



Utvärdering av prefabricerad vägg
Uppdragsnummer
133575-301

Rapport

Skanska Sverige
Teknik

Göteborg
Uppdragsansvarig
Linda Martinsson
Datum
2014-07-06

1 (47)

UTVÄRDERING AV PREFABRICERAD VÄGG

System för tilläggsisolering vid renovering av flerbostadshus



SKANSKA

Skanska Sverige/Teknik

.....
Linda Martinsson
Uppdragsansvarig

ELEMENTUM

eco energy consumption zero

Elementum eco

.....
Carl Bloom



Utvärdering av prefabricerad vägg

Uppdragsnummer

133575–301

Rapport

2 (47)

Skanska Sverige

Teknik

Göteborg

Uppdragsansvarig

Linda Martinsson

Datum

2014-07-06

SAMMANDRAG

Denna rapport sammanfattar och analyserar resultaten av de utvärderingar, finansierade av BeBo (Energimyndighetens beställargrupp för energieffektiva flerbostadshus), som har gjorts av pilot-montaget av ett system av prefabricerade ytterväggar i renoveringen av Miljonprogramsområdet Brogården, Alingsås. Bostäderna i Brogården renoveras till passivhusnivå i ett partneringsprojekt mellan AB Alingsåshem och Skanska Sverige AB, men systemet ska även kunna användas för andra nivåer på energikrav. Ytterväggarna har tillverkats och levererats av Elementum eco AB.

Prefabytterväggar med passivhusprestanda har använts i tre flerbostadshus i Brogården; Hus N, Q och P. Uppföljande mätningar av stomme, fuktillstånd i elementen samt luftläckage och invändiga yttemperaturer i färdig byggnad har utförts i den första byggnaden, Hus N. Montaget utvecklades vidare för alla de tre husen och relevanta produktionserfarenheter har därför tagits med även från de senare stegen i processen. Sammanställningen fokuserar på tre aspekter:

Byggbarhet i produktion

Observationerna från montageuppföljningen av det första huset har använts till att förbättra detaljutformningen och monterrutinerna för elementen. Framför allt toleranser mellan element, utformning och komplettering av skarvar har visat sig vara viktiga aspekter. Nyttan av prefab ur ergonomisk synvinkel kan bekräftas, många tunga moment försvinner från arbetsplatsen till fabrik med bättre arbetsförhållanden. Prefabriceringen minskar även omkostnader, hantering och spill på plats och förbättrar även utrymmet och arbetsmiljön.

De platsbyggnads bokhyllstommarna i Brogården har laserskannats för att undersöka vilka toleranser som kan förväntas i byggnader från denna tid. Skanningen visar att den valda drevmånen ($\pm 2\text{cm}$) för prefabytterväggarna kan ta upp toleranserna i betongstommen i de allra flesta lägen. Elementen behöver därför inte anpassas ett och ett utan kan tillverkas rationellt med samma mått för alla.

Prefab i renovering

Framtaget system med montage direkt från bil och fallskydd monterat i stommen var effektivt för renovering av den här typen av byggnader från Miljonprogrammet, med regelbunden bokhyllstomme och plana uppställningsytor omkring husen. Totalt visar utvärderingen att ett prefabricerat ytterväggssystem kan användas i renovering med samma tekniska funktion som för ett platsbyggt system. En något högre material- och tillverkningskostnad kan tjänas in genom en stor potentiell tids- och omkostnadsbesparing relativt ett platsbyggt alternativ.

För att få god montage- och kostnadseffektivitet är det viktigt att montörerna är med i framtagande av detaljer, arbetsordning och beredning av momenten. Laserskanningen gav en pedagogisk och effektiv beskrivning av den befintliga betongstommen, men tidplanen för projektet måste anpassas om metoden ska ge full utväxling.



Utvärdering av prefabricerad vägg

Uppdragsnummer

133575–301

Rapport

3 (47)

Skanska Sverige

Teknik

Göteborg

Uppdragsansvarig

Linda Martinsson

Datum

2014-07-06

I detta fall monterades ytterväggen utanpå en solid betongvägg respektive med en ny utfackningsvägg i bokhullestomme. Systemet har dock potential att användas även i andra typer av byggnader. Eftersom elementens egenvikt tas ned till bottenplattan innebär de inte någon ytterligare last på den befintliga stommen.

En intressant tillämpning i renovering att titta vidare på vore tilläggsisolering med element utanpå befintliga betong- eller utfackningsväggar, vilket borde kunna göras med kvarboende.

Bekräftelse av teoretiska resultat

De sammantagna mätningarna styrker resultaten från den teoretiska väggutvecklingen. Lufttäthetsmässigt klarar väggsystemet passivhus-nivå. Termograferingen upptäckte inga konstruktions- eller utförandebrister. En köldbrygga med genomslag i sockel utmärkte sig mer än förväntat, över källardörren på gaveln, men den beror snarare på utformningen av källaren än typ av ytterväggsystem.

Även fuktmässigt motsvarade väggens prestanda vad den teoretiska granskningen förutspått. Den långsamma uttorkningsprocessen styrker behovet av fuktsäker tillverkning, transport, montage och produktionstid för att inte påverka väggens prestanda negativt. Det är särskilt betydelsefullt att vägg-elementen byggs av robusta material och att trä undviks i möjligaste mån för att minska risken för fuktrelaterade skador i produktionskedjet. Erfarenheten från pilotmontaget visar att det är viktigt att beakta att en prefabvägg utan fasad under produktionstiden ännu inte har samma skydd och egenskaper som den färdiga väggen.



Utvärdering av prefabricerad vägg
Uppdragsnummer
133575-301

Rapport

4 (47)

Skanska Sverige
Teknik

Göteborg
Uppdragsansvarig
Linda Martinsson
Datum
2014-07-06

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	BAKGRUND	5
1.1	ALLMÄN INFORMATION	5
1.2	OBJEKTBEKRIVNING OCH SYFTE.....	6
1.3	UTVÄRDERINGENS OMFATTNING	6
1.4	METOD	6
1.5	RAPPORTUPPLÄGG	6
2	VÄGGUTVECKLINGEN I BROGÅRDEN	7
2.1	BROGÅRDENS RENOVERING	7
2.2	BEEM-UP – TEORETISK VÄGGUTVECKLING.....	8
2.3	PILOTMONTAGE I BROGÅRDEN	9
3	UTVÄRDERING AV PREFABELEMEN T I RENOVERING	11
3.1	ANPASSNING TILL BEFINTLIG BETONGSTOMME.....	11
3.2	HANTERBARHET OCH MONTAGEASPEKTER FÖR ELEMENTEN	17
3.3	PRODUKTEGENSKAPER OCH HANTERING M.A.P. FUKT	27
3.4	LUFTTÄTHET.....	37
3.5	ISOLERING OCH KÖLDBRYGGOR.....	40
4	SAMMANFATTNING AV UTVÄRDERINGEN	43
5	REFERENSER.....	45

BILAGA A Elementutformning

BILAGA B Mätrapport Laserskanning (MTm3P03355)

BILAGA C Mätrapport Fuktprestanda (3P04160 och 3P04160.2)

BILAGA D Mätrapport Lufttäthet/Termografering (3P04160.1)

BILAGA E Fakta om Brogårdenbyggnaderna



Utvärdering av prefabricerad vägg

Uppdragsnummer

133575–301

Rapport

5 (47)

Skanska Sverige

Teknik

Göteborg

Uppdragsansvarig

Linda Martinsson

Datum

2014-07-06

1 BAKGRUND

AB Alingsåshem inledde 2007 ett partnersamarbete med Skanska Sverige AB i renoveringen av bostadsområdet Brogården i Alingsås. Brogården kom också att bli ett pilotprojekt i ett EU-finansierat demonstrationsprojekt, BEEM-UP (Building Energy Efficiency for a Massive Market Uptake)[1],

Skanska Sverige, Europrofil och Sundolitt har inom ramen för demonstrationsprojektet BEEM-UP teoretiskt utvecklat ett byggsystem med prefabricerade väggelement att använda i renovering av flerbostadshus. Brogården är ett miljonprogramsområde som renoveras till passivhusnivå. Utvecklingen gjordes utifrån Brogårdens krav på U-värden och lufttäthet motsvarande passivhus, men systemet skulle även kunna användas till nybyggnad och i byggnader med mindre hårda energikrav.

I Brogården togs väggelementen fram för att kunna appliceras som tilläggsisolering av befintlig betongvägg (på gavlar) samt tillsammans med utfackningsvägg (på långsidor). Dessa två fall av tillämpningar tros kunna fungera för en mycket stor del av de flerbostadshuskonstruktioner som finns från denna tid;

- som tilläggsisolering utanpå befintlig sandwichvägg eller liknande,
- som tilläggsisolering med ny fasad utanpå betongvägg, utfackningsvägg eller på innerskivan i befintlig sandwichvägg (om ytterskiva + isolering rivs), eller
- som del i helt ny ytterväggskonstruktion med ny utfackningsvägg. I Brogården användes en ny utfackningsvägg för att säkra projektets lufttäthetskrav och fuktkrav på passivhusnivå.

Inom BEEM-UP-projektet utvecklades, granskades och analyserades väggen teoretiskt samt i flera provmoduler för att verifiera ställda funktionskrav (exempelvis U-värden, köldbryggor, ljud, kemikalier, byggbarhet, hanterbarhet, brand och fukt)[2].

Efter att utvecklingen i BEEM-UP avslutats bildades ett nytt företag, prefableverantören Elementum Eco AB. Elementum eco kontrakterades för att detaljprojektera, bygga och leverera motsvarande element till Brogården. Skanska har monterat dessa i de tre sista hus som renoverades i området.

Föreliggande utvärderings ska bedöma det praktiska resultatet, jämföra mot de teoretiska resultaten i BEEM-UP och undersöka potentialen för användning av prefabricerade väggsystem i renovering.

1.1 Allmän information

Rapporten beskriver utvärderingen av användningen av prefabricerade väggelement för renovering i praktisk tillämpning. Energimyndighetens beställargrupp för energieffektiva flerbostadshus, BeBo, har beviljat stöd till utvärderingen. Skanska Sverige AB och Elementum eco AB har bidragit med egetid i utvärderingen och sammanställt erfarenheterna från montaget. Mätningar har utförts av SP, Sveriges Tekniska Forskningsinstitut. Rapporten har sammanställts av Skanska.

1.2 Objektbeskrivning och syfte

Studien omfattar användningen av prefabricerade regelement i Alingsåshems och Skanskas renovering av bostadsområdet Brogården i Alingsås. Elementen har detaljprojekterats och tillverkats av Elementum eco. Utvärderingen ska komplettera den teoretiska utvärdering som gjorts inom EU-projektet BEEM-UP, Work package WP4, för tillämpning av högpresterande isolering i renovering. Dessa följs nu upp med praktiska tester och mätningar i fullskalemontage i riktiga byggnader. Fokus ligger på tre områden;

- Byggbarhet i produktion: Hur fungerar montaget av väggelement på arbetsplatsen? Vad är viktigt att tänka på vid produktionsplanering? Skulle montaget kunna göras med kvarboende hyresgäster?
- Prefab i renovering: Hur fungerar prefabelement i kombination med en befintlig stomme? Vilka är de faktiska byggtoleranserna och kan dessa tas upp på ett effektivt sätt, så att cm-anpassningen mellan element och stomme kan möjliggöra mm-tolerans i fasad?
- Bekräftelse av teoretiska resultat: avviker det praktiska resultatet från beräknade egenskaper eller från testresultat i liten skala? Går det att bygga som projekterat?

1.3 Utvärderingens omfattning

Utvärderingen har koncentrerats på montaget för det första huset som byggdes med prefabricerade ytterväggar, Hus N, vars väggelement monterades i april 2013 och som färdigställdes i december 2013. Uppföljande mätningar och tester har gjorts under byggtiden och fram till och med april 2014.

Erfarenheter från Hus N har under tiden lett till att vissa ändringar gjorts och delvis nya rutiner implementerats i montaget av prefabväggar i Hus Q (september 2013) och Hus P (januari 2014). Relevanta observationer från dessa hus har också tagits med i rapporten.

1.4 Metod

Projektledare för utvärderingen har varit Linda Martinsson, Skanska Sverige. Projektledaren har svarat för samordning, sammanställning av montageerfarenheter, analys och rapportskrivning. Utvärderande mätningar har utförts av SP Mätteknik (Laserskanning), SP Byggnadsfysik och innemiljö (fukt-mätning) och SP Energiteknik (termografering och lufttäthetsmätning). Alla mät rapporter inkluderas som bilagor till rapporten. Samtliga resultat har analyserats mot utvärderingens syfte av Skanska.

1.5 Rapportupplägg

Rapporten inleds med en beskrivning av väggutvecklingen i Brogården som introduktion. Huvudavsnittet av utvärderingen har delats upp i beskrivning och utvärdering av befintlig stomme, hanterbarhet i montage, fuktaspekter, lufttäthet och värmeprestanda. Sist i rapporten finns de mät rapporter som kapitlet hänvisar till bilagda.

2 VÄGGUTVECKLINGEN I BROGÅRDEN

2.1 Brogårdens renovering

Alingsåshems område Brogården med 16 hus och 299 lägenheter genomgår en s.k. djup renovering. (se fakta om byggnaderna i Bilaga E). Flerbostadshusen från Miljonprogrammet, byggda 1971-73, renoveras till passivhusnivå med bl.a. omfattande åtgärder i klimatskalet. Enbart taket och den bärande betongstommen behålls i ombyggnaden (se fotot i Figur 1).

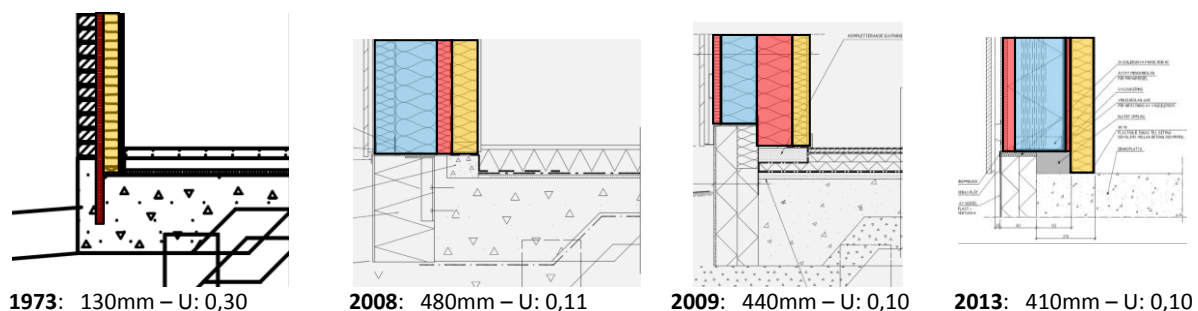


Figur 1 Exempel Hus P, stomme efter rivning

Den befintliga tegelfasaden och långsidans utfackningsväggar rivs, och en ny konstruktion byggs upp med en utanpåliggande påsalningsvägg med självbärande, slitsad stålregelstomme, ett mellanliggande obrutet isolerskikt och på långsidorna en ny utfackningsvägg. Ytterväggen får ett U-värde på c:a 0,10 W/m²/K efter renovering, och mängden genomgående köldbryggor minimeras.

Sedan det första Brogårdenshuset renoverades 2008 har projektorganisationen arbetat med kontinuerliga förbättringar av ytterväggen, både av små detaljer och av konstruktionen som helhet. Den första generationen av väggen från 2008 förbättrades i fråga om effektivitet, materialanvändning, ergonomi och värmeprestanda genom flera stora ändringar av ytterväggskonstruktionen.

Trots minskat antal skruvfästningar och färre tunga skivor innebar montaget på plats efter 2009 fortfarande stora belastningar på yrkesarbetarna. Framför allt gav skruvning och bultning av grovt stål, ofta från ställning och i ofördelaktiga positioner och vintertid även i kyla, upphov till belastningsskador på armbågar och axlar. Nyttan av att platsbygga väggen ifrågasattes på grund av de dåliga arbetsmiljöförutsättningarna för de tunga arbetena, och idén om en fjärde väggversion för att kunna prefabricera ytterväggen under mer kontrollerade förhållanden i fabrik föddes (se Figur 2).



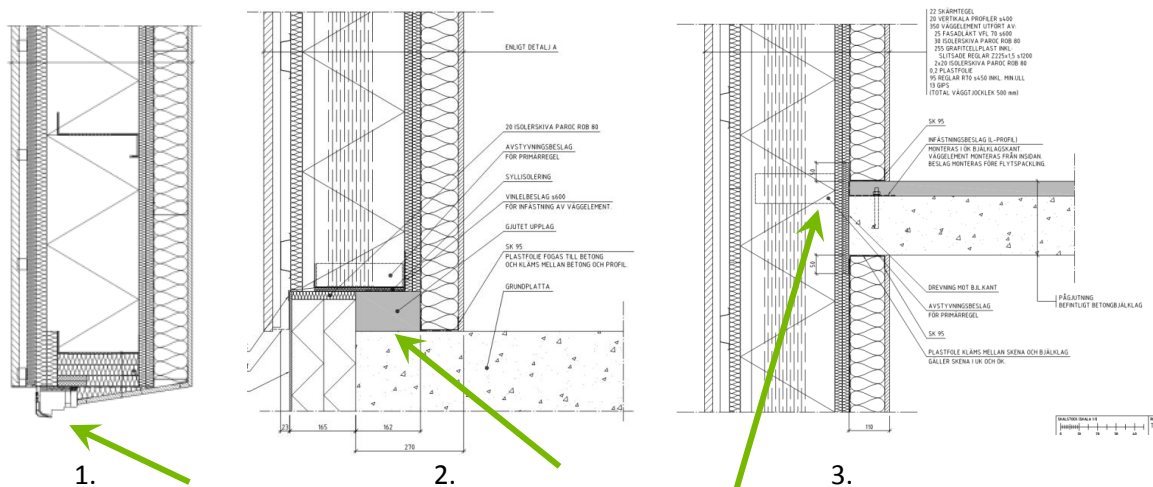
Figur 2 Ytterväggs evolution i Brogården, med årtal, isolertjocklek (mm) och U-värde(W/m²/K) angivna under de olika konstruktionerna. Blått markerar utvändig stomme, rött obrutet isolering, gult utfackningsvägg. Se även Bilaga E för fakta kring de olika generationerna av ytterväggen.

2.2 BEEM-UP – teoretisk väggtveckling

När Brogårdenprojektet fick möjlighet till vidareutveckling av konstruktionen inom EU-projektet BEEM-UP var prefabricering en bärande idé. Ytterväggen skulle ha samma tekniska funktion och prestanda som den dåvarande konstruktionen, men klara prefabricering, transport och montage av element på plats. Dessutom skulle samma elementkonstruktion kunna monteras både på utfackningsväggar (långsidor) och på solida väggar (gavlar). Utvecklingen inom BEEM-UP gjordes i en arbetsgrupp bestående av Skanskas platsledning, Skanska Teknik samt materialleverantörerna Europrofil och Sundolitt.

Väggelementen består av en stomme av slitsade Z-profiler i stål med mellanliggande cellplastisolering, inkapslat av mineralullsboard på in- och utsida. Med högpresterande isolering (grafit-EPS, λ_d 0,031 W/m/K [3]) kunde det bärande skiktet göras tjockare på bekostnad av det köldbryggebrytande lagret och därmed flyttas in mot stommen, och elementet kunde monteras med bottenplattans kantbalk som upplag (se Figur 3). Detta var avgörande för lösningen, eftersom tvärväggar och bjälklag i den bärande betongstommen var mycket hårt utnyttjade och inte kunde ta ytterligare vertikal last.

EPS-en gav även stadga åt elementen som gjordes hushöga. Den nya konstruktionen granskades i BEEM-UP-projektet inom fukt, byggharhet, värmegenomgång, brand och akustik, erfarenhetsåterföring gjordes från produktionen av den tidigare väggen och montageaspekter diskuterades med personal på plats, och fullskaliga moduler byggdes för tester av hanterbarhet, slagregns- och brandmotstånd (EI60) för att visa att konstruktionen uppfyllde funktionskraven. Den resulterande konstruktionen (se Figur 3) och processen presenteras utförligt i BEEM-UP-rapporten för WP4 [2].



Figur 3 Principritningar från utvecklingsprocessen i BEEM-UP. 1) Horizontalsnitt vid fönster (karm vid pilen). 2) Vertikal detalj. Väggelementen ställs på en betongklack (se pil) på det tidigare tegelupplaget på bottenplattans kant, där egenlasten från elementen tas ner. 3) Vertikal detalj. Infästningen i bjälklag (se pil) tar enbart vindlaster. Ritningar från Europrofil.

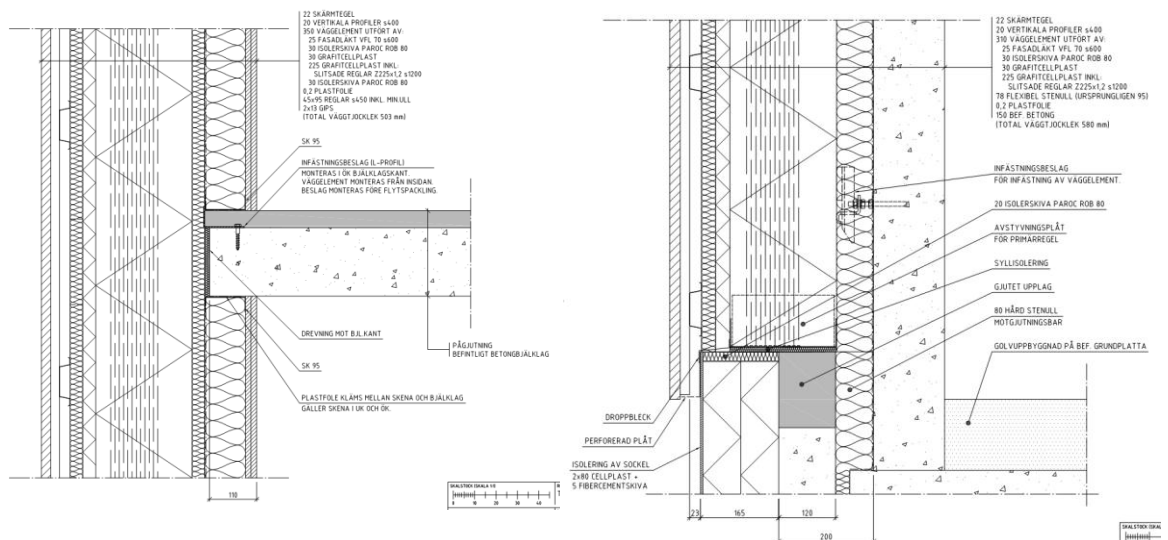
2.3 Pilotmontage i Brogården

För att realisera resultaten från BEEM-UP bildade en av projektdeltagarna prefabriceringsföretaget Elementum eco, med fabrik i Bollebygd. Elementum eco köptes sedan in som prefableverantör för att detaljprojektera och leverera ytterväggsselement till Brogårdens sista tre byggnader. Elementen monterades på plats av Skanskas personal.

Den kommande delen av rapporten kommer att utvärdera detta pilotmontage i fråga om

- Anpassning till befintlig betongstomme
- Hanterbarhet och montageaspekter för elementen
- Produktegenskaper och hantering med avseende på fukt
- Lufttätthet
- Termisk prestanda och undersökning av köldbryggor

Det slutliga väggelementet (se Figur 4) var 3-4 våningar högt och bestod av en kärna av grafitcellplast med stående, obrutna Z-profiler stagade av cellplasten och hopfästa av hattprofiler utvändigt respektive stålband invändigt, vilket gav en mycket formstabil elementkärna. Cellplastkärnan kapslades in av mineralullsboard in- och utvändigt av brandskäl.



Figur 4 Slutgiltigt utformning av prefabytternväggen på långsida tv, med invändig utfackningsvägg, och gavel th, med bärande betongvägg invändigt. Detaljerna finns i bättre upplösning i Bilaga A (ritningar från Europrofil).

Vägguppbbyggnad utifrån och in i färdig vägg på långsida respektive gavel:

22 SKÄRMTEGEL
20 VERTIKALA PROFILER s400
350 VÄGGELEMENT UTFÖRT AV:
25 FASADLÅKT VFL 70 s600
30 ISOLERSKIVA PAROC ROB 80
30 GRAFITCELLPLAST
225 GRAFITCELLPLAST INKL:
SLITSADE REGLAR Z225x1,2 s1200
30 ISOLERSKIVA PAROC ROB 80
0,2 PLASTFOLIE
45x95 REGLAR s450 INKL. MIN.ULL
2x13 GIPS
(TOTAL VÄGGTJOCKLEK 503 mm)

Långsida:

22 SKÄRMTEGEL
20 VERTIKALA PROFILER s400
310 VÄGGELEMENT UTFÖRT AV:
25 FASADLÅKT VFL 70 s600
30 ISOLERSKIVA PAROC ROB 80
30 GRAFITCELLPLAST
225 GRAFITCELLPLAST INKL:
SLITSADE REGLAR Z225x1,2 s1200
78 FLEXIBEL STENULL (URSPRUNGLIGEN 95)
0,2 PLASTFOLIE
150 BEF. BETONG
(TOTAL VÄGGTJOCKLEK 580 mm)

Gavel:

Elementen fraktades liggande och levererades utan fönster i då detta var för svårt att hantera i tillverkning och transport. Elementen monterades på plats från kranbil av kranförare plus tre man (Figur 5). Efter montage kompletterades de med fönster, med fasadsystemet som monterades på elementets hattprofiler utvändigt samt invändigt av isolering mellan element och betongvägg (på gavlar) respektive av drevning och en invändig utfackningsvägg (på långsidor).



Figur 5 Princip för montage av ytterväggselementen mot stommen, i detta fall på långsida

Med målsättningen att göra elementen max 3,10m breda kunde de i de flesta fall transporteras på öppen bil utan specialtillstånd eller följebil. Elementen lagrades och fraktades inslagna i presenning, 6-7 element per bil. Elementvikten var c:a 15kg/m² element för denna elementtjocklek.

3 UTVÄRDERING AV PREFABELEMEN I RENOVERING

Detta avsnitt beskriver bakgrund, syfte, metod, resultat och analys av de olika studierna som har gjorts av ytterväggen och montagearbetet i denna utvärdering. Dessa är

- Anpassning till befintlig betongstomme,
- Hanterbarhet och montageaspekter för elementen,
- Produktegenskaper och hantering med avseende på fukt
- Lufttätthet, och
- Isolering och köldbryggor

Laserskanning, fuktmätning, tryckprovning och termografering har utförts av SP. Rapporterna från dessa mätningar finns bifogade i sin helhet sist i rapporten.

3.1 Anpassning till befintlig betongstomme

Brogården-byggnaderna har en platsgjuten bokhyllstomme i betong med bärande gavel- och tvärväggar, ett av de vanligaste stomsystemen under Miljonprogrammet[4]. Erfarenheter från produktionspersonalen i Brogården, bekräftade av inmätningar gjorda inom BEEM-UP/WP4, visade på stora avvikelser i mått i sidled i gavelväggar och långsidornas bjälklagskanter. Inmätningen, gjord i några punkter med totalstation och tumstock under utvecklingen av den nya väggen, visade att differenserna kan slå så mycket som 5cm på en väggsida (hel betongvägg, gavelvägg) samt att avståndet till bjälklagskant från tidigare innerliv för yttervägg har varierat \pm c:a 2cm[2].

Fasadsystemet med skärmtegel som används vid renoveringen av Brogården har mycket små toleranser (mm), så prefabsystemet måste på samma sätt som den tidigare platsbyggda ytterväggen kunna ta upp stommens cm-variationer utan att detta förs över till fasaden. En laserskanning har därför gjorts av stommen gjorts i Hus N, för att undersöka vilka och hur stora måttavvikelsena är och om ytterligare anpassning behövs för att elementen ska kunna absorbera dem.

3.1.1 Syfte

- Att undersöka hur stora variationerna är i en platsgjuten stomme från Miljonprogrammet och om elementen kan ta upp dessa inom de planerade toleranserna för montaget (20mm drevmån på långsidor samt, ursprungligen, teoretiskt 78 mm mjuk isolering på gavlar).
- Att undersöka nytta och möjligheter med laserskanning i renovering med prefabelement

3.1.2 Bakgrund

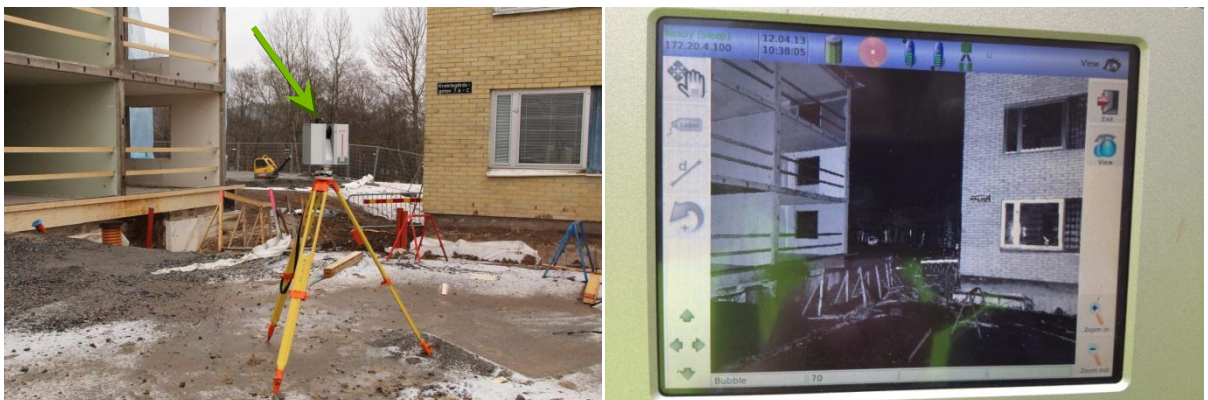
Under arbetet med den tidigare platsbyggda renoveringsväggen har snickarna fått anpassa väggstommen vid montaget för få ett rakt väggliv horisontellt och vertikalt. De ojämnheter som påverkat väggen har främst varit ytterkanter på bjälklag och bottenplatta som inte har varit raka utan "slingrat sig fram", och kortsidorna på bärande väggar i betong som har stuckit utanför eller innanför bjälklagskanten på grund av att avstängaren i formen har kalvat ut något vid den ursprungliga gjutningen.

För att kunna ta upp samma skillnader med prefabelementen utformades dessa med en på plats monterad 95cm kompletterande mjuk isolering i spalten för att ta upp toleranser mot gavelväggarna, samt på långsidorna en drevmån i den innersta mineralullsskivan i elementet på 20mm för att ta upp ev utstickande bjälklags- eller väggkanter. Om kanterna ligger längre in i stommen skulle istället drevningsmängden utökas.

3.1.3 Metod

SP Mätteknik utförde en tredimensionell laserskanning av den nakna betongstommen enligt bifogad rapport (se Bilaga B). Skanner Leica HDS 7000 (se Figur 6).

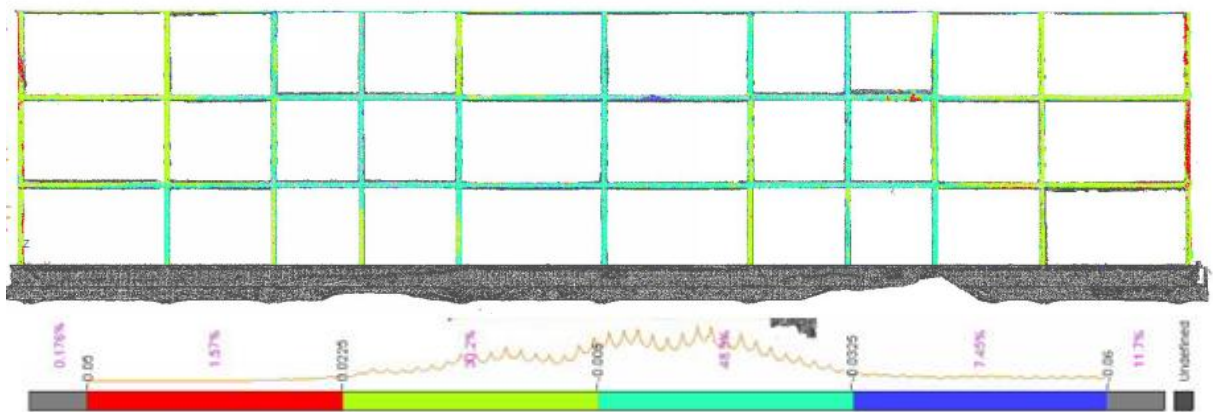
Mätningen gjordes av Hus N på Brogården, en dag med duggregn i luften. Då gavlarna var helt täckta av plast vid tillfället har inte gavelytorna skannats, med undantag för väggkanterna och byggnadens ytterlägen. Eftersom toleransen i väggsystemet är mycket större på gavlarna är avvikelserna där ändå av mindre betydelse.



Figur 6 Skannern tv och th en bild av hur punktmolnet presenteras på skärmen under mätningen.

3.1.4 Resultat

Skanningen genererar ett punktmoln av inmätta koordinater som måste rensas och förädlas till en relevant presentation för att bli användbara. SP lade mycket arbete på att ta fram alternativ för hur detta kan göras, och fick fram flera bra och visuella resultatpresentationer (se Bilaga B eller Figur 7).



Figur 7 Arbetsprov på visuell presentation av data från skanningen (här för östra långsidan). Måttstocken i nedkant har en färgkodning av avvikelserna, utåt till vänster i skalan och inåt till höger. Nästa steg, en viktig aspekt för läsbarheten, är att välja bra neutralplan och intervall för färgindelningen. Exempel Jörgen Spetz, SP.

Avvikelserna i den platsgjutna stommen som tidigare noterats på plats bekräftas av laserskanningen. Bjälklagskanterna böjlar något ut och in mot byggnadens mitt. Oftast ligger variationerna inom 5-6 cm, från c:a +2cm utåt till -3cm inåt.

- Bjälklagens yttermått varierar, men med mjuka övergångar, inga abrupta skillnader. Typiskt varierar ytterlinjen i bjälklagskant inom ± 2 cm.
- Tvärväggarnas ändrar avviker både i sid- och djupled, och är ibland förskjutna jämfört väggen ovan- eller nedanför. Väggarnas kortsidor lutar i flera fall inåt eller utåt, oftast då underdelen av väggformen har kalvat ut. Det finns vissa skador och gjutsår som ger mer abrupta nivåskillnader, dock vanligen in mot byggnaden, men ibland utåt (främst på gavelväggarnas kanter). Oftast mycket begränsade i utsträckning.

Större utstickande delar som krävde åtgärder i element eller stomme före montage fanns bara på några få ställen. Uppmättningsresultaten finns detaljerat beskrivna i SP Mättekniks rapport (Bilaga B).



Figur 8 Foton av betongstommen vid skanningstillfället. Tv de råa bjälklagskanterna på västra långsidan. Th: Bottenplattans kantbalk. Eftersom formning av upplaget för väggelementen pågick kunde inte kantbalken skannas. Den ursprungliga kantbalkens läge är dock oviktigt eftersom upplaget gjuts upp i våg till rätt nivå.

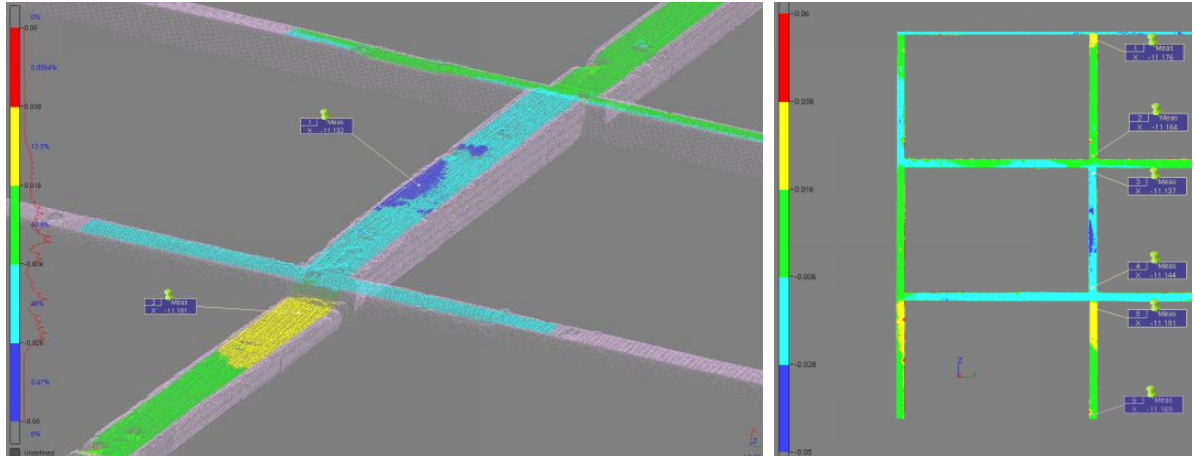
3.1.5 Analys

I stort håller sig avvikelserna inom $\pm 2-3$ cm. Genom laserskanningen blev det dock tydligt i vilka punkter ytterligare åtgärder behövdes, där antingen betong bilades bort eller elementen fick anpassas. Variationen i bjälklagskant liksom inåtgående väggändar kan normalt tas upp i drevmånen. Det som kan behöva åtgärdas är vissa lokalt utstickande delar av väggändar eller gjutrester. Med elementväggen kommer man också ifrån det tidigare bekymret att anpassa sylskenan efter den svängande kantbalken på bottenplattan, eftersom ett nytt upplag i betong gjuts för dessa väggar och livlinjen därmed rätas ut före montage.

Att den platsgjutna stommen bara behöver åtgärdas i ett fåtal punkter anses visa att den valda drevmånen är relevant. En ytterligare optimering av drevmånen bedöms innebära mycket arbete men ge liten nytta. De avvikelser som var så stora att de behövde åtgärdas hade i de flesta fall redan upptäckts med blotta ögat. En större drevmån hade krävt mycket mer material och åtgärder på plats i många fler lägen. Ytan på gavelväggar, som visat på störst måttvariation innan, har inte undersökts men är å andra sidan den yta där avvikelserna lättast hanteras i isolerskikten mellan stomme och element

Storleksordningen på avvikelserna i betongstommen beror av utförande och metodval vid uppförandet, vilket med tanke på den industrialiserade och upprepade byggtekniken i Miljonprogrammets byggnader troligtvis kan vara representativt för många fler byggnader med liknande stomme byggda vid samma tid, även om variationer naturligtvis förekommer.

En lärdom för framtida projekt är att laserskanningen presenterar stommens variationer med mycket stor exakthet (Figur 9), vilket ger ett gott kunskapsunderlag vid framtagning av nya ytterväggar.



Figur 9 Exempel på upplösningen i laserskanningens resultat. Stommens mått kan bestämmas med mycket stor exakthet, även i lägen där det är svårt att komma åt att mäta för hand. I detta fall, med färdigtillverkade vägg-element och toleranser, var en översikt av hela stommen (th) den viktigaste outputen. Om elementen istället konfektioneras kan det göras med mycket stor precision utifrån output motsvarande den tv. Bilder Jörgen Spetz, SP.

Laserskanningen gav ett tydligt och pedagogiskt underlag till produktionen, och den resultatpresentation som SP Mätteknik tog fram var mycket lätt att förstå och tolka. En erfarenhet är att projekterad drevmån är lämplig att använda som skalindelning i presentationen.

Samtidigt är det svårt att få tid till skanning och analys i ett pågående projekt. Arbetsplatsen vill blottlägga stommen så sent inpå montaget som möjligt för att undvika uppfuktning, och resultaten måste komma mycket snabbt om de ska kunna användas som underlag till montaget.

I ett projekt där stommen kan skannas långt före montage skulle resultatet kunna vara ett underlag även för tillverkningen av elementen. Med den produktionsordning som användes i Brogården var dock elementen tillverkade för länge sedan och redan klara för leverans vid tiden för skanningen.

3.1.6 Slutsatser

På långsidorna räckte drevmånen på $\pm 2\text{cm}$ i de allra flesta fall för att ta upp ojämnheter, vilket också skanningen visar. Där en bjälklagskant eller väggkant i stommen stack ut för långt var detta i de flesta fall synligt redan tidigare och kunde åtgärdas. Väggelementen kunde placeras i linje/lod och ta upp variationerna i stommen så de inte påverkade det kommande fasadmottaget

Sammanfattningsvis gav skanningen en mycket god bild av stommen, men det faktum att byggnadens öppettid utan regnskydd måste minimeras av fuktskäl gör skanningsmetoden opraktisk i renoveringsprojekt motsvarande Brogården. Skanningen kan inte göras innan ytterväggen rivits eller efter att väderskyddet rests kring byggnaden. Tidsfönstret för skanning i produktionsplanen är därför mycket litet och det låg i detta fall för sent i tiden för att resultatet skulle kunna användas i produktion av elementen.



Utvärdering av prefabricerad vägg

Uppdragsnummer

133575–301

Rapport

Skanska Sverige

Teknik

Göteborg

Uppdragsansvarig

Linda Martinsson

Datum

2014-07-06

16
(47)

Resultaten från skanningen i Brogården kan dock ge en fingervisning av hur stommar från Miljonprogrammet kan variera. Det är tydligt att väggformar och valvkantsformar ibland har placerats fel eller att formavstängarna har kalvat ut något vid gjutningen. Även i andra byggnader kan troligen normala variationer i mått på åtminstone $\pm 2-3$ cm förväntas. Element som formats våning för våning oberoende av varandra - som tvärväggarna - skiljer sig mer åt än bjälklagskanten som gjutits i en enda form. Byggnadens ytterhörn kan avvika i sidled längs byggnadshöjden och bärande väggar står inte alltid perfekt centriskt.

3.2 Hanterbarhet och montageaspekter för elementen

Eftersom det är den första gången väggsystemet byggs i fullskala är det viktigt att utvärdera hur det fungerar i produktion. Produktionspersonalen på Brogården gick över till att montera prefabricerade element efter att innan ha byggt om 13 av områdets 16 hus med en platsbyggd yttervägg. Erfarenheterna från montaget av det tidigare väggsystemet och av hur Brogårdens byggnader ser ut har varit en viktig kunskapskälla. Svårigheterna ligger i att utvärdera för- och nackdelar med ett obeprövat system i jämförelse med ett som har byggts och förfinats under fem års tid, där manskapet har väl framarbetade rutiner och mycket hög utförandekvalitet idag.



Figur 10 Betongstommen Hus N före väggmontage. Bjälklagen på våning 2 och 3 har täckts av plastfolie för att förhindra uppfuktning av den gamla betongen under öppettiden (plastfolien på vindsbjälklagets undersida, inringad, var ett försök att förbereda för invändigt montage som senare förkastades). Notera fallskydden av träreglar i balkskor. I vissa av de svarta infästningspunkterna i bjälklagskanterna satt tegelkramlorna kvar efter fasadrivningen (t.ex. vid pil) vilket var ett irritationsmoment, eftersom de kom i vägen för väggmontaget.

3.2.1 Syfte

- Att undersöka för- och nackdelar, kritiska aspekter och möjliga förbättringar i systemet ur montage- och hanteringssynpunkt, med fokus på ergonomi, säkerhet och effektivitet
- Att undersöka vilka förutsättningar som krävs och vilka konsekvenserna blir ur ett arbetsplatsperspektiv, i fråga om produktionsstyrning, samordning och tidplan/kostnad

3.2.2 Bakgrund

Montagemässigt var den tidigare platsbyggda väggen det styrande momentet i tidplanen. Efter att ställning och väderskydd hade rests tog montaget till tätt hus sex veckor med en kraftig topp i personalbehovet. Primärstommen restes, bultades till betongstommen och sammanfogades för hand från ställningen. Skruvning i 1-2mm stål är ett tungt arbetsmoment eftersom reglarna sviktar undan när skruven sätts i och man måste lägga tryck bakom maskinen. Varje koppling i stommen kräver normalt åtta skruv, och sitter ofta inte i god arbetshöjd utan i bjälklags-/bomlagshöjd och i överkant fönster.

Isoleringen av stommen med tre lager (170+170+30) gjordes också från ställningen. Fönstermontage, smygkomplettering och invändig lufttätning och stomme byggdes däremot inifrån, på samma sätt som med den nya väggen. Även fasadmottaget görs på samma sätt med platsbyggd och prefabricerad vägg. Skillnaden med det nya systemet är alltså att väggen från utvändig hattprofil till invändig anslutning mot betongstommen nu prefabriceras, levereras och reses i ett enda stycke/montage.

3.2.3 Metod

Montaget har studerats på plats av Skanska, vilket kompletterats av samtal med montörer, leverantörer och platsledning. Faktainsamlandet har bestått i observationer, foto och samtal på plats snarare än formella intervjuer. Målet har varit att ge användarnas syn på användningen av väggsystemet. Eftersom erfarenheter av det tidigare montaget och utvecklingen av den nya väggen har tidigare studerats inom BEEM-UP-projektet kunde erfarenheterna av prefabväggen jämföras mot dessa.

3.2.4 Observationer och ändringar/åtgärder under processens gång

Prefabmontaget gjordes av tre montörer (två på översta våning och en på marken) samt en kranförare. Infästningen av elementen vid montage gjordes med skruvning i förmonterade vinkelprofiler på upplaget på sockelkant och på undersida vindsbjälklag. Därefter kompletterades infästningen med vinklar på övriga bjälklagskanter inifrån. På gavlarna hängdes väggelementen i punktvisa beslag som förmonterats på betongväggen, och som tagits fram speciellt för detta system. Elementen sattes sida vid sida på en fasad i taget. Eftersom de är lätta och mycket formstyva är de enkla att hantera.

En av de första ändringar som gjordes efter det första huset var att ersätta mobilkranen som lyfte elementen med en kranbil som både levererade och monterade element. På så vis behövdes färre maskiner på arbetsområdet, och ytbehovet och logistiken för upplag minskades. Elementen levererades just-in-time från fabrik vilket oftast fungerade bra. Om leveransen blir försenad får det dock mer konsekvenser för bygget än om det finns upplag på plats, eftersom montörerna då behöver ställa om planeringen och byta arbetsuppgifter.

Bilderna i detta avsnitt kommer till stor del från Hus N, det första huset med prefabyttertäckväggar. Under pågående produktion av Hus N infördes den utvändiga vindduken som vindskydd och för avledning av vatten under produktionstiden. Vissa av elementen i bilderna var redan tillverkade vid detta tillfälle och de har då ingen vindduk och istället plastfolie som skydd över fönsteröppningarna.



Figur 11 Tv, mitten: De första elementen monteras. I början lastades elementen av på plats och lyftes sen med mobilkran. Montaget effektiviserades sedan genom att en kranbil både levererade och monterade elementen (th).

Av fuktsäkerhets- och effektivitetsskäl byttes också planerna på i förväg fast monterad mellanliggande isolering på gavelvägg ut mot lösullsfyllning, som kunde göras i efterhand i samband med isolering av vindsbjälklaget. På gavelväggarna förbereddes därför bara med infästningsbeslag och styr-vinklar för sektionering av lösullen (se Figur 12). Gavelelementen monterades sedan med en spalt mellan element och betongvägg.



Figur 12 Beslag för montage av element på gavelvägg tv, diffusionsplast och sektionering för lösullsfyllning th.

3.2.4.1 Ergonomi och säkerhet

En av de främsta anledningarna till att testa ett prefabricerat system var att flytta en stor mängd skruvning och bultning från arbetsplatsens ganska dåliga förutsättningar till en bättre utformad miljö i fabrik, där bättre verktyg och arbetsställningar kan användas. Sammanfogningen av yttrevägsreglar försvann med det nya systemet helt från arbetsplatsen, liksom borrning/bultning av konsoler på bottenplatta och mellan varje regel och bjälklagskant. Det som tillkom var bultning/skruvning av vinkeljärn till varje bjälklagskant och infästningen av väggarna i vinklarna (skruvning till regel).

Även detta montage är ett tungt arbete som utförs under en begränsad tid av samma personer, vilket frestar på leder i armbågar och axlar. Skillnaden är att det nu är färre moment och en betydligt kortare total tid. Ett montage, infästningen av vinkeljärn på undersida vindsbjälklag är särskilt tungt eftersom det utförs över huvudet. Det är därför viktigt att använda skonsamma verktyg och andra typer av hjälpmedel (t.ex. stag för maskiner) för de moment som måste utföras på arbetsplats. Rapporten från SBUF-projekt 12314, *Sammanställning av ergonomiska arbetsmetoder för stålreglar* [5], kan rekommenderas som hjälpmedel till framtida arbetsberedningar.



Figur 13 Tv: Borrning för infästning av vinkelprofil (inringad) på undersida vindsbjälklag, arbete över axelnivå. Th: Infästning av element till vinkelprofil monterad på ovansida bjälklag. Betydligt bättre arbetsställning.

Det fallskydd för våningsplanen som yrkesarbetarna på Brogården tog fram passar väldigt bra för Miljonprogrammets upprepade mått och korta avstånd mellan bärande tvärväggar. Två bommar av konstruktionsvirke (T2) fästes upp med balkskor mellan de bärande väggarna. Lätt att montera, lätt att flytta om det kommer i vägen under montaget och lätt att plocka ner efter att ytterväggarna är uppe (se Figur 10).

3.2.4.2 Ställning, montage metod och montageordning

Bil, ev truck samt upplag ställdes upp på plana ytor kring byggnaderna. Eftersom byggnaderna byggts på samma vis finns det oftast goda möjligheter att komma fram till husen. Skillnaden mot platsbyggt var att montaget krävde lite större plats kring byggnaden och inte kunde göras med ställning och väderskydd monterat. På gavlarna gick det att ställa upp en bakåtförankrad ställning och trä in vägg-elementen från sidan, men det krävde också att takfoten fick kapas av så att väggelementen kunde träs in i sidled. På långsidorna kunde takfoten sitta kvar eftersom elementen drogs in rakt framifrån. Konsekvenserna av olika väderskydd och arbetet med takfoten beskrivs mer under avsnitt 0.

Utvärdering av prefabricerad vägg

 Uppdragsnummer
133575-301


Figur 14 Väggmontage på gavel görs från ställning. Elementen träns in från sidan och sänks ner i de förmonterade fästena (se Figur 12). Eftersom takfoten måste kapas före montage (vid pil i den högra bilden) monterades ett nytt tillfälligt väderskydd över väggen efteråt.

Själva montaget på gavlarna gick mycket snabbt eftersom elementen bara behövde klickas i de förberedda beslagen (se Figur 12). Totalt sett var dock denna lösning inte kostnadseffektiv i Brogården-fallet, eftersom montaget och invägningen av beslagen tog lång tid och beslagen i sig fick specialtillverkas. Invägningen och montaget av vinklarna för infästning på långsidan var mindre komplicerad och de profilerna var en standardprodukt. Val av skruv/bult var en viktig fråga som i efterhand kan konstateras borde fått mer tid i ett tidigt skede, i samarbete mellan yrkesarbetare och konstruktör.

3.2.4.3 Elementutformning och skarvning

Skarvarna utformades som halvt-i-halvt, men utformningen av klackar och tolerans mellan elementen utvecklades under processens gång (se nästa avsnitt). Elementindelningen i den första byggnaden komplicerade montaget i två avseenden. Dels var "överlappet" mellan elementen fel i förhållande till monteringsriktningen, så montaget i hörnen inte startade mot tidigare monterat element utan fick lodas upp på nytt, dels fick elementen för balkongpartierna göras så breda att de bara kunde bli väningshöga, vilket krävde passning i två led i varje elementmontage på balkongsidan och infästning både på under- och översida av varje bjälklag.



Figur 15 Princip för elementskarv halvt-i-halvt med drevmån invändigt, här på gavelvägg, Hus N

I Figur 15 ovan visas utformningen av elementskarven. Plyfan är en montagesäkring som tas bort sedan. Här blev det en glipa mellan blocken utvändigt, och på det första huset tätades sådana springor med fogsikum (mer om detta i nästa avsnitt, drevmån och isolering) som i den högra bilden.

3.2.5 Drevmån och isolering

En fråga som visade sig ha stor inverkan på kvaliteten och effektiviteten på plats var toleranserna i drevmån och isolering. Detta gällde på flera plan;

Kravställen för material: För pilothuset visade det sig att vissa kontrollpunkter inte kommit med i planeringen. Materialleverantören för mineralullsboard levererade skivor med dålig passform och dåligt räta kanter och vinklar, samtidigt som spårningen av cellplast inte fungerade helt som tänkt. Detta gjorde det svårt att få god passform och täta skivor i elementen från fabrik. Erfarenheten var att samma krav på toleranser och maxavvikelser måste ställas i hela kedjan, material – elementproduktion – montage om slutresultatet ska bli bra. Till nästa hus byttes mineralullsleverantören ut och cellplastkonfektioneringen gjordes på plats i fabriken.

Toleranser i element: De första elementen med ojämna isolerskivor hade en del glipor som fick kompletteras på plats vilket tar extra tid. Den mest känsliga delen var annars ytterkanten på elementen med isolering som inte är klämd mellan regler, och som därför inte var helt rak innan den klämdes mot nästa element på plats. Detta försvårar lodningen av element vid montage eftersom syftlinjen varierar. Både passformen i element och montage på plats blev dock bättre efter de praktiska erfarenheterna av prefabväggarna och utveckling av rutinerna från pilotmontaget i Hus N.

Skarvar mellan element: Från början var tanken att lämna en montageolerans mellan varje element, mindre utåt och större inåt. Detta var dock inte praktiskt i montage eftersom elementen inte kunde ställas tätt mot varann, vilket gav en liten glipa i utsidan mellan alla element som behövde tätas i efterhand. För de senare husen togs därför toleransen i ytterkant bara i ett par elementskarvar per fasad, där sidostyckena anpassades för att ta upp den tolerans som uppstått i montage. Den breda invändiga spalten behölls som montageolerans, men den var också lättare att täta i efterhand.

Utvändig komplettering: Pilothuset hade projats så att alla skarvar skulle kompletteras efter montage med en utvärdig cellplastskiva samt mineralullsboard för att undvika generalskarvar (se Figur 16). Dessutom hade de första elementen som utformats för en annan montage metod två horisontella band som också behövde kompletteras med isolering efter montage. Tanken var även att fylla ut ev glipor mellan element med fogsikum.

Detta tog mycket tid eftersom varje skarv först måste kontrollmätas så att kompletteringskivorna kunde konfektioneras till rätt passform innan de monterades. För alla lägen som inte var nåbara från mark gjordes både mätningen och montage från bomlift, vilket tar tid, plats, en montereresurs och maskinhyra. Fogsikummet förkastades nästan genast och fick ersättas av drev. De skarvar som skummades behövde nämligen besökas med bomlift en gång till, eftersom skummet måste skäras

Utvärdering av prefabricerad vägg

Uppdragsnummer

133575-301

rent efter att det härdat. Eftersom skarvarna inte var täta innan kompletteringen gjorts behövde dessutom arbetet göras så fort som möjligt efter montage.

För de följande två husen testades att låta de överlappande skivorna sitta på ena sidan element, respektive att ha en helt rak skarv utan toleranser. Den viktigaste skillnaden var dock att en vindduk infördes som ytterskikt med överlapp mellan elementen. Detta gjorde att skarven kunde tätas direkt efter montage genom att montörerna vek över och näste fast vindduken, så att generalskarven och därmed risken för läckage i produktionsfasen undveks.

Invändig komplettering: Den bredare invändiga skarven var också tänkt att tätas med fogskum. Även om den är mycket lättare att täta, eftersom det görs en våningshöjd i taget, var även här fogskummet ett bekymmer när tätningen behövde göras i två moment med väntetid mellan applicering och renskärning. Genom att byta till drevning av öppningen kunde skarven både drevas och lagas över med kompletterande skiva i ett och samma moment.



Figur 16 Utvärdig komplettering med skarvrensor på det första huset. I bilden tv har fogskum applicerats för att fylla ut en glipa, därefter en 30mm EPS-skiva över skarven och nu 30mm mineralullsboard. I bilden i mitten syns omfattningen av kompletteringen till tätt hus för Hus N, och hur lite av skarvarna som nåddes från marken (de horisontella banden som kompletteras är dock ingen skarv utan en detalj utformad för montage med truck, vilket sen aldrig användes). Längst th visas skarven mellan ett element med och ett utan vindduk i pilothuset före komplettering. Cellplasten glipar något och det vänstra elementet fick även en lyftskada som behövde lagas i.

Tolerans mellan element och betongstomme behandlades i avsnitt 3.1 och fungerade alltså bra. Mellanrummet mellan element och bjälklagskant/tvärväggar på långsidor drevades i samband med den invändiga kompletteringen.

För att garantera en god utfyllnad för mellanliggande isolering på gavelväggarna samt för att förenkla och fuktsäkra montaget byttes som tidigare nämnts den ursprungliga isolerskivan med fast mått

(95mm, att komprimeras till teoretiskt 78mm) monterad före väggelementet till en lösullsfyllnad som gjordes från takfoten i efterhand. På detta vis kunde även betydligt större toleranser i stommen tas upp av ytterväggen på ett effektivt sätt (se Figur 12).

3.2.5.1 Logistik och materialhantering

Eftersom ytterväggen står för stora materialvolymmer har en prefabricerat system mycket mindre påverkan på arbetsplatsen. Antalet leverantörer och leveranser minskar, och inga överbeställningar behövs med hänsyn till spill i montage. Även mängden material att hantera och väderskydda, mängden trucktimmar för lossning och intransport, och inte minst kasserat material och antalet containertömningar på plats minskar på samma sätt. Dessutom ökar den fria ytan på arbetsplatsen vilket underlättar för övriga moment och yrkesgrupper och är till stor hjälp för att hålla arbetsområdet rent och säkert.



Figur 17 Förr: Material för väggisolering av passivhusprojekt. Nu: väggisolering – och samtidigt stommontage

3.2.5.2 Kostnader och tidplan

Kostnaderna för väggmaterial och transport, produktion och resning av väggar i pilotprojektet blev något högre än för den platsbyggda väggen. Vinsten låg i tidsbesparingen till tätt hus, vilket totalt sett gjorde bytet av yttervägg till ett nollsummespel för projektet som helhet. Samtidigt är det viktigt att tänka på att vi jämför ett pilotmontage med ett väggmontage som utvecklats och förfinats under fem års tid i tretton tidigare hus. Jämförelsen gjordes för samtliga tre hus med prefabricerad yttervägg, och även för dem förbättrades både produkten och tidsbesparingen genom utvärdering och erfarenhetsåterföring från hus till hus. Från det första pilothuset till de andra sänktes även tillverkningskostnaden med c:a 10% genom effektiviseringar hos Elementum eco.



Utvärdering av prefabricerad vägg

Uppdragsnummer

133575–301

Rapport

25
(47)

Skanska Sverige

Teknik

Göteborg

Uppdragsansvarig

Linda Martinsson

Datum

2014-07-06

Att Brogården renoveras med passivhusväggar gör att mängden isolering och väggjockleken i både det platsbyggda och prefabricerade fallet är större än i normalfallet. Kostnadsjämförelsen före/efter bör dock jämnas ut den här skillnaden eftersom materialmängden och antalet skikt i konstruktionen är samma i båda fallen. Jämförelsen bör därför kunna vara relevant även för andra väggjocklekar och tillämpningar, men specificeras ytterligare nedan.

Resningstiden för hela ytterväggen var förr c:a sex veckor per hus. För de tre prefabhusen restes alla element på 13, 10 respektive 5 arbetsdagar av tre man plus kranförare. Då är huset regntätt och invändiga arbeten kan starta, men fönstermontage (c:a 10 dagar, 2 man) och takarbeten kvarstår, liksom resning av ev väderskydd dessförinnan. Typ av väderskydd och tidplanen för resningen måste anpassas efter montage metoderna för yttervägg, tak och fönster för att garantera fuktsäkerheten.

Den största kostnadsbesparingen från intjänad byggtid är en minskad puckel i bemanningsdiagrammet jämfört platsbyggt. Det går då att hålla samma grundstyrka genom hela klimatskalsmontaget och omkostnaderna minskar med behovet av inhyrda YA, maskiner och arbetsledning. Totalt minskade produktionstiden c:a 3-4 veckor för de tre husen. Den totala projekttiden hade kunnat minskas ytterligare i ett fristående projekt, men i Brogården var starttiderna per hus redan satta sen tidigare och kunde inte tidigareläggas.

Brogården prövade olika varianter av täckning och väderskydd av tak och yttervägg. Det är svårt att säga något generellt om alternativkostnader för ställning och väderskydd mellan platsbyggt och prefab eftersom det beror på byggnad och vilka åtgärder som görs i renoveringen. Någon form av väderskydd krävs av kvalitets skäl oavsett montageform, och tiden för vilken skyddet krävs anpassas efter montaget. Om det är tid/hyran för ställning och väderskydd eller utformningen av väderskyddet som styr kostnaden beror av hur avtalet med ställningsleverantören formuleras. En fullt inklädd ställning med vädertak blir betydligt dyrare än lokal täckning, men samtidigt ger arbete med tillfälliga intäckningar mer spill- och ställtid. Dessutom innebär det en större risk för fuktskador som kan falla ut till en stor kostnad. Montageordningen, utformningen av fönstertätningen under produktionen och täckning av takarbetena är moment som har stor betydelse ur både fuktsäkerhets- och framdriftsynpunkt (se vidare avsnitt 0).

3.2.6 Analys

Själva montaget av väggelement var snabbt och effektivt och mängden belastande moment minskades kraftigt. Mer tid tog invägning, utsättning och montage av sockelupplag, infästningsvinklar på långsidorna och specialbeslagen på gavlarna före montage. Just metoden för gavlarna inklusive dessa beslag var inte kostnadseffektiv i pilotprojektet. För det första huset tog även balkongpartierna extra tid eftersom den första elementutformningen inte kunde göra dessa hushöga. De gjordes våningshöga och fick staplas på varandra. Dels bröt detta av monterrutinen och dels var de svåra att placera rätt och staga, då varje element skulle liva mot andra element i två riktningar. Med alla element



Utvärdering av prefabricerad vägg

Uppdragsnummer

133575–301

Rapport

Skanska Sverige

Teknik

Göteborg

Uppdragsansvarig

Linda Martinsson

Datum

2014-07-06

26
(47)

hushöga gick montaget mycket bättre. Även arbetet med toleranser och behov av efterkomplettering visade sig ha en stor potential för effektivisering.

Kranhyran och logistiken för elementen på arbetsplats effektiviserades genom att elementen levererades och sattes direkt från kranbil, utan utrymmeskrävande mellanlagring och extra kranuppställningar på arbetsplatsen. Val av väderskydd, montagemetoder och tidsstyrning för yttervägg, tak och fönster har också stor betydelse både för fuktsäkerhet och framdrift, och därmed även för kostnadseffektiviteten.

För att hitta en mer optimal arbetsgång, bättre kostnadseffektivitet och mer ergonomiska lösningar är det viktigt att involvera yrkesarbetarna i hela processen, från detaljprojekteringen och produktionsberedningen av väggelementen med val av infästningar o.s.v. till arbetsberedning och montage.

3.2.7 Slutsatser

Ergonomiskt nåddes målet att minska belastningen i momenten utförda på plats. Samtidigt är det viktigt att utveckla och förbättra förutsättningarna för de skruvings- och bultningsarbeten som ändå krävs. Under processens gång för de tre husen förbättrades och effektiviserades väggutformningen, montaget och behovet av utrustning genom ett kontinuerligt förbättringsarbete från alla inblandade.

Prefabmontaget var totalt något dyrare än det platsbyggda montaget, men intjäningen i tid och allmänna kostnader vägde upp kalkylen i Brogården. Tidssänkningen från 6 till en vecka för montage av ytterväggen är en mycket stor skillnad som har en positiv påverkan även på övriga moment och på projektet som helhet. I ett projekt där tidigare överlämning är möjlig kan tidsvinsten innebära en ännu större kostnadsänkning. Fokus på tidseffektivitet i tids- och produktionsplanering är därför viktig för lönsamheten i prefabprojekt. Tidskritiska aspekter var bl.a. infästningssystem, montage- metod, toleranser/komplettering och väderskyddsmetod.

3.3 Produktegenskaper och hantering m.a.p. fukt

Elementväggen, liksom den tidigare stålregelväggen, har av kvalitetsskäl byggts upp av fukttåliga material i så stor utsträckning som möjligt. Trä har undvikits i möjligaste mån, och det enda träinslaget i väggelementen var ursprungligen en ram av K-plywood i dörr- och fönsteröppningar för att ge bättre förutsättningar för karminfästning, användning och efterjustering av dörrar och fönster.

Vid byte av en platsbyggd väggkonstruktion till ett prefabricerat system måste kvaliteten i väggen säkras i sin helhet, så att väggkonstruktionen och metodiken tillsammans ger en fuktsäker slutprodukt. Ramkraven i utvecklingsprocessen i BEEM-UP utgick från gällande lagstiftning, Brogården-projektets föreskrifter och Skanskas arbetsrutiner, som sammanställdes i ett dokument tillsammans med krav för uppföljning och ansvarsfördelning. En teoretisk fuktgranskning gjordes av SP Byggnadsfysik [6] av fuktprestandan i konstruktion, transport, montage- och bruksskede. Denna har nu följts upp med fuktmätningar i den monterade ytterväggen.

3.3.1 Syfte

- Att utvärdera fukttillståndet och uttorkningsprocessen i elementen, inklusive ev fuktpåverkan från tillverkning, transport, montage eller komplettering

3.3.2 Bakgrund

Enligt SP:s tidigare teoretiska granskning [6] är det viktigt att förhindra inläckage av fukt i elementet i alla skeden – tillverkning, lagring, transport, montage, bruksskede – eftersom fukt i elementen kommer att ha svårt att torka ut, i synnerhet i skikt mellan cellplast. 30mm utvändig värmeisolering ansågs kunna skydda trä i fönsterinfästningen mot höga RF-nivåer i bruksskedet.

Ett uppföljande slagregntest av väggen för att testa fasaden och detaljlösningen kring fönster vid väderpåverkan gjordes av Skanska Teknik 2012. Efter testet (vattenbegjutning av provväggen under fem timmar vid normalt lufttryck upp till övertryck 600Pa) kunde ingen fukt alls upptäckas mellan cellplast- eller mineralullsboardskivorna. Bara i den ena fönsteröppningen (där en ny typ av fönstertätning testats) upptäcktes fukt, och det troligen på grund av bristande montage med bakfall i membranet lokalt under fönstret. Inget vatten hade letts vidare in, varken genom skivan eller i skarvar.

Prefabmontaget hade ett stort fokus på väderskydd. Fönster- och dörröppningar täcktes i fabrik och elementen levererades inslagna i en presenning. Beslutet att lägga till ett yttre vindduksskikt togs i ett relativt tidigt skede i produktionen av element för Hus N (efter att c:a 60% av elementen byggts). Vindduk hade även funnits med som alternativ i den teoretiska utvecklingen av väggen, föreslagen i fuktgranskningen [6], men efter resultatet i slagregntestet beskrivet ovan inte ansetts behövas. I praktiskt montage visade dock vindduken framför allt ge en mycket bättre avrinning av regn fram tills fasaden har monterats. I de första elementen utan vindduk användes täckplast över fönsteröppningarna. I senare element med vindduk drogs duken över hela elementet så att alla öppningar är skyddade från inläckage fram tills att öppningarna skärs upp och fönstren monteras på plats.



Utvärdering av prefabricerad vägg

Uppdragsnummer

133575–301

Rapport

Skanska Sverige

Teknik

Göteborg

Uppdragsansvarig

Linda Martinsson

Datum

2014-07-06

28
(47)

En skillnad ur fuktsynpunkt mellan den platsbyggda väggen och elementväggen är montagetekniken och möjligheterna till väderskydd under montage. Den platsbyggda väggen byggs under heltäckande vädertält, men för den nya väggen har det inte gått att lösa lyft, intransport av elementen och montage under tältet.

På det första huset monterades elementen med kvarsittande yttertak och hängränna på byggnaden som skydd uppåt. På gavlarna måste takfoten kapas för väggmontaget, och ersattes då med en provisorisk takfot efteråt. Efter avslutat väggmontage sattes en inklädd ställning upp kring byggnaden och yttertaket täcktes av presenningar innan hela takfoten kapades av för förlängning och omläggning av taket. Presenningarna användes i detta skede som väderskydd av både tak- och väggkonstruktionen.

Med denna metod är de monterade elementen täckta ovanifrån, men fram tills ställningen och därefter fasaden monteras fungerar elementens vindsyddande skikt både som vind- och vattentätning/avledning, sk enstegstätning. Fönsteröppningarna är täckta fram tills fönstren monteras, och därefter görs tätning, drevning och komplettering mellan vägg och fönsterkarm.

3.3.3 Metod

SP Byggefysik monterade fukt- och temperaturloggers Hygrotrac (11 mätpunkter kompletterat med en inne- och en utegivare) i väggkonstruktionen i Hus N på Brogården, pilotbyggnaden. Givare monterades både i element med och element utan vindduk, på något olika djup men i samtliga fall i lägen i materialskarvar och under fönster (Figur 18). För fullständig beskrivning av metoden, se Bilaga C.



Figur 18 Givarplacering för uppföljningen av fukttillstånd i överst den västra väggen, nedanför den östra. Givarna placeras ut i par, där A-E markerar givare i väggen, F paret med innegivaren och G de två mottagar/sändningsnoderna Bild: Magnus Hansén, SP

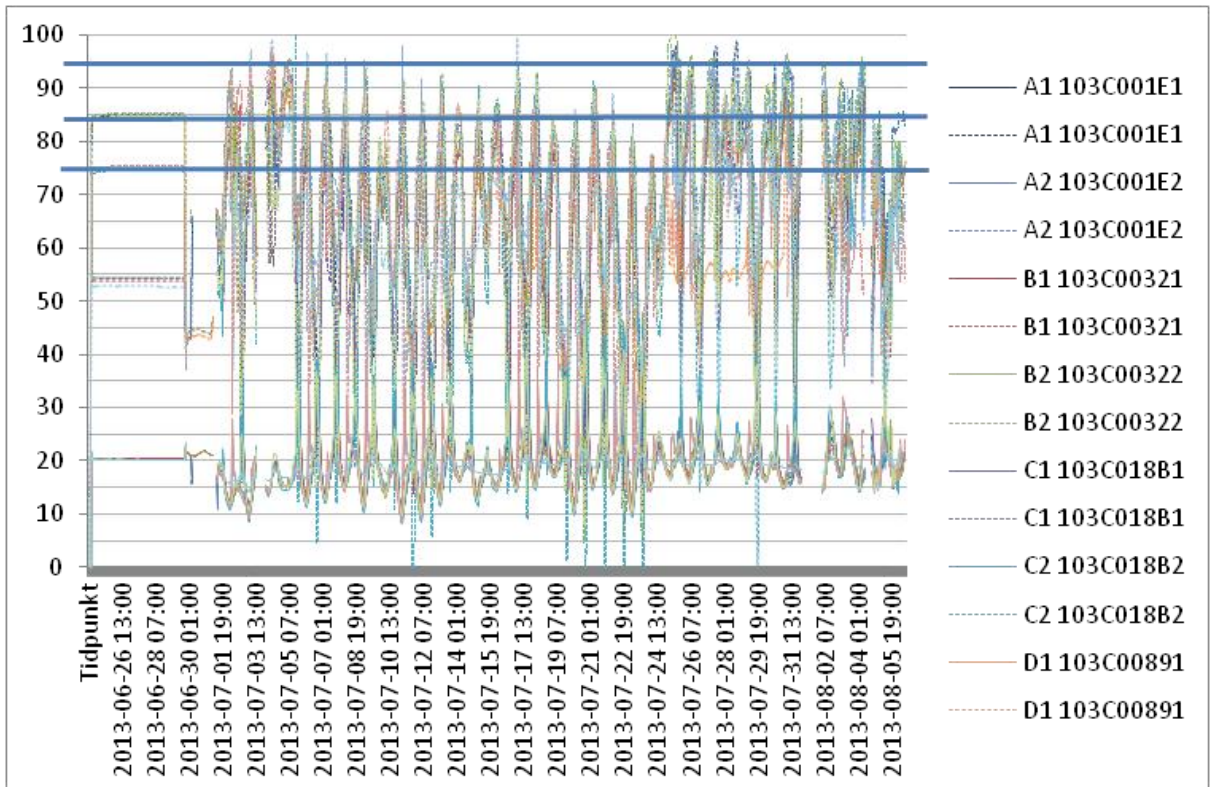
3.3.4 Resultat

Mätningarna planerades först att pågå fram till och med att inflyttning skedde i december 2013. Efter att avstämningar visat på problem med sändning och rapportering av värden till servern förlängdes mätperioden två gånger, och avslutades istället den 5 maj 2014. Följande avstämningar gjordes;

3.3.4.1 Vid montage av givare, 1 juli 2013

Efter montage av fönster i väggen, precis innan givarna skulle monteras, upptäcktes i flera fall fukt och fuktskador i plywoodinfattningarna kring fönster. I många fall var även svälldrevet (vindskyddet i fönsterdetaljen) blött. Det blev då tydligt att det i produktionsfasen inte finns någon avledning av vatten kring fönster innan fasaden har monterats. Följden blev att regn som rann längs vindskyddet (vindduk eller mineralullsboard) i produktionsfasen trängde in i fönsteröppningen istället. För att kunna torka ut fukten revs all drev och tätning kring fönstren ut inför byggsemestern 2013. För att minska fuktbelastningen på väggen färdigställdes samtidigt ställningen inklusive inklädnad, och den nya takfoten med papp och hänggränna byggdes ut från det gamla taket. Vädskyddet på taket, presenningar som låg över nock ner till takfot, spändes upp och säkrades särskilt inför semestern.

3.3.4.2 Avstämning 1, aug 2013

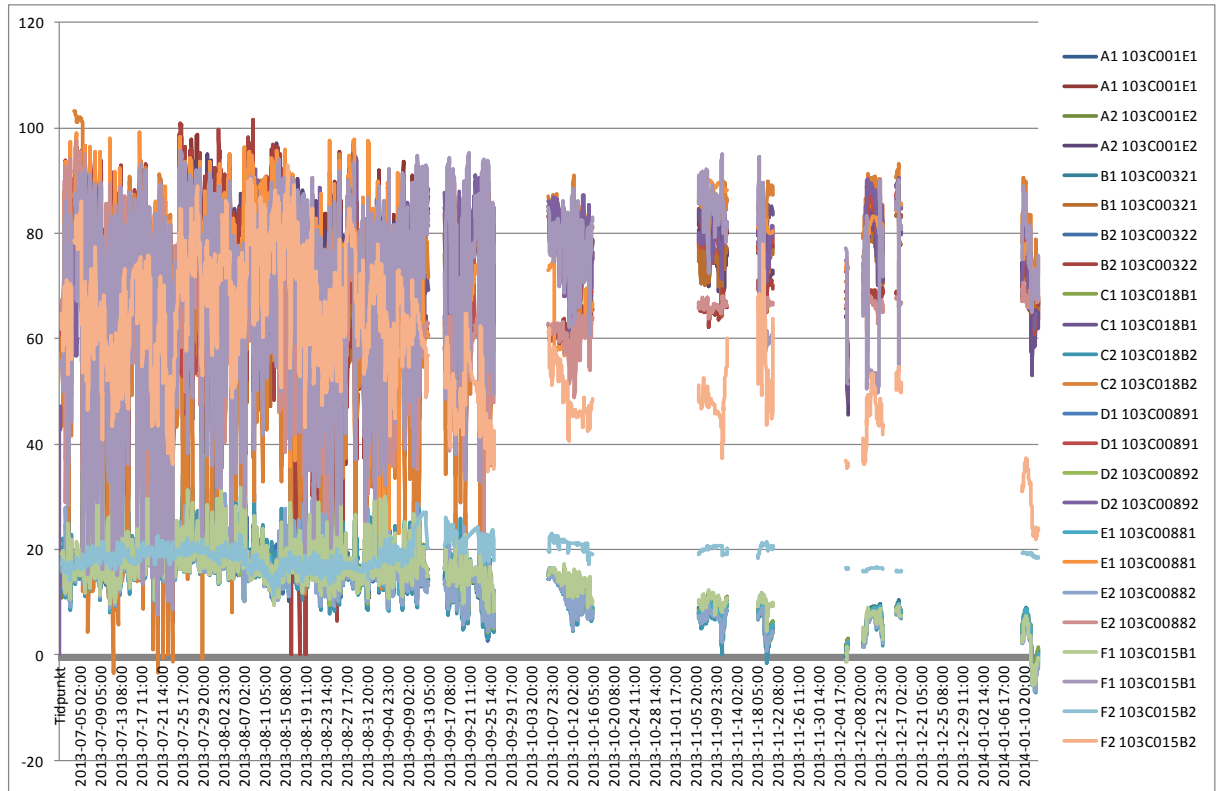


Figur 19 Mätdata (RF, %) från givarna för perioden 130701–130805 med blå stödlinjer för 75%, 85% och 95% RF. Preliminära data från Magnus Hansén, SP. För fullständiga data se Bilaga C, rapport 3P04160 2013-09-25

Efter semestern (mån 5 aug) visade det sig att vatten ändå trängt in i väggen genom att leta sig ner mellan presenningarna, bl.a. i samband med ett stort regnoväder helgen innan. Värst utsatt var en del av väggen där en flik av takpresenningen hade blåst undan, så att regn hade kunnat rinna på det gamla taket över kanten ner innanför den nya takfoten, ner på överkant vägg och leta sig vidare in i isolerskikten på in- och utsida. På denna plats revs de fuktiga vindskyddsskivorna bort för uttorkning. Även i de öppna fönstersmygarna befarades att regn kunde ha trängt in, och väggen undersöktes med stickprov där de inre och yttre skivorna togs bort i olika lägen, samt genom indikering med resistansfuktmätare. Allt angripet trä kring fönster togs bort och väggen öppnades för uttorkning där vatten runnit in.

Mätdata från denna tid har mycket höga toppar för RF-värdena (se Figur 19). I de flesta fall förekommer värden över 90% innanför de två yttre isolerskivorna, vilket kan härledas till läckagen. Topparna var betydligt lägre fram till första regnvädet. Resultaten visar också på tydliga dygnsvariationer.

3.3.4.3 Avstämning 2, jan 2014



Figur 20 Illustration av luckorna i datainsamlingen under hösten (perioden som visas är 130701–140115). Data från Magnus Hansén, SP

Under hösten upptäcktes upprepade problem med sändningsuppehåll från modemmet som samlar in och skickar vidare data från givarna. Detta gjorde att data saknades för långa perioder under hösten och det gick inte att få en kontinuerlig bild av uttorkningsprocessen. Ännu vid lufttäthetsmätning och termografering av väggen i december, tre dagar före inflytt, fungerade inte sändningen tillfredsställande. Sändaren startades därför om, och mätningen fick fortgå till efter nyårshelgen då en ny avstämning gjordes. Denna visade att sändningen inte kommit igång varaktigt vid någon av omstarterna, men också att data som lagrats medan sändningen legat nere inte hade laddats upp när kontakten återupprättas. Mycket av de data som samlats in under hösten hade därför förlorats, och stora delar av uttorkningsprocessen går inte att följa (se Figur 20 som illustration av uppehållens längd och svårigheten att utläsa några trender ur materialet).

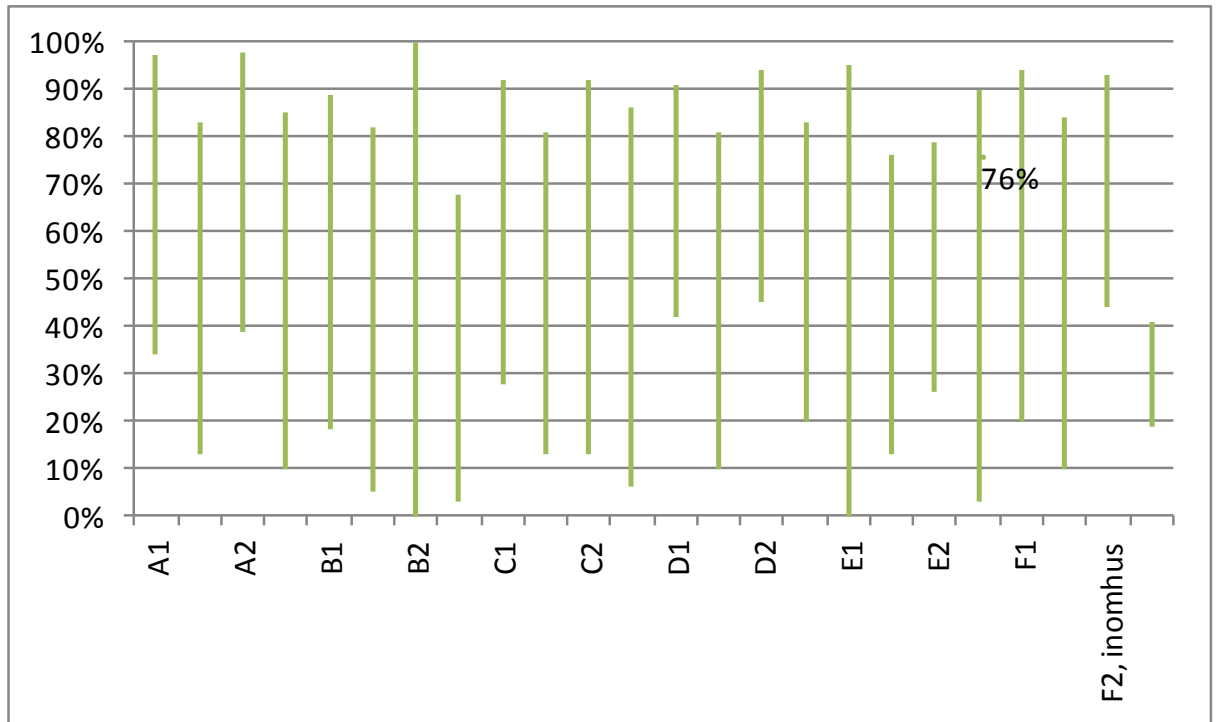
3.3.4.4 Avstämning 3, maj 2014

Efter omfattande felsökning och service av den felande sändaren fick en ny monteras i slutet av mars 2014. Efter detta togs beslutet att återuppta mätningarna för en dryg månad, 140321-140505. Denna period av mätningar beskrivs i delrapporten 3P04160.2 i Bilaga C. Genom att det nu fanns data för två sammanhängande perioder (juli-september 2013 och mars-maj 2014) kunde även skillnaden mellan dessa två mätningar ge en bild av uttorkningsprocessen däremellan.

Alla givare visar på en uttorkning under perioden från september 2013 till april 2014 (se Tabell 1 och motsvarande grafer i Figur 21). Från att ha legat mycket nära uteklimatet ligger de nu lägre i RF, även om de tydligt följer variationerna i RF utomhus (se mätrapporten). De givare vars värden kunnat tolkas som inläckage (A1/A2, (B1)/B2, E1/E2) och som redovisade RF 97-100% under förra sommaren ligger under april 2014 alla betydligt lägre, med undantag från ett spikvärde på 90% för givare E2 (näst högsta topp ligger på c:a 76%).

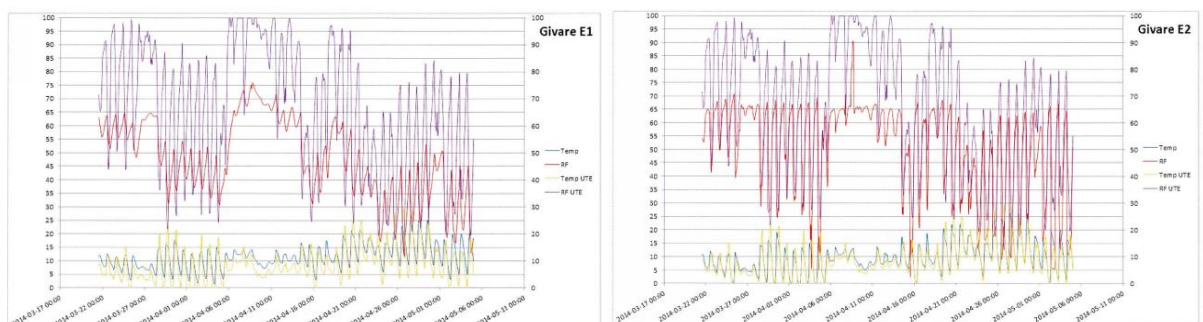
Tabell 1 Lägsta och högsta RF-värde för givarna under de två sammanhängande mätperioderna, med ca nio månader emellan. Sammanställning av data redovisade i SP:s rapporter 3P04160 och 3P04160.2 (Hansén 2013 och 2014). Kursivt värde är ett spikvärde, där övriga toppar ligger kring c:a 76% som max. (= inomhus-givare) Se även Figur 21.*

Givare nr / min/max- värden (%)	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2	E1	E2	F1	F2*
jul-sep 2013	34	39	18		28	12	42	45		26	20	44
	97	98	89	100	92	92	91	94	>95	79	94	93
mar-maj 2014	13	10	05	03	13	06	10	20	13	03	10	19
	83	85	82	68	81	86	81	83	76	90 (76)	84	41



Figur 21 Skillnaden i uppmätt RF-spänn mellan första och andra mätperiod visat grafiskt. Värdena presenteras parvis för varje givare, där det första spannet motsvarar givarens min- och maxvärde för jul-sep 2013 och det andra spannet, som är lägre (med undantag för givare E2), perioden mar-maj 2014.

Nedan visas två exempel på mätresultat tagna ur mätrapporten i Bilaga C, för givare E1 och E2 under den senare mätperioden. Diagrammen visar på hur RF-värdena följer uteklimatet men samtidigt ligger på betydligt lägre nivåer. För just dessa givare har SP haft lite bekymmer och bl.a. sett en fördröjning i RF-registreringarna för givare E1 som ev tagit skada. För givare E2 följer maxvärdena inte dem för RF_{ute} på samma sätt utan ligger på nästan jämn nivå den första halvan av perioden, med undantag för spikvärdet på 90% (se Figur 22).



Figur 22 Illustration av mätresultaten RF för de lite krånglande givare E1 tv och E2 th, för perioden mar-maj 2014 (från s5 av 6, bilaga 1 mätrapport 3P04160.2 i Bilaga C). För bättre upplösning i diagrammen hänvisas till mätrapporten.

3.3.5 Analys

Det finns två aspekter att diskutera i fråga om fuktsäkerheten i systemet: dels hur läckagen och fukt-skadorna uppstod i det första huset, dels mätresultaten kring uttorkningen i väggen av den fukt som trängde in vid dessa läckage.

Även om en uttorkning skett under perioden från juli 2013 till maj 2014 har det skett mycket långsamt. Läckagen under byggsemestern 2013 gav ett förhöjt fukttillstånd under en längre tid. Detta bekräftar också den teoretiska fuktgranskningen [6] som också gjordes av SP. Eftersom varaktigt höga fukttillstånd ($>BBR:s$ allmänna RF_{krit} 75%) medför försämrade isolerförmåga och risk för korrosionsproblem eller påväxt på orena material kan det konstateras att det är av yttersta vikt med inte bara en montageordning som ger fuktskydd av monterad vägg under produktionsskedet utan även torr hantering i fabrik, transport och lagring/montering på arbetsplatsen, så att inte fukt riskerar att byggas in mellan elementen. Även om materialen är fukttåliga riskerar fuktnivåerna att bli för höga under en lång tid om fukt byggs in i konstruktionen.

3.3.5.1 Fuktsäkerhet i prefabhanteringen

Ett antal ändringar har gjorts efter pilotmontaget för att ytterligare fuktsäkra systemet till hus Q och P. En första konstruktionsändring av väggsystemet gjordes redan innan montage och mätningar startade, då en obruten vindduk lades till på elementens utsida. Duken sätts med överlapp som kan skarvas över till nästa element men även med ett uppvik över öka element som tätar mot inläckage uppifrån efter montage. Lagrings- och transportmässigt skyddas elementen på samma sätt som tidigare. Vindduken innebär en liten material- och arbetskostnad, men en stor kvalitetsförbättring i form av regnskydd och vattenavledning under tiden fram tills fasaden monteras. För alla hus byggdes också en intäckt ställning upp så fort väggmontaget var avslutat.

Viktigt att tänka på för de fuktskador som uppstod kring fönster på det första huset är att resultatet från slagregntestet inte är giltigt i detta fall, eftersom testet gjordes av det färdiga utförandet, där fasaden fungerar som regnskärm i en tvåstegstätning och luftspalten bryter vindtrycket. I det verkliga fallet fungerade istället vindskyddet av väggen och fönstertätningen både som regn- och vindskydd i skedet efter montage. Detaljen kring fönster var inte heller utformad för avledning av vatten i detta skede. Regnvatten som rann längs fasaden kunde därför rinna in i fönsteröppningen och pressas in genom skarvar i vindskyddet. Kombinationen med den fuktkänsliga plywooden i fönsteröppningar blev särskilt olycklig, och saneringsarbetena blev omfattande då alla drev fick tas bort, alla fönster demonteras och all plywood bytas ut efter uttorkningen.

Efter detta ändrade Elementum eco konstruktionen och minimerade mängden trä i elementen. Plyfan i fönstersmyg byttes mot oorganiska kompositbräder som klarar högre RF, bättre står emot och inte suger fukt vid tillfällig uppfuktning under montageperioden. I senare hus tillkom dock en plyfabalk i läget mellan balkongdörr och fönsterparti (för att lösa montageproblemen med balkongelementen som beskrivs i avsnitt 3.2). Denna skyddsmålades då för att inte kunna ta upp fukt.

Totalt sett utsattes även väggelementen i Hus N för en större fuktbelastning än de senare husen;

- Drygt hälften av elementen i Hus N saknade utvändig vindduk. Detta gjorde skarvar i elementen mer utsatta för uppfuktning och risk för inläckande vatten efter montage fram tills fasaden monterades, eftersom avrinningen var sämre och skarvarna fler.
- Skarvningsmetoden tog lång tid i det första huset, vilket tidigare beskrivits i avsnitt 3.2., och vindskyddet var inte tätt innan den utvändiga kompletteringen var färdig.
- Avledningen från taket fungerade inte bra, med två större läckagetillfällen i samband med semestern 2013. Dessutom var fönsterdetaljen och -montaget inte utformade för avledning i halvfärdigt skede.

Detta är produktionsrelaterade faktorer som har hanterats med ändrad produktionsstyrning. En ny arbetsberedning för fönstertätningen togs också fram av Skanska, där detaljutformningen av tätning kring fönster ändrades för att ge bättre avledning i produktionsskedet innan väggen är skyddad av fasaden. Samtidigt gav dock läckageproblemen i Hus N ett bättre underlag för mätning av uttorkningen och utvärdering av produktionsplaneringen.

Läckaget i takfot berodde inte på utformningen av väggen utan på koordineringen av vägg- och takmontaget, där takfoten öppnades efter att väggen var monterad och det planerade väderskyddet med presenningar över den ofärdiga takfoten inte höll måttet. I kommande hus testade Skanska två andra lösningar som båda gav ett bra skydd av väggen. I det andra huset användes inget vädertak men den nya takfoten byggdes med den gamla intakt, och takfoten och hängrännan kapades först när den nya var klar och taket tätt. I det tredje huset byggdes ett fullständigt vädertält som på tidigare hus, vilket även effektiviserade takarbetena. I båda fallen handlar lösningen om att säkra att elementen är täckta ovanifrån samt att ha ett fungerande avvattningssystem under hela produktionstiden.

3.3.5.2 Uttorkningsprocessen

Under själva mätperioderna kan ingen uttorkning eller uppfuktning över tid avläsas, utan RF-värden och ånghalter (som redovisas för den senare perioden) verkar i huvudsak bero av variationerna i uteklimatet.

Sammantaget verkar en uttorkning ha skett från den första mätperioden (efter montage av vägg-element och givare) till den andra (fyra månader efter färdigställande och inflytt), även för de punkter som utsattes för läckage kring byggsemestern i jul 2013. Detta har dock gått så långsamt att det inte syns under de kortare mätperioderna.

Med tanke på den långsamma uttorkningen är det viktigt att element och material under tillverkning och byggskede (produktion, lagring, transport, montage, resterande byggtid fram till väderskydd) hålls torra och rena från damm och smuts. Ev inläckage mellan cellplastskivor är svåra att torka ut,

och höga RF-värden under en längre tid skulle kunna initiera mögelpåväxt även på de oorganiska ytorna om dessa blir smutsiga. Dessutom påverkas isoleringens prestanda negativt av hög fuktighet.

Att oorganiska material valts i väggelementen är en viktig faktor för fuktsäkerheten. Om lösningen med obehandlad plyfa i fönstersmygar behållits hade denna troligen kunnat utsättas för kritiska fuktillstånd även utan läckage på grund av den uppmätt höga RF i uteklimatet och i väggen i tidiga skeden, då väggen i ofärdigt skick verkar följa uteklimatets variationer.

3.3.6 Slutsats

Totalt sett är SP:s bedömning (se Bilaga C) att mätpunkterna inne i väggarna ligger varmare och torrare än uteklimatet, och att ingen risk för mikrobiologisk påväxt på material eller korrosion på stålreglar torde förekomma. De oorganiska materialen i väggelementen anses också minska känsligheten vid uppfuktning.

Uttorkningsmätningarna på en mycket långsam process med stora dygnsvariationer. För de två längre sammanhållande perioderna av mätningar (aug-sep 2013 och mar-maj 2014) är det t.ex. svårt att skönja en utveckling över tid. Däremot syns att en uttorkning har ägt rum mellan dessa två tillfällen, och att värdena vid det senare tillfället ligger på godtagbara nivåer. Med en så långsam uttorkning blir det dock viktigare att skydda mot uppfuktning under produktionstiden.

Det är också viktigt att i fråga om fukt se prefabsystemet som både en konstruktion och ett montage-system. Att väggen efter färdigställande visat sig klara väderpåverkan i granskning och slagregnstest betydde inte att den klarade samma belastning i halvfärdigt skick. Montageordning, väderskydd och konstruktion måste därför anpassas för att fuktsäkra även produktionstiden fram till färdig fasad.

Den första konstruktionen av vindskydd och fönsterdetalj i kombination med montage-tekniken med senare takfotskomplettering som för Hus N fungerade inte under den enstegstättade fasen av byggtiden. Elementen levererades väl väderskyddade från fabrik och fuktades inte upp nämnvärt under montage eftersom detta inte gjordes i regn, men uppfuktning uppstod ändå efter färdigt montage. Pilothuset, där mätningarna gjordes, utsattes också för mer fukt efter montage än de efterföljande husen och behovet av en god avledning i produktionskedet till kommande hus blev därför tydligare.

Det prefabricerade väggsystemet visade sig sammanfattningsvis ha delvis andra förutsättningar för god fuktsäkerhet än den tidigare, platsbyggda, konstruktionen. Både konstruktions- och produktionsaspekter utvecklades därför efter pilothuset för att säkra fuktprestandan i byggskedet. Med utvändigt vindduk, ändrad utformning av tätningen kring fönster samt anpassad montageordning för yttervägg, tak, fönster och väderskydd har elementen i de två efterföljande husen klarat sig bra även under byggtiden. Den konstruktionsmässigt viktigaste ändringen var att ersätta trämaterialiet i elementen med mer robusta material som klarar de naturliga fuktvariationerna i väggen även i monterat, men ofärdigt, skick.

3.4 Lufttätthet

De renoverade byggnaderna i Brogården har projekterats som passivhus, och alla lägenheter provtrycks före färdigställande till luftläckage $q_{50} \leq 0,30$ l/s/m² ytterväggsyta. Ett avgörande krav i byte från platsbyggd till prefabricerad yttervägg var att det nya systemet skulle klara samma krav. För att uppnå detta utformades prefabsystemet så att montage av plastfolie och utfackningsvägg skulle kunna utföras på samma sätt som vid en platsbyggd yttervägg, ett arbetsmoment som utvecklats och förfinats kontinuerligt av yrkesarbetarna under Brogården-projektets gång.

3.4.1 Syfte

- Att bekräfta hypotesen att lägenheterna får samma lufttätthet med prefabricerade ytterväggar som med platsbyggda, samt undersöka var ev luftläckage uppstår

3.4.2 Bakgrund

Brogården-projektet har jobbat mycket med lufttätthet och provtryckning i egen regi. Alla lägenheter provtrycks av ansvarig arbetsledare som egenkontroll och ev läckage åtgärdas så att de klarar passivhuskravet $q_{50} 0,30$ l/s/m² A_{om} . Dock räknas läckaget då per m² ytterväggsyta enbart, eftersom det är denna som byggts och ska kontrolleras. Bottenplatta och vindsbjälklag räknas alltså inte med i provtryckningen, vilket gör målet 0,30 lite svårare att nå än om läckageflödet hade fördelats på en större yta. Även provtryckning av trapphus har gjorts i ett tidigare hus, med projektets utrustning, men trycksättningen var då ett komplicerat moment på grund av tryckvariationen med byggnadens höjd.

Provtryckningen i produktionsskedet av Hus N gick bra och alla lägenheter har uppmätts till en lufttätthet som klarar kravet. Mätningen i denna utvärdering görs därför av SP som oberoende part för att kunna verifiera de mätningar som gjorts i produktion.

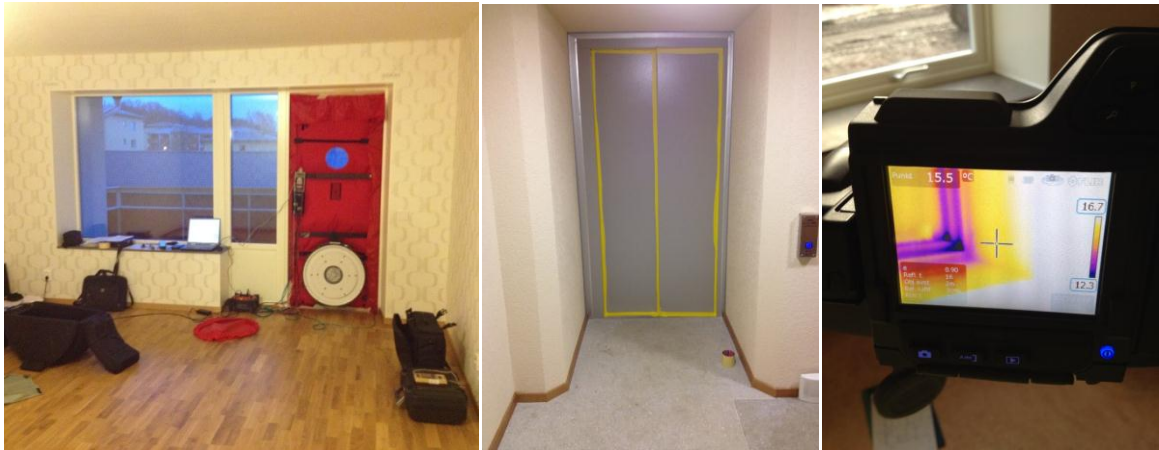
3.4.3 Metod

Luftläckagesökning gjordes i fyra lägenheter i Hus N som trycksattes i undertryck med köksfläktarna enbart. SP:s definition av en brist vid mätningen var ett ev läckage längs mer än 30% av en sträcka.

Därefter gjordes lufttätthetsmätningar med Blower Door enligt SS-EN 13829 i över- och undertryck 50Pa i en av lägenheterna på översta plan samt i ett av två trapphus, med alla lägenhetsdörrar öppna. Detta motsvarar c:a halva byggnaden. För full beskrivning av metoden se Bilaga D, Mät rapport 3P04160.1.

För lufttätthetsmätningen tätades alla till- och frånluftsdon, köksfläktar samt avlopp. Trapphuset trycksattes från en lägenhet på översta plan. Avskiljande dörrar till källarkorridoren tätades, liksom vindsluckan i bjälklaget och genomföringar mellan fläktrum och vind, för att kunna studera tätheten i yttervägg enbart. Dock missades den separata ventilationen av hiss-schaktet först, så istället fick alla genomföringar till hissen från trapphuset tätas (se Figur 23). Ytterdörren som ännu inte fått sitt

permanenta lås monterat kunde inte låsas. Eftersom den var inåtgående fick den därför hållas fast vid provningen med övertryck.



Figur 23 Blower door monterad i balkongdörr på översta plan. I mitten tejpad hiss dörr, th läckage i fönster.

3.4.4 Resultat

Beskrivningen av resultaten har delats upp på läckagesökning och lufttäthetsmätningarna.

3.4.4.1 Läckagesökning

I läckagesökningen uppnåddes mycket höga tryckskillnader över klimatskalet enbart med hjälp av köksfläktarna, omkring 63-85Pa på de lägre fläkthastigheterna och 105-130Pa på de högre. Detta ger en tydlig indikation om hög lufttäthet i de fyra av sex lägenheter i trapphuset som läckagesöktes.

Läckage i klimatskalet lokaliserades till mellan fönsterbågar/dörrblad och karmar, golvwinklar och vissa eluttag. Inga läckage var dock så stora att de betraktades som brister eller att åtgärd behövdes.

3.4.4.2 Provtryckning av lägenhet

I Hus N är alla lägenheter fullt tillgänglighetsanpassade med tröskellösa entrédörrar. Vid trycksättningen till 50 Pa av en lägenhet med en fläkt i balkongdörren uppstod därför stort läckageflöde från trapphuset. Entrédörren tejpades därför under testet, eftersom den inte är en del av ytterväggsystemet som skulle testas.

Resultatet, genomsnitt för över- och undertryck, blev 0,16 l/s/m² yttervägg vilket ligger på samma nivå som vad som uppmätts av arbetsledarna vid egenkontrollen i produktion (0,15 l/s/m²).

3.4.4.3 Provtryckning av trapphus med 6 lägenheter

Mätningen av trapphuset visade en mycket stor skillnad i undertrycks- och övertrycksmätning, 0,25 jämfört 0,36 l/s/m², vilket gav totalresultatet 0,31 l/s/m² yttervägg utom hiss schaktvägg. Trapphuset läcksöktes inte och det är därför osäkert var läckagen uppstod.



Figur 24 Felkällor: Tv för lägenhetsmätning, dörr utan tröskel. I mitten och th trapphusmätningen: Trapphuset hade utåtgående dörrar som inte kunde låsas, och därför riskerade att öppnas i övertrycksmätningen. I mitten entrédörren som fick hållas fast, och som inte kunde tejpas. Th dörr till källare utan trycke, som dock tejplats.

3.4.5 Analys

Läckagesökningen visar på ett gott utförande i de undersökta lägenheterna, med mycket få eller små direkta läckage i testet. Vid normala tryckförhållanden bedömdes inte luftläckage kunna orsaka några problem. Detta innebär att tillfredsställande god lufttätethet kan uppnås med det nya väggsystemet.

Provtryckningen av lägenheten klarar med god marginal kriteriet för passivhus, $0,30 \text{ l/s/m}^2$, särskilt med tanke på att enbart ytterväggsarean har räknats med. Att resultatet är så likt det från projektets egen provtryckning stärker värdet av dessa mätningar. Skillnad mot egenkontrollen är att provtryckningsutrustningen då placeras i entrédörren till lägenheten, och att ev läckage i fönsterbåge/karm och liknande tejpas vid produktionskontrollen eftersom den fokuserar på utförandet av ytterväggen. De höga tryckskillnader som nåddes med köksfläktarna bekräftar också att lägenheterna är täta.

Provtryckningen av hela trapphuset klarar inte passivhuskriteriet räknat på enbart yttervägg exkl hisschakt ($0,31$ istället för $0,30 \text{ l/s/m}^2$) på grund av det stora läckageflödet i övertrycksmätningen. Det finns dock flera osäkerheter och risker för läckage i de många tätningarna av hissdörrar, källardörrar, vindslucka och fläktrum. Vid övertryck kan även den utåtgående entrédörren ha pressats ut eftersom den inte gick att låsa. Det går alltså inte för trapphuset, till skillnad från för lägenheterna, att säkerställa om läckagen är interna genom tätningarna eller om de relaterar till ytterväggen.

3.4.6 Slutsatser

Mätningen (av en) och läcksökningen (i fyra av sex) av lägenheterna visar att passivhusnivå för lufttätethet kan uppnås med god marginal för det prefabricerade väggsystemet. Samtliga lägenheter var täta nog att trycksättas med enbart köksfläktarna till stora undertryck. Läckage uppträdde mellan fönsterbågar/dörrblad och karmar, golvvinklar och vissa eluttag, men inga läckage var så stora att de klassades som brister. Osäkerheterna i trapphusmätningen gör det resultatet ($0,31 \text{ l/s/m}^2$) mer osäkert. Eftersom dessa osäkerheter rör interna läckage (som inte ska räknas till ytterväggen) och den olåsta ytterdörren är det dock svårt att på detta underlag förkasta lägenhetsresultaten. Prefabväggen med platsbyggd invändig utfackningsvägg anses därför kunna ge passivhustätethet.

3.5 Isolering och köldbryggor

Eftersom det köldbryggebrytande isolerskiktet mellan yttre och inre regelstomme har minskats kraftigt från den platsbyggda till den prefabricerade ytterväggen (se Figur 2) är det viktigt att kontrollera att inga köldbryggor får större genomslag i det nya väggsystemet. Samtidigt möjliggjorde den nya ytterväggen en bättre sockelisolering utan punktvisa stålkonsoleer som upplag för ytterstommen, kantbalkisoleringen förlängdes neråt och den vanliga EPS-en (λ -värde 0,038) ersattes med grafit-EPS (λ -värde 0,031 W/m/K)[3].

3.5.1 Syfte

- Att genom termografering utvärdera isolerprestandan i utformning och utförande för det nya väggsystemet samt ev förekomst av köldbryggor.

3.5.2 Bakgrund

Undersökt hus (Hus N) har boende i hela bottenplanet och full källare därunder. För Hus N och P som har motsvarande grundläggning med full källare har hela källarytterväggarna isolerats. Hus Q som ligger i suterräng har full isolering av källardelen och på suterrängsidan en kantbalkisolering som går c:a 60cm nedanför bottenplattan.

3.5.3 Metod

Termograferingen utfördes med infraröd kamera FLIR T420 enligt SS-EN 13187 (förenklad metod). Utrustning, metod och avvikelser i förhållandena vid mätillfället den 18 dec 2013 beskrivs utförligt i den bifogade mätrapporten från SP (Bilaga D), men även i korthet här som bakgrund till resultaten.

På grund av för årstiden höga utetemperaturer under december var temperaturskillnaden mellan ute och inne vid mätillfället bara c:a 12°C, vilket begränsar hur stora avvikelser som kan bli synliga och mindre brister kan missas. Huset var heller inte i stationärt tillstånd då det stod under uppvärmning inför inflyttningen, vilket gör att det inte gick att beräkna storleken på förväntade yttemperaturer inomhus på ett rättvisande sätt. Provingen genomfördes därför som en jämförelse mellan olika ytor för att på detta vis upptäcka avvikelser.

Nedkylda ytor över 1 m² ska enligt SP definieras som en brist i byggnaden. Samtidigt påpekas att bedömningen kan göras något strängare för ett passivhus än en konventionell byggnad (s4 av 7).

3.5.4 Resultat

Inga utförandefel, isolerbrister över 1 m² eller andra brister som krävde åtgärder för byggnadens funktion upptäcktes vid termograferingen.

Hörnet mellan yttervägg och golv på nedre plan var en särskilt intressant punkt att studera. Förväntad yttemperatur i golvvinkeln mot väggens sockelanslutning var svår att bedöma på grund av detta även är en geometrisk köldbrygga där värmeförlusten sker i 2D eller 3D. I jämförelse längs denna anslut-

ning i gavelväggen (där den inre väggstommen är av betong) syntes dock att köldbryggan ökade något mot mitten av huset för att sedan avta igen. En annan förväntad köldbrygga var den vid bjälklag i yttervägg, se t.ex. s10 (12) i Bilaga 2 i mätrapporten. I en lägenhet på översta plan syntes lägre ytemperaturer en bit in i vindsbjälklaget, men avvikelsen var så liten att den inte bedömdes som en brist som kan få betydande påverkan på inomhusklimatet.



Figur 25 Utvändigt bild att jämföra med termogram 3-6 i Bilaga D, där en större köldbrygga syntes i golvinkeln

3.5.5 Analys

Mätningarna visar inte på några konstruktions- eller utförandefel i ytterväggen, vilket var huvudsyftet med mätningen. Samtidigt var det olyckligt att väderförhållandena och de icke stationära temperaturförhållandenas inverkan gjorde att temperaturskillnaderna inte blev så stora och temperaturanalyser inte kunde göras. Även om sockelanslutningens köldbrygga bedömdes som förväntad hade det varit intressant att kunna kvantifiera den på något sätt.

Från den jämförande metoden framstår dock avvikelsen i sockelanslutningen mitt på gaveln som intressant. Ett utvändigt foto av det som beskrivs på s3 (12) i Bilaga D finns i Figur 25. Även om källarväggen är fullisolerad så är den alltså i detta läge mer exponerad mot uteklimatet vilket kan innebära att värmeförlusten blir större här. Infästningen av dörren bidrar också som en geometrisk köldbrygga. Eftersom isoleringen av synlig sockel görs relativt sent skulle även kvarvarande fukt i källarväggen kunna bidra till en större värmeförlust i detta läge. En sådan effekt försvinner dock under bruksskedet i takt med att källarväggen kommer att torka inåt.

I lägenheten på bottenvåningen ovanför källaringången kan köldbryggan påverka den termiska komforten negativt om inverkan blir bestående. Köldbryggan gränsar till ett våtrum, där känsligheten för



Utvärdering av prefabricerad vägg

Uppdragsnummer

133575–301

Rapport

Skanska Sverige

Teknik

Göteborg

Uppdragsansvarig

Linda Martinsson

Datum

2014-07-06

42
(47)

kalla golv och ytor är större än i andra rum, särskilt vid duschplatsen. Samtidigt kan konstateras att temperaturavvikelsen är mycket avgränsad enligt termogrammen och att ytemperaturen på golvet är relativt opåverkad, vilket är viktigt ur komfortsynpunkt. Valet av våtrumsmatta som golvmaterial istället för klinker är också mer gynnsamt då bättre isolerande material upplevs som varmare i kontakt med huden. Det varmare golvet kan på så vis minska upplevelsen av nedkylning som kan uppstå genom strålningsutbyte med en lägre ytemperatur i väggens nedre del.

Avvikelsen i tak (se s12 (12) i Bilaga D) som sågs som för liten för att vara en brist och analyseras inte vidare här eftersom den inte heller relaterar till ytterväggen. Den naturliga geometriska köldbryggan i ytterväggshörn (se s10 (12) i Bilaga D) förstärks av att bjälklagskanten – trots att den är väl isolerad – har 95mm mindre isolering än omgivande vägg. Avvikelsen har dock en mycket liten utbredning och bedöms inte kunna ha någon inverkan av betydelse på invändig komfort.

En tillkommande köldbrygga i prefabsystemet är den vid elementskarvarna i ytterstommen, där reglarna står tätare. Detta återkommer i varje elementskarv, c:a var tredje meter längs väggen. Effekten av denna köldbrygga verkar dock jämnas ut i de 30mm mineralullsboard och 95mm isolerad träregelstomme som finns innanför, eftersom inga motsvarande avvikelser syns i de invändiga ytemperaturerna. Möjligen kan träreglarna i installationsskiktet spåras i något läge, som i termogram 7, men den avvikelsen är knappt märkbar. Beräkningsmässigt är heller reglarna inga köldbryggor utan har inkluderats i väggens U-värde i väggutvecklingen.

3.5.6 Slutsatser

Den ökade värmeförlust som upptäcktes i sockelanslutningen mot gavelvägg i mitten av byggnaden antas kunna härledas till byggnadsutformningen med källartrappan istället för motfyllnad i motsvarande läge. Den anses därför inte ha något att göra med konstruktionen eller utförandet av ytterväggssystemet.

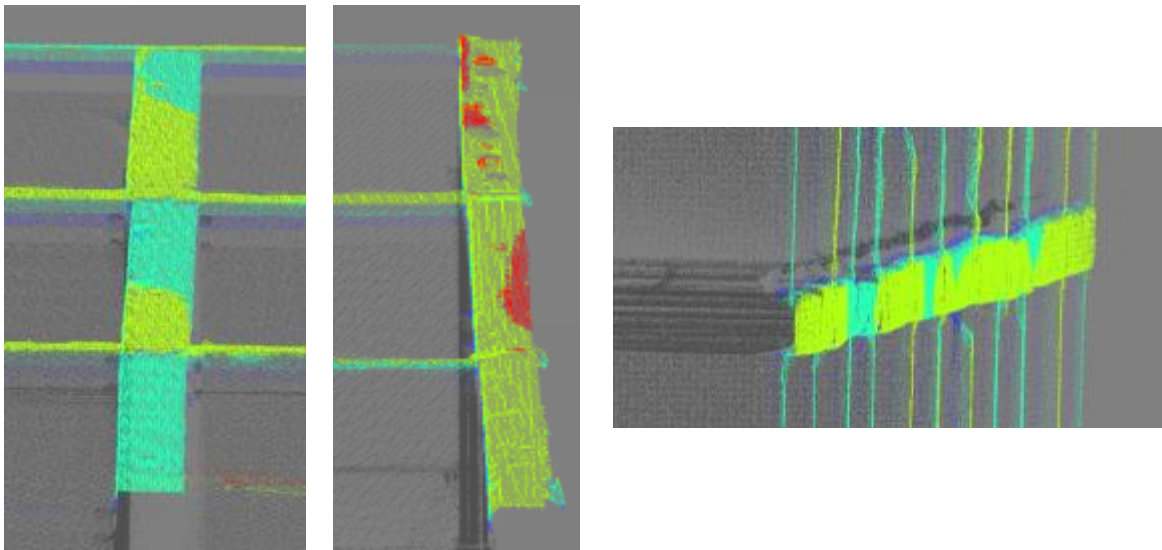
I övrigt är det svårt att värdera köldbryggan i sockel och om den har minskats eller ej jämfört med situationen med det tidigare ytterväggssystemet. Dels var byggnaden inte i jämvikt vid testtillfället, dels är köldbryggan i sockel en detalj med två- eller tredimensionell värmeeströmning vilket gör det mycket svårt att bedöma vilken temperatur som bär förväntas på vilken inneryta. Positivt är dock att påverkan från denna köldbrygga verkar ha liten påverkan på invändig golvtemperatur.

Någon inverkan från köldbryggan i elementskarv syntes inte i termograferingen.

4 SAMMANFATTNING AV UTVÄRDERINGEN

De sammantagna mätningarna styrker de teoretiska resultaten från väggutvecklingen i BEEM-UP-processen:

- Skanningen visar att den valda drevmånen fungerar väl för att ta upp toleranserna i betongstommen i de allra flesta lägen. Således behöver inte elementen konfektioneras för detta.
 - Laserskanningen visade sig vara ett pedagogiskt och effektivt verktyg för att beskriva den befintliga betongstommen (se exempel ur mätrapporten i Figur 26 nedan). För att få full utväxling av mätresultaten bör dock skanningen göras så långt innan montage och helst även tillverkning av element att underlaget kan användas fullt ut i planeringen. I så fall bör stommen kunna friläggas för skanningen och sedan återtäckas för att inte uppfuktning ska riskeras.



Figur 26 Utsnitt ur figurerna 24, 12 och 28 i rapporten, bilder av tvärväggar tv och bjälklagskant (roterad) th

- Utformningen av element och fönsteröppningar samt montageordningen på plats har anpassats för ett fuktsäkert prefabmontage. Den långsamma uttorkningsprocessen styrker behovet av fuktsäker tillverkning, transport, montage och produktionstid. Erfarenheten från pilotmontaget är att det är viktigt att beakta att en prefabvägg utan fasad under produktionstiden ännu inte har samma skydd och egenskaper som den färdiga väggen.
- Observationerna från montageuppföljningen har använts till att förbättra detaljutformningen och monterrutinerna för elementen. Viktiga slutsatser är:



Utvärdering av prefabricerad vägg

Uppdragsnummer

133575–301

Rapport

Skanska Sverige

Teknik

Göteborg

Uppdragsansvarig

Linda Martinsson

Datum

2014-07-06

44
(47)

- Nyttan av prefab ur ergonomisk synvinkel kan bekräftas, även om inte alla tunga moment försvunnit från arbetsplatsen. Prefabriceringen minskar även omkostnader, hantering och spill på plats och förbättrar även utrymmet och arbetsmiljön.
- Konstruktionen har utifrån erfarenheterna på plats förbättrats framför allt i fråga om montageeffektivitet, genom utveckling av toleranser mellan element, utformning och komplettering av skarvar.
- Systemet med montage direkt från bil och fallskyddet i stommen var effektivt för renovering av den här typen av byggnader från Miljonprogrammet med regelbunden bokhullestomme och plana uppställningsytor omkring husen.
- I fråga om fuktsäkerhet ska vikten av att robusta material valts och att konstruktionen och produktionsordningen anpassats påpekas särskilt. Ur materialperspektiv var de viktigaste ändringarna en utvändigt vindduk, med utformning för god avrinning och täta skarvar i i produktionsskedet, samt att minimera mängden trämaterial i elementen.
- Lufttäthetsmässigt klarar väggsystemet passivhusnivå
- Termograferingen upptäckte inga konstruktions-, utförandebrister eller köldbryggor relaterade till väggsystemet.

Totalt visar utvärderingen att ett prefabricerat ytterväggsystem kan användas i renovering med samma tekniska funktion som med ett platsbyggt system. En något högre material- och tillverkningskostnad kan tjänas in genom en stor potentiell tidsbesparing relativt ett platsbyggt alternativ. För att få god montage- och kostnadseffektivitet är montörernas erfarenheter särskilt viktiga i framtagande av detaljer, arbetsordning och beredning av momenten.

I detta fall monterades ytterväggen utanpå en solid betongvägg och med en ny utfackningsvägg i bokhullestomme. Systemet har dock potential att användas även i andra typer av byggnader. Efter-som elementens egenvikt tas ned till bottenplattan innebär de inte någon ytterligare last på den befintliga stommen.

En intressant tillämpning i renovering att titta vidare på vore tilläggsisolering med element utanpå befintliga betong- eller utfackningsväggar, vilket borde kunna göras med kvarboende.



Utvärdering av prefabricerad vägg

Uppdragsnummer

133575-301

Rapport

Skanska Sverige

Teknik

Göteborg

Uppdragsansvarig

Linda Martinsson

Datum

2014-07-06

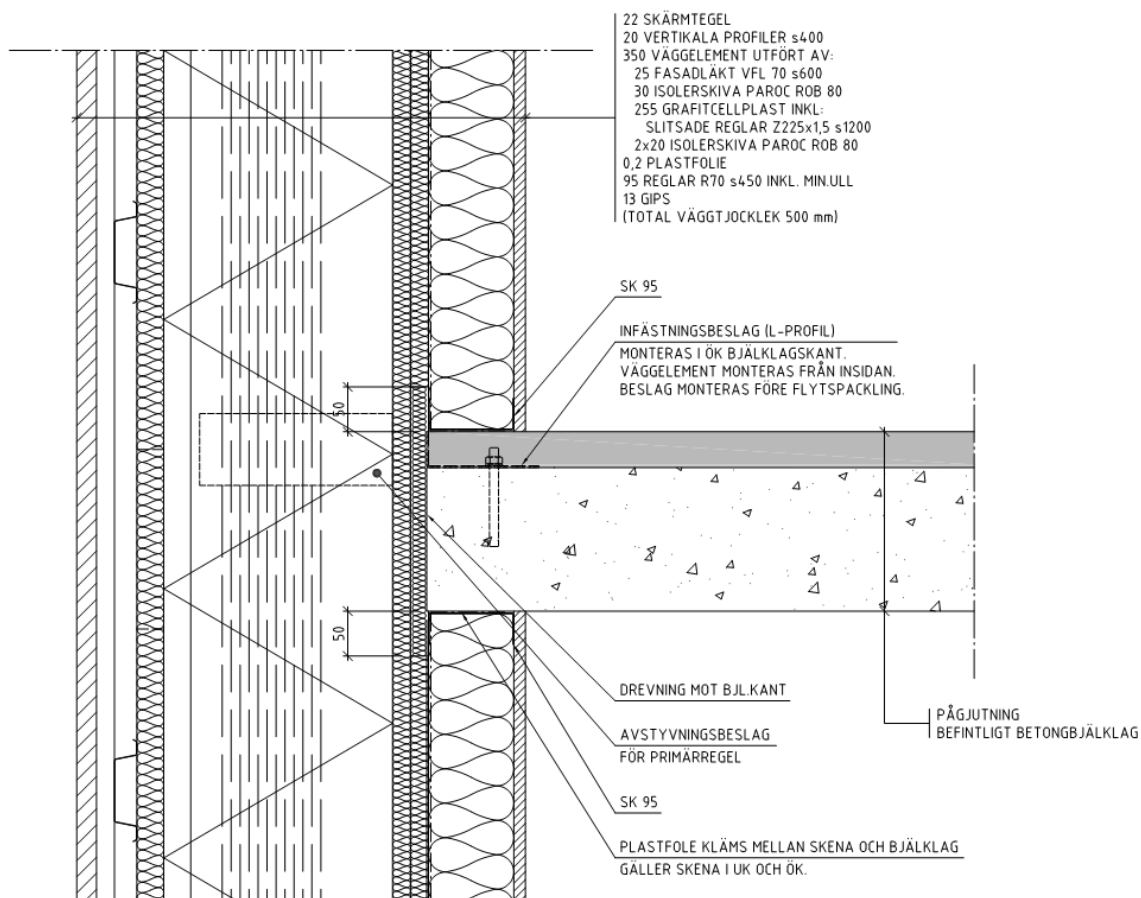
45
(47)

5 REFERENSER

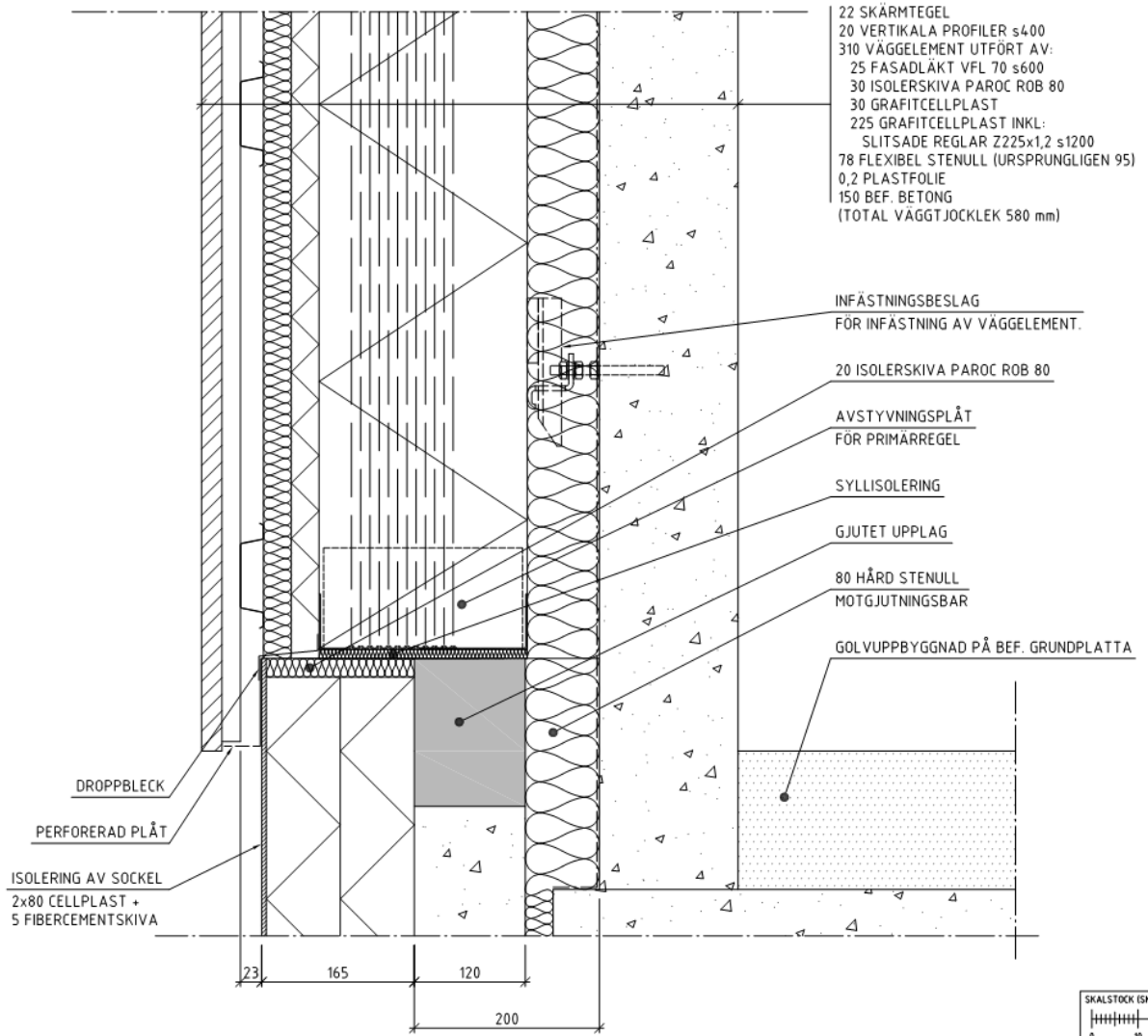
- [1] BEEM-UP, "Building Energy Efficiency for a Massive Market Uptake," EeB, 7th Framework Programme, [Online]. Available: <http://www.beem-up.eu>.
- [2] Skanska Sverige AB, "BEEM-UP Report from Skanska to be included in deliverable D4.3, D4.1 and D4.4," 2012.
- [3] Brödr. Sunde A/S, "Sundolitt," [Online]. Available: <http://www.sundolitt.se/sundolitt/broschyre/produktblad-climate>.
- [4] U. Janson, B. Berggren och H. Sundqvist, "SBUF-rapport 11936: Energieffektivisering vid renovering av rekordårens flerbostadshus," SBUF, 2008.
- [5] P. Broberg, "SBUF-rapport 12314: Sammanställning av ergonomiska arbetsmetoder för stålreglar," SBUF, 2012.
- [6] T. Gustavsson, "Rapport Etk6086-14 rev1: Comments on new outer wall structure with regard moisture tightness - reconstruction of Brogården in Alingsås," SP Sveriges tekniska forskningsinstitut, Borås, 2012.

BILAGA A ELEMENTUTFORMNING

Ritningar från väggutvecklingsprocessen i BEEM-UP



Figur 27 Utformning av yttervägg/långsida från BEEM-UP-processen. Av brand- och ljudskäl ersattes utfackningsväggen th i bild senare av en 95mm träregelstomme med dubbel gips, och den 40mm tjocka mineralullsboarden på insida element minskades till 30mm, för att bättre kunna ta upp de stora variationerna i betongstommens toleranser. Ritning från Europrofil.



Figur 28 Utformning gavelvägg. Ritning från Europrofil.