ (mm)	Irreversibel fuktrörelse $\Delta L_i = 0,005 \times K \times L$ (mm)	Erforderlig fogbredd ($\Delta L_{tot} \times 4$) med fogmassa F 25 LM (mm)	Fogbredd med SFRs tumregel (mm)
3000 + 3000	3,6**	1,8**	21,6	12
3000 + 3000	1,8*	0,9*	10,8	12
8000 + 8000	9,6**	4,8**	57,6	32
8000 + 8000	4,8*	2,4*	28,8	32
9200+ 9200	11,0**	5,5**	66,0	36,8
9200+ 9200	5,5*	2,76*	33,0	36,8

*min- och **maxvärde för längdutvidgningskoefficient/krympning

Föreningen Svensk Betong ger ut information om toleranser (Svensk Betong 2020) och de angivna toleranstablerna ska vara harmoniserade med AMA Hus. Vid hänvisning till gällande toleranser i projektering så görs det normalt sett till AMA Hus. Toleranser, byggplatstoleranser, avser att täcka tillfälliga, ej planerade avvikelser i tillverkning, utsättning och montage. Enligt Hus AMA behöver inte byggplatstoleranser vara bättre än ± 20 mm. Om en överslagsberäkning görs för toleranser enligt formel i exempel i (Svensk Betong 2020) med tillverkningstoleranser på ± 5 mm för klass A (klass B är ± 8 mm), utsättningstolerans på ± 6 mm och montagetolerans på ± 6 mm så ger det en byggplatstolerans på $\pm 9,8$ mm. Oberoende av om toleranserna exakt uppfyller AMA Hus eller kan göras bättre så utgör toleranserna ett visst extramått som borde kunna synas ofta, det vill säga att fogarna vanligtvis är bredare än vad fogmassan kräver. Detta extramått är troligtvis större än den överskattning av fogbredd med tumregeln som fås i jämförelse med formeln med det minsta värdet på längdutvidgningskoefficient och krympningsandel, se tabell 1.

1.5.6 Branschanvisningar

Svenska fogbranschens riksförbund har upprättat anvisningar för bland annat fogning mellan fasadelement av betong. SFR har låtit ta fram en formel som tumregel för kontroll av fogbredd före fogning (SFR, 2017). Denna formel, se RA Hus i efterföljande avsnitt, är baserad på att fogmassan uppfyller klass F 25 LM i EN 15651-1. Klassning av egenskapsdata för fogmassa härstammar från EN ISO 11600 där exempelvis största rörelseupptagande förmåga är specificerad för dimensionering. Denna tumregel är en förenklad formel varför den ger en något underskattad fogbredd. För att undvika för smal fogbredd vid applicering av fogmassa så bör projekteringen av fasader föreskriva appliceringstemperatur och ta till en säkerhetsmarginal. Vid projektering bör en exakt dimensionering av fogbredder göras enligt SFRs Beräkningsmall nr 8, se hänvisning i RA Hus i efterföljande avsnitt.

AMA (Svensk-Byggtjänst, 2014-) är ett referensverk som används vid upprättande av beskrivningar och utförande (och blir då krav om de tillämpas) av arbeten i byggsverige. RA innehåller råd och anvisningar (kan användas men behöver inte användas etc.) för den som upprättar tekniska beskrivningar.

Följande text i kursiv stil är hämtat från flera versioner av AMA Hus 2014-2021 om inget annat anges.

Bottningslist

Bottningslist ska vara rund och ha porfri yta. (Bottningslist = list som monteras i fog för att ge fogmassan önskat tvärsnitt). Hårdhet och dimension ska anpassas så att listen utgör en stabil formbotten. Vid användning tillsammans med elastiska fogmassor ska listen vara mjukare än fogmassan sedan denna härdat. Listen får inte skada eller missfärga fogmassa eller fogsidor.

I ytterväggsfog, golvfog eller annan fuktutsatt fog får list ha en fuktabsorption av högst 5 volymprocent efter en veckas vattenlagring vid 20 °C. Listen får inte bilda gasblåsor i fogmassan.

Om bottningslist skadas vid montering ska fogning göras minst en timme senare för att undvika blåsbildning i fogmassan. (AMA 2018-2021)

Dränering av fasadfogar i betongelement

Fasadfogar ska ha dränerande och ventilerande kanal i såväl horisontal som vertikal fog. Kanal ska vara minst 15 mm djup och stå i förbindelse med uteluft via tryckutjämnande, dränerande och ventilerande öppning, TDV-öppning. TDV-öppning ska monteras i varje fogkors. Öppning kan utföras som överlappande fog alternativt med TDV-rör. Dimensionering anpassas till fogbredd.

Dränering av fasadfogar

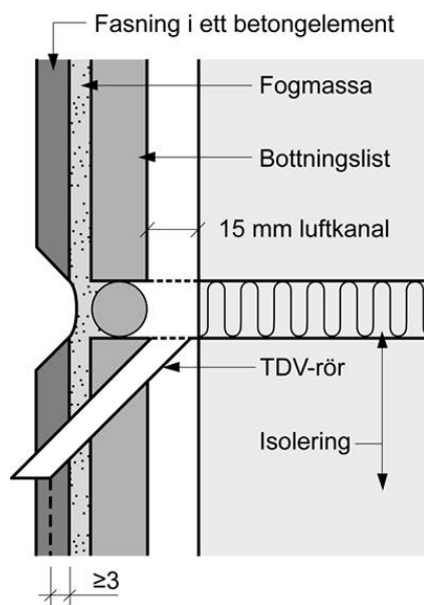
Bakom utvändig fogtätning i yttervägg ska lämnas en minst 15 mm djup kanal för dränering och ventilation av fogen. Kanalen ska stå i förbindelse med uteluften.

TDV-rör ska monteras i varje fogkors med centrumavstånd högst 3 m i rotfog. Rören ska monteras med 45 graders lutning utåt/nedåt och så att de sticker ut minst 3 mm utanför fogmassan enligt figur AMA ZSB.11/1. C. Längden på rören ska avpassas så att kanal inte täpps till. Rören ska förbehandlas genom grundning (primning) alternativt avslipning. Detta stycke kommer enbart från AMA Hus 2014.

(Överlappande fog ska monteras i varje fogkors. Dimensioneringen anpassas till fogbredden. Den överlappande fogen ska starta 120 mm nedanför det undre elementets övre kant. Den överlappande fogen avslutas snett in i elementet med fogens yttre kant lämnar minst 15 mm djup kanal för dränering och ventilation av fogen. Detta stycke var endast med som ett förslag i remissen av AMA Hus 2018).

TDV-rör

TDV-rör ska vara utförd av beständigt plastmaterial och ha inre diameter av minst 8 mm. Dimensionering anpassas till fogbredd. Rör ska vara kapade i 45 grader. Rör ska monteras med 45 graders lutning utåt/nedåt och så att det sticker ut minst 3 mm utanför fogmassa, se figur AMA ZSB.11/1. Längd på rör ska anpassas så att kanal inte täpps till. Rör ska förbehandlas genom grundning (primning) alternativt avslipning.



Figur 4a. "AMA ZSB.11/1. Utformning och placering av TDV-rör." (AMA Hus 2018-2021)

Följande text är hämtat från RA Hus 2018-2021:

Beräkning av fogbredd

Beräkna de rörelser som kan uppstå i fogen. För beräkning av fogbredd för parallellfog, se www.sfr.nu, SFRs Beräkningsmall nummer 8. Hänsyn måste även tas till toleranser, se figur RA ZSB.11/1.

Material och varukrav

Fogbredden, B , i fasad med betongelement där fogmassklass 25 LM används kan beräknas enligt formeln: $B=(l_1+l_2)/500$ där l_1 och l_2 är längden på de två angränsande elementen, angiven i millimeter." enligt RA Hus 2014-2021. "Minsta fogbredd i fasadelement ska vara 12 mm, inklusive toleranser. Största fogbredd bör inte överstiga 30 mm." enligt RA Hus 2014-2021.

Följande text är hämtat från AMA Hus 2018

Utförandekrav

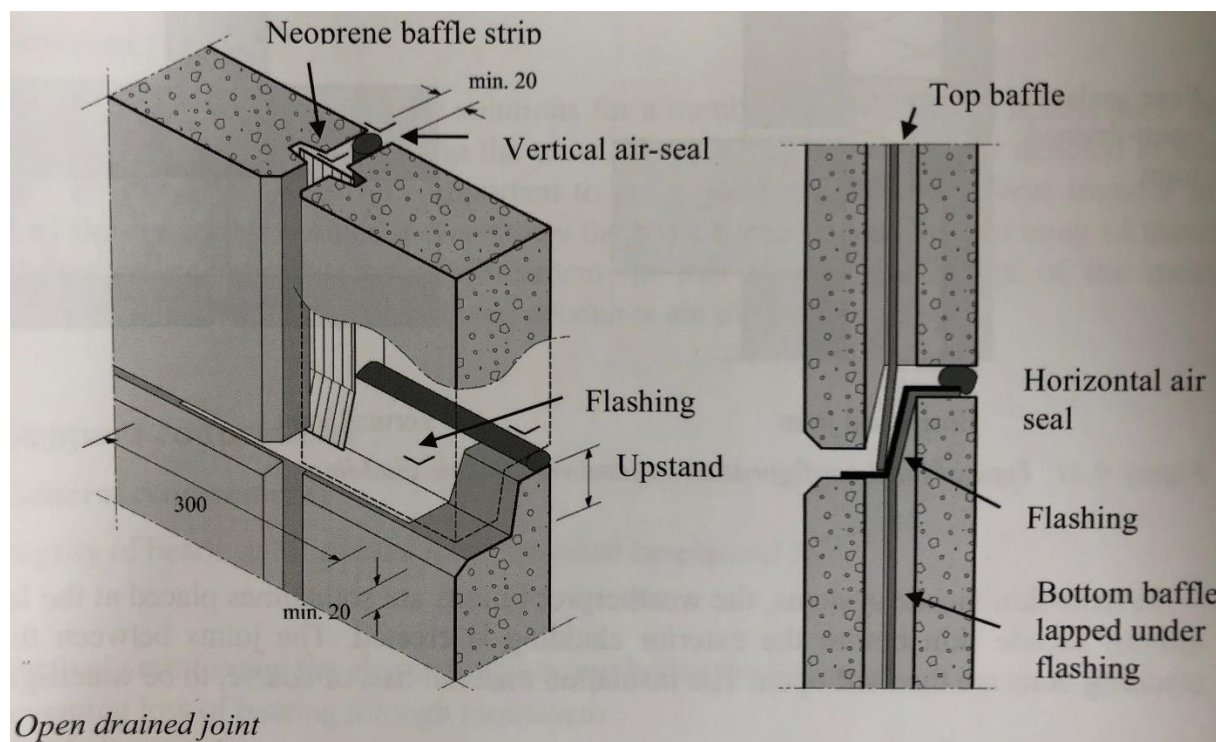
Betong och betongelement som ska fogas ska vara uthärdade minst 28 dygn. Fogsidor ska vara fria från skador, släta, torra och fria från för fogmaterialet eller för vidhäftningen skadliga ämnen, till exempel olja, vax, skyddslack och fasadfärger. Om betongelement är målade på kontaktytorna måste färgen slipas bort före fogning. Grundning (primning) ska utföras enligt fogmassetillverkarens dokumenterade anvisningar och med rekommenderat grundningsmedel, primer. Bottningslistan ska ge fogmassan stöd och avsett tvärsnitt. Bottningslist får inte sträckas vid inläggningen. Vid skarvar ska bottningslistens

ändrar ligga ihop. Fogmassan ska endast häfta vid fogsidorna. Vidhäftning mot annan yta ska hindras med till exempel polyetentejp eller sand i fogbotten. Se figur AMA ZSB.11/2.

1.5.7 Utländsk branschpraxis

I detta projekt har varken litteraturgenomgång och undersökning av utländsk branschpraxis eller utländsk erfarenhetsinsamling ingått. Vilka lösningar som tillämpas och vilka lärdomar som finns hade varit intressant och eventuellt till nytta vid utveckling av bättre lösningar. Det finns en internationell handbok (fib, 2014) som bland annat lyfter fram exempel på designprinciper för både enstegstätad och tvåstegstätad fog. Den enstegstätade är egentligen samma typ av tätningslösning som beskrivits tidigare och består av bottningslist och fogmassa, men utan öppningar. Den enstegstätade är också den vanligaste lösningen. Den tvåstegstätade utförs med luftöppningar och den horisontella och vertikala fogen utförs på olika sätt, se figur 4b. Nivåskillnaden över den horisontella fogen anges behöva vara 50-70 mm för att inte vatten ska driva in. Det anges att tätningen inte är lätt att utföra och görs i flera steg under montering av elementen. Tätningen i fogkorsen kan också vara svåra att få till. Dessutom anges att reparation och byte av tätningar kan vara svåra att göra. Ibland används enstegstätad vertikal fog tillsammans med horisontell tvåstegstätad fog. Ibland görs även den horisontella fogen enstegstätad i kombination med att fogen ges en lutning i den yttre betongskivan.

Hur fogbredder ska dimensioneras anges inte exakt däremot ges rekommendationer på minsta fogbredd. Exempelvis rekommenderas minst 16 mm nominell fogbredd om betongelementen är 6 meter långa. Mer ingående information om detta ges inte utan hänvisning görs i stället till äldre litteratur.



Figur 4b. Exempel på tvåstegstätad fasadfog (fib, 2014).

2 FÄLTUNDERSÖKNING

Fjorton byggnader besöktes och fasader (betongsandwichväggar) besiktades. Tolv av dessa byggnader hade fler än tre våningar (4 till 17 våningar) och de hade synliga fogar som var fogade med fogmassa, se tabell 2. Exempel på fogutformning finns i, se bilaga 1. De övriga två byggnaderna hade putsad fasad med överputsade fogar som inte var synliga, se tabell 2, samt att antalet våningar var en respektive tre. Besiktning dokumenterades och foton som visar avvikelser med relevans för detta projekt visas i bilaga 3. Besiktning utfördes från marken förutom i ett fall där det gavs tillträde till en inte helt färdigställd byggnad och de olika våningarna. Bakom fogen fanns sannolikt en bottningslist som ett mothåll för att kunna applicera fogmassan, se bilaga 1. Fönsteranslutningar var ofta tätade med expanderande fogband, i 7 byggnader, men det fanns även byggnader med fogmassa eller där eventuell tätning var täckt med plåt (L-profil). I ett objekt hade tätningslist använts som tätning mellan fönster och betongkant.

Kontroll och mätningar har utförts i juni och augusti 2020 av Lars Olsson RISE och Johan Olofsson, SFR. Johan Olofsson har deltagit vid 8 av 14 besök. I samband med besiktningarna har uteluftstemperaturen varit inom 14 - 25 °C.

Besiktning har i regel utförts från marken vilket innebär att det omfattar endast ett våningsplan när det gäller mätningar av fogbredder. De horisontella fogarna har bara kontrollmätts eller bedömts beroende på om de varit åtkomliga från marken eller inte. Inga avvikande fogbredder för horisontella fogar påträffades.

De flesta objekt hade fogar av fogmassa som utgör det täta skiktet. Bakom fogen fanns antagligen en bottningslist som är till för att kunna applicera fogmassan (mothåll i bakkant för applicering av fogmassa), se figur 4. Fönsteranslutningar var ofta tätade med expanderande fogband, se tabell 2 och bilaga 3.

Tabell 2. Uppgifter om de besökta byggnaderna med betongsandwichväggar.

Plats	Byggår	Ålder	Våningar	Fogtätning	Tätning fönsteranslutning
1X	2018	2	4	Fogmassa	Exp. fogband
2X	2018	2	5	Fogmassa	Exp. Fogband
3X	2017	3	4	Fogmassa	Exp. fogband
4X	2016	4	6	Fogmassa	Exp. fogband
5X	2016	4	9	Fogmassa	Exp. fogband
6X	2014	6	8	Fogmassa	Fogmassa
7X	2013	7	6	Fogmassa	Tättningslist (fogmassa vid fönsterdörr)
8X	2013	7	8	Fogmassa + bottning med exp. fogband (omfogat på senare tid)	Fogmassa
9X	2006	14	5	Fogmassa	(Plåtinklädd)
10X	2018	2	17	Fogmassa	(Plåtinklädd)
11X	2017	3	13	Fogmassa	Exp. fogband
12X	2017	3	7	Fogmassa	Exp. fogband (fogm vid invikt bleck)
13X	2010	10	1	*Puts	(metallinklädd)
14X	2010	10	3	*Puts	Inputsad karm, (metalltbeklädd)

*Putsad fasad inklusive fogar.

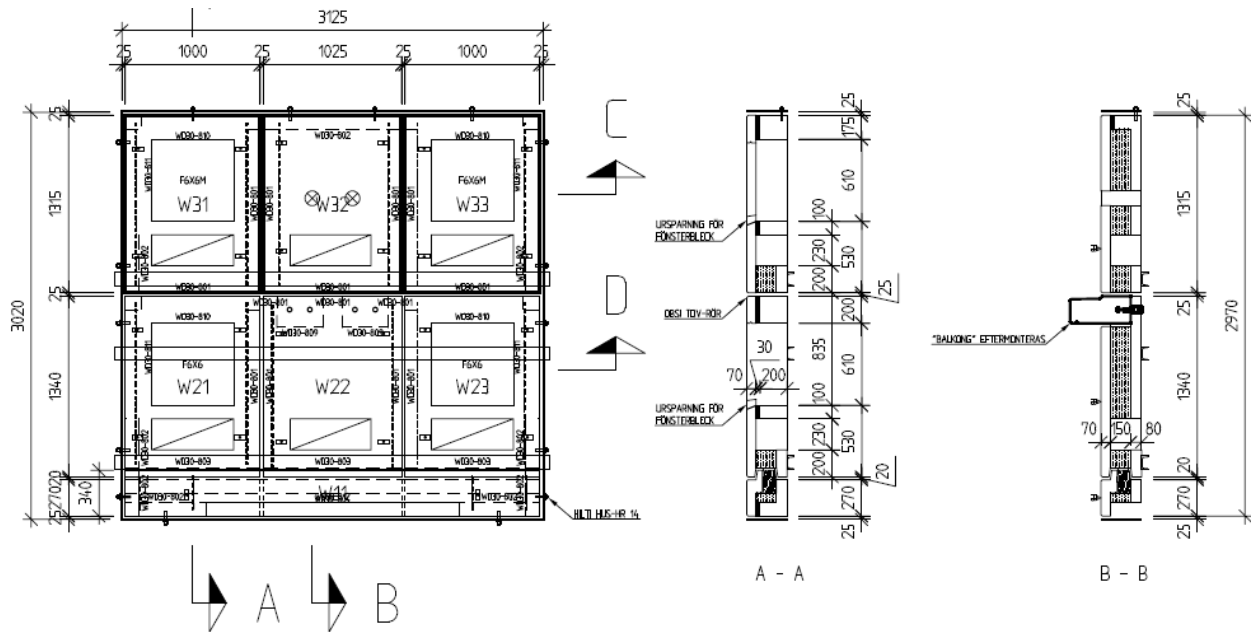
3 LABORATORIEFÖRSÖK

I detta avsnitt beskrivs försöksuppställning, testobjekt (försöksobjekt) och försöken.

3.1 Försöksuppställning

Det var två tillverkare som levererade var sitt betongsandwichsystem utifrån samma tillverkningsritningar. Eftersom system inte skiljde sig åt så kunde de projektera och gjuta elementen utifrån samma ritning. Respektive försöksobjekt monterades i en stålram (testram av stål) med höjd respektive bredd av 3 x 3 meter. Laboratoriet (RISE) tillhandahöll stålram samt 3 stålbalkar för infästning av försöksobjektet, se figur 5 och 6. Respektive försöksobjekt bestod av sex stycken mindre betongsandwichelement med höjd och bredd av 1,3 x 1,0 meter. Fyra av betongsandwichelementen var försedda med ett fönster (fönstren var förmonterade i fabrik av betongsandwichtillverkare), ett betongelement med två balkonger och ett element med ventilationsrörsgenomföring (ventilationsgenomföring gäller endast objekt 1 i försök 3). När det gäller balkongerna så var de inte helt genomgående i väggen eftersom de var infästa i den inre betongskivan. Dessutom fanns ett sjunde betongelement som placerades längst ner med höjd och bredd av 0,4 x 3 meter. Försöksobjektet ska representera en flervåningsbyggnad. I objekt 1 monterades betongsandwichelementen av fasadleverantören och laboratoriepersonal från RISE deltog. Objekt 2 monterades, på samma sätt som objekt 1, men av laboratoriepersonal från RISE. Fogning av elementskarvar i objekt 1 utfördes av erfaren fogentreprenör från betongsandwichtillverkaren. Fogning av elementskarvar i objekt 2 utfördes också av en erfaren fogningsentreprenör. Fogningen utfördes ungefär 5 veckor efter gjutning för båda objekten. Hälften av objekten fogades med fogmassa (den vänstra halvan av objektet sett från utsidan) och den andra halvan fogades med expanderande fogband för respektive objekt. Extra tätning mellan betongsandwichelement och testram utfördes av laboratoriepersonal. Dessutom har laboratoriepersonal lufttätat objektens/väggarnas insida, se figur 7. För att möjliggöra detektering och mätning av eventuella inläckageflöden i vägg så projekterades och skapades vid gjutning inspektionsöppningar/utsparningar i den inre betongskivan på väggens insida under fasaddetaljer, se figur 7. I verklig tillämpning i byggnader brukar fogarna drevas med mineralull, förutom en luftkanal på 15 mm närmast utvändigt fogtätning, se figur 4, samt gjudas igen med betong på väggens insida, se bilaga 1. I dessa försök har drevning och gjutning utelämnats för att möjliggöra inspektion under försöken. Inspektionsöppningarna sattes igen med polykarbonatskiva (plexiglas) och tätades med blå labbtejp på väggens insida, se figur 7. Även fogarna på försöksobjektets insida samt anslutning mot invändig fönsterkarm förseglades med transparent plasttejp och blå labbtejp, primer applicerades på betongen för att förbättra vidhäftning för tejp.

Samtliga skarvar/fogar mellan elementen förutom den nedersta horisontella skarven var av typen raka skarvar, se figur 5. Den nedersta skarven var av typen not och spont, se figur 5.



Figur 5. Elevation för båda försöksväggarna (objekt 1 och 2). Ursparning för fönsterbleck finns angiven i A-A och för balkong i B-B.

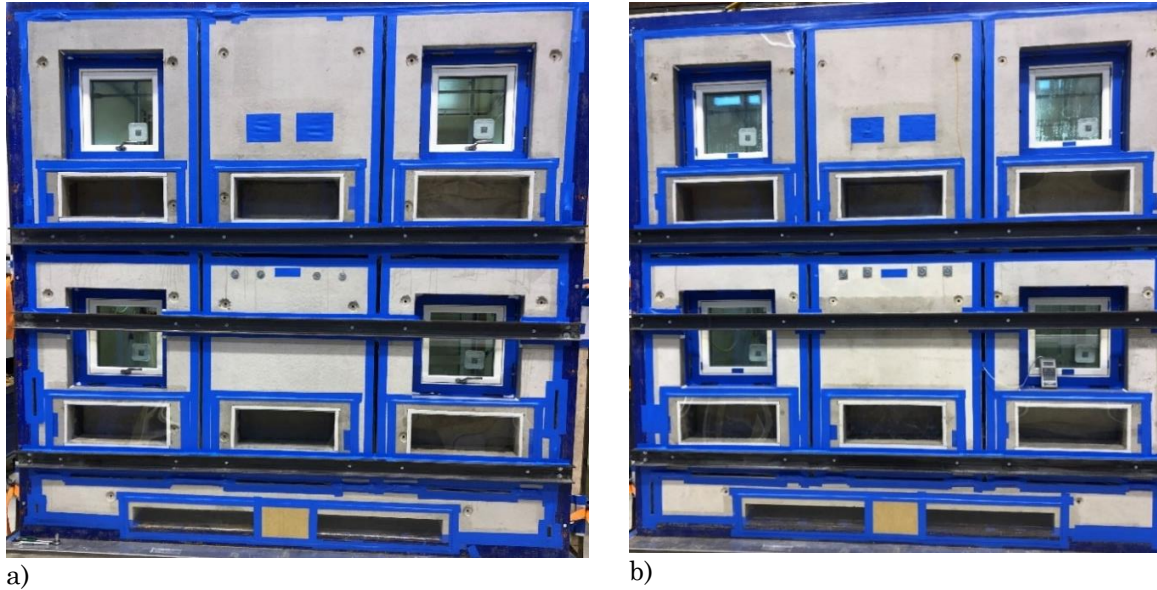


a)



b)

Figur 6. Objekt 1, a) utsida (fasad) av betongsandwichvägg monterad i regnkammare, b) objekt 2, utsida (fasad) betongsandwichvägg direkt efter regnexponering i regnkammare.



Figur 7. a) Objekt 1, insida av vägg, b) objekt 2, insida av vägg.

I objekt 1 användes dels TUDV-rör (T=tryckutjämnande, U=uppsamlande, D= dränerande, V=ventilerande) med invändig diameter av 6 mm, se figur 13d, dels TDV-rör med invändig diameter av 8 mm, se figur 10c-d, samt TDV-öppning i form av överlappande fog med fogmassa med öppningsmått av ungefär 20 (höjd) x 25 (bredd) mm som var 8 cm lång i vertikalled, se bilaga 4. Runt fönsterkarmen användes expanderande fogband med en fogbandsbredd av ca 5 cm, se bilaga 4. Vid de övre fönstren användes också ett extra expanderande fogband med en bredd av ca 1 cm mot betongkanten.

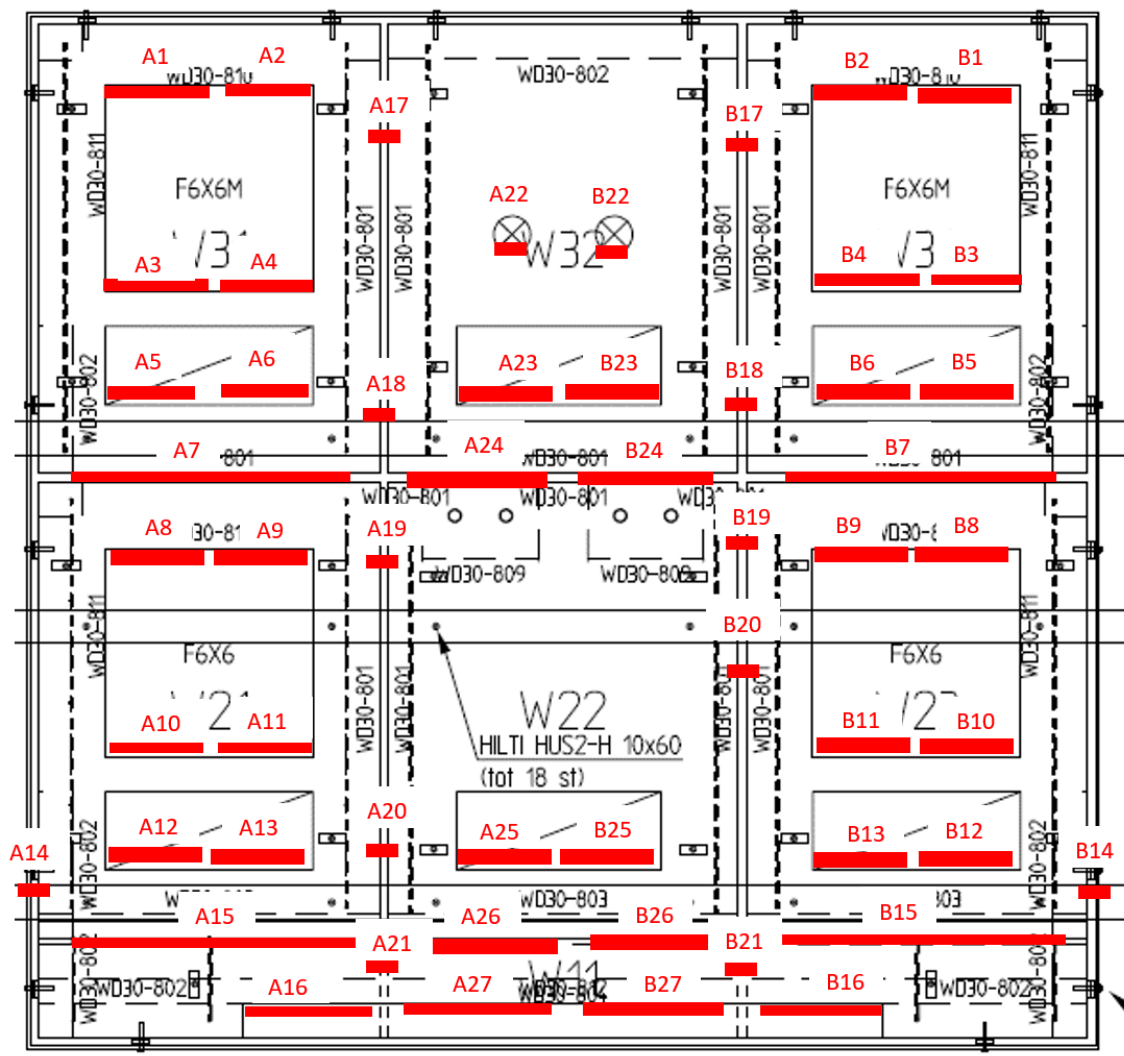
I objekt 2 användes TDV-rör med invändig diameter av 10 mm samt en TDV-öppning med överlappande fog med fogmassa med öppningsmått av ungefär 20 (höjd) x 25 (bredd) mm som var endast 2 cm lång i vertikalled men bottningslisten var 10 cm lång i vertikalled, se bilaga 4. Fogbandet runt fönster hade en bredd av 20 mm, se bilaga 4. Vid de övre fönstren satt även ett yttre fogband som var mindre med ungefärlig bredd av 1 cm mot betongkanten, vid tre av fönstrets fyra sidor (ej i underkant).

3.1.1 Försök

Tre olika försök har genomförts för respektive objekt:

1. De beskrivna objektens regntäthet testades vid uppkomna lufttrycksskillnader. En subjektiv uppskattning gjordes av inläckagemängder. Detta försök ska representera utförda fogar och tätningar utförda av erfarna fogentreprenörer, se figur 7 (förstoring av bilder finns i bilaga 4). Försöket utfördes 4 veckor efter fogning.
2. Detta försök är en upprepning av försök 1 förutom att det utökades med inläckagemätningar genom uppsamling av inläckagevatten, se figur 9. Försöket utfördes 9 veckor efter fogning.
3. Inför detta försök skapades representativa brister, se figur 10 och 11, och därefter genomfördes försöket och inläckagemätningar. Det högsta trycksteget 0-600 Pa hoppades över. Försöket utfördes mer än en vecka efter ändringar.

För att kunna redogöra för var eventuella inläckage uppkom så gjordes ett förslag på intressanta mätpunkter som lades in på en väggritning (insida av vägg) före försöken startade, se figur 8.



Figur 8. Mätpunkternas placering är markerade med rött streck samt beteckning med en bokstav och en siffra. Mätpunkterna med beteckning A finns bakom väggdelen med expanderande fogband i elementskarvar och mätpunkterna med beteckning B representerar väggdelen med fogmassa i elementskarvar.

När det gäller försök 2 så kompletterades objekten före försöket med uppsamlingsrännor inuti vägg, se figur 9. I vertikala betongskarvar monterades det in uppsamlingsrännor som kopplades ihop med slang till uppsamlingskärl som fick hänga på insidan av väggen, se figur 9b. Dessutom försågs ursparningar (inspektionsöppningar) inuti vägg med uppsamlingsfolier som formades till stora trattar för att kunna leda ut vatten till uppsamlingskärl via slang, se figur 9a. De nedersta inspektionsöppningarna försågs med uppsamlingskar, se figur 9c, samt i den horisontella mittenskarven (A7 och B7). Slanggenomföringar tätades med tätmassa på insida av vägg.



a)



b)



c)



d)



e)

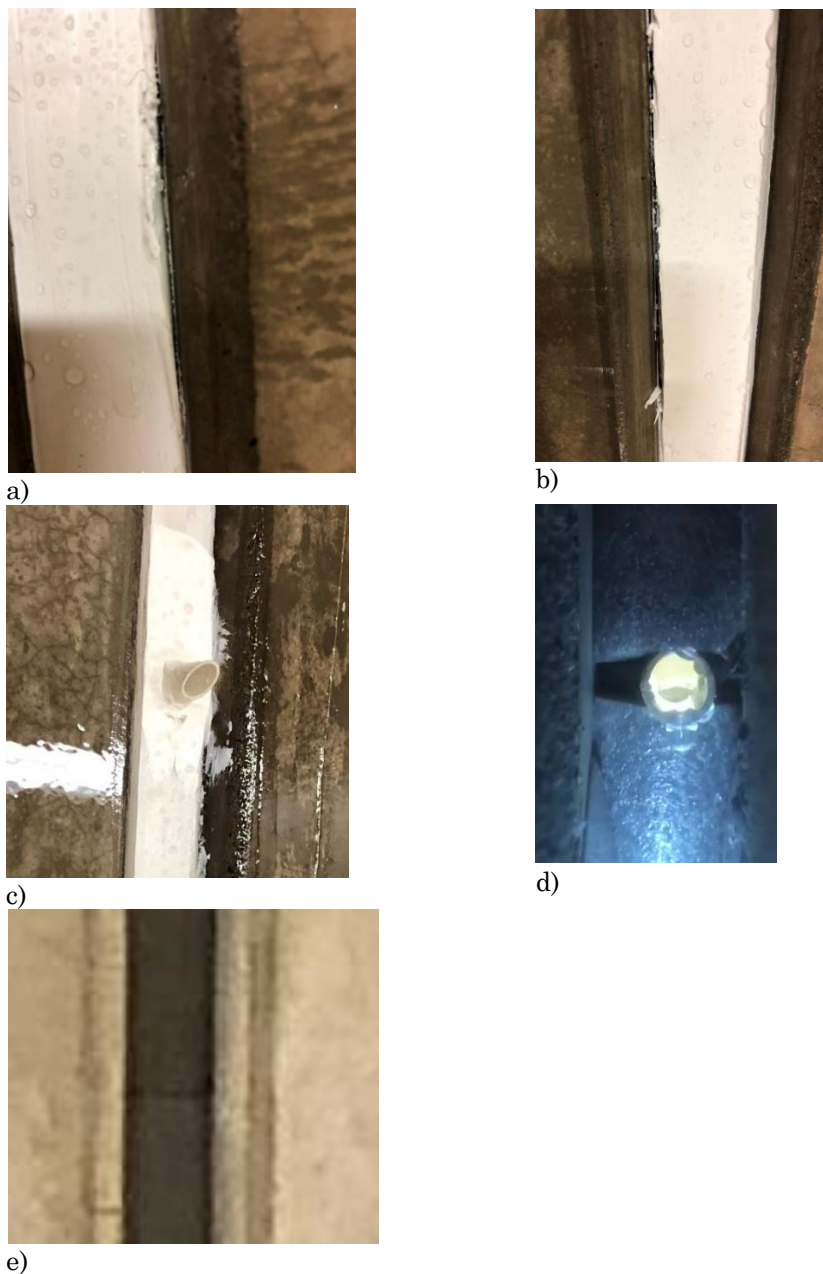
Figur 9. a) Baksida vägg med uppsamlingsbehållare, b) Uppsamlingsränna för vertikala elementskarvar, c) uppsamlingskar d) skyddsfolie hängdes upp för att avgränsa regnexponering till utvalda områden, e) för att skydda inläckage via TDV-rör trädde en skyddsslang över röret och slangens försågs med en skyddskåpa (halv PET-flaska) över slangmynningen.

För att kunna utesluta eller utröna inläckagepunkter och/eller inläckagevägar så utfördes kompletterande tester av försök 2 genom att övriga delar av fasaden skyddades med en plastfolie, som hängdes upp ungefär 2 cm framför fasaden som skydd mot vattenexponering, se figur 9d. Dessutom för att undvika inläckage via TDV-rör eller TUDV-rör så förlängdes rör på utsidan med en slang som trädde på och försågs med en skyddskåpa (halv PET-flaska) över slangmynningen, se figur 9e.

Inför försök 3 skapades brister i objekt 1 genom att i den vertikala fogen med fogmassa skars upp på två ställen (mellan B19-B20) dels 5 cm lång springa (0-1 mm) mellan fogmassa och betong, se figur 10a, dels 20 cm lång springa (0-1 mm) mellan fogmassa och betong, se figur 10b. Det monterades in ett nytt TDV-rör (8 mm invändig diameter) utan lutning i vertikal skarv, se figur 10c, som utfördes av fogentreprenör. På en begränsad vertikal sträcka byttes det expanderade fogbandet ut mot ett fogband avsedd för mindre fogbredd, utfört av fogentreprenör. Dessutom sattes ett nytt horisontellt fogband med placering så att det

stack ut 5 mm från betongytan, utfört av fogentreprenör. Dessutom gjordes försök att skava bort lite av fogbandet (det yttre fogbandet) på ett av de övre fönstren.

I objekt 2 skars också fogen upp på samma sätt som i objekt 1. Dessutom ökades springorna till 3 mm, se figur 11a och 11b, inför utökat försök. Även en horisontell fog skars upp med en längd av 10 cm med springbredd av 0-1 mm, se figur 11c. Springan ökades till ca 5 mm inför ett utökat försök. I ett fogkors med fogband skapades ett hål i fogbandet, se figur 11d, med en 5 mm borrh. Dessutom skars det bort lite av det vertikala fogbandet (yttre fogband) vid fönster på en sträcka av 2 cm närmast övre fönsterhörn, se figur 11e. Ett av fönstren hade en plåtinklädd smyg där plåten bröts ut ungefär 5 mm på en vertikal sträcka av ca 15 cm närmast övre fönsterhörn, se figur 11f.



Figur 10. Objekt 1 inför försök 3, a) Uppskuren vertikal fog, 5 cm lång med 0-1 mm springbredd, b) uppskuren vertikal fog, 20 cm lång med 1 mm springbredd, c) nytt TDV-rör utan lutning sett från utsidan, d) nytt TDV-rör sett från insidan under pågående försök, e) nytt vertikalt fogband med skarv.



a)



b)



c)



d)



e)



f)

Figur 11. Objekt 2 inför försök 3, a) Uppskuren vertikal fog, 20 cm lång med ca 0-1 mm springbredd, b) uppskuren vertikal fog, 20 cm lång med 3 mm springbredd (i samband med utökat försök), c) Pågående uppskäring, 10 cm lång och 0-1 mm springbredd, av horisontell fog inför utökat försök, d) ett hål skapades med en borrar på 5 mm som borrarades genom fogbandet, e) Två cm av det vertikala fogbandet togs bort i det övre högra hörnet sett utifrån, f) den extra plåtbeklädnaden bröts ut ungefär 5 mm längs en vertikal sträcka av ca 15 cm.

4 RESULTAT

Resultatet från fältundersökning och laborieförsök.

4.1 Fältundersökning

Resultaten har delats upp i mätningar och påträffade avvikelser.

4.1.1 Mätningar av element och fogbredd

Kontroll av fogbredder har utförts mot anvisning i form av tumregel (för kontroll) i RA Hus och SFR (anvisningarna är harmonierade med varandra).

Tabell 3. Antal uppmätta fogar som inte uppfyller kontrollanvisning enligt SBR eller RA Hus, skillnaden i procent från anvisningen utifrån medelvärde av aktuella fogar samt max och min. För de uppmätta fogar som uppfyller kontrollanvisningen så anges skillnaden utifrån medelvärde av aktuella fogar. Om vidhäftningssläpp har påträffats hos fog med fogmassa så anges det med ja eller nej.

Byggår (ålder)	Byggnad	Vån	Fogtätning	Längsta element	Antal vertikala fogar som ej uppfyller anvisning (antal mätta fogar)	Skillnad i % från anvisning på fogbredd (medel av de som inte uppfyller anvisning, (skillnad i max/min inom parentes)	Skillnad i % (medel av de som uppfyller anv.)	Förekommer vidhäftningssläpp i vertikala fogar, se tabell 5
2018 (2)	1X	4	Fogmassa	7 + 4 m	2 (9)	-14 (-18/-9)	+43	Ja
2018 (2)	2X	5	Fogmassa	9,9 + 7,5	12 (12)	-48 (-56/-41)	+8	Ja
2017 (3)	**3X	4	Fogmassa	-	-	-	-	-
2016 (4)	4X	6	Fogmassa	6,5 + 6,5 m	7 (7)	-35 (-51/-23)		Ja
2016 (4)	*5X	9	Fogmassa	9,2 + 9,2 m	7 (7)	-53 (-59/-48)		Ja
2014 (6)	6X		Fogmassa	9,5 + 7,4 m	4 (5)	-41 (-65/-26)	+70	Ja
2013 (7)	7X	6	Fogmassa	9,1 + 8,4 m	8 (12)	-40 (-69/-13)	+48	Nej (omfogat)
2013 (7)	8X	8	Fogmassa + bottning med fogband	7,2 + 6,2	5 (5)	-35 (-48/-17)		Ja (omfogat på senare tid)
2006 (14)	9X	5	Fogmassa	9,2+3 m	7 (13)	-30 (-58/-8)	+39	Ja
2018 (2)	10X	17	Fogmassa	6,5 + 4 m	6 (10)	-26 (-36/-5)	+24%	Nej (ej färdigt)
2017 (3)	11X	13	Fogmassa	8,0 + 8,0 m	2 (2)	- 64 (-66/-59)		Ja
2017 (3)	12X	7	Fogmassa	7,8 + 6,4 m	15 (19)	- 25 (-42/-12)	+ 4%	Ja

* Problem med inläckage enligt uppgift. ** Ej åtkomlig/besiktbar.

Av totalt 106 fogar (vertikala fogar) var fogbredden inte tillräcklig för 80 fogar, se sammanställning/summering i tabell 3. I samtliga aktuella objekt (11 st kontrollerades) fanns det fogar som inte hade tillräcklig fogbredd. I de två objekt som inte hade fått vidhäftningssläpp var fogen applicerad relativt nyligen, pågående fogning vid nyproduktion respektive omfogat de senaste åren.

Mätresultaten för samtliga aktuella objekt visar att skillnaden i genomsnitt mot kontrollanvisning ”tumregel” var 37% för liten fogbredd av vertikala fogar enligt RA Hus 2014-2021. Dessutom var fogbredden inte tillräckligt bred i tre fjärdedelar av totalt antal uppmätta fogar. Eftersom denna bedömning gjorts mot en tumregel så ska resultaten ses som ungefärliga. De horisontella fogarna bedömdes ha tillräcklig fogbredd.

Vid dessa mätningar har utomhustemperaturen legat på mellan 14-25 grader vid besiktningstillfället vilket skiljer 4-15 °C från exempelvis ett antaget utgångsläge av 10 °C. Dessutom kan temperaturen ha varit högre på grund av solstrålning på vissa fasader trots att fasaderna inte upplevdes varma vid subjektiv kontroll. Om en hög temperatur 50 °C antas för 8 meter långa betongelement så skulle dessa temperaturskillnader i förhållande till SFR Beräkningsmall nr 8 motsvara 6-13% fogbreddsminskning. Dessutom ger mallen 11% mindre fogbredd i ett minstafall. Om dessa ytterligheter adderas så utgör de 24%. Det går inte att utesluta att ett begränsat antal fogar skulle ha klarat sig men å andra sidan pekar det på att betydligt fler fogar kan ha haft för smala fogbredder då tumregeln kan underskatta bredden med hela 44% för en ytterlighet, ”se avsnitt 1.5.5 Rörelser i fogar”. Dessutom ska det i projektering tas med toleranser som gör att fogbredden ofta blir bredare än den fogbredd som beräknas i SFR Beräkningsmall nr 8. Tumregeln bedöms därför vara konservativ varför resultaten tyder på att en övervägande andel fogar var för smala.

Åtta objekt hade fått vidhäftningssläpp i fogar, se tabell 4. Se bilder på vidhäftningssläpp i bilaga 3. Vidhäftningssläpp uppkom lite olika bland annat punktvis eller växelvis, d.v.s. att släppet turades om mellan fogens sidor. Eftersom besiktningarna utfördes sommartid kan större springor förväntas vid vidhäftningssläpp under övriga årstider då det är kallare. Åtta objekt hade sprickor i betongfasaderna ofta vid fönsteröppningar, se tabell 4. Generellt sett var TDV-rör felplacerade, saknade lutning etc. Det påträffades otätheter vid anslutning mot fönster och glipa i expanderande fogband, otätheter vid fönsterblecksanslutning mot betongfasad. Det finns en osäkerhet om den yttre fönstertätningen (extra tätning vid fönster som sätts mot betongkant) är tillräcklig för metallbeklädda fönster eftersom det finns skarvar i metallbeklädnaden där vatten kan tränga in bakom den yttre fogbandstättningen, se bilaga 3.

4.1.2 Påträffade avvikelser

Sammanställning av påträffades brister i samband med fältundersökning/besiktning.

Tabell 4. Antal avvikelser för typ av avvikelse per objekt/byggnad, totalt antal avvikelser och totalt antal objekt med avvikelser.

	Vidhäftningssläpp i vertikal fog	Vidhäftningssläpp/spricka i horisontell fog	Spricka i fogmassa	Glipa expanderande fogband vid fönster	Skador på expanderande fogband vid fönster	Brister i vattenutledning under fönster	Spricka i betongelement	Otät fog runt fönster	Skador på kanter eller hörn i betongelement	Tätning mot underkant av metallbeklädnad (fönster)	Övriga otätheter vid fönster, fönsterbleck, ojämn betong	Sprickor i puts (som ytskikt)	Färg på fogar, tveksam kompatibilitet	TDV-rör saknas fogtors	TDV-rör saknas vid balkong	TDV-rör sitter förhögt	TDV-rör saknar eller liten lutning eller rak mynning	Sprickor vid TDV-rör	Vertikala fogar saknas vid murverksrand	Saknas tätning runt ventilgenomföringar	Omfogat
9X	6		3				4							1						1	
8X							5								1	3	3				1
7X	2	3					3				2			1	1	3	3	1		1	
6X	3	2					2	1							2	4	1	2			
5X	7						2				1				3	5	1	1			
4X	1			4			6						1			4					
3X																			1		
2X	1					1	2										2	3			
1X														1		3	1				
10X*																					
11X	2				2				2	1					1	2	1				
12X	2			1			1									2	2				
13X**												2									
14X**												4									
Totalt antal avvik.	24	5	3	5	2	1	25	1	2	1	3	6	1	3	8	26	14	7	1	2	1
Antal objekt med avvikelse r	8	2	1	2	1	1	8	1	1	1	2	2	1	3	5	8	8	4	1	2	1

*Ej färdigställd byggnad. **Överputsade fogar

4.2 Regntäthet vid laboratorieförsök

Resultat från de tre försöken och för respektive objekt är uppdelade i varsitt avsnitt.

Vattenbelastningen på fasaden mättes genom att vattenavrinningen uppmättes längst ner på fasaden. Vattenflödet blev 4,34 l/min,m för försök 1. I försök 2 uppmättes vattenflödet till 3,14 l/min,m (188,5 l/h,m) för väggdel A, och 3,12 l/min,m (189,3 l/h,m) för väggdel B.

Följande tabell, tabell 5, visar gradering av uppskattat inläckageflöde samt vad det kan motsvara i l/min.

Tabell 5. Skala för uppskattning av inläckageflöde.

Uppskattad läckagegrad	l/min
L1- Enstaka droppar	≤ 0,0001
L2- Droppar kontinuerligt	0,0001-0,01
L3- Lågt flöde	0,02-0,05
L4- Påtagligt flöde	0,06-0,1
L5- Kraftigt flöde	≥0,2

4.2.1 Objekt 1 i försök 1

I detta försök har regntätheten testats, se mer ingående beskrivning i kapitel 3.1.1.

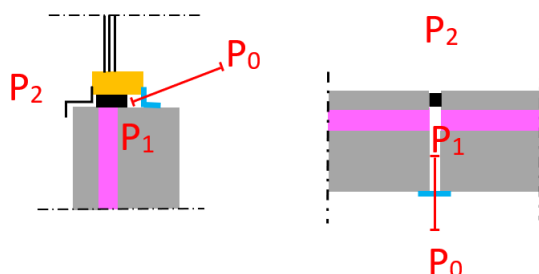
Tabell 6. Objekt 1, tabellen visar om inläckage uppkommit (läckage anges som läckagegrad, L1-L5) för respektive mätpunkt och trycksteg.

Mätpunkt	Detalj	0 Pa	150 Pa	300 Pa	450 Pa	600 Pa	kommentar
A10-A11	Fönster				L2	L2	Vatten samlades under fönsterkarm
A18	Vertikalt fogband				L1	L1	Vatten droppade fram mellan fogband - betong, ev. från skarv.
A19	Fogbandskors			L1	L1	L1	Skarv i fogband, fogband-betonghörn
A24	Fogband					L1	Droppe vid ovkant skarv vid fogmassa
A25 (B25)	Fogband vid Balkong			L1	L1	L1	Från balkong med 2 TUDV-rör?
A27				L2	L2	L2	Läckage från, se mätpunkter ovanför
B3					L1	L1	Fönsterbåge
B5			L1	L1	L1	L1	
B7				L1	L1	L1	TDV-rör
B17			L1	L1	L1	L1	TUDV-rör

B18			L1	L1	L1	L1	TUDV-rör
B19			L1	L2	L3	L3	TUDV-rör och överlappande fog
B24				L2	L2	L2	TUDV-rör
B25 (A25)				L2	L2	L2	Från 2 TUDV-rör samt fogband
B27				L2	L2	L2	Läckage från, se TUDV-rör B17-B20 samt B24

Tabell 7. Uppmätt tryckskillnad mellan laboratorielokal (P_0) och inuti vägg (P_1) samt mellan laboratorielokal (P_0) och drevutrymme (P_1) runt fönster, se figur 12. Den resulterande tryckskillnaden över väggens fasadskikt anges inom parentes (^T). Tryckskillnad för tryckstegen mättes mellan P_2 och P_0 .

Mätpunkt	0 Pa	0-150 Pa	0-300 Pa	0-600 Pa
Elementskarv inuti vägg	0	67 Pa (83 ^T)	113 (187 ^T)	195 (405 ^T)
Fönster, A3				583 (17 ^T)
Fönster, A10				244 (356 ^T)
Fönster, B3				475 (125 ^T)
Fönster, B10	0		291 (9 ^T)	585 (15 ^T)



Figur 12. Vertikalt väggssnitt (t.v.) av fönsteranslutning i vägg respektive horisontellt väggssnitt vid vertikal elementskarv (t.h.). Den invändiga lufttätningen är blåmarkerad. Tryckskillnad mättes mellan den röda markeringens ändrar, $P_0 - P_1$, samt mellan P_0 och P_2 .

Inläckage uppkom vid två av fyra fönster. Det första inläckaget (läckagegrad L1) vid fönster (B5) uppkom vid 0-150 Pa, se tabell 6, med den faktiska tryckskillnaden av max 83 Pa, se tabell 7. Det andra inläckaget (läckagegrad 2) vid fönster (A10), se figur 13a, uppkom vid 0-450 Pa, se tabell 6, med den faktiska tryckskillnaden som uppskattades till max 296 Pa. Det uppkom även inläckage (läckagegrad 1) i själva fönstret (B3) mellan karm och fönsterbåge vid 0-450 Pa, se tabell 6. Det uppkom inläckage (läckagegrad 1-2) i TUDV-rör vid mätpunkt B17, se figur 13d, B18 och B19 vid 0-150 Pa med faktisk tryckskillnad av max 83 Pa, se tabell 7, och i mätpunkt B25 (2 st TUDV-rör vid balkong) vid 0-300 Pa med faktisk tryckskillnad av max 187 Pa. Vattnet trängde även fram på insidan av väggen, se figur 13c. Det konstaterades inläckage (läckagegrad 1) vid mätpunkt B7 i TDV-rör med liten lutning vid 0-300 Pa med faktisk tryckskillnad av max 187 Pa. Det är osäkert om inläckaget i B7 kan ha uppkommit vid lägre

trycksteg. Inläckage (läckagegrad 1) vid fogband uppkom vid A19, och eventuellt i A25, uppkom vid 0-300 Pa med den faktiska tryckskillnaden uppskattades till max 187 Pa. Det uppkom även en antydning till inläckage vid horisontellt fogband vid A24 (vid anslutning mot fogmassa) vid 0-600 Pa vid faktisk tryckskillnad av 405 Pa. Det går inte att avgöra om det tillkommit läckage strax ovanför A27-B27 eftersom läckage ovanför kan också ha runnit nedåt, se figur 13b.



a)



b)



c)



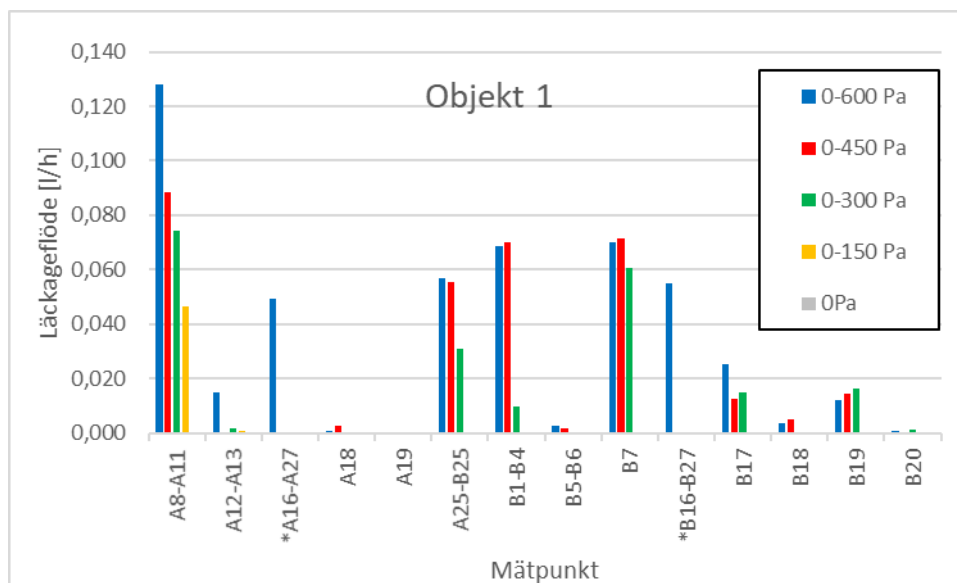
d)

Figur 13. Fuktmarkeringar och fritt vatten på insidan av den yttre betongskivan sett från inspektionsöppningen under fönster A10-A11, b) fuktmarkering och fritt vatten längst ner i väggen vid den vertikala fogen med expanderande fogbandet, c). fuktmarkeringar och fritt vatten som tränger ut på baksidan av väggen vid inspektionslucka under balkonger (A25-B25). d) TUDV-rör inuti vägg och luftflödet i röret drog med vattendroppar in i väggen.

4.2.2 Objekt 1 i försök 2

Vattenbelastningen/vattenflödet längst ner på fasaden uppmättes till 3,14 l/min,m (188,5 l/h,m) för del A, och 3,12 l/min,m (189,3 l/h,m) för del B.

I detta försök har inläckageflödet uppmätts för otätheter, se mer ingående beskrivning i kapitel 3.1.1



Figur 14. Uppmätt inläckageflöde under de fem tryckstegen för respektive mät punkt med inläckage. Mät punkternas placering visas i figur 8.

Den mät punkt med det största inläckaget var vid fönster (A10-A11) på som mest 0,13 l/h vid 0-600 Pa, se figur 14, med faktisk tryckskillnad på max 253 Pa, se tabell 8. Inläckaget började redan vid 0-150 Pa med faktiskt tryckskillnad av max 52 Pa, se tabell 8, med inläckageflöde på 0,046 l/h, se figur 14.

Inläckageflödet ökade med ökad tryckskillnad. Vid detta fönster (A10) läckte det också ner i väggen till A12-A13 redan vid 0-150 Pa med faktisk tryckskillnad av max 52 Pa, se tabell 8, men uppmätt flöde var förhållandevis lågt. Det läckte också in vatten vid fönster (B1-B4) vid trycksteget 0-300 Pa med faktisk tryckskillnad av 110 Pa, se tabell 8, och flödet ökade från 0,01 l/h till ungefär 0,07 l/h, se figur 14, vid trycksteget 0-450 Pa med faktisk tryckskillnad av 173 Pa. Även vid detta fönster läckte det ner i väggen och uppmätt inläckageflöde i mät punkt B5-B6 var också relativt lågt, se figur 14. Det uppkom en antydning till inläckagen vid fogband A18 och fogbandskryss A19, endast några droppar, som började vid 0-450 Pa med faktisk tryckskillnad av 173 Pa, se figur 14. Inläckaget i TDV-röret (liten lutning) var på 0,06 l/h, se figur 14, och började vid 0-300 Pa med faktisk tryckskillnad av 110 Pa, se tabell 8. Inläckagen i TUDV-rören, mät punkt B17 och B19 började vid 0-300 Pa med faktisk tryckskillnad av 110 Pa, se tabell 8, med ett inläckageflöde omkring 0,02 l/h, se figur 14. Det uppkom en antydning till inläckagen vid överlappande fog vid 0-300 Pa med faktiskt tryckskillnad av 110 Pa, se tabell 8, men något ökat inläckage uppkom inte vid ökad tryckskillnad.

Det totala inläckaget som kunde uppmätas för samtliga inläckagepunkter var på 1488,5 g för försöket. Hur mycket vatten som sögs upp av betong och som ansamlades i isolering har inte kunnat bestämmas. Bedömningen är att det kan vara signifikanta mängder med vatten men antagligen betydligt mindre än det som totalt uppsamlats.

Kompletterande försök utfördes för att utröna inläckagepunkter. När det gäller den nedersta horisontella fogen så utsattes den för tryckstegen 0 Pa, 0-300 Pa och 0-450 och varje trycksteg varade i 1 timma. Det uppkom lite fuktmarkeringar under B21 och några vattendroppar uppkom i B16/B27 vid 0-300 Pa. Vid 0-450 Pa uppmättes 0,025 l/h i mät punkt B16/B27 och det syntes en liten fuktmarkering på betongen under A21. Orsaken till inläckage i B21 och B16/B27 var förmodligen via TUDV-rör. Vid detta försök var TUDV-röret förlängt på utsidan ca 20 cm men saknade en skyddskåpa. Avsaknaden av skyddskåpa kan förklara varför vatten trots allt läckte in. Orsaken till inläckage i A21 vid 0-450 Pa vid faktisk tryckskillnad av 173 Pa har inte kunnat fastställas men kan eventuellt komma från fogbandskorset. Vidare

så utsattes balkongerna för tryckstegen 0 Pa och 0-300 Pa och varje trycksteg varade i 1 timma. Inget inläckage uppkom vid balkong med fogmassa (B25) däremot uppkom inläckage vid balkong med fogband (A25) vid 0-300 Pa, faktisk tryckskillnad av 110 Pa med ett flöde av 0,008 l/h. TDV-rören vid balkongen var försedda med förlängningssläng och skyddskåpa för att förhindra inläckage.

Tabell 8. Uppmätt tryckskillnad mellan laboratorielokal och inuti vägg samt mellan laboratorielokal och drevutrymme runt fönster, se figur 12, för de fem tryckstegen. Den resulterande tryckskillnaden (T) över fasaden (mellan regnkammare och inuti vägg samt regnkammare och drevutrymme) är angiven inom parentes.

Tryck	0 Pa	0-150Pa	0-300Pa	0-450Pa	0-600Pa
Mät punkt					
Elementskarv inuti vägg	0	98 (52 ^T)	190 (110 ^T)	277 (173 ^T)	347 (253 ^T)
Fönster A1-A4	0	144	291	441	579
Fönster A8-A11	0	83 (67 ^T)	203 (97 ^T)	328 (122 ^T)	430 (170 ^T)
Fönster B1-B4	0	116 (34 ^T)	238 (62 ^T)	358 (92 ^T)	468 (132 ^T)
Fönster B8-B11	0	145	290	437	578

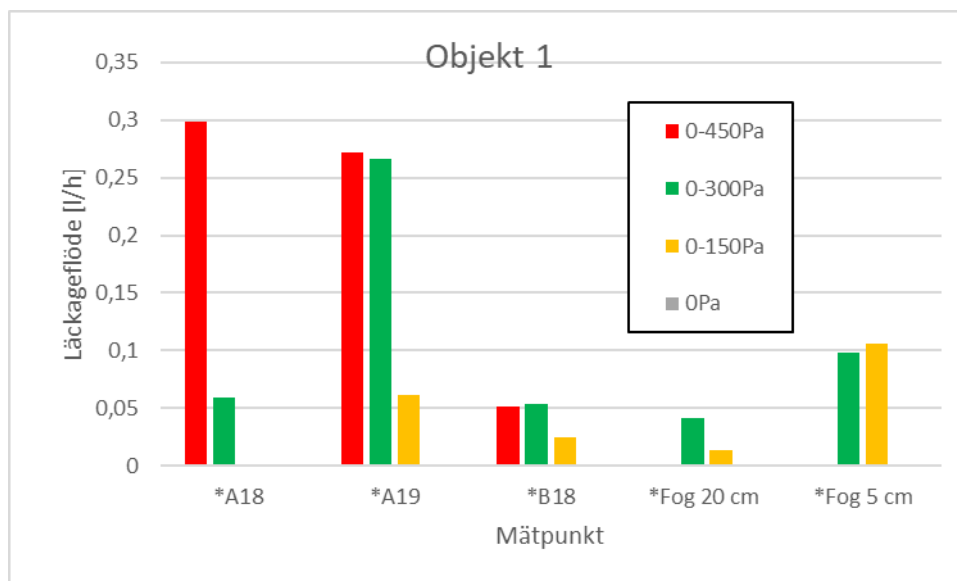
Tabell 9. Uppmätt luftläckageflöde över väggens insida vid övertryck i vägg (P_1) mot inne/laboratorielokal (P_0), se figur 12.

P_1 [Pa]	$m^3/m^2, h$	$l/s, m^2$
25	0,69	0,19
50	1,04	0,29
75	1,21	0,34
100	1,55	0,43

4.2.3 Objekt 1 i försök 3

Under försök 3 kontrollerades tryckskillnaden i väggen och vid fönster A3 men någon nämnvärd skillnad eller förändring uppkom inte i jämförelse med försök 2. Därför görs hänvisning till tabell 8 för försök 3.

I detta försök har inläckageflödet mätts för skapade otätheter, se mer ingående beskrivning i kapitel 3.1.1



Figur 15. Uppmätt inläckageflöde under de fyra tryckstegen för skapade brister.

I mätpunkt A18 (nytt vertikalt fogband + läckage från fönster) uppkom ett inläckage på 0,06 l/h vid trycksteget 0-300 Pa vid faktiskt tryckskillnad av max 110 Pa och vid trycksteget 0-450 Pa uppkom ett inläckage 0,3 l/h, se figur 15, med det faktiska trycket på max 173 Pa (ute-inuti vägg), se tabell 8.

I mätpunkt A19 (fogbandskors med nytt horisontellt fogband) uppkom ett inläckage på 0,06 l/h, se figur 15, vid trycksteget 0-150 Pa vid faktisk tryckskillnad av max 52 Pa och vid trycksteget 0-300 Pa uppkom ett inläckage 0,27 l/h med det faktiska trycket på max 110 Pa (ute-inuti vägg), se tabell 8.

I mätpunkt B18 (TDV-rör utan lutning) uppkom inläckage på 0,02 l/h vid 0-150 Pa trycksteg som ökade till 0,05 l/h, se figur 15, vid 0-300 Pa trycksteg med faktiskt tryckskillnad av max 110 Pa, se tabell 8. I mätpunkt B19 förlängdes TDV-röret med en 20 cm lång slang som fick hänga ner vertikalt på utsidan. Trots förlängningsslangen uppkom inläckage vid trycksteget 0-300 Pa och vid 0-450 Pa uppkom ett inläckageflöde av 0,02 l/h, se figur 15, vid faktisk tryckskillnad av max 173 Pa, se tabell 8.

Inläckageflödet var 0,05-0,08 l/h i den vertikala fog (mätpunkt Fog 5 cm) som var uppskuren 5 cm med en springa av ”0 mm”, se figur 15. Den längre uppskurna fogen på 20 cm med springbredd på 0 mm hade ett lägre inläckageflöde på 0,04 l/h, se figur 15, vid trycksteget 0-300 Pa vid den faktiska tryckskillnaden av max 110 Pa, se tabell 8.

4.2.4 Objekt 2 i försök 1

I detta försök har regntätheten testats, se mer ingående beskrivning i kapitel 3.1.1.

Tabell 10. Objekt 2, tabellen visar om inläckage uppkommit (läckage anges som läckagegrad, L1-L5) för respektive mätpunkt och trycksteg.

Mättpunkt	Detalj	0 Pa	150 Pa	300 Pa	450 Pa	600 Pa	kommentar
A3	Fönster			L1	?	?	Inläckage avtog
A7	Exp. fogband	L1	L1	L1	L1	L1	Horisontellt fogband
A9						L1	
A10-A11	Fönster	L2	L2	L2	L2	L2	Vatten samlades under fönsterkarm
A12	Fönster		L1	L1	L1	L1	
A13	Fönster	L1	L1	L1	L1	L1	
A16	Exp. fogband		L1	L1	L1	L1	
A19	Fogkors		L1	L1	L1	L1	Fogkors
A21	Fogkors		L1	L1	L1	L1	Ev. vertikalskarv?
A24	Exp. fogband vid övergång till fogmassa	L1	L1	L1	L1	L1	Horisontellt fogband
A25	Balkong			L2	L2	L2	
A27	Balkong/fogband?		L1	L1	L1	L1	
A28							
B6	Fönster	L1	L1	L1	L1	L1	
B7	TDV-rör		L1	L1	L1	L1	TDV-rör
B16	TDV-rör?			L2	L2	L2	
B17	TDV-rör			L2	L2	L2	
B18	TDV-rör			L2	L2	L2	
B19	TDV-rör			L2	L2	L2	
B20	TDV-rör/Överlapps-fog?			L2	L2	L2	
B21	TDV-rör?			L2	L2	L2	
B25			L1	L1	L1	L1	
B27				L1	L1	L1	

Tabell 11. Uppmätt tryckskillnad mellan laboratorielokal och inuti vägg samt mellan laboratorielokal och drevutrymme runt fönster för de fem tryckstegen, se figur 12. Den resulterande tryckskillnaden (T) över fasaden (mellan regnkammare och inuti vägg samt regnkammare och fönsterdrev) är angiven inom parentes.

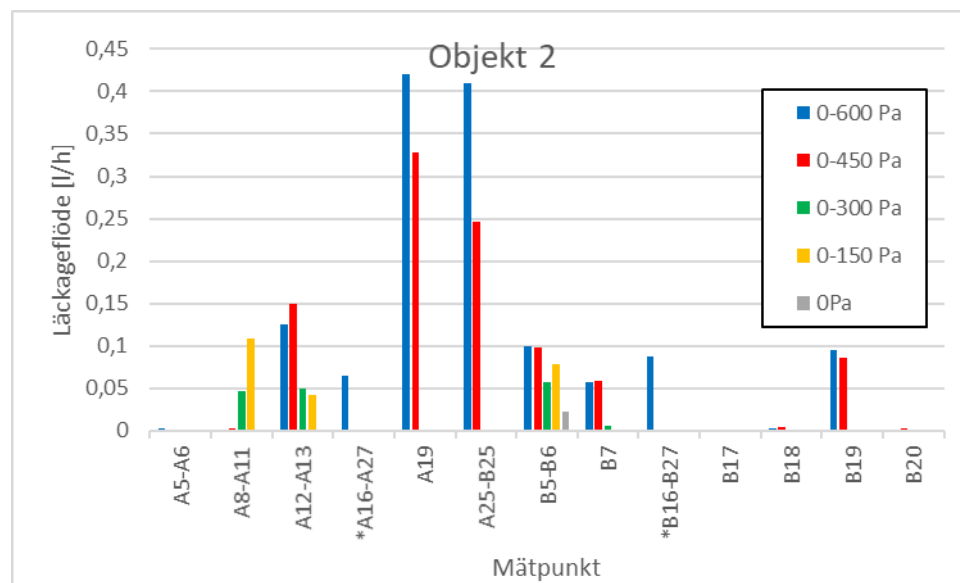
Tryck \ Mätpp.	0 Pa	0-150 Pa	0-300 Pa	0-450 Pa	0-600 Pa
Elementskarv	0	86 (64 ^T)	169 (131 ^T)	293 (157 ^T)	427 (173 ^T)
Fönster A3	0	143 (7 ^T)	288 (12 ^T)	-	580 (20 ^T)
Fönster A10	0	64 (86 ^T)	116 (184 ^T)	-	320 (280 ^T)
Fönster B4	0	137 (13 ^T)	279 (21 ^T)	-	574 (26 ^T)
Fönster B11	0	142 (8 ^T)	283 (17 ^T)	-	573 (27 ^T)

Inläckage uppkom vid tre av fyra fönster (Mätppunkt A3, A10-A11, B6), se tabell 10. Inläckage uppkom redan vid 0 Pa, vid två av fönstren, det vill säga utan någon lufttrycksskillnad alls över väggen.

Inläckageflödet i A10-A11 uppnådde läckagegrad 2. Det uppkom även inläckage vid horisontellt fogband vid A7 och A24 (vid anslutning mot fogmassa) vid 0 Pa, med läckagegrad L1. Det uppkom inläckage i TDV-rör vid 150 Pa vid mätpunkt B7, se tabell 10, vid faktisk tryckskillnad av 64 Pa, se tabell 11, med läckagegrad 1. Detta TDV-rör hade liten lutning. Det går inte att utesluta att inläckaget kan ha skett i TDV-rör vid balkong vid 150 Pa utifrån läckageindikationer i B25. Inläckage i de övriga TDV-rören uppkom vid 0-300 Pa med faktisk tryckskillnad av 131 Pa med inläckagegrad 1. Dessutom kan inläckage ha uppkommit vid lägre tryckskillnader eftersom försöken har skett vid givna trycksteg.

4.2.5 Objekt 2 i försök 2

I detta försök har inläckageflödet uppmätts för otätheter, se mer ingående beskrivning i kapitel 3.1.1



Figur 16. Uppmätt inläckageflöde under de fem tryckstegen för respektive mätpunkt med inläckage. Mätpunkternas placering visas i figur 8.

De mätpunkterna med de största inläckagen var A25/B25 (fogband vid balkong och TDV-rör vid balkong) och A19 (fogbandskors) på strax över 0,4 l/h, se figur 16, vid trycksteget 0-600 Pa med faktisk tryckskillnad på max 149 Pa, se tabell 12, vid pulserande tryck. I dessa mätpunkter krävdes en tryckskillnad på max 110 Pa för att inläckage skulle starta, se tabell 12. Inläckaget ökade med ökad tryckskillnad. I mätpunkt B5-B6 i vägg under fönster uppkom ett inläckageflöde på 0,02 l/h, se figur 16, redan utan tryckskillnad och mellan 0,06-0,1 l/h vid faktisk tryckskillnad på minst 39 Pa. Inläckageflödet i mätpunkt A8-A11 och A12-A13 kommer från inläckage i samma fönster och det ungefärliga sammanlagda flödet var på 0,1-0,15 l/h, se figur 16, för tryckskillnader över 0 Pa. Det går inte att utesluta att inläckageflödet vid mätpunkt B19 (TDV-rör) på 0,08-0,09 l/h kan vara från inläckage vid B18 (TDV-rör) och B17 (TDV-rör) som runnit förbi uppsamlingsrännor, se figur 16. Dessa inläckage genom TDV-rör uppkom först vid trycksteget 0-450 Pa med en faktisk tryckskillnad på max 110 Pa, se tabell 12. I B7 (TDV-rör med liten lutning) uppkom ett flöde på 0,06 l/h vid trycksteget 0-450 Pa, se figur 16, och inläckaget började vid faktisk tryckskillnad på max 80 Pa, se tabell 12.

Kompletterande försök utfördes för att härleda inläckagevatten. När det gäller den nedersta horisontella fogen med not och spont så utsattes den för tryckstegen 0 Pa och 0-300 Pa (faktisk tryckskillnad av max 80 Pa) och varje trycksteg varade i 1 timme och det visade inga indikationer på inläckage. Vid detta försök satt det en förlängnings slang med skyddskåpa på TDV-röret vid aktuellt fogkors.

Balkongerna utsattes för tryckstegen 0 Pa och 0-300 Pa och varje trycksteg varade i 1 timme. Inget inläckage uppkom vid balkong med fogmassa. Däremot uppkom inläckage vid balkong med fogband vid 300 Pa med faktisk tryckskillnad av max 80 Pa. Inläcket bestod i synliga fuktmarkeringar dels där ett av de vertikala fogbandet anslöt uppåt mot det horisontella fogbandet (A24) dels i "taket" i inspektionsöppningen/ursparingen med beteckning A25. Det kan konstateras att det inläckage som uppkommit i B-delen under balkong härrör sannolikt från TDV-rör och inte fogmassa.

Tabell 12. Uppmätt tryckskillnad mellan inuti vägg och laboratorielokal samt mellan och drevutrymme runt fönster och laboratorielokal samt regnkammare och inuti vägg. Den resulterande tryckskillnaden (T) över fasaden och är angiven inom parentes.

Tryck Mätp. Max tryck	0 Pa	0-150Pa	0-300Pa	0-450Pa	0-600Pa
Elementskarv	0	111 (39 ^T)	220 (80 ^T)	340 (110 ^T)	451 (149 ^T)
A4	0	146 (4 ^T)	291 (9 ^T)	442 (8 ^T)	588 (12 ^T)
A10	0	142 (8 ^T)	247 (53 ^T)	422 (28 ^T)	559 (41 ^T)
B4	0	137 (13 ^T)	230 (70 ^T)	440 (10 ^T)	587 (13 ^T)
B11	0	143 (7 ^T)	285 (15 ^T)	431 (19 ^T)	577 (23 ^T)

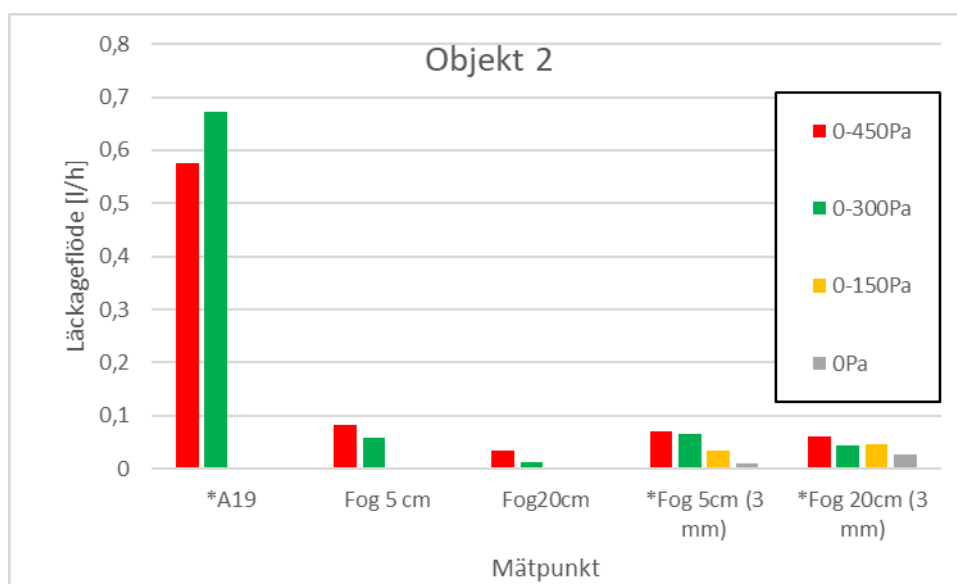
Tabell 13. Uppmätt luftläckageflöde över väggens insida vid övertryck i vägg (P_1) mot inne/laboratorielokal (P_0), se figur 12.

P_1 [Pa]	$m^3/m^2, h$	$l/s, m^2$
25	0,60	0,17
50	0,78	0,22
75	1,18	0,33
100	1,38	0,38

4.2.6 Objekt 2 i försök 3

Under försök 3 kontrollerades tryckskillnaden i fogspalt och vid fönster B11 och A3 men någon nämnvärd skillnad eller förändring uppkom inte trots att flera brister skapades. Förmodligen hade de marginell betydelse på tryckskillnaden.

I detta försök har inläckageflödet mätts för skapade otätheter, se mer ingående beskrivning i kapitel 3.1.1.



Figur 17. Uppmätt inläckageflöde under de fyra tryckstegen för skapade brister. Ytterligare springbredd på 3 mm skapades för fogarna markerade med (*) och respektive trycksteg kördes i 10 minuter för detta utökade försök.

I mätpunkt A19 (skada i fogbandskryss) uppkom ett inläckage på 0,67 l/h först vid trycksteget 0-300 Pa, se figur 17, med det faktiska trycket på max 80 Pa (ute-inuti vägg), se tabell 12. Inläckageflödet blev 0,05-0,08 l/h i den vertikala fog som var uppskuren 5 cm med en springa av ”0 mm” men inläckageflödet ökade inte nämnvärt efter att den skars upp till ca 3 mm springa med samma längd på 5 cm förutom att inläckaget uppkom redan vid 0 Pa, se figur 17. I den fog med 20 cm lång springa med springbredden ”0-1 mm” som skars upp till 3 mm springbredd så uppkom ett dubblerat flöde av 0,06 l/h, se figur 17, med faktisk tryckskillnad av max 110 Pa, se tabell 12 samt att inläckagen började redan vid 0 Pa. Utifrån dessa mätningar ökade inte inläckageflödet vid ökad springbredd utan snarare tvärtom vid 0-300 och 0-450 Pa vid faktisk tryckskillnad av max 80 respektive 110 Pa. En förklaring kan vara att det är rena tillfälligheter, d.v.s. hur rännilar uppkommer och rinner på fogmassan. Dessutom behöver inte ökad springlängd ge ökat inläckageflöde eftersom det kan antas vara i princip samma vattenmängd (fasadhöjden ovanför) som belastar springan. Eftersom de var placerade i samma vertikala fog, men på varsin kant/sida av fogen, så går det inte helt att utesluta att de kan ha påverkat varandra. Den kortare springan var placerad ca 1 dm ovanför den längre springan för att kunna separera mätningen med respektive uppsamlingsränna.

Det uppkom inget inläckage vid den horisontella fogen med skapad springa på 10 cm vid mätpunkt B7. En förklaring skulle kunna vara att bottningslisten hindrade vatteninträning. Den förväntade inläckagevägen antogs till under bottningslisten eftersom ändarna på bottninglisten var tätade med fogmassa för att avgränsa eventuellt inläckage i sidled.

4.2.7 Översiktlig sammanställning av resultat

För att få en uppfattning om inläckageflödenas storlek så har en översiktlig sammanställning av inläckage, i försök 2, angivits i andel inläckage i förhållande till vattenmängd per löpmeter fasadlängd (inom parentes är uppskattat inläckage eftersom otätheterna kan anses vara placerade på halva vägghöjden), se tabell 14.

Tabell 14. Översiktlig sammanställning av några otätheter med inläckage i försök 2. Inläckageflödet har också angivits som andel inläckage i förhållande till vattenmängd per löpmeter

fasadlängd (inom parentes är uppskattat inläckage eftersom otätheterna kan anses vara placerade på halva vägghöjden).

Typ av otäthet	Inläckageflöde (l/h)	% av vattenbelastning (om otätheten är placerad på halva vägghöjden)	Kommentar
Fogbandskors	0,4	0,2 (0,4)	
Fönsteranslutning/otäthet i sekundär tätning	0,15	0,08 (0,16)	Underskattat inläckage, vatten kvar i mtrl.
TDV-rör med lutning (10 mm diam.)	0,05	0,03 (0,06)	Större inläckage utan lutning
TUDV-rör (6 mm diam.)	0,03	0,02 (0,04)	

Inläckage vid flera fönster har uppkommit redan utan vindtrycksbelastning. Inläckage vid expanderande fogband har uppkommit vid 80 Pa och vid 52 Pa vid försvagningar. När det gäller inläckage i TDV-rör och TUDV-rör så uppkom inläckage vid 110 Pa tryckskillnad över fasad och vid liten eller ingen lutning uppkom inläckage vid ca 80 Pa respektive ca 50 Pa. Inläckage kan ha uppkommit tidigare eftersom tryckbelastningen baseras på givna trycksteg enligt metoden.

5 DISKUSSION

De fogar som var för smala vid besiktningar och ännu inte fått vidhäftningssläpp bedöms riskera att få det med tiden när de utsätts för återkommande fukt- och temperaturrelser, se tabell 3. Enligt tumregeln i anvisningar i SFR och RA Hus 2014-2021 ska bredden på fogen, med fogmassetklass 25LM, vara minst $L_{tot}/500$ av totala längden hos de två anslutande elements längder tillsammans. Observera att största rörelseupptagande förmåga hos fogmassa med exempelvis klass 25 LM är 25% av ursprunglig fogbredd enligt standard SS-EN ISO 11600 som ingår i EN 15651-1. Författaren har ofta träffat på produkt-/datablad från material-/produkttillverkare som anger rörelseupptagande förmåga till +/-25%, som är lika med 50%, vilket är en felaktig redovisning och avviker från produktstandard.

I laboratorieförsöken har inte allt inläckagevatten kunnat kvantifieras eftersom en del vatten sugits upp av betong eller ansamlats i isolering i materialporer och små hålrum. Det innebär att inläckageflödena kan anses ha varit högre än redovisade resultat och därmed är inläckagen underskattade, särskilt inläckage vid fönster där inläckaget inte kunnat samlas upp direkt vid tätheten. De vattenmängder som inte kunnat uppsamlas bedöms vara betydligt mindre än totalt uppsamlat inläckage.

Det största punktinläckaget, fogbandskors, som uppmättes i försök 2 var på 0,4 l/h och motsvarar ungefär 0,4% av andel vattenbelastning per löpmeter fasadlängd, se tabell 14. I tidigare studie om regntäthet hos några olika typer av fasader (relativt tunt fasadskikt av puts, skiva etc.) så framkom att andel inläckageflöde per otäthet kan antas till 0,5-2% av vattenbelastningen per löpmeter fasadbredd. Detta antagande ligger precis över det största inläckaget i dessa mätningar och därmed storleksmässigt lika.

Även i denna laboratoriestudie som i tidigare studier (Olsson, 2018b) av fasader med fönsteranslutningar har det uppkommit inläckage vid övervägande andel av anslutningar vid fönster. Inläckage har uppkommit trots att en sekundär tätning fanns monterad under fönster. Huruvida lösningen med sekundär tätning har rätt och verifierad funktion saknas det uppgifter om. Därmed finns det en stor risk att den inte ens har rätt förutsättningar att fungera tillräckligt.

Trots att inga otätheter var synliga (förutom TDV/TUDV-rör) så uppkom inläckage. Trots att det fanns en sekundär tätning under fönster så uppkom inläckage på grund av otätheter, se bilaga 4, se ytterligare orsaker till inläckage i stycket nedan om ”Undersökning av inläckage vid fönsteranslutning”.

Det har inte uppkommit några otätheter i fogar med fogmassa förutom genom TDV/TUDV-rör. I besiktningen framkom att det är vanligt med vidhäftningssläpp i fogmassa, se tabell 4 och bilaga 3. Eftersom dessa otätheter uppkommit i vertikala fogar (1-2 mm springbredd) så exponeras fogarna för förhållandevis liten andel slagregn än i jämförelse med om det skulle finnas liknande otätheter i horisontella fogar (Lacasse et al., 2009). Teoretiskt sett skulle det kunna läcka in 20-100 ggr mer vatten på en spricklängd av 100 mm om det antas att allt vatten driver in som träffar otätheten.

I laboratorieförsöken kunde konstateras att vatten inte kunde dräneras ut via TDV-rör eftersom rören mynnade i väggen på sådant sätt att vattnet inte kunde träffa mynningen och därmed ledas ut. Däremot hade TUDV-rören en lösning som eventuellt kan samla upp vatten men som visade sig motarbetas av luftflödet in i TUDV-röret som drog med vattnet in i väggen i stället. Lutningen på den uppsamlade funktionen hos TUDV-rör var också liten eller vågrät vilket pekar på ytterligare en svaghet, se figur 13d. Väggen behöver vara tryckutjämnad för att inte vatten ska läcka in via dessa rör. Det förefaller saknas dokumenterad och verifierad funktion av TDV/TUDV-rör eller i vart fall har inte projektet kännedom om det.

TDV-öppning med överlappande fog hade en längd i vertikalled på 8 cm respektive 2 cm i försöksobjekten. I båda fallen var bottningslisten ungefär 10 cm lång. Det saknas specifika anvisningar om överlappande fog i AMA vilket kan vara en förklaring till varför utförandet varierade i dessa försöksobjekt. Resultaten indikerar att denna typ av TDV-öppning kan ha bättre förutsättningar att uppnå tryckutjämning, dränering och ventilerings än i jämförelse med rör. Dessutom har den en uppsamlande funktion för att leda ut vatten.

Luftläckagemätningar av båda objekten gav värden på 0,29 respektive 0,22 l/s,m² vilket klarar kravet på max 0,3 l/s,m² enligt FEBY (Forum för energieffektivt byggande). Huruvida dessa läckagevärden är representativa för en normal betongsandwichvägg är å ena sida knappast troligt men kan å andra sidan ändå vara relevant för betongsandwichvägg, om den ökade hållarean (ovanligt många TDV-/TUDV-rör samt öppning med överlappande fog i dessa försök) i försöksobjekten beaktas. Hållarean i fasad (6 st TUDV-rör, 1 TDV-rör samt överlappande fog) i objekt 1 var ungefär 19 gånger större än normalt (1 st TUDV-rör per varje fogkors, vanliga storlekar hos betongelement är ungefär 3 meter höga och 3 till 9 meter breda). Hållarean i fasad (7 st TDV-rör samt överlappande fog) i objekt 2 var ungefär 12 gånger större än normalt (1 st TDV-rör per 3 x 3 meter betongelement). Om dessa försöksväggar ställs i proportion till en vägg med endast ett TDV-rör per fogkors skulle lufttätheterna i den väggens insida vara 0,016 respektive 0,025 l/s,m². Detta lufttäthetstal motsvarar en täthet på 12 gånger bättre än kravet i FEBY. Det som också har stor betydelse vid tryckutjämning i ytterväggar är tillgänglig luftvolym i väggen. Eftersom det finns ursparingar så ger det en orealistiskt stor luftvolym men det kanske uppvägs av att väggen består av liten yta eller volym med isolering (isolering innehåller mycket luft) på grund av att fönstren upptar en stor yta. Detta förutsätter dock att isoleringen har en stor tillgänglig luftvolym. I dessa objekt finns det tre olika typer av isolering, mineralull, PIR/PF och EPS vilket gör detta svårbedömt. Oberoende av hur väl objektens tryckutjämning representerar verkliga ytterväggar så kan erhållna regninläckageflöden ställas direkt i proportion med de erhållna tryckskillnader som redovisats över fasaden. Det innebär att om en verklig fasad skulle vara fullständigt tryckutjämnad så kan resultaten från dessa försök anses vara representativa vid den första trycknivån 0 Pa. Det finns mycket som talar för att betongsandwichfasader inte är helt tryckutjämnade enligt resonemanget under avsnittet ”Tryckutjämning av yttervägg” varför dessa försök kan vara fullt rimliga. Enligt beräkning i det avsnittet framkom att om ett TDV-rör sätts i varje fogkors med betongelementstorlek av 3 x 3 meter så är ventilationsöppningen 63 gånger för liten trots att väggen är fem gånger lufttätare än kravet i FEBY för energieffektiva byggnader.

Anledningen till att vattenbelastningen skilde mellan kontrollmätning i försök 1 och försök 2 var att laboratoriet bytte till nya dysor, se kapitel 4.2 ”Regntäthet vid laboratorieförsök”. De nya dysorna skapade mindre vattendroppar, d.v.s. en finare vattendimma varför inte lika mycket vatten nådde ända fram till fasadytan. En anledning till att det skiljde mellan nya och gamla dysor kan vara avlagringar vilket är förväntat.

De flesta inläckage och inläckagevägar har kunnat lokaliseras men det går inte helt att utesluta ytterligare något inläckage som kan ha varit dolt eller att det inte gick att urskilja från andra inläckage, se exempelvis figur 13b.

Objekt 1- Undersökning av inläckage vid fönsteranslutning

Vid undersökning av inläckageväg vid fönster vid mätpunkt A10-11 (A12-A13) kunde konstateras att fogbandet runt hela fönstret var vattenmättat. Vatten kunde pressat ut ur fogbandet både på utsida (svart kulör) och insida (grå kulör). Det finns indikationer på att fogbandet tog upp vatten eller att vattnet tryckts in. Detta innebar också att fönsterkarmen utsattes för vatten. Någon typ av silikonfogmassa fanns

applicerad på fönsterbleckets bakkant mot fönsterkarm, vid gavlar mot fasad och på undersida mot fönsterbröstning, se bilaga 4. Dessutom låg invikningen av blecket på bakkanten vilket gör bakkanten ojämn. Punktvis saknas fogmassa längs bakkanten vilket kan vara en förklaring till att vatten runnit in under fönsterbleck, se bilaga 4. Den sekundär tätning som överbrygger väggisoleringen i väggen runt fönsteröppningen, där den hade släppt eller saknade vidhäftning, vilket kan förklara inläckaget, se bilaga 4. Dålig lukt (sur lukt/bakterielukt) kunde kännas från expanderande fogband och/eller sekundär tätning.

Fönster vid mätpunkt B3-B4, även detta fogband runt fönstret var blött, även på insidan. Fogmassan på bakkanten av fönsterblecket mot karm hade inte tryckts ihop. Plåtkanten på blecket som ska tryckas in i spåret i karmen var ca 7 mm men spåret var ca 4 mm djupt, vilket gjorde att fönsterbleckets bakkant inte låg dikt an mot karm, se bilaga 4. Den sekundära tätningen med placering ovanpå betongelementets fönsterbröstning hade släppt eller saknade vidhäftning vid hörn/vinklar, vilket kan förklara inläckaget, se bilaga 4. Dålig lukt (sur lukt/bakterielukt) kunde kännas från svällband/sekundär tätning.

Fönsterblecket hade en silikonsträng (saknades punktvis) mot fönsterbröstning också. Detta kan delvis ha hindrat vattenutledning under fönstret.

Objekt 2 - Undersökning av inläckage vid fönsteranslutning

När det gäller fönster vid mätpunkt A10, så var den sekundära tätningen sträckt i hörnen och ett genomgående hål fanns mellan utsida och insida, vilket konstaterades vara en inläckageväg både ner i väggisoleringen men också till insidan, se bilaga 4. Fogbandet var lite blött på utsidan men inte på insidan.

Fönsterblecket hade ingen silikon tätning mot fönsterbröstning med däremot vid ändarna mot fasad. Längs bakkanten på fönsterblecket saknades det tätningsmassa på tre punkter, se bilaga 4.

När det gäller fönsteranslutning vid mätpunkt B3 så var silikon tätningen på bakkant av fönsterblecket ej tilltryckt alls vilket pekar på att den inte tätade. Det fanns släpp i sekundär tätning vilket bedöms vara en otäthet och inläckageväg, se bilaga 4. Dessutom låg invikning av bleckhörnet mot bakkanten vilket gjorde bakkanten ojämn.

6 SLUTSATSER

Besiktningen visade på nedanstående avvikelser och brister:

- I samtliga objekt var påträffade vertikala fogar ofta för smala, baserat på anvisningar i RA Hus och SFR. I 9 av totalt 11 objekt påträffades vidhäftningssläpp. I de övriga två var fogtätningen relativt nygjord.
- Besiktningen visade att 80 av totalt 106 uppmätta vertikala fogar var för smala i jämförelse med RA Hus och SFR. Den genomsnittliga skillnaden gentemot kontrollanvisningen ”tumregel” i RA Hus och SFR var att fogbredden var 37% för smal mellan betongelementen.
- Några tänkbara orsaker till att fogbredden ofta inte var tillräcklig kan vara att dimensioneringen inte gjorts enligt RA Hus och SFR Beräkningsmall nr8 eller att projektörer kan ha blivit vilseledd av några fogmasseleverantörers produktdatablad som redovisar dubbla rörelseupptagande förmåga i förhållande till vad produktstandarden anger. Dessutom kan arkitekturönskemål ha prioriterats framför fogbreddskrav.
- I 8 av 12 objekt påträffades sprickor i betongfasaderna ofta i anslutning till fönsteröppningar.
- Generellt sett var TDV-rör felplacerade, ofta för högt placerade ovanför fogkors, samt saknade tillräcklig lutning eller hade ingen lutning alls. Ibland saknades det TDV-öppningar i fasader.
- Det påträffades otätheter vid anslutning mot fönster och glipa i expanderande fogband. Det fanns otätheter vid fönsterblecksanslutning mot betongfasad med risk för att vatten kan tränga in bakom.
- Det finns risk för att vatten kan tränga in bakom det yttre fogbandet exempelvis via skarvar i metallbeklädda fönster. Denna extra tätning används när fönster sätts mot en betongkant i fönsteröppningen. Lösningen bakom kan därför behöva klara denna vattenbelastning.

Laboratorieförsöken visade på inläckage vid flera fönsteranslutningar redan utan vindtryck. När det gäller vindbelastning så har funktionen tryckutjämning stor betydelse för vissa typer av inläckage. Huruvida betongsandwichlösningar i allmänhet kan sägas ha en tryckutjämning saknas det uppgifter om. Däremot har en generell beräkning gjorts i studien som pekar på att en väggs insida i princip måste vara helt lufttät i förhållande till utsida för att uppnå tryckutjämning inuti vägg gentemot utsida. Dock är det osäkert hur väl dessa försöksupställningar representerar verkliga ytterväggar eftersom sådana fältmätningar saknas. Tryckskillnaderna över ytterdelen av väggen har varit relativt liten eller måttlig, 80-180 Pa i många fall och motsvarar 10-16 m/s i vindhastighet, när ytterligare inläckage startade. Flera inläckage har uppkommit trots att tätningarna har utförts på fabrik eller av erfarna fogentreprenörer. Inläckageflödet uppmättes som mest till mellan 0,1-0,4 l/h vilket motsvarar en andel på 0,1-0,4% av vattenbelastningen per löpmeter fasadbredd. En viss andel av det totala inläckagevattnet har inte kunnat mätas då det sugits upp av betong eller ansamlats i isolering. Mer ingående slutsatser:

- Inläckage i TDV-rör/TUDV-rör med lutning uppkom redan vid tryckskillnader på 80-110 Pa. För TDV-rör utan lutning uppkom inläckage vid ca 50 Pa tryckskillnad.
- Det framkom indikationer på att TDV-öppning med överlappande fog kan leda ut vatten och att vatten inte drogs in i väggen via luftrörelser i samma utsträckning som för TDV- och TUDV-rör.
- Inläckage uppkom i fogband i dess skarv, i fogkors men även lite längs ”intakta” sträckor.
- Generellt sett blev expanderande fogband blöta och det gick att trycka vatten ur dem.
- Det bredare fogbandet i objekt 1, som var monterad runt fönster, var genomblöt.

- Vid demontering av fönster efter avslutat försök kunde avvikande, dålig lukt (bakterielukt) kännas från fogband och sekundär tätning.
- Sekundär tätning under fönster släppte eller täckte inte ibland inte hela isoleringen mellan betongskivorna, framförallt inte i de nedre fönsterhörnen. Ibland var det svårt att se var kanten på isoleringen var placerad på grund av gjutrester vilket kan försvåra hur tätningen ska placeras.
- Sekundär tätning under fönsterbleck/fönsterkarm hade ett tunt ytskikt av textilmaterial där vatten eventuellt kan ha transporterats vilket i så fall utgör en inläckagerisk.
- Inläckagevatten rann både i isoleringsskarvar och rakt igenom isolering (kunde sannolikt konstaterats för aktuell EPS-isolering, övriga isoleringar har inte undersökts) inuti väggen. Det finns uppenbar risk för att fönsterkarmar även utsätts för det vatten som kan rinna inuti vägg.
- Samtliga fyra fönsterbleck (utfördes av en plåtentreprenör) var inte helt täta i anslutning mot fönster trots tätning med fogmassa. Vanliga fönsterbleck har en viktig vattenavledande funktion med kan knappast ses som en regntät lösning. Detta är en anledning till att sekundär tätning föreskrivs under fönster.
- Fogar med fogmassa (själva fogen) var regntäta vid försök 1 och 2. I försök 3 skapades brister för att simulera vidhäftningssläpp. När springan ökades till 3 mm krävdes ingen vindtrycksbelastning alls för inläckage. Inläckagflödet blev som högst på 0,1 l/h och i storleksordning lika som inläckageflöde genom TDV-rör med dålig lutning.

Sammantaget kan sägas att studien pekar på att det finns en förbättringspotential, för att undvika inläckage, avseende bland annat att bristfällig projektering av fogbredder, felaktig montering av TDV-rör, stor risk för inläckage via TDV/TUDV-rör om tryckutjämning inte är tillräcklig i vägg, svårt eller omöjligt för vatten att dräneras ut via TDV-rör med aktuell utformning, bristfällig montering av sekundär tätning samt svårt eller omöjligt att få det regntätt med ny tätningsmetod av expanderande fogband. Ett grundläggande problem är att verifiering ofta verkar saknas vilket innebär att det då kanske inte ens finns rätt förutsättningar för att uppnå avsedd funktion.

7 FÖRSLAG PÅ FORTSATT FORSKNING

Det saknas data och uppgifter på faktiska tryckskillnader, tryckutjämning och lufttäthet för betongsandwichväggar.

Funktionen (T=tryckutjämning, D=dränering och V=ventilering) hos öppningar i fasader behöver studeras och specificeras både för TDV-/TUDV-rör och TDV-öppning av överlappande fog. Dessutom behöver regntätheten undersökas och specificeras. Det är också av betydelse att förutsättningar och begränsningar studeras och preciseras. Dessa uppgifter är viktiga för att kunna dimensionerna och projektera lösningar.

Dimensioneringsförutsättningar och -metoder behöver tas fram för tryckutjämning i svenska betongsandwichväggar. Hur stora ventilationsöppningar behövs? Det finns äldre designprinciper publicerade i Kanada som behöver testas för svenska förhållanden.

Det finns risk för inläckage i betongsandwichväggar. Därför behöver betydelsen av inläckage samt vattnets spridning, ansamling, dränering och uttorkningsmöjligheter studeras.

Sprickors betydelse i betongväggar i kombination med regntäthet behöver undersökas.

Övriga typer av anslutningar och tätningsprinciper som inte varit med i denna studie behöver studeras, som exempelvis anslutningar mot tak och grund samt tvåstegstätning.

Litteraturstudie som även omfattar utvecklingstrender och eventuella designfilosofier både nationellt och internationellt.

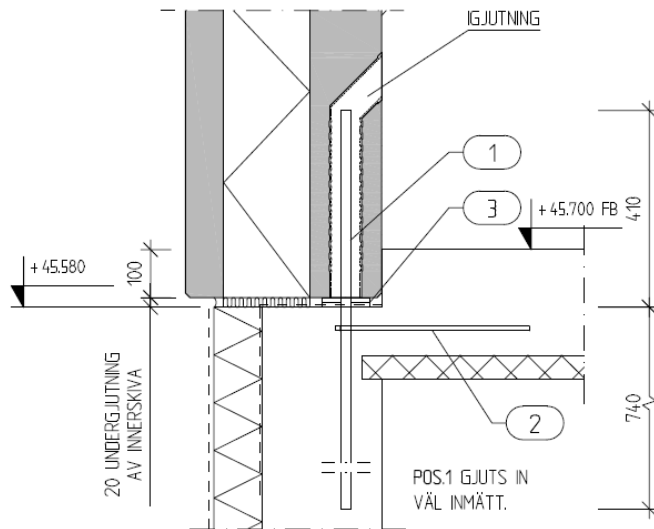
LITTERATURFÖRTECKNING

- BEDNAR, T. & HAGENTOFT, C.-E. 2015. Annex 55-Reliability of Energy Efficient Building Retrofitting- Probability Assessment of Performance and Cost (RAP-RETRO), Report 2015:7. *International Energy Agency (IEA) och Energy in Buildings and Communities Programme (EBC)*. Gothenburg: Chalmers University of Technology.
- BRYCKE, E. & SVENSSON TENGBERG, C. 2019. Fukt i prefabricerade betondsandwichelement (ID:13651). Stockholm: SBUF Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond.
- FIB 2014. *Planning and design handbook on precast building structures, Manual - textbook*, International Federation for Structural Concrete.
- GUSTAVSSON, B. 2009. Fönstermontage (SP rapport 2009:35). Borås: SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.
- LACASSE, M. Science and Technology of Building Seals, Sealants, Glazing, and Waterproofing-Fifth Volume (STP 1271). In: LACASSE, M., ed. Charles J. Parise Fifth Symposium on Science and Technology of Building Seals and Sealants held in on 25-26 Jan. 1995, 1996 Phoenix, Arizona. ASTM International.
- LACASSE, M. A., MIYAUCHI, H. & HIEMSTRA, J. 2009. Water Penetration of Cladding Components—Results from Laboratory Tests on Simulated Sealed Vertical and Horizontal Joints of Wall Cladding. *Journal of ASTM International*, 6.
- NEVANDER, L.-E. & ELMARSSON, B. 1994. *Fukthandbok- praktik och teori*, Stockholm, AB Svensk Byggtjänst.
- OLSSON, L. 2014. Results from laboratory tests of wind driven rain tightness in more than 100 facades and weather barriers. *10th Nordic Symposium on Building Physics, 15-19 June*. Lund, Sweden: Lund University.
- OLSSON, L. 2018a. *Driving rain tightness, intrusion rates and phenomenology of leakages in defects of façades : A new calculation algorithm*. Doctoral thesis, Chalmers University of Technology.
- OLSSON, L. 2018b. Regninläckage och dess mekanismer i fasader- En ny beräkningsalgoritm, ID:12847. Gothenburg: SBUF Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond.
- ROUSSEAU, M. Z., POIRIER, G. F. & BROWN, W. C. 1998. Pressure Equalization in Rainscreen Wall Systems. National Research Council of Canada.
- SFR 2017. SFR Montageanvisning NR 1. In: RIKSFÖRBUND, S. F. (ed.).
- SVENSK-BYGGTJÄNST 2014-. AMA Hus. *Allmän material- och arbetsanvisning för husbyggnadsarbeten*. Stockholm.
- VAN DEN BOSSCHE, N. 2013. *Watertightness of Building Components: Principles, Testing and Design Guidelines*. Doctoral thesis, University Ghent, Belgium.

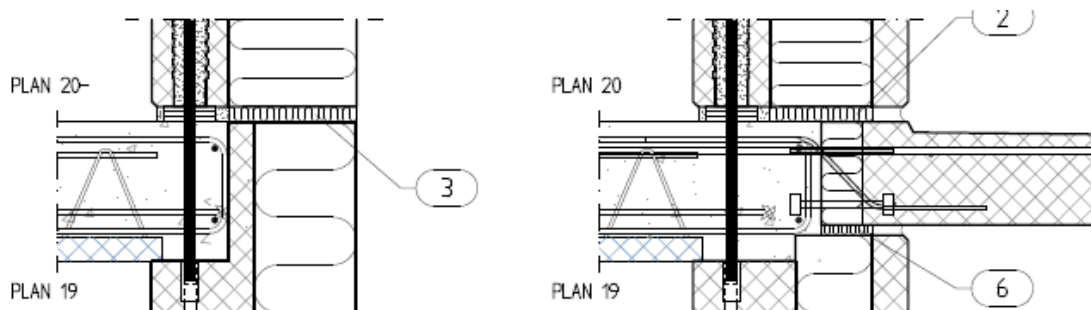
BILAGA 1

Ritningar

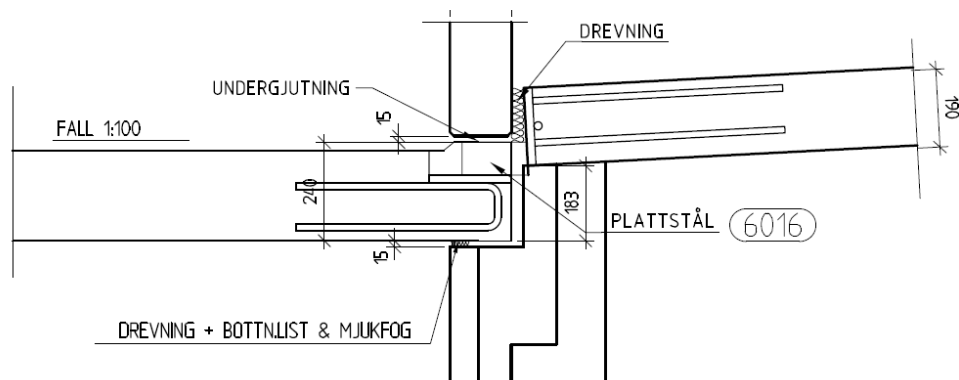
Följande ritningar är exempel på aktuella väggdetaljer från några av de byggnader som besiktades.



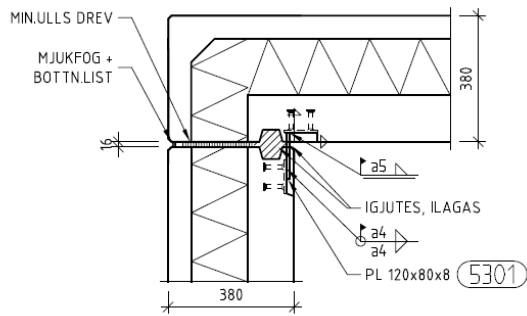
Figur B2. Vertikalt snitt av vägganslutning mot grund.



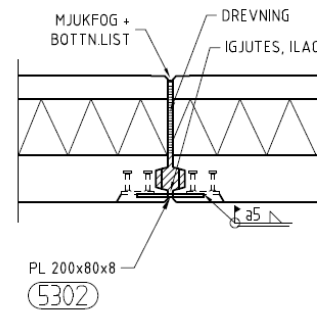
Figur B3. Vertikalt snitt av vägg med bjälklag och balkonganslutning.



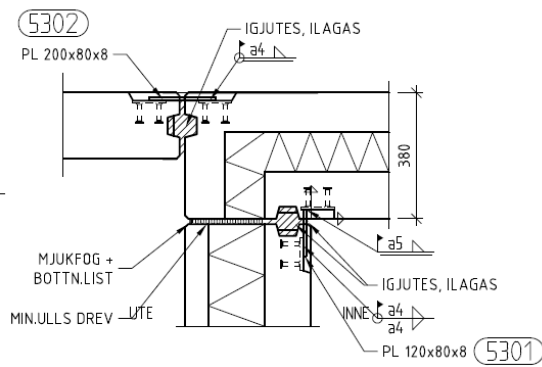
Figur B4. Vertikalt snitt av tak, vägg och skärmtaksanslutning.



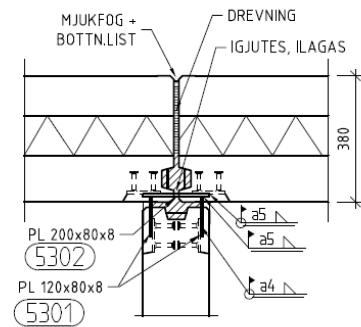
MONTAGEDETALJ MD41 1/10/120
Princip anslutning sandwichelement ytterhörn



MONTAGEDETALJ MD42 1/10/120
Princip anslutning sandwichelement

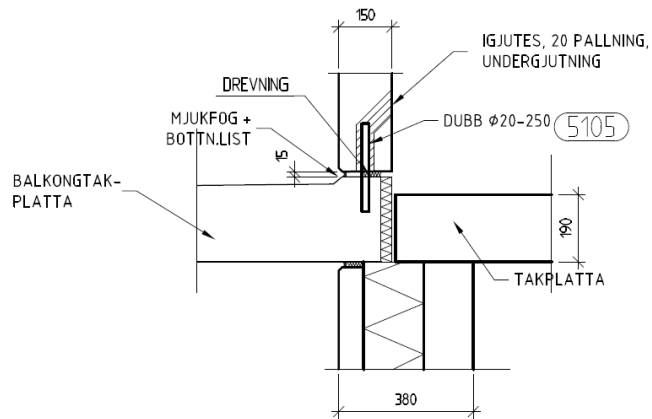


MONTAGEDETALJ MD45 1/10/120
Princip anslutning sandwichelement ytterhörn/P-Hus

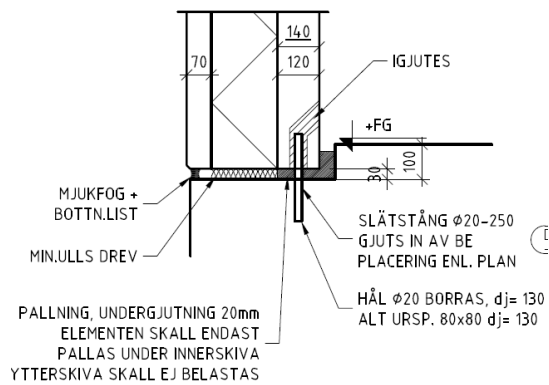


MONTAGEDETALJ MD46 1/10/120
Princip anslutning sandwichelement/innervägg

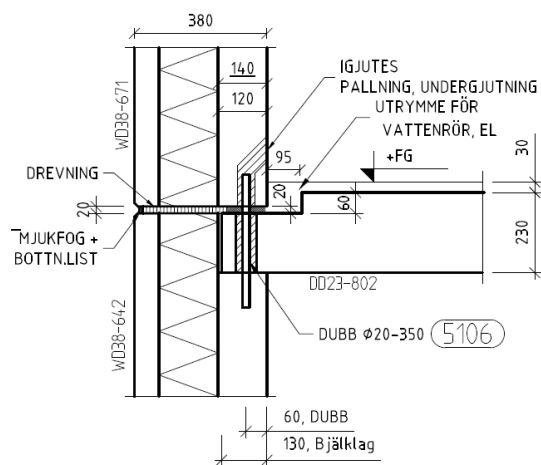
Figur B5. Horisontella snitt av elementskarvar



MONTAGEDETALJ MD18
Anslutning homogen vägg/balkongtak



MONTAGEDETALJ MD01 110/120
Princip underkant sandwichelement mot grund



MONTAGEDETALJ MD11 110/120
Princip upplag bjälklagsplatta / sandwichelement

Figur B6. Vertikala snitt av anslutning mot balkongtak, grund och bjälklag.

BILAGA 2.

Bilder från tillverkning och lagring i fabriker

Syftet med bilderna är att visa hur betongsandwichväggar är uppbyggda och hur tillverkningen kan se ut. Dock påträffades indikationer på brister i vattentätning/tätband i form av vidhäftningssläpp eller att den inte tätade i hörnen i fönsteröppning, se bild 2.4, 2.5 och 2.9.



Bild 2.1. Lagring av betongsandwichelement efter gjutning och efter montering av vattentutledning vid fönsterbröstning.



Bild 2.2. Monterad vattentutledning vid fönsterbröstning.



Bild 2.3. Pågående gjutning av den andra betongskivan som ska bli ett betongsandwichelement.



Bild 2.4. Monterad vattentutledning vid fönsterbröstning. Det ser ut som att tätbandet delvis har släppt från underlaget vid uppdrag.



Bild 2.5. Monterad vattenutledning vid fönsterbröstning. Det ser ut som tätbandet inte täcker isoleringen i väggen och att det finns en glipa/hål.



Bild 2.6. Pågående montering av expanderande fogband (yttre fogband).



Bild 2.7. Fönsterbröstning före montering av vattenutledning.



Bild 2.8. Vattenutledningen är monterad under fönster samt att det har tätats med fogmassa under fönster.



Bild 2.9. Vattenutledningen är monterad under fönster. Den tätar inte i hörnet. Lägga märken till att den är snittad i den andra vinkeln längre in vilket är en känslig punkt.



Bild 2.10. Isoleringen i väggen är synlig i fönsteröppning mellan den yttre och inre betongskivan.



Bild 2.11. Lagring av betongsandwichelement i fabrik

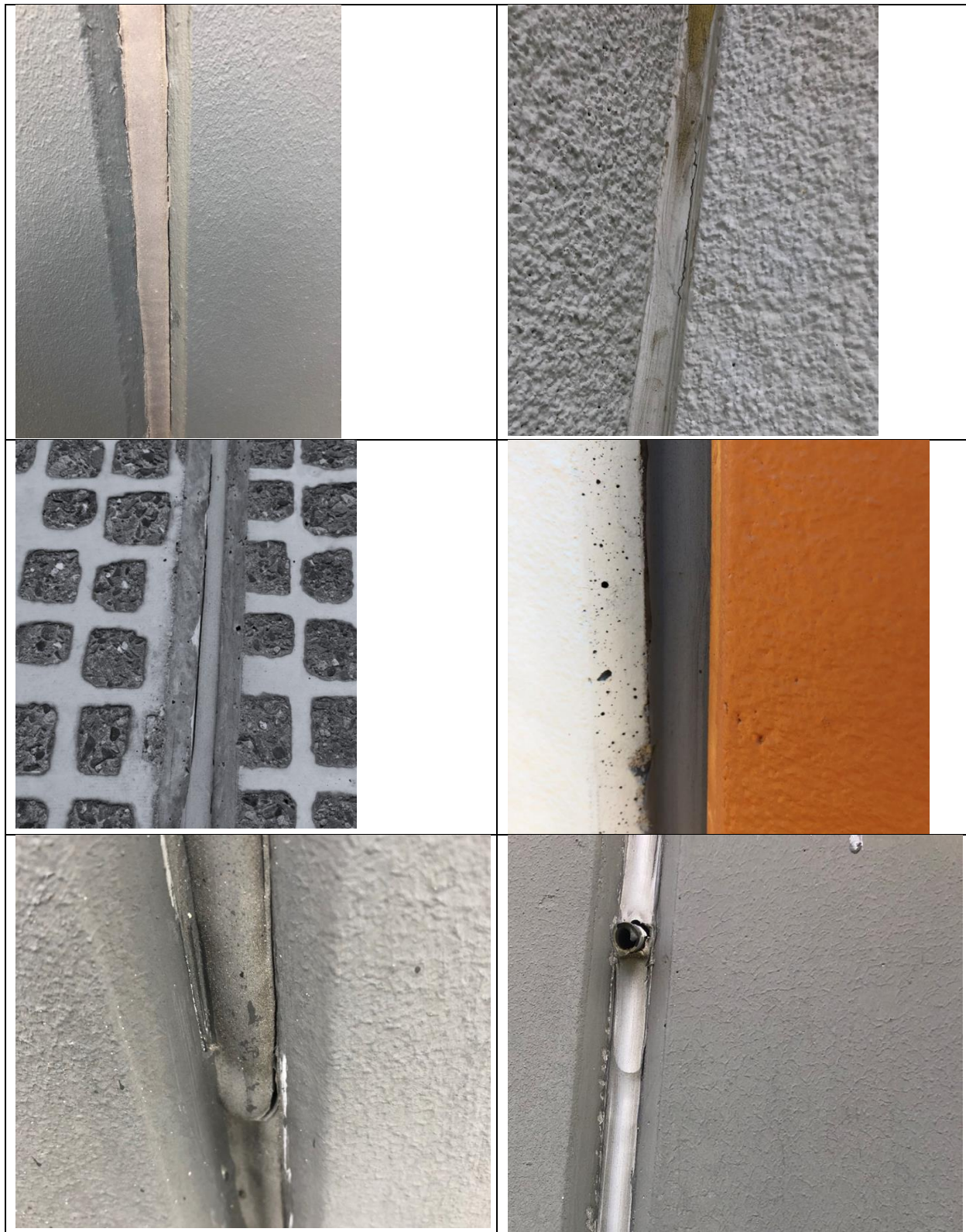


Bild 2.12. Isoleringen i väggen är delvis synlig mellan den yttre och inre betongskivan.

BILAGA 3. BESIKTNING

Denna bilaga redovisar exempel på brister och avvikelser som påträffades vid fältundersökningen. utförande.

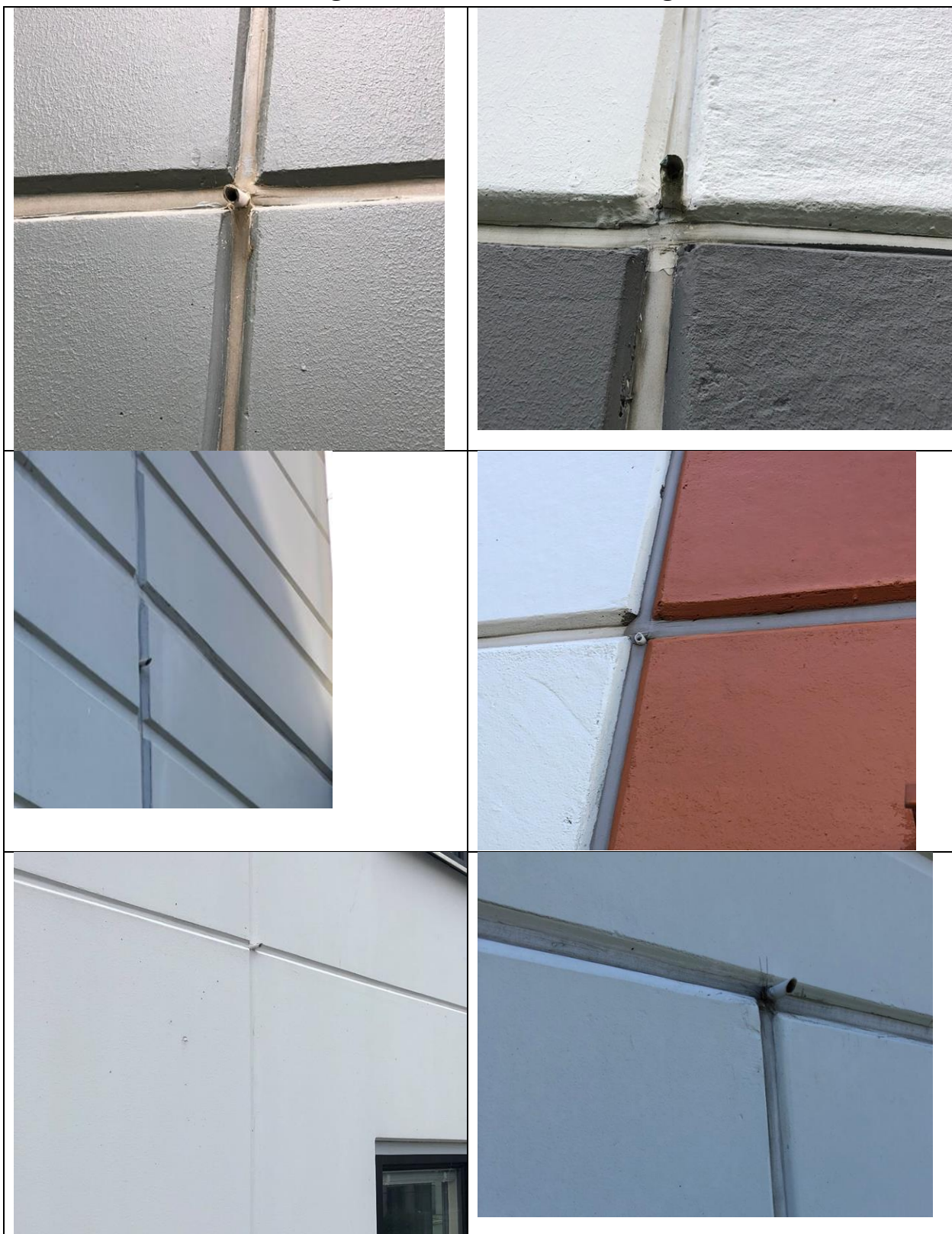
Springor, sprickor och vidhäftningsläpp etc



Sprickor i betongelement



TDV-rör som sitter förhögt eller saknar 45° lutning









Bland annat springor vid TDV-rör



Brister i expanderande fogband vid fönsteranslutning



Exempel på ytterligare avvikelser/brister

 <p>Vattenutledning under fönsterbleck sticker fram och saknar delvis vidhäftning mot underlaget</p>	 <p>Glipa i hörn mellan fönsterbleck och betong.</p>
 <p>Lagad betongkant och sprickor i lagningen.</p>	 <p>Otät ventilgenomföring.</p>
 <p>Materialet som blir över vid böckning av fönsterbleckts hörn har vikts utåt vilket kan leda in vatten bakom fönsterblecket. Vatten kan stänka över gaveln på fönsterblecket.</p>	 <p>Synliga spricka i putsen eventuellt vid en betongelementsskarv.</p>

Exempel på ytterligare avvikelser/brister



Horisontell fog som "kalvat".



Skarv i metallbeklädningen vilket är ett exempel på glipa där vatten eventuellt kan tränga in bakom detta fogband.



Vertikal spricka i puts utanför betongelementsskarv.



Eventuellt saknas tätning av ventilgenomföring.



Vägganslutning mot grund. Horisontellt placerat TDV-rör.

BILAGA 4 LABORATORIEFÖRSÖK

Bilder på objekt 1 inför försök 1



Fönster A10-A11



Detaljer



Expanderande fogband vid fogkors.



Utökat försök 2 för att kontrollera täthet vid balkong.

Objekt 1 - Demontering och undersökning av inläckagevägar

Fönster A10-A11 efter försök 3.



Fönster och fönsterblecksanslutning vid det nedre vänstra hörnet.



Punktvis med fogmassa på fönsterbleckets bakkant.



Fogbandsskarv vid fönsterhörn.



Sekundär tätning hade släppt i det vänstra hörnet vilket kan vara en trolig förklaring till inläckageväg.

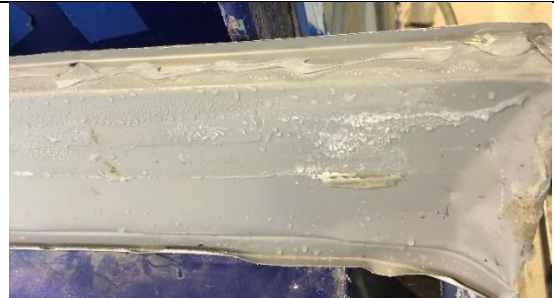


Sekundär tätning hade släppt i det högra hörnet vilket kan vara en trolig förklaring till inläckageväg.

Fönster B5-B6 efter försök 3



Fönster och fönsterblecksanslutning vid det nedre vänstra hörnet.



Punktvis med fogmassa på fönsterbleckets bakkant. Hörnen var invikta mot bakkanten.



Punktvis med fogmassa på fönsterbleckets bakkant. Lägg märke till att plåtkanten som ska in i karmspåret är sannolikt för bred.



Yttre fogband i fönsteröppning.



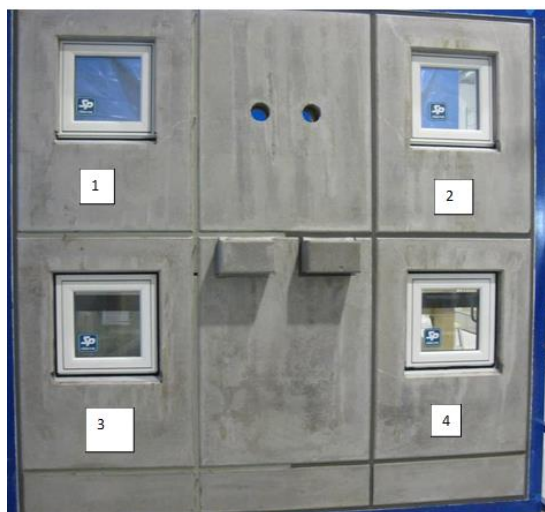
Uppvik av sekundär tätning.



Sekundär tätning hade släppt i det vänstra hörnet vilket kan vara en trolig förklaring till inläckageväg.

Objekt 2

Före montage av fönsterbleck





3



3



4



4

Bilder på pågående provning och detaljer -Försök 1 och 2



Försök 1



Fogkors och balkonganslutning med fogmassa.



Expanderande fogband i fogkors.



Fönster nr 1 (B1-B4).



Fönster nr. 4 (A8-A11)

Försök 2



Uppsamling av vatten inuti vägg under fönster A10.



Fuktmarkering på väggen i inspektionsöppning.

Demontering och undersökning av inläckagevägar Fönster A10 efter försök 3

	
<p>Sekundär tätning synlig bakom fogband.</p>	<p>Fogmassa mellan uppvik av fönsterbleck och betongmyg.</p>
	
<p>Punktvis med fogmassa på fönsterbleckets bakkant. Hörnen på fönsterblecken var invikta mot bakkanten.</p>	<p>Hål till insidan under sekundär tätning vid det högra hörnet. Detta var sannolikt huvudorsak till inläckage.</p>
	
<p>Borttagit fönster i fönsteröppning. Isoleringsskikt mellan den inre och yttre betongskivan.</p>	<p>Fogbandets placering på fönsterkarm längs vänster vertikal sida (fönstrets undersida är uppåt i bilden).</p>

Fönster B4 efter försök 3



Fogmassa mellan uppvik av fönsterbleck och betongsmyg.



Borttagit fönsterbleck.



Fuktmarkeringar på betong innanför det yttre fogbandet.



Uppdrag sekundär tätning vid det nedre högra hörnet sett inifrån.



Närbild vid det nedre högra hörnet.



Sekundär tätning hade släppt i hörnet vilket kan vara en trolig förklaring till inläckageväg.