



CHALMERS



Utökad boarea med ny typ av sandwichvägg

Analys av väggelement med högpresterande isolering och fiberbetong i ytterskiva

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Byggingenjör

REBECCA HOLMQVIST
ERICA JACOBSSON
ANNA WILANDER

EXAMENSARBETE BOMX03-16-4

Utökad boarea med ny typ av sandwichvägg

Analys av väggelement med högpresterande isolering och fiberbetong i ytterskiva

Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

REBECCA HOLMQVIST

ERICA JACOBSSON

ANNA WILANDER

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för byggnadsteknologi
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, 2016

Utökad boarea med ny typ av sandwichvägg

Analys av väggelement med högpresterande isolering och fiberbetong i ytterskiva

Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

REBECCA HOLMQVIST

ERICA JACOBSSON

ANNA WILANDER

© REBECCA HOLMQVIST, ERICA JACOBSSON, ANNA WILANDER, 2016

Examensarbete BOMX03-16-4 / Institutionen för bygg- och miljöteknik,
Chalmers tekniska högskola 2016

Institutionen för bygg och miljöteknik

Avdelningen för byggnadsteknologi

Chalmers tekniska högskola

412 96 Göteborg

Telefon: 031-772 10 00

Omslag:

Tvärsnitt av den nya sandwichväggen med högpresterande isolering och fiberbetong i ytterskiva, fotat av Mikael Andersson (2016). Återgiven med tillstånd.

Reproservice Chalmers/Institutionen för bygg- och miljöteknik
Göteborg 2016

Utökad boarea med ny typ av sandwichvägg

Analys av väggelement med högpresterande isolering och fiberbetong i ytterskiva

Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

REBECCA HOLMQVIST

ERICA JACOBSSON

ANNA WILANDER

Institutionen för bygg- och miljöteknik

Avdelningen för byggnadsteknologi

Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

När nya bostäder byggs finns det lagar och regler som måste efterföljas. Dessa krav leder till att byggnader uppnår god kvalitet men också att den totala kostnaden för projekt ökar. Ett sätt att reducera kostnaden är att yteffektivisera byggnader med hjälp av tunnare ytterväggar. På så sätt skapas mer boarea som leder till ökade intäkter vid försäljning.

Kynningsrud Prefab AB har utvecklat en tunnare sandwichvägg med primärsyftet att användas i flerbostadshus. I detta examensarbete kommer den nya väggen, FBKB-väggen, analyseras för att se om den uppfyller de krav och normer som ställs på en yttervägg. För att möjliggöra en analys har en jämförelse utförts mellan den nya väggen och en vägg som idag är vanligt förekommande. Båda väggarnas egenskaper, gällande akustik, U-värde, fukt, brand och livslängd har fastställts. Det har även utförts en kostnads kalkyl för respektive vägg, där hänsyn tagits till kostnader för inköp, transport och montage, samt vinst för frigjord boarea. Slutligen jämfördes väggarnas egenskaper och kostnader mot varandra.

I arbetet sammanställdes bostadskrav över de tidigare nämnda egenskaperna gällande ytterväggar. Hur väggarnas egenskaper uppfyller dessa krav har analyserats med beräkningar och teori. För att skapa en första indikator om ett intresse finns för FBKB-väggen har intervjuer med två aktörer inom marknaden utförts. Åsikter från dem har även tagits hänsyn till i diskussionen. Sammanställningen av resultaten tyder på att FBKB-väggens undersökta egenskaper gällande akustik, U-värde, fukt och livslängd är likvärdiga Standardväggens. Hur FBKB-väggens brandegenskaper förhåller sig till Standardväggens är svårt att avgöra utan praktiska tester. För att kontrollera om väggen uppfyller ställda krav krävs vidare studier samt praktiska tester. FBKB-väggens totala kostnader är lägre jämförelsevis med Standardväggens, när hänsyn tas till vinsten av den frigjorda boarean.

Nyckelord: utökad boarea, tunnare sandwichvägg, fiberarmerad betong

Extended Living Space with New Type of Sandwich Wall

Analysis of Wall Element with High Performance Insulation and Fibre Reinforced Concrete

Diploma Thesis in the Engineering Programme

Building and Civil Engineering

REBECCA HOLMQVIST

ERICA JACOBSSON

ANNA WILANDER

Department of Civil and Environmental Engineering

Division of Building Technology

Chalmers University of Technology

ABSTRACT

There are laws and rules that must be followed when new homes are built. These requirements enable buildings to achieve good quality, but at the same time the total cost of the project increases. One way to reduce this cost is to increase the living space by constructing thinner walls. This extra living space can be sold or rented, which would increase the potential for more revenue.

Kynningsrud Prefab AB has developed a thinner wall, utilising a “sandwich construction”, with the primary purpose of being used in apartment buildings. The chief aim of this thesis was to ascertain if the new wall, also known as FBKB-wall, will meet the requirements and standards related to an exterior building wall. In order to evaluate the new proposed concept, a comparison has been performed between the new wall and a wall that is commonly used today. Properties of both walls have been examined concerning acoustics, U-value, dampness, fire and life-span. Furthermore, the estimated total cost for each wall has been determined. The cost estimate includes, the purchase of material, transport and assemblage relating to the walls. The increased revenue originating from the extra living space has also been considered in the evaluation. Moreover, the study has collated requirements from administrative authorities to investigate how the aforesaid requirements correspond to the wall characteristics and specifications.

The results show that the FBKB-wall characteristics are equal to that of the Standard-wall. Thus, a direct comparison between the walls cannot be made at this stage. The results of this thesis indicate that the FBKB-wall meet the requirements of acoustics, U-value, dampness and life-span, when compared to the Standard-wall. However, further studies and physical testing will be necessary before a meaningful comparison between the FBKB-wall and Standard-wall can be completed. Physical testing is especially important in the matter of how the walls will react to fire.

Key words: extended living space, thinner sandwich wall element, fibre reinforced concrete

Innehållsförteckning

SAMMANFATTNING	I
ABSTRACT	II
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	III
FÖRORD	V
BETECKNINGAR	VI
1 INLEDNING	1
1.1 Syfte	3
1.2 Avgränsningar	3
2 METOD	6
2.1 Litteraturstudie	6
2.2 Beräkningsstudie och kostnadskalkyl	6
2.3 Ritningar	7
2.4 Intervjuer	7
3 BOSTADSKRAV PÅ YTTERVÄGG	8
3.1 AkustikkraV	8
3.2 U-värdeskrav	10
3.3 Fuktkrav	11
3.4 Brandkrav	11
3.5 Krav på livslängdsklass	13
4 BAKGRUND INFÖR BERÄKNINGAR OCH ANALYSER	14
4.1 Materialegenskaper för isolering	14
4.2 Materialegenskaper för betong	16
4.3 Det fiktiva projektet	18
4.4 Kostnad för inköp, transport och montering av sandwichväggarna	20
5 GENOMFÖRANDE AV BERÄKNINGAR	23
5.1 Beräkningsgång av akustikegenskaper	23
5.2 Beräkningsgång av U-värde	24
5.3 Beräkningsgång av fuktegenskaper	26
5.4 Beräkning av transport- och monteringskostnader	27

6	RESULTAT AV BERÄKNINGAR, LITTERATURSTUDIER OCH INTERVJUER	29
6.1	Väggens akustikegenskaper	29
6.2	Väggens U-värde	30
6.3	Väggens fuktegenskaper	30
6.4	Väggens brandegenskaper	32
6.5	Väggens livslängdsklass	33
6.6	Kostnad för inköp, transport och montering av väggen	33
6.7	Kommentarer från intervjuade stominköpare	36
7	DISKUSSION OM RESULTATEN OCH HUR DE UPPFYLLER KRAVEN	38
7.1	Akustik	38
7.2	U-värde	39
7.3	Fukt	40
7.4	Brand	40
7.5	Livslängdsklass	41
7.6	Kostnader	41
8	SLUTSATS	43
	REFERENSLISTA	44
	BILAGA 1: <i>Beräkning av Standard- och FBKB-väggens egenskaper, med fokus på akustik, U-värde och fukt</i>	
	BILAGA 2: <i>Reduktionstalskurva för Standard- och FBKB-väggen</i>	
	BILAGA 3: <i>Beräkning av det totala, teoretiska, trafikbullersreduktionstalet i Standard- och FBKB-väggen</i>	
	BILAGA 4: <i>Lastkombinationer för transportering av Standard- och FBKB-väggen</i>	
	BILAGA 5: <i>Val av monteringskran</i>	

Förord

Examensarbetet omfattar 15 högskolepoäng och är skrivet under våren 2016. Arbetet är en del av byggingenjörsprogrammet på Chalmers tekniska högskola och skrevs på institutionen bygg- och miljöteknik. Det utfördes i samarbete med Kynningsrud Prefab AB. Handledare under arbetet var Ingemar Segerholm, universitetslektor på Chalmers tekniska högskola, samt Cristofer Nyqvist, försäljningsingenjör på Kynningsrud Prefab AB.

Vi vill tacka Kynningsrud Prefab AB för möjligheten att utföra examensarbetet hos dem och för det stöd som vi fått under arbetets gång. Vi vill speciellt tacka vår handledare Cristofer Nyqvist samt Mikael Andersson, konstruktionschef Kynningsrud Prefab AB, för deras engagemang och stöd. Vi vill även tacka vår handledare Ingemar Segerholm för hans stöd och hjälp med struktur och beräkningar. Slutligen vill vi även rikta ett stort tack till alla som vi har intervjuat i olika sakfrågor, utan ert engagemang och vilja att dela med er av er kunskap hade arbetet inte varit möjligt.

Göteborg juni 2016

Rebecca Holmqvist

Erica Jacobsson

Anna Wilander

Beteckningar

Latinska versaler

A	Absorptionsarea i rummet [m^2]
A_f	Sammanlagd area för fönster, dörrar, portar och dylikt [m^2]
A_f	Tvärsnittsarea för varje infästning [m^2]
A_{temp}	Area av samtliga våningsplan, vindsplan och källarplan för temperaturreglerande utrymmen, avsedda att värmas till mer än 10°C , som begränsas av klimatskärmens insida [m^2]
D	Ångpermabilitet för luft [m^2]
$DVUT_{20}$	Dimensionerande vinterutetemperatur som överstigs var tjugonde år [$^\circ\text{C}$]
E	Elasticitetsmodul [Pa]
G	Fuktproduktion [g/h och lgh]
L_1	Ljudnivå i diffusfältet i sändarrummet [dB]
L_2	Ljudnivå i diffusfältet i mottagarrummet [dB]
R	Reduktionstal för väggen [dB]
R_I	Värmemotstånd för det isoleringsskikt som innehåller springor och spalter [$\text{m}^2\text{C}/\text{W}$]
R_i	Det enskilda materialskiktets värmemotstånd [$\text{m}^2\text{C}/\text{W}$]
R_{se}	Yttre värmeövergångsmotstånd [$\text{m}^2\text{C}/\text{W}$]
R_{si}	Inre värmeövergångsmotstånd [$\text{m}^2\text{C}/\text{W}$]
R_T	Totalt värmemotstånd [$\text{m}^2\text{C}/\text{W}$]
$R_{tr,s,w} + C_{tr,50-3150}$	Totalt, teoretiskt, trafikbullerreduktionstal [dB]
R_w	Reduktionstal [dB]
R_x	Värmemotstånd för skiktet in till gränssytan på avståndet x [$\text{m}^2\text{C}/\text{W}$]
$R\tilde{A}$	Relativ ånghalt [%]
S	Väggens area [m^2]
T	Efterklangstid [s]
T_i	Temperatur inomhus [$^\circ\text{C}$]
T_e	Temperatur utomhus [$^\circ\text{C}$]
T_x	Temperatur på avståndet x in i en konstruktion [$^\circ\text{C}$]
U	Värmegenomgångskoefficient [$\text{W}/\text{m}^2\text{C}$]
ΔU_f	Korrektion för köldbryggor i form av fästianordningar etc. [$\text{W}/\text{m}^2\text{C}$]
ΔU_g	Korrektion för arbetsutförande och springor och spalter [$\text{W}/\text{m}^2\text{C}$]
ΔU_{g0}	Korrektionsterm [$\text{W}/\text{m}^2\text{C}$]
U_i	Värmegenomgångskoefficient för en byggnadsdel [$\text{W}/\text{m}^2\text{C}$]
U_{korr}	Korrigerad värmegenomgångskoefficient [$\text{W}/\text{m}^2\text{C}$]
U_m	Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient [$\text{W}/\text{m}^2\text{C}$]
ΔU_r	Korrektion för nederbörd och vindpåverkan i omvända tak och duotak [$\text{W}/\text{m}^2\text{C}$]

V	Rumsvolym [m^3]
V_{vent}	Ventilerad rumsvolym [m^3]
Z	Ånggenomgångsmotstånd [s/m]
Z_i	Det enskilda materialskiktets ånggenomgångsmotstånd [s/m]
Z_x	Ånggenomgångsmotstånd för skikten in till avståndet x [s/m]

Latinska gemena

b	Bredd [m]
d_i	Det enskilda materialskiktets tjocklek [m]
f	Brandbelastning [MJ/m^2]
f_0	Resonansfrekvens [Hz]
f_x	Faktor för ökad värmeförlust orsakad av vattenavledning på tätskiktet [$\text{Wdag/m}^2\text{°Cmm}$]
m'	Densitet [kg/m^3]
n	Luftomsättning [h^{-1}]
n_f	Antal förbindningar per m^2 byggnadsdel
p	Dygnsnederbörd under uppvärmningssäsongen [mm/dag]
p_A	Andel av material A i värmeflödets riktning [m^2/m^2]
p_B	Andel av material B i värmeflödets riktning [m^2/m^2]
p_s	Mättnadstryck [Pa]
v_s	Mättnadsånghalt [g/m^3]
v_x	Ånghalten på avståndet x i konstruktionen [g/m^3]

Grekiska gemena

α	Koefficient för olika fästansordningar
δ_i	Ångpermeabilitet för respektive material [m^2/s]
λ	Värmeledningsförmåga [$\text{W/m}^\circ\text{C}$]
$\Delta\lambda_w$	Korrektionsterm för fuktig miljö [$\text{W/m}^\circ\text{C}$]
λ_{ber}	Beräkningsvärde för värmeledningsförmåga [$\text{W/m}^\circ\text{C}$]
λ_{dekl}	Deklarerad värmeledningsförmåga [$\text{W/m}^\circ\text{C}$]
μ	Diffusionsmotståndsfaktor

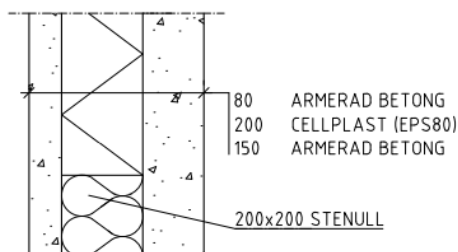
Ordlista

<i>Boarea</i>	All area innanför lägenhetens omslutande väggar, exklusive schakt
<i>Brandcell</i>	Avgränsad del av byggnad som kan motstå brand under en viss tid
<i>Brandrum</i>	Det rum där det brinner
<i>Ekvivalent ljudnivå</i>	Medelvärde av buller mätt över ett år
<i>Flanktransmission</i>	Ljudtransport via svängningar i icke direkt skiljande konstruktionsdelar
<i>Frekvens</i>	Antal tryckvågssvängningar per sekund
<i>Hydratationsgrad</i>	Andel fritt vatten i cementen som reagerat och övergått till bundet vatten vid en viss tidpunkt
<i>Massmedelpunkt</i>	Medelpunkt i en massa
<i>Polytyren</i>	Form av amorf termoplast
<i>Solid vägg</i>	Vägg utan öppningar, så som håltagning för fönster eller dörr
<i>Termoplastiskt</i>	Egenskap hos material som betyder att det börjar smälta och droppa innan det antänds
<i>Termoset</i>	Egenskap hos material som betyder att det varken smälter eller droppar innan det antänds
<i>Vattencementtal</i>	Förhållande mellan vatten och cement i betong

1 Inledning

I takt med att befolkningsmängden ökar i Sverige stiger också efterfrågan på bostäder. När nya bostäder ska byggas måste lagar och normer efterföljas både i projekterings- och produktionsfasen. Dessa lagar och normer leder förhoppningsvis till att nyproducerade byggnader uppnår en god kvalitet (Boverket, 2016). Ju högre krav som ställs på byggnadernas egenskaper desto mer ökar de totala kostnaderna för projekten (Winberg Nordström, 2015). Detta gör att det idag finns ett stort intresse från både byggherrar och entreprenörer att finna nya lösningar som bidrar till effektivisering och kostnadsreducering. I svenska storstäder prioriteras en mer yteffektiv bebyggelse både för att tillgodose den ökande efterfrågan men också på grund av de begränsade byggbara ytorna. En tunnare yttervägg kan tillgodose dessa behov då den skapar mer boarea, vilket kan leda till en ekonomisk vinst vid senare försäljning eller uthyrning¹.

Kynningsrud Prefab AB är ett stomentreprenörföretag som bland annat tillverkar och monterar prefabricerade betongelement till bostäder¹. Företaget projekterar, dimensionerar och utvecklar sina produkter som sedan tillverkas i deras fabrik i Uddevalla. Ytterväggarna är en viktig beståndsdel i stommen. Dessa utformas efter varje enskilt projekts förutsättningar, men det finns vissa väggelement som förekommer ofta. I detta fall kallas en sådan typ av vägg för Standardväggen. Väggen är totalt 430 mm tjock och är uppbyggd enligt Figur 1.1¹. I Standardväggen ramas cellplastisoleringen in av 200 mm stenull för att komplettera väggens brandegenskaper¹, se Figur 1.1. Detta utförs i ytterkant av elementen och vid uttag, till exempel vid dörrar och fönster.

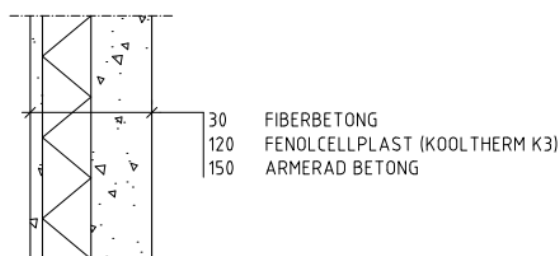


Figur 1.1 Tvärsnitt Standardvägg.

Kynningsrud Prefab AB har under en tid försökt hitta nya lösningar som ska frigöra mer boarea vid användning av samma markyta alternativt möjliggöra att mindre markyta används¹. De har därför tagit fram en ny typ av yttervägg som är tunnare än de tidigare. Väggen är en sandwichvägg med en uppbyggnad liknande Standardväggens, dock med andra material och utan en ram av stenull. Den nyutvecklade prefabricerade väggen benämns i arbetet som FBKB-väggen då väggen består av fiberbetong i ytterskiva, isolering av Kooltherm K3 och armerad betong i

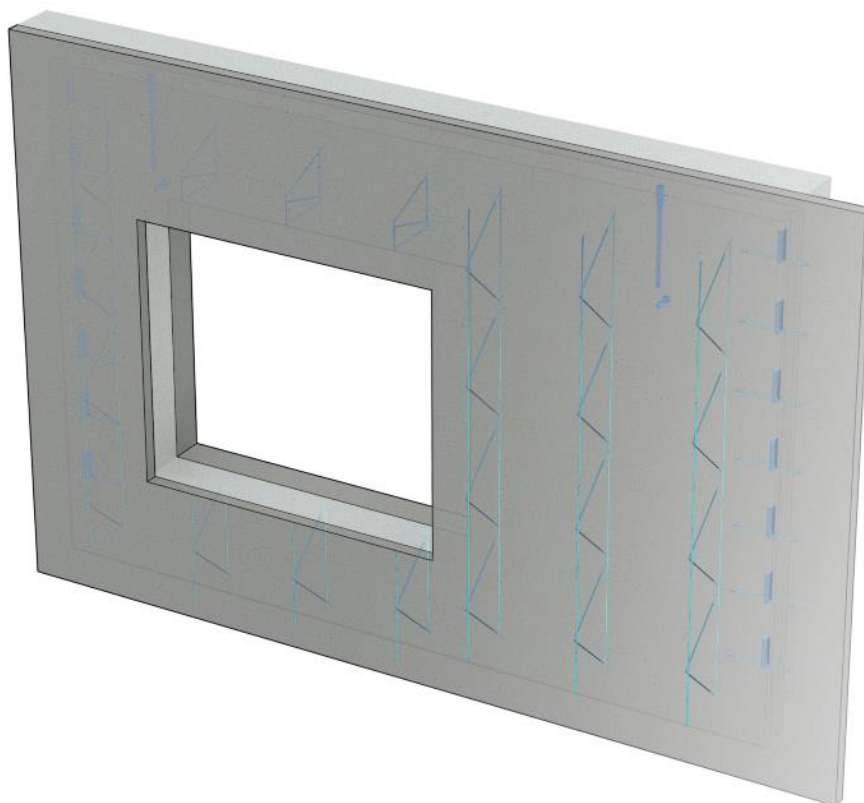
¹ Cristofer Nyqvist (Försäljningsingenjör, Kynningsrud Prefab AB) intervjuad av författarna den 22 januari 2016.

innerskiva, se Figur 1.2. Väggens tjocklek är 300 mm och är därmed 130 mm tunnare än Standardväggen.



Figur 1.2 Tvärsnitt FBKB-vägg.

Innerskivan är uppbyggd på samma sätt för båda väggarna då den är bärande och inte kan reduceras². Betongskivorna i Standardväggen förbinds ihop med armeringsstegar, se Figur 1.3.



Figur 1.3 Armeringsstegar i sandwichvägg (Peikko, 2016). Återgiven med tillstånd.

I FBKB-väggen används istället förbindelsestavar tillverkade av ett fiberkompositmaterial, se Figur 1.4. Materialet består av kontinuerliga glasfibrer och vinylesterpolymer (Thermomass, 2011). Detta innebär att materialet inte korroderar och kräver därför mindre täcksikt än armeringsstegar³.

² Cristofer Nyqvist (Försäljningsingenjör, Kynningsrud Prefab AB) intervjuad av författarna den 22 januari 2016.

³ Mikael Andersson (Konstruktionschef, Kynningsrud Prefab AB) intervjuad av författarna den 25 februari 2016.



Figur 1.4 Förbindelsestav av plast (Nyqvist, 2016). Återgiven med tillstånd.

1.1 Syfte

Syftet med arbetet var att undersöka FBKB-väggens framtida tillämpningsmöjligheter inom bostadsmarknaden, samt dess konkurrenskraftighet i jämförelse med andra väggar. Detta utvärderades genom att granska väggens egenskaper ur följande aspekter: akustik, U-värde, fukt, brand och livslängdsklass. Även en granskning av väggens ekonomiska påverkan utfördes. Där fokus legat på hur väggens utformning påverkar kostnader för inköp, transporter och montering, samt inkomst vid försäljning av färdig byggnad.

1.2 Avgränsningar

De ingående materialen i väggarna har inte undersökts ur ett miljöperspektiv, därför har inga miljölivscykelanalyser utförts. Den utländska marknadens krav och standarder har inte berörts utan endast de svenska. Undersökningen av väggen har enbart beaktat lämplighet i tätort med fokus på Mölndal, då Kynningsrud Prefab AB idag bedriver många projekt där⁴. Området valdes även då en tunnare yttervägg gör att byggnaderna blir yteffektivare. Detta är främst en fördel i en storstad där ytan är mer begränsad och kvadratmeterpriset vid försäljning är högre.

De material som projektet avgränsat undersökningar och jämförelser till, är de material som ingår i Kynningsrud Prefab AB:s FBKB-vägg samt Standardvägg. Innerskivan består, i båda fallen, av samma typ av betong⁵. Betongen används även i Standardväggens ytterskiva, medan materialet i FBKB-väggens ytterskiva utgörs av fiberarmerad betong⁴. Fiberförstärkningen består av basaltfibrer då tidigare bedömningar av Kynningsrud Prefab AB konstaterat att basaltfibrer är bäst lämpat när det gäller ytterskivan på väggelement⁶. De isoleringsmaterialen som behandlats är cellplast EPS80, stenull Paroc COS 10 och fenolcellplast Kooltherm K3. I projektet görs alltså inga ytterligare jämförelser med väggar av andra material.

⁴ Cristofer Nyqvist (Försäljningsingenjör, Kynningsrud Prefab AB) intervjuad av författarna den 22 januari 2016.

⁵ Joakim Olsson (Driftchef blandarstation, Kynningsrud Prefab AB) intervjuad av författarna den 22 februari 2016.

⁶ Mikael Andersson (Konstruktionschef, Kynningsrud Prefab AB) intervjuad av författarna den 25 februari 2016.

För att kontrollera att krav på akustik, U-värden, fukt, brand och livslängd från lagar och förordningar som ställs på byggnader uppnås, i synnerhet ytterväggar, har projektet utgått från Boverkets byggnadsregler, Svensk standard, Förordning om trafikbuller vid bostadsbyggnader, Plan- och bygglagen samt Plan- och byggförordningen. De lagar och förordningar som presenteras i rapporten berör endast bostadsbyggnader, eftersom det är väggarnas lämplighet inom bostadsstommar som undersökts.

Vid beräkningar av väggarnas ljudisoleringsförmåga har buller vid fasadens utsida antagits till den maximala ekvivalenta ljudnivån som är acceptabel, utan att speciella åtgärder behöver utföras. Detta eftersom fokus ska ligga på vad ytterväggen klarar av samt förenkla uträkningen så att inga anpassningar för specialfall behöver utformas. Den maximala gränsen sätts som ett utgångsvärde för att skapa ett värsta scenario som väggen bör klara för att senare gå vidare med utförligare analyser av resultatet, som exempelvis praktiska tester. I beräkningarna har en förenkling utförts, där de olika betongreceptens elasticitetsmodul, E , satts till samma värde. Detta antagande har gjorts då värdena inte skiljer avsevärt. Resultatet verkar endast som en indikator på hur väggarnas ljudisoleringsförmåga förhåller sig till varandra. Vid samtliga akustikberäkningar har inverkan av flanktransmissionen försumrats.

För att kontrollera hur väggarnas värmemotstånd skiljer sig åt har dess värmegenomgångskoefficient, U , beräknats. Beräkningarna visar endast den enskilda byggnadsdelens värde. Detta eftersom det mest väsentliga i arbetet har varit att visa på skillnader mellan väggarna. I U -värdesberäkningarna har fönster och dörrar exkluderats och beräkningarna har gjorts på ett väggelement i det fiktiva projektet med arean 3 x 3 m.

Vid undersökning av transporter lastas elementen i kassetter på lastbilarna eftersom det är den säkraste och mest effektiva metoden enligt Kynningsrud Prefab AB⁷. Då elementen i det fiktiva projektet inte överskrider de mått som är tillåtna vid användning av kassetter är det möjligt att använda sig av denna metod. Någon grundlig fördjupning om vilken typ av lastbil som lämpar sig bäst för transporter av väggelement har inte utförts. Kontroller och beräkningar har skett med de lastbilarna som idag används av företaget. Lastkombinationerna har endast beaktat olika ytterväggsselement. Vid beräkning av lastkombinationer för ett helt projekt kan kombinationer med andra väggelement förekomma.

Vid montering av element använder sig Kynningsrud Prefab AB i flesta fall av kranar från Nordic Crane⁸. Kranarna i det fiktiva projektet kommer således endast från Nordic Crane.

⁷ Jonas Karlsson (Driftchef logistik, Kynningsrud Prefab AB) intervjuad av författarna den 11 mars 2016.

⁸ Jon Blomberg (Försäljningschef, Kynningsrud Prefab AB) intervjuad av författarna den 11 maj 2016.

Vid intervjuer med eventuella intressenter av FBKB-väggen har ett fåtal aktörer tillfrågats. Att ingen bredare undersökning utförts beror på att syftet var att få en första indikator på hur marknaden tar emot byggnadsdelen. De aktörer som intervjuats är företag inom det aktuella området. Kontakt har tagits med hjälp av Kynningsrud Prefab AB vilket lett till att intervjuer endast har genomförts med tidigare kunder till företaget.

2 Metod

I projektet har flera metoder använts för att utvärdera och analysera FBKB-väggen. Vid analys av den framtagna FBKB-väggen jämfördes den mot Standardväggen. Båda insamling av data och undersökningar har därför gjorts för båda väggarna. För att möjliggöra jämförelsen skapades ett fiktivt byggprojekt. Detta medförde att jämförelsen mellan väggarna utgick från samma förutsättningar och att det endast var väggarnas olika uppbyggnad och egenskaper som bidrog till skillnaderna. Det fiktiva projektet lokaliserades i centrala Mölndal och konstruerades som ett flerbostadshus bestående av fem våningar. I följande kapitel presenteras de metoder och tillvägagångssätt som använts.

2.1 Litteraturstudie

Den information som har tagits fram genom litteratur och databaser rör de krav som ställs på bostäders egenskaper inom akustik, U-värde, fukt, brand och livslängd. Även information om de ingående materialen i väggarna samlades in. Informationen användes både i beräkningar och i litteraturbaserade jämförelser mellan Standardväggen och FBKB-väggen. Litteraturstudien grundar sig på standarder, lagar och föreskrifter. Dessa har hämtats från *Plan- och bygglagen*, *Förordning om trafikbuller vid bostadsbyggnader*, *Plan- och byggförordningen*, *Svensk standard* och *Boverkets byggnadsregler*. Studierna grundar sig även i vetenskaplig litteratur och vetenskapliga artiklar.

2.2 Beräkningsstudie och kostnadskalkyl

Beräkningsstudier av väggarnas akustikegenskaper har utförts enligt metod i *Byggnadsakustik V3* av Kihlman (1996) samt i *Brandteknik och läran om ljud* av Berg (2008). Tillsammans med Krister Larsson, forskare på avdelningen Teknisk akustik Chalmers, plockades reduktionstalskurvan för respektive vägg fram. Därefter beräknades reduktionstalet för samtliga väggar i det fiktiva projektet med datorprogrammet *Bastian*. På så sätt kunde ljudnivån inomhus fastställas. Väggarnas värmeövergångsmotstånd och U-värden har beräknats med de metoder som beskrivs i boken *Tillämpad byggnadsfysik* av Petersson (2009) och SS-EN ISO 6946:2007. Boken *Tillämpad byggnadsfysik* har även använts för att beräkna hur väggarnas fuktegenskaper i det dimensionerande fallet ser ut. Beräkningarna har utförts med beräkningsverktyget Excel och presenteras i bilagor.

Kostnadskalkyl över produkt-, transport- och monteringskostnader utfördes för båda väggarna. Vid utförandet av transportberäkningar användes ett lastdokument, utvecklat av Uddevalla lastbilcentral transport AB, som används av Kynningsrud Prefab AB⁹. Vid val av kran har arbetet utgått från de alternativ som finns redovisade

⁹ Jonas Karlsson (Driftchef logistik, Kynningsrud Prefab AB) intervjuad av författarna den 11 mars 2016.

i *Equipment Guide* (Nordic Crane Group, 2016). Hänsyn togs även till den ekonomiska påverkan av frigjord boarea med hjälp av den tunnare väggen. Data har jämförts mot varandra för att se om den nya väggen ger en ekonomisk fördel eller nackdel gentemot den äldre väggen.

2.3 Ritningar

Planritningar, fasadritningar och tvärsnittsitningar har sammanställts för det fiktiva projektet. Ritningarna har skapats dels med Standardväggen som yttervägg och dels med FBKB-väggen. Ritningarna ritades i *AutoCad* och har använts som ett komplement vid beräkning av akustik, U-värde, fukt, och kostnader. Tillsammans med Hans Carlsson¹⁰ har en plan över kranuppställning för det fiktiva projektet tagits fram. Denna plan har sedan använts vid val av kran.

2.4 Intervjuer

Intervjuer med sakkunniga inom olika ämnesområden har utförts kontinuerligt för insamling av data och information. Kontakt har tagits via mail och telefon, där en del har resulterat i möten.

För att väggen ska kunna appliceras på bostadsmarknaden måste aktörerna vara intresserade av väggens egenskaper. Genom intervjuer med några av aktörerna inom den aktuella marknaden har åsikter från marknaden sammanställts för att sedan kunna vägas in i diskussion. Kontakt med aktörer har tagits med hjälp av Kynningsrud Prefab AB, där kontakter har gjorts med tidigare kunder till företaget. Vid valet av intervjuerpersoner beaktades främst framtida intressenter. NCC och Skanska är en del av bostadsbyggnadsmarknaden, vilket medför att intresset från dem kan vara av betydelse för väggen. Vid intervjuerna har data som beräknats i projektet presenterats för att på så sätt få respons av branschen. Det har även diskuterats om ett allmänt intresse finns för en tunnare yttervägg samt om resultatet från detta projekt gör FBKB-väggen till ett alternativ vid stominköp.

¹⁰ Hans Carlsson (Marknadschef, Nordic Crane Engineering AS) intervjuad av författarna den 1 april 2016.

3 Bostadskrav på yttervägg

I *Plan- och bygglagen* (PBL) beskrivs lagar som en byggnad i Sverige måste uppfylla. PBL (SFS 2010:900) 8 kapitel 4 § behandlar vilka byggnadstekniska egenskaper en byggnad ska ha. Där kan det bland annat utläsas att en byggnad ska vara utformad och utrustad så att den fungerar som ett skydd mot brand och buller. Dessutom bör den inte ha en negativ påverkan på hygien, hälsa, och miljö.

För att förtydliga och precisera PBL har *Plan- och byggförordningen* (PBF) framtagits. PBF (SFS 2011:338) 3 kapitel redogör för vilka krav som ställs på byggnadsverk. I 8 § beskrivs det, i hänseende på brand, att ett byggnadsverk ska utformas med god bärighet. En byggnad ska klara av brand en viss tid innan förändring av dess bärförmåga uppstår. De ska också vara konstruerade så att branden varken sprids inom eller till närliggande byggnader. I 3 kapitel 9 § beskrivs vilka egenskapskrav ett byggnadsverk skall uppfylla för att ett tillräckligt gott skydd med avseende på hälsa, hygien och miljö uppnås. Där nämns bland annat att fukt inte får återfinnas i konstruktionsdelar. PBF 3 kapitel 13 § säger att en byggnad ska vara konstruerad för att tillgodose människors behov av sömn, vila och arbete och ska därmed förhindra att bullernivån påverkar hälsan (SFS 2011:338).

I detta kapitel görs en sammanställning på hur *Boverkets byggnadsregler* (BBR) samt *Svensk standard* beskriver hur kraven på flerbostadshus från PBL samt PBF ska uppfyllas. De kategorier som tas upp är akustik, U-värde, fukt, brand och livslängd. Utöver lagar kommer rekommendationer och riktlinjer rörande inomhusklimatet att presenteras.

3.1 Akustikkrav

För att upprätthålla en god inomhusmiljö i en byggnad bör störande ljud begränsas i största möjliga utsträckning. Ytterväggar ses som en helhet där vägg tillsammans med eventuella fönster och dörrar måste uppnå vissa krav. Ljudkraven kan delas upp i olika nivåer, där klass A representerar de högsta kraven och klass D de lägsta. För nyproducerade byggnader är dock klass C minimikravet. Krav på ljudnivåer i byggnader finns oftast formulerade i de specifika bygghandlingar som berör det enskilda fallet (Berg, 2008). De miniminivåer för klass C som bör uppnås formuleras i BBR och övriga klasser presenteras i *Svensk Standard* (SS 25267:2015). I Tabell 3.1.1 nedan, är samtliga klasser för byggnaders ljudisolerande förmåga mot yttre ljudkällor sammanställda från tabell 7.21c i BBR (BFS 2014:3) och tabell 5 i *Svensk Standard* (SS 25267:2015).

Tabell 3.1.1 Maximal ljudnivå inomhus för ljudklass A, B, C och D (SS 25267:2015), (BBR, BFS 2014:3).

Typ av utrymme/rum	Ljudklass [dB]			
	A	B	C	D
Sömn, vila eller daglig samvaro	22	26	30	30
Matlagning eller personlig hygien	27	31	35	40

Under år 2015 trädde *Förordningen (2015:216) om trafikbuller vid bostadsbyggande* i kraft och gav därmed riktlinjer för hantering av utomhusbuller. För att uppnå ett gott inomhusklimat med avseende på ljud krävs det att bullernivån utomhus vid fasad, inte överskrider riktvärdena. Kraven i Tabell 3.1.2 är en sammanställning från 3 §, och visar på ekvivalent ljudnivå där inga speciella åtgärder behöver genomföras i form av upprättande av bullerskydd eller anpassning av byggnaden (SFS 2015:216).

Tabell 3.1.2 Maximalt buller från spårtrafik och väg vid bostadsfasad (SFS 2015:216).

Maximalt buller från spår- och vägtrafik vid bostadsfasad	Ljudnivå, L_1 [dB]
Bostad > 35 kvm	55
Bostad $\leq$ 35 kvm	60

Enligt 4 § bör anpassning utföras av byggnaden då dessa bullernivåer överskrids. Detta kan göras genom att hälften av bostadsrummen i bostaden placeras mot en sida där ljudnivån inte överskrids (SFS 2015:216). I flerbostadshus får efterklangstiden inte överskrida 1,5 s i trapphus och 1,0 i korridorer (BBR, BFS 2013:14).

Boende i bostäder som uppnår ljudklass B är mer nöjda med ljudnivån inomhus än de som bor i byggnader med lägre klass. Det registreras också färre klagomål mot ljudisoleringen i byggnaderna med ljudklass B. Därför kan det vara fördelaktigt att upprätta byggnader som uppnår de högre klasserna (Boverket, 2008).

3.2 U-värdeskrav

I BBR (BFS 2015:3) avsnitt 9, beskrivs föreskrifter och allmänna råd som rör energihushållning för byggnader. Kraven för ett flerbostadshus som är lokaliserat i klimatzon IV, likt det fiktiva projektet, presenteras i avsnitt 9:24. En sammanställning över kraven på maximal genomsnittlig värmegenomgångskoefficient, U_m finns i Tabell 3.2.1 nedan. Tabellen visar att klimatskärmens U_m inte bör överstiga 0,40 W/m²°C oavsett uppvärmningssätt (BBR, BFS 2015:3).

Tabell 3.2.1 Maximal genomsnittlig värmegenomgångskoefficient för klimatzon IV (BBR, BFS 2015:3).

Bostäder	Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient, U_m [W/m ² °C]	
	Annat uppvärmningssätt än elvärme (från tabell 9:24a)	Elvärme som uppvärmningssätt (från tabell 9:24b)
Flerbostadshus	0,40	0,40

Ett alternativt krav att följa presenteras i avsnitt 9:4 där värmegenomgångskoefficienten för respektive byggnadsdel, U_i kontrolleras (BBR, BFS 2015:3). I detta alternativ får ytterväggens U-värde inte överskrida värden enligt Tabell 3.2.2.

Tabell 3.2.2 Maximalt tillåtna krav på värmegenomgångskoefficient för yttervägg (BBR, BFS 2015:3).

U_i	Annat uppvärmningssätt än elvärme [W/m ² K]	Elvärme som uppvärmningssätt samt $A_{temp} = 51-100 \text{ m}^2$
$U_{vägg}$	0,18	0,10

Detta alternativ kan endast följas då:

- A_{temp} är mindre eller lika med 100 m²
- A_f är mindre eller lika med $0,20 \times A_{temp}$
- inget kylbehov finns

I BBR (BFS 2015:3) avsnitt 9:9 definieras kraven på energihushållning vid ändring av byggnad. I avsnitt 9:92 framgår eftersträvat U-värden för respektive byggnadsdel då byggnaden inte uppfyller de krav på U_m som specificeras i avsnitt 9:24 (BBR, BFS 2015:3). Eftersträvat U-värde för yttervägg presenteras i Tabell 3.2.3.

Tabell 3.2.3 Värmegenomgångskoefficient att eftersträva för vägg vid ändring av byggnad (BBR, BFS 2015:3).

U_i	[W/m ² K]
$U_{vägg}$	0,18

3.3 Fuktkrav

BBR (BFS 2014:3) avsnitt 6:5, redogör för en byggnads högsta tillåtna fuktnivå. Kraven utgår från att fukt inte ska orsaka skador som kan påverka hygien eller hälsa. Det högsta tillåtna fukttillståndet beräknas eller mäts med hjälp av ingångsparametrar och kritiskt fukttillstånd (BBR, BFS 2014:3).

Om det saknas dokumentation och undersökning av det kritiska fukttillståndet i en byggnad används en relativ ånghalt, $R\ddot{A}$ på 75 %. En byggnadsdels fukttillstånd får inte överskrida dess olika beståndsdelars högsta tillåtna fuktnivå. Undantag kan ske om hygien eller hälsa inte påverkas. De förväntade fuktbelastningarna på byggnaden är det som avgör fukttillståndet (BBR, BFS 2014:3).

Enligt BBR (BFS 2014:3) avsnitt 6:251 ska uteluftsflödet inte understiga $0,35 \text{ l/sm}^2$ i bostäder. $R\ddot{A}$ inomhus ska vara över 20-25 %, vid lägre värden kan konstgjord befuktning användas för att åstadkomma en fuktigare miljö (Petersson, 2012). För att luftkvaliteten även ska vara tillfredsställande för personer med luftvägsbesvär bör $R\ddot{A}$ dock inte understiga 30-35 %. $R\ddot{A}$ ska heller inte vara för hög. Om $R\ddot{A}$ överstiger 50 % eller om fukttillskottet är högre än 7 g/m^3 i längre än 9-11 månader i sträck, finns det risk för kvalsterbildning (Petersson, 2012).

3.4 Brandkrav

En byggnads brandskydd kan tas fram på två olika sätt, antingen genom förenklad eller genom analytisk dimensionering. Förenklad dimensionering uppfylls genom att följa de allmänna råden i BBR såsom att välja rekommenderade gångavstånd och bredd på utrymningsvägar. Analytisk dimensionering kräver mer av byggherren. Detta då det krävs att, med andra medel, se till att brandskyddet i byggnaden motsvarar kraven. Genom att följa Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd, uppnås föreskrifterna i BBR (BFS 2014:3).

Den verksamhet som bedrivs i byggnaden bestämmer hur dess brandskydd ska utformas. Det finns sex olika verksamhetsklasser varav bostäder tillhör verksamhetsklass 3 (Vk3). Kortfattat innebär det att personerna som uppehåller sig i byggnaden förväntas ha god kännedom om den. Utöver det, är Vk3 indelad i undergrupperna A och B. Flerbostadshus tillhör Vk3A när de boende själva har valt att bo där och Vk3B när de inte har valt det själva (Danielsson, et al., 2015).

Enligt BBR (BFS 2014:3) delas byggnadsdelar in i olika klassbeteckningar efter funktion. Nedan följer några exempel på klassbeteckningar:

R = Bärförmåga

E = Integritet (täthet)

I = Isolering

De olika klassbeteckningarna kan kombineras och efterföljas av tidskrav, tecknat i minuter. Några exempel på det kan vara R30 och REI60. R30 innebär att byggnadens bärförmåga ska upprätthållas i 30 minuter och REI60 att dess bärförmåga, integritet och isolering ska upprätthållas i 60 minuter. Klassbeteckningarna synliggör därav om en vägg enbart är bärande eller avskiljande eller om en vägg både är bärande och avskiljande (Danielsson, et al., 2015).

I BBR, avsnitt 5:55 Ytterväggar klargörs att vid brand får den yttre delen av en byggnads klimatskal enbart utveckla värme och rök i begränsad utsträckning. Detta då det ska finnas goda möjligheter att utrymma samt att släcka en byggnad i tid. Byggnader delas in i olika byggnadsklasser, vilket klassificeras efter hur stort skyddsbehovet för en byggnad är. De byggnadsklasser som finns är Br0, Br1, Br2 och Br3, där skyddsbehovet är som störst för Br0 och minst för Br3. Byggnader med 3 eller fler våningar tillhör byggnadsklass Br1. Vilket innebär att deras ytterväggar ska vara utformade för att begränsa spridningen av brand både utmed fasaden och i väggen. De har också som uppgift att bibehålla sin bärförmåga och täthet mellan brandceller. Det ska inte heller förekomma någon risk att delar av ytterväggen lossnar då det kan äventyra människors säkerhet. För de lägre byggnadsklasserna Br2 och Br3 räcker det med att brandspridningen är begränsad utmed fasadytan. Vid materialval för en vägg bör lättantändligheten beaktas. Utöver detta eftersträvas byggnader med väggar som inte smälter, droppar eller rasar ihop när de utsätts för höga temperaturer. Med andra ord ska byggnader ur brandsynpunkt vara utformade för att minimera risken för personskador och brandspridning (BBR, BFS 2014:3).

Enligt samma avsnitt, 5:55 i BBR, uppnår en yttervägg i Br1 kraven angående begränsning av brandspridning och personskador om den klarar brandtestet *SP Fire 105*. För att en yttervägg ska klara testet får inga stora delar av väggen lossna. En begränsning av brandspridning inuti vägg samt på yttre fasadskiva ska även ske. Där brandspridningen ska begränsas till undersida fönster två våningar ovanför brandrummet. Inga yttre flammor ska heller inte sätta takfoten i brand för att ytterväggen ska klara brandtestet (BBR, BFS 2014:3).

Vid dimensionering av bärande konstruktioner så som ytterväggar används Europeiska konstruktionsstandarder (EKS), vilka beskriver tolkningsregler för eurokoder. I EKS bestäms en byggnadsdels klassbeteckning med hjälp av aktuell byggnadsklass. I en byggnad som består av fem till åtta våningar och ska uppfylla Br1 ska dess ytterväggar uppfylla brandsäkerhetsklass 5 (EKS, BFS 2015:6).

3.5 Krav på livslängdsklass

Vid livslängdsklassning vägs konstruktionstyp och dess användningsområde in. Det finns fem olika livslängdsklasser, där klass 1 innebär en kort livslängd medan klass 5 innebär en lång, se Tabell 3.5.1 hämtad ur SS-EN 1990 (2010). Enligt rekommendationer från Svensk standard bör ett bärande ytterväggselement som ingår i det bärande stomsystemet hamna i livslängdskategori 4 (SS-EN 1990, 2010). Livslängdskategori 4 innebär att byggnadsdelen bör uppnå en livslängd på 50 år, vilket kan skrivas som L50 (SS-EN 1990, 2010). Byggnaders livslängdsklass bör dock eftersträvas att sättas högre än L50 för att minska dess totala miljöpåverkan (Svensk betong, 2016b).

Tabell 3.5.1 Livslängdskategori och livslängd på olika typer av byggnader (SS-EN 1990, 2010).

Livslängdskategori	Förslag på avsedd livslängd [år]	Exempel
1	10	Tillfälliga konstruktioner ⁽¹⁾
2	10 – 25	Utbytbara konstruktionsdelar, t.ex. portalbalkar och lager
3	15-30	Bärverk i lantbruksbyggnader och liknande
4	50	Bärverk i byggnader samt andra vanliga bärverk
5	100	Bärverk i monumentala byggnader samt broar och andra anläggningar

⁽¹⁾ Bärverk eller konstruktionsdelar som kan nedmonteras med avsikt att kunna återanvändas bör inte anses som tillfälliga.

4 Bakgrund inför beräkningar och analyser

I detta kapitel presenteras aktuella materialegenskaper för Standardväggen och FBKB-väggen. Data som behövs vid beräkning och analyser med avseende på akustik, U-värden, fukt, brand och livslängdsklass är sammanställda i text och tabeller nedan. I kapitlet framgår även den indata som behövs för att beräkna och jämföra kostnader för väggarna samt den indata som är aktuell för det fiktiva projektet.

4.1 Materialegenskaper för isolering

Isoleringen i Standardväggen består av cellplastprodukten EPS80 som utgörs av expanderad polystyren (Benders, 2015). EPS behåller sina isolerande egenskaper trots omkringliggande höga fukthalter eftersom materialet i sig själv inte absorberar fukt bra (Jóhannesson & Björk, 1994). Referenslivslängd på produkten är enligt Benders byggvarudeklaration (2015) 50 år. Materialet har mindre goda värmeresistenta egenskaper. Det är termoplastiskt och smälter redan vid 100°C (Jóhannesson & Björk, 1994). Smältningen ger upphov till antändliga gaser (Martinsson & Skoglund, 2015). EPS börjar brinna kring 200-230°C vid öppen låga och kring 400°C vid strålningsvärme (Jóhannesson & Björk, 1994). Ytterligare indata för materialets värmeledningsförmåga, ångpermabilitet, densitet och elasticitetsmodul presenteras i Tabell 4.1.1.

Tabell 4.1.1 Indata för cellplast, EPS80.

λ	0,038	W/m°C	(Nevander & Elmarsson, 2006)
δ_v	0,9-1,4	m ² /s	(Nevander & Elmarsson, 2006)
m'	17	kg/m ³	(Benders, 2016)
E	0,0025	GPa	(Bauhaus, 2016)

Cellplasten i Standardväggen har ett skyddande lager av 200 mm stenull, Paroc COS 10, för att klara brandkraven¹¹. Stenull är ett isoleringsmaterial med högre värmebeständighet (Burström, 2015) och klarar upp mot 1000°C innan det smälter (Paroc, 2015). Den skyddar elementets huvudisolering och bidrar till att hela konstruktionen får ett högre brandmotstånd¹¹. Referenslivslängden på materialet är 50 år (Paroc, 2012). Dess värmeledningsförmåga och densitet framgår i Tabell 4.1.2.

Tabell 4.1.2 Indata för stenull, Paroc COS 10 (Paroc, 2015).

λ	0,035	W/m°C
m'	65	kg/m ³

¹¹ Cristofer Nyqvist (Försäljningsingenjör, Kynningsrud Prefab AB) intervjuad av författarna den 22 januari 2016

Isoleringen som används i FBKB-väggen har produktnamnet Kooltherm K3 och är en typ av cellplastisolering som består av fenolskum (Martinsson & Skoglund, 2015). Isolerskivorna omsluts av en tunn glasfiberduk (Kingspan, 2016b). Fenolcellplast har goda egenskaper gällande brand då den är svårantändlig och har låg rökutvecklingsförmåga (Zhou, et al., 2013). Röken som till slut uppkommer vid brand har ett mer giftigt innehåll, jämfört med termoplaster så som EPS. Materialet är termoset och förkolnar då det brunnit klart (Martinsson & Skoglund, 2015). Det självantänds först vid temperaturer över 1000°C (Kingspan, 2016a) och kan även ses som ett självslocknande material om brandenergi inte tillförs från intilliggande material (Martinsson & Skoglund, 2015). Kooltherm K3 har en struktur som består av stängda celler, detta bidrar till att materialet åldras långsamt. Efter 50 år eller mer kommer λ -värdet fortfarande ligga nära det värde det gjorde från början¹². Indata för materialets värmeledningsförmåga, ångpermabilitet, densitet och elasticitetsmodul presenteras i Tabell 4.1.3.

Tabell 4.1.3 Indata för Kooltherm K3 (Kingspan, 2016b).

λ	0,020	W/m°C
μ	35	-
m'	35	kg/m ³
E	sekretess ¹³	GPa

Ett brandtest har utförts på Kooltherm K3, med syftet att undersöka möjligheterna att ersätta stenull som skydd mot brandspridning inom fasad, samt hur materialet uppnår kraven i BBR 21 (BFS 2011:6). Briab Brand & Riskingenjörerna AB har lämnat ett utlåtande om Kooltherm K3 kan ersätta stenull vid fönsteröppningar. Isoleringen i sandwichväggarna, i testet, har en självantändningstemperatur på 450°C. I testet uppgick temperaturen i isoleringen som mest till 275°C och därför klarade sig isoleringen i testet. Detta betyder att stenull kan ersättas av Kooltherm K3 då den har måttet mellan 40-80 x 100 mm (Briab Brand & Riskingenjörerna AB, 2015).

¹² Sten-Owe Kollen (Sales Manager, Kingspan Insulation AB Sverige) intervjuad av författarna den 3 februari 2016.

¹³ Sten-Owe Kollen (Sales Manager, Kingspan Insulation AB Sverige) intervjuad av författarna den 8 mars 2016.

4.2 Materialegenskaper för betong

Ett styvt och tungt material som betong har goda ljudisolerande egenskaper. Egenskaperna är även goda vid låga frekvenser som exempelvis buller från trafik (Svensk betong, 2016c). Betong är ett oorganiskt material, vilket medför att det är fukttåligt och att det varken möglar eller ruttnar (Svensk Betong, 2016a).

Materialet betong klassas som obrännbart men vid brand kan dock spjälkning uppstå. Omfattningen av spjälkningen kan variera. En lättare spjälkning innebär att liten del av ytskiktet lossnar medan en mer omfattande spjälkning kan blotta armeringen och då påverka konstruktionens funktion. Detta eftersom att armeringens hållfasthet minskar relativt snabbt vid höga temperaturer (Burström, 2015). Det finns flertalet faktorer som påverkar om och hur betongspjälkning sker. Enligt Burström (2015) beror spjälkningen bland annat på ett ökat ångtryck i betongen som orsakats av förångning av det fria vattnet. Det beror även på spänningar som uppkommer på grund av temperaturrelater och längdutvidgning. En annan faktor som kan spela roll är hur ballasten reagerar vid brand (Burström, 2015). Gylfe (2013) presenterar i en intervju med Robert Jansson ytterligare en faktor som påverkar risken för spjälkning. I intervjun beskriver Jansson att det går ut på att den inneslutna fukten reducerar hållfastheten vid hög temperatur.

Den bärande innerskivan i Standardväggen och FBKB-väggen består av 150 mm armerad betong av hållfasthetsklass C30/37 och vattencementtal (vct) 0,535¹⁴. Standardväggens ytterskiva är uppbyggd med betong innehållande armeringsnät och är av samma betongtyp som den bärande innerskivan. Se Tabell 4.2.1 för ytterligare indata om värmeledningsförmåga, ångpermabilitet, densitet samt elasticitetsmodul.

Tabell 4.2.1 Indata för armerad betong.

λ		1,7	W/m°C	(Petersson, 2009)
δ_v	RÅ=90-95%	1,65-2,00	m ² /s	(Nevander & Elmarsson, 2006)
	RÅ=35-70%	0,12-0,25	m ² /s	(Nevander & Elmarsson, 2006)
m'		2500	kg/m ³	Nyqvist ¹⁵
E		33	GPa	(Al-Emrani, et al., 2013)

Ytterskivan i FBKB-väggen utgörs av fiberbetong. I den finns ingen stålarmering då den istället förstärks med basaltfibrer. Dessa motverkar sprickbildning genom att de förgrenar sig som ett nät. Fibrerna överbygger sprickbildningar och betongen blir mer elastisk (Di Prisco, et al., 2009). Fiberbetongen har hållfasthetsklass C 45/55 och vct

¹⁴ Joakim Olsson (Driftchef betong, Kynningsrud Prefab AB) intervjuad av författaren den 22 februari 2016.

¹⁵ Cristofer Nyqvist (Försäljningsingenjör, Kynningsrud Prefab AB) intervjuad av författaren den 22 2016.

0,465¹⁶. Då strukturen förstärks av fibrer kan ytterskivans tjocklek reduceras (Di Prisco, et al., 2009). Fiberbetongens värmeledningsförmåga, ångpermabilitet, densitet samt dess elasticitetsmodul visas i Tabell 4.2.2.

Tabell 4.2.2 Indata för fiberförstärkt betong.

λ		1,7	W/m°C	(Petersson, 2009)
δ_v	$RA=90-95\%$	1,65-2,00	m ² /s	(Nevander & Elmarsson, 2006)
	$RA=35-70\%$	0,12-0,25	m ² /s	(Nevander & Elmarsson, 2006)
m'		2350	kg/m ³	Olsson ¹⁷
E		36	GPa	(Al-Emrani, et al., 2013)

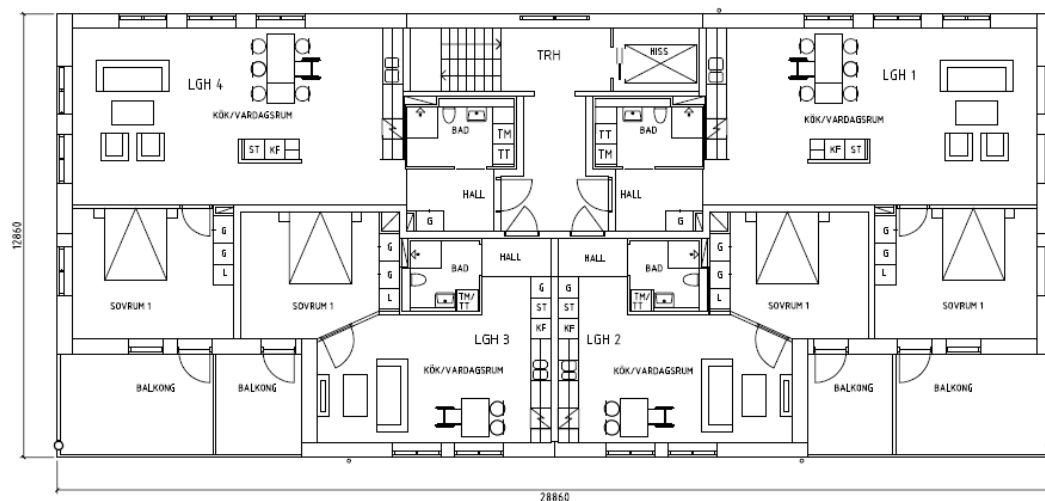
Livslängden för betong definieras av den tid det tar tills det uppstår risk för korrosion av armeringen. Tiden påverkas av flera faktorer så som mängd armering, exponeringsklass, vct och täckskikt. Vid livslängdsklassning av fiberbetong är det andra faktorer som avgör. Detta eftersom det i fiberbetongen, som i detta fall förstärks av bergarten basalt, inte uppstår någon korrosion. En faktor som istället vägs in vid klassning, är karbonatisering av betongen¹⁶.

¹⁶ Joakim Olsson (Driftchef betong, Kynningsrud Prefab AB) intervjuad av författaren den 1 mars 2016.

¹⁷ Joakim Olsson (Driftchef betong, Kynningsrud Prefab AB) intervjuad av författaren den 21 mars 2016.

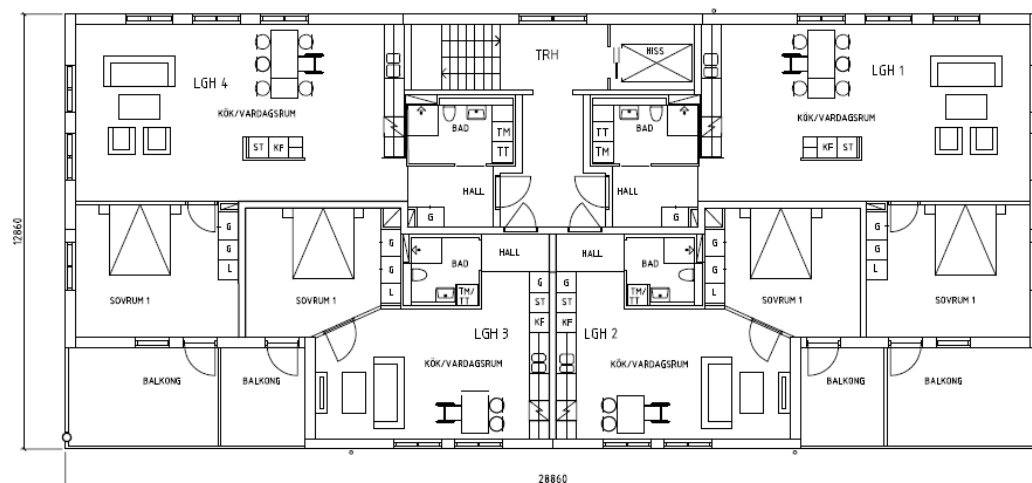
4.3 Det fiktiva projektet

Det fiktiva projektet är ett flerbostadshus som ligger i Mölndal, klimatzon IV. Flerbostadshuset består av fem våningar där det på varje våning finns fyra lägenheter. Samtliga lägenheter består av två rum och kök, se Figur 4.3.1 för planlösning med Standardvägg. Lägenheterna 1 och 4 respektive 2 och 3 har identiska planlösningar och är således av samma storlek.



Figur 4.3.1 Planlösning med Standardväggelement.

Figur 4.3.2 illustrerar samma planlösning men med FBKB-väggen som yttervägg. Av figurerna framgår det var elementskarvar uppkommer.



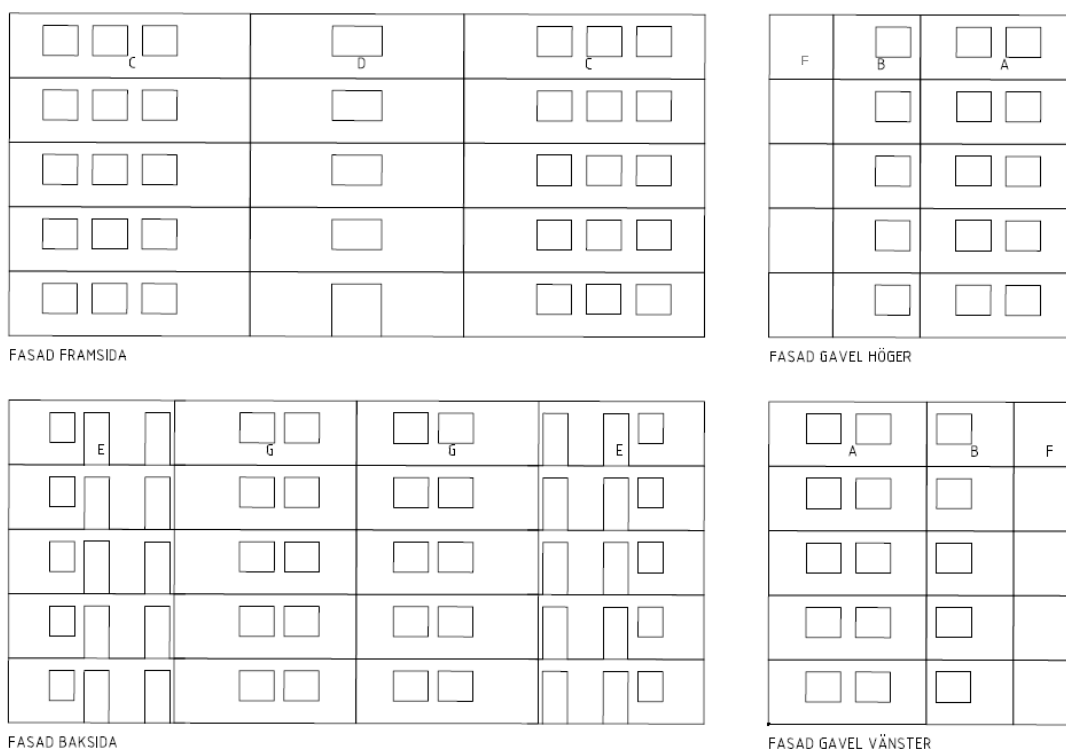
Figur 4.3.2 Planlösning med FBKB-väggelement.

Området där byggnaden ska uppföras, har goda markförhållanden, då marken antas vara stadig och platt. Medelvärdet på kvadratmeterkostnaden, gällande bostadsrätter i Mölndal, var under perioden mars 2015 till februari 2016, 32 665 kr (Svensk Mäklarstatistik, 2016). Boarean för de olika lägenheterna kan ses i Tabell 4.3.1.

Tabell 4.3.1 Boarea för lägenhet, 2, 3 & 4.

Lägenhet	$A_{Standard} [m^2]$	$A_{FBKB} [m^2]$
1 & 4	78	81
2 & 3	50	51

Figur 4.3.3 visar fasadvyer av det fiktiva projektet. Elementen har namngetts från A till F för att förtydliga senare tabeller och beräkningar.



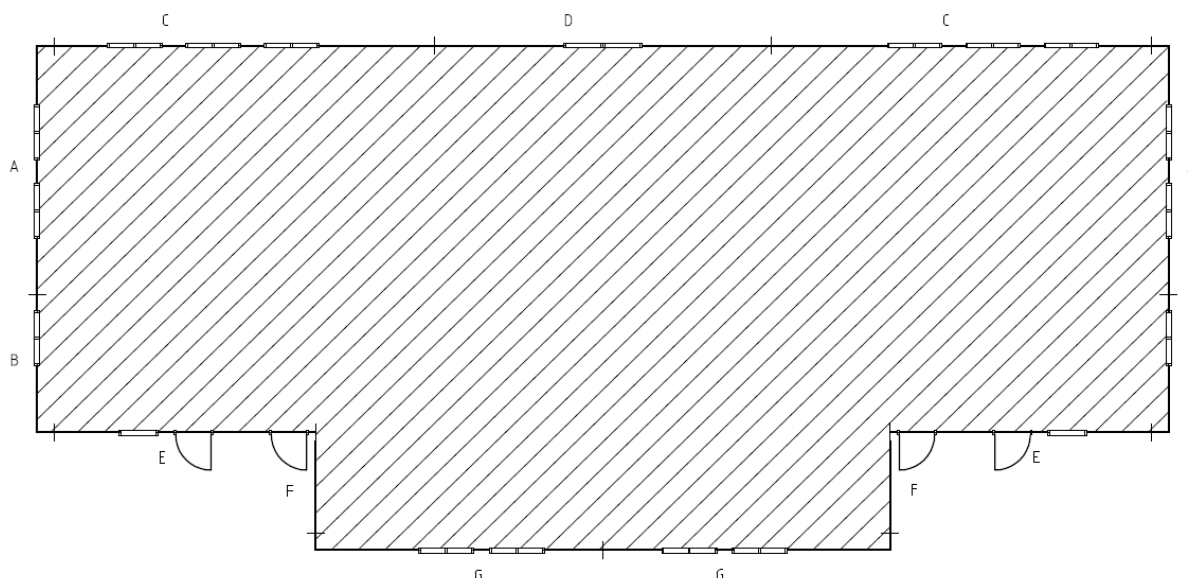
Figur 4.3.3 Fasadvyer av det fiktiva projektet.

I Tabell 4.3.2 presenteras antalet ytterväggelement, elementens måttstorlek samt egenvikt för väggarna i det fiktiva projektet.

Tabell 4.3.2 Väggelementens dimensioner och egenvikt.

Element	Antal element [st]	Mått Standardvägg [m]	Mått FBKB-vägg	Egenvikt, Standardvägg [ton]	Egenvikt, FBKB-vägg [ton]
A	10	6,36 x 3,00	6,36 x 3,00	8,52	6,97
B	10	3,50 x 3,00	3,50 x 3,00	4,79	3,76
C	10	9,70 x 3,00	9,70 x 3,00	13,07	10,26
D	5	8,60 x 3,00	8,86 x 3,00	12,71	9,99
E	10	6,67 x 3,00	6,80 x 3,00	7,99	6,27
F	10	3,00 x 3,00	3,00x 3,00	4,90	3,84
G	10	7,33 x 3,00	7,30 x 3,00	10,06	7,91

Figur 4.3.4 demonstrerar vart de olika elementen, som nämns i Tabell 4.3.2, är placerade.



Figur 4.3.4 Elementens placering i det fiktiva projektet, vy ovanifrån.

Fuktproduktionen i byggnaden har bestämts efter ett genomsnittsvärde för en lägenhet i ett flerbostadshus, där varje lägenhet avger 250 gram/timme (Nevander & Elmarsson, 2006).

4.4 Kostnad för inköp, transport och montering av sandwichväggarna

Priserna som presenteras i följande kapitel gäller enbart för det fiktiva projektet. Kostnad vid inköp av sandwichväggarna presenteras i nedanstående Tabell 4.4.1.

Tabell 4.4.1 Inköpspris för sandwichväggar¹⁸.

Typ av yttervägg	Kostnad [kr/m ²]
Standardvägg	1600
FBKB-vägg	1700

Kynningsrud Prefab ABs transporter samordnas av Uddevalla Lastbilscentral AB¹⁹. Lastbilarna som används vid transport av Kynningsruds produkter består av ett fordonståg i form av bil och trailer. Den typ av lastbil som används är en boggibil, det vill säga bilen har en axel framme och två axlar baktill, se Figur 4.4.1. Trailern är trippelaxlad²⁰ och får max ha ett totalt axeltryck på 24 ton när de färdas på ett vägnät

¹⁸ Christofer Nyqvist (Försäljningsingenjör, Kynningsrud Prefab AB) intervjuad av författarna den 20 maj 2016.

¹⁹ Jonas Karlsson (Driftchef logistik, Kynningsrud Prefab AB) intervjuad av författarna den 11 mars 2016.

²⁰ Martin Noord (Transportledare, Uddevalla Lastbilscentral AB) intervjuad av författarna den 30 april 2016.

med bärighetsklass 1 (Transportstyrelsen, 2016d). Vid körning på vägnät med lägre bärighetsklass, som bärighetsklass 2 och 3, reduceras den högst tillåtna bruttovikten (Transportstyrelsen, 2016b). Bil med trailer har ett avstånd mellan första respektive sista axeln på 12-13 meter²¹, det innebär att ekipaget får ha en bruttovikt uppemot 48-49 ton (Transportstyrelsen, 2016a), förutsatt att den maximalt tillåtna fordonsvikten inte överstigs (Transportstyrelsen, 2016c).



Figur 4.4.1 Lastbil som används vid transport av väggelement (Noord, 2016).

Elementen på lastbilarna kan säkras på flera olika sätt. Det vanligaste och säkraste sättet är att använda sig av kassetter. På kassetterna finns 1,5 meter fri bredd och 4,2 meter fri höjd som går att lasta. Elementen ställs upp och säkras genom att först fästas i kassetterns stativ med hjälp av en låsanordning, med bredden cirka 0,01 meter per låsbricka, därefter fästes kassetten med armar på lastbilens släp, se , se Figur 4.4.2 och Figur 4.4.3. Maxvikten för transporter som använder sig av kassetter är 27 ton. Vikten kan begränsas av flertalet faktorer, bland annat av lastens totala massmedelpunkt²².

²¹ Martin Noord (Transportledare, Uddevalla Lastbilscentral AB) intervjuad av författaren den 30 april 2016.

²² Jonas Karlsson (Driftchef logistik, Kynningsrud Prefab AB) intervjuad av författarna den 11 mars 2016.



Figur 4.4.2 - 4.4.3: t.v: Vagg placerad i kassett. t.h: Armar som låser fast kassetten.

Uddevalla Lastbilscentral AB fakturerar Kynningsrud Prefab AB baserat på antalet mil lastbilen färdas, från betongfabriken i Uddevalla till projektets upplagsplats. Detta innebär att sträckan multiplicerat med antalet transporter bestämmer transportkostnaden för elementen²³. Kostnaden för att transportera element mellan fabriken i Uddevalla och det fiktiva projektet i Mölndal är ca 4200 kronor per lastbil²⁴.

Faktorerna som avgör kostnaden av montage är hyra av lyftkran och bemanning. Antal montörer som behövs vid montage styrs främst av antal arbetsmoment och påverkas inte av egenvikten av respektive element. Kostnaden för lyftkranar är varierande och beror på kranens storlek samt eventuella etableringsarbeten²⁵. Enligt kapitel 4.3 *Det fiktiva projektet* är det goda markförhållanden på den plats där bostadshuset ska byggas och därför antas inga övriga etableringskostnader tillkomma. Det medför också att kranen som kommer användas i det fiktiva projektet kan gå på hjul. Väggarna i det fiktiva projektet antas vara dimensionerande vid val av kran och montagetiden antas till 5 veckor²⁴.

²³ Jonas Karlsson (Driftchef logistik, Kynningsrud Prefab AB) intervjuad av författarna den 11 mars 2016.

²⁴ Cristofer Nyqvist (Försäljningsingenjör, Kynningsrud Prefab AB) intervjuad av författarna den 11 mars 2016.

²⁵ Lars Andersson (Marknadschef/Försäljningsingenjör, Kynningsrud Prefab AB) intervjuad av författarna den 11 mars 2016.

5 Genomförande av beräkningar

I detta kapitel kommer de praktiska genomförandena av de olika beräkningarna som beskriver Standardväggen och FBKB-väggens egenskaper med avseende på akustik, U-värde och fukt presenteras tillsammans med de ekvationer som används. I kapitlet kommer även utförande av beräkningar för kostnader förklaras.

5.1 Beräkningsgång av akustikegenskaper

För att kontrollera om FBKB-väggen och Standardväggen uppfyller ljudkraven som framförs i kapitel 3.1 *Akustikkrav* har båda väggarnas reduktionstalskurva tagits fram. Detta gjordes i beräkningsprogrammet Teored med hjälp av Krister Larsson²⁶. Programmet behöver indata om väggarnas densitet och E-modul för att rita upp kurvan. Med hjälp av kurvan kunde väggarnas reduktionstal, R_w , vid olika frekvenser samt dess resonansfrekvens, f_0 , avläsas, se Bilaga 2. För att fastställa ljudnivån i de rum som angränsar mot yttervägg har ekvation (5.1-1) använts (Kihlman, 1996).

$$L_2 = L_1 - R + 10 \log_{10} \frac{S}{A} \quad (5.1-1)$$

L_1 sätts till den maximala ekvivalenta ljudnivån som är tillåten vid utsida fasad, se Bilaga 1 för beräkningar. För att ta fram reduktionstalet för varje specifikt fall har programmet *Bastian* använts. I *Bastian* ritades varje enskilt rum upp, där ytterväggsarea, rumsvolym samt fönster- och dörrareor var viktiga parametrar. I programmet konstruerades FBKB-väggen och Standardväggen med hjälp av dess värden från reduktionstalskurvan, totala egenvikt, förlustfaktor och resonansfrekvens. Det reduktionstal, $R_{tr,s,w}$, som sedan togs fram och användes i ekvation (5.1-1), beror på yttre påverkan av trafikbuller²⁷. För att fastställa absorptionsarean användes Sabines formel, (5.1-2) (Berg, 2008).

$$T = 0,16 \frac{V}{A} \quad (5.1-2)$$

Eftersom den tunnare FBKB-väggen ändrar både rumsvolym och ytterväggsarea gentemot Standardväggen i det fiktiva projektet har beräkningarna utförts i tre olika fall. Två fall där väggarna har kontrollerats vid ändring av volym och ytterväggsarea samt ett fall där FBKB-väggen har samma förhållanden som Standardväggen. I det sista fallet har alltså ingen hänsyn till ändring av rumsvolym och ytterväggsarea tagits.

²⁶ Krister Larsson (Forskare, Teknisk akustik, Chalmers tekniska högskola) intervjuad av författarna den 14 april 2016.

²⁷ Jens Forssén (Docent, Bygg- och miljöteknik/Teknisk akustik, Chalmers tekniska högskola) intervjuad av författarna den 26 april 2016.

5.2 Beräkningsgång av U-värde

Beräkningar av FBKB-väggens och Standardväggens värmegenomgångskoefficient, U-värde, grundar sig på det indata som presenteras tidigare i kapitel 4 *Indata för beräkningar*. Beräkningsmetoderna som använts följer de beräkningssteg som beskrivs i Bengt-Åke Peterssons (2009) bok, *Tillämpad Byggnadsfysik* samt på svensk standard SS-EN ISO 6946:2007.

Vid beräkning av U-värde på nybyggnation kontrolleras hela byggnadens genomsnittliga värmegenomgångskoefficient, U_m , mot de krav som ställs från BBR, se kapitel 3, avsnitt 3.2. U_m beräknas enligt ekvation (5.2-1) (Petersson, 2009).

$$U_m = \frac{\sum U_{korr,i} \cdot A_i + \sum \psi_k \cdot l_k + \sum \chi_j}{A_{om}} \quad (5.2-1)$$

$U_{korr,i}$ är ett korrigerat U-värde för de olika byggnadsdelarna. Beräkningarna ska endast jämföra två olika ytterväggar med varandra och därför beräknas U_{korr} för respektive väggtyp. Det korrigerade U-värdet beräknas utifrån ett konventionellt U-värde som korrigeras med hänsyn till köldbryggor från fästanelordningar, springor och spalter i isoleringen samt korrektion för nederbörd och vindpåverkan i omvända tak och duo-tak, se ekvation (5.2-2) (Petersson, 2009).

$$U_{korr} = U + \Delta U_f + \Delta U_g + \Delta U_r \quad (5.2-2)$$

Det konventionella U-värdet, U , beräknas som inversen av byggdelens totala värmemotstånd, R_T , se ekvation (5.2-3) (Petersson, 2009).

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (5.2-3)$$

Det enskilda skiktets värmemotstånd, R , beräknas som kvoten av skiktets bredd, d , genom dess värmeledningsförmåga, λ . Det värde på värmeledningsförmågan som används benämns som λ_{ber} och beräknas enligt ekvation (5.2-4). Korrektionstermen, $\Delta\lambda_w$, används då skiktet befinner sig i en fuktig miljö eller i temporärt dränerande vatten och baseras på hur dess värmeisolerande egenskaper påverkas (Petersson, 2009).

$$\lambda_{ber} = \lambda_{dekl} + \Delta\lambda_w \quad (5.2-4)$$

För de byggnadsdelar som består av homogena materialsikt vinkelrätt värmevärdet, beräknas det totala värmemotståndet enligt ekvation (5.2-5) som summan av de enskilda skiktens värmemotstånd (Petersson, 2009). På detta sätt beräknas R_T för FBKB-väggen.

$$R_T = R_{si} + \sum \frac{d_i}{\lambda_i} + R_{se} \quad (5.2-5)$$

Då byggnadsdelen består av två sammansatta materialskikt vinkelrätt värmeflödesriktningen, som i Standardväggen beräknas två gränsvärdesmetoder:

- λ -värdesmetoden, som ger det lägre gränsvärdet, och
- U-värdesmetoden, som ger det högre gränsvärdet.

Metoderna används för att ta fram ett medelvärde till byggnadsdelens totala värmemotstånd, se ekvation (5.2-6) till (5.2-12) (Petersson, 2009).

$$R_T = \frac{R_T^\lambda + R_T^U}{2} \quad (5.2-6)$$

λ -värdesmetoden:

$$R_T^\lambda = R_{si} + \frac{d_{inre skikt}}{\lambda_{inre skikt}} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_{yttre skikt}}{\lambda_{yttre skikt}} + R_{se} \quad (5.2-7)$$

$$\lambda_2 = p_A * \lambda_{A2} + p_B * \lambda_{B2} \quad (5.2-8)$$

U-värdesmetoden:

$$R_T^U = \frac{1}{U^U} \quad (5.2-9)$$

$$U^U = p_A * \frac{1}{R_{TA}} + p_B * \frac{1}{R_{TB}} \quad (5.2-10)$$

$$R_{TA} = R_{si} + \frac{d_{inre skikt}}{\lambda_{inre skikt}} + \frac{d_2}{\lambda_{2A}} + \frac{d_{yttre skikt}}{\lambda_{yttre skikt}} + R_{se} \quad (5.2-11)$$

$$R_{TB} = R_{si} + \frac{d_{inre skikt}}{\lambda_{inre skikt}} + \frac{d_2}{\lambda_{2B}} + \frac{d_{yttre skikt}}{\lambda_{yttre skikt}} + R_{se} \quad (5.2-12)$$

Korrektionstermen, ΔU_f , beaktar U-värdets påverkan av fästanordningar som håller ihop konstruktionens ytterskiva och innerskiva, se 5.2-13. Termen beror på en koefficient, α , fästanordningens värmeledningsförmåga, λ_f , dess tvärsnittsarea, A_f , och antalet förbindningar per kvadratmeter av byggnadsdelen, n_f (Petersson, 2009).

$$\Delta U_f = \alpha * \lambda_f * n_f * A_f \quad (5.2-13)$$

U-värdet korrigeras även med hänsyn till de springor och spalter som uppstår i isoleringsskiktet. Korrigeringen uttrycks som ΔU_g , och beräknas enligt 5.2-14. Korrigeringen blir endast väsentlig då lufthålen överbryggas hela isoleringsskiktet eftersom det är då värmeöverföringen i byggnadsmaterialet kan variera (Petersson,

2009). Korrigeringsfaktorn, $\Delta U_{g,0}$, plockas ur boken Isolerguiden 04 och beror på hur luftfickan ser ut (Anderlind & Stadler, 2004). R_1 är värmemotståndet i det skikt där luftfickan finns och R_T är byggnadsdelens totala värmemotstånd (Petersson, 2009).

$$\Delta U_g = \Delta U_{g,0} \left(\frac{R_1}{R_T} \right)^2 \quad (5.2-14)$$

Den sista korrektionstermen, ΔU_r , används vid omvända tak och duo-tak då regnvatten kan rinna in mellan isoleringen och beräknas enligt ekvation (5.2-15) (Petersson, 2009).

$$\Delta U_r = p * f_x * \left(\frac{R_1}{R_T} \right)^2 \quad (5.2-15)$$

5.3 Beräkningsgång av fuktegenskaper

Beräkningen av fuktfördelning i väggarna grundar sig på materialdata och information gällande det fiktiva projektet som tidigare presenterats i kapitel 4 *Indata för beräkningar*. Beräkningsgången har följt den metod som Petersson (2009) presenterar och använder i boken *Tillämpad Byggnadsfysik*. För att beräkna den relativa fukthalten inne i konstruktionen måste analys genomföras av hur mycket fukt som transporteras genom väggen. Därför kontrolleras fukten mellan varje nytt skikt i väggen. För att kunna beräkna fukthalten i en vägg måste fukthalten utomhus samt inomhus vara känd. Utomhus sätts fukthalten efter det scenario som troligast kommer vara det värsta, se Bilaga 1. Fukthalten inomhus beror på både den fukt som produceras i rummet, se kapitel 4.3 *Det fiktiva projektet*, samt den fukt som kommer utifrån genom lufttillsättning samt luftläckage genom konstruktionen. Luftläckage kan bland annat ske genom väggar.

$R\ddot{A}$ fastställs enligt ekvation (5.3-1). I denna ekvation krävs parametrarna för ånghalten på avståndet x meter in i konstruktionen och konstruktionens mätnadsånghalt, v_s . Dessa bestäms enligt ekvation (5.3-2), (5.3-3) och (5.4-4) (Petersson, 2009).

$$R\ddot{A} = \frac{v_x}{v_s} \quad (5.3-1)$$

$$v_x = v + \frac{Z_x}{\sum Z_i} \Delta v \quad (5.3-2)$$

$$\Delta v = \frac{G}{nV} \quad (5.4-3)$$

$$v_s = \frac{p_s}{46.4(T+273.2)} \quad (5.4-4)$$

För att fastställa mätnadsånghalten behövs mättnadstrycket, p_s , för det enskilda materialet beräknas, vilket utförs med hjälp av ekvation (5.4-5). Mättnadstrycket kräver att temperaturfördelningen, T_x , i konstruktionen är känt, vilket fastslås enligt ekvation (5.4-6). Det enskilda materialets värmemotstånd, R_i , måste även beräknas, se ekvation (5.4-7) (Petersson, 2009).

$$p_s = a \left(b + \frac{T}{100} \right)^n \quad (5.4-5)$$

$$T_x = T + \frac{R_x}{R_{si} + \sum R_i + R_{se}} \cdot (T_i - T_e) \quad (5.4-6)$$

$$R_i = \frac{d_i}{\lambda} \quad (5.4-7)$$

För att fastställa ånghalten på avståndet x meter in i konstruktionen måste ånggenomgångsmotståndet, Z , och ånggenomsläppligheten, δ_v , beräknas enligt följande ekvationer (Petersson, 2009):

$$Z_v = \frac{d}{\delta_v} \quad (5.4-8)$$

$$\delta_v = \frac{D}{\mu} \quad (5.4-9)$$

5.4 Beräkning av transport- och monteringskostnader

I det fiktiva projektet finns sju olika storlekar på ytterväggelementen, se Tabell 4.3.2. Detta innebär att elementen kan kombineras på flera sätt och därav resultera i olika transportkonstellationer. Med hjälp av Uddevalla Lastbilscentral AB:s lastdokument har de mest optimala transportkombinationerna fastställts och på så sätt har antalet transporter minimerats, se Bilaga 4 för utförligare information. Detta lastdokument används dagligen av Kynningsrud Prefab AB för att beräkna det totala resursbehovet av lastbilar²⁸. Uddevalla Lastbilscentral AB:s lastdokument är ett hjälpmedel som används för att optimera lassen. Med solida väggar på cirka 5,9 meter i längd och cirka 4,2 meter i höjd kan den optimala lastningen ske för att uppnå lastbilens maximalt tillåtna vikt. Lastdokumentet sammanställer väggelementens gemensamma vikt och massmedelpunkt samt säkerställer att de maximalt tillåtna axeltrycken och fordonsvikten inte överskrids²⁹. Som ett komplement till lastdokumentet kontrollvägs alltid de lastade bilarna innan de lämnar fabriken för att se till att bruttovikten eller den maximalt tillåtna fordonsvikten inte överskrids²⁸.

²⁸ Jonas Karlsson (Driftchef logistik, Kynningsrud Prefab AB) intervjuad av författarna den 11 mars 2016.

²⁹ Martin Noord (Transportledare, Uddevalla Lastbilscentral AB) intervjuad av författarna den 9 maj 2016.

Vid inskrivning av ett nytt element i lastdokumentet måste kontroll av elementets höjd ske, då den inte får överskrida maxgränsen på 4,2 meter för kassetten. När fastställning av hur många element som får plats på en lastbil utförts, måste en kontrollberäkning utföras av lastens bredd. Detta innebär att en summering av alla elementens tjocklek inklusive deras låsbrickors bredd utförs och kontrolleras mot maxvärdet av lastens bredd som är 1,5 meter. Om värdet klarar kontrollen får alla elementen plats i kassetten, annars måste lastningen planeras på ett annat sätt³⁰.

Som tidigare nämnts i kapitel 4.4 *Kostnad för inköp, transport och montering av sandwichväggarna*, monteras väggarna med kran som rör sig på hjul i det fiktiva projektet. Det som påverkar valet av kran är vikten på elementen, radien mellan kranuppställning och elementplacering, våningshöjd samt höjden som elementet ska placeras på³¹.

³⁰ Jonas Karlsson (Driftchef logistik, Kynningsrud Prefab AB) intervjuad av författarna den 11 mars 2016.

³¹ Hans Carlsson (Marknadschef, Nordic Crane) intervjuad av författarna den 31 mars 2016.

6 Resultat av beräkningar, litteraturstudier och intervjuer

I detta kapitel kommer resultaten från samtliga beräkningar och litteraturstudier för FBKB-väggen och Standardväggen presenteras. Resultaten beaktar de förutsättningar och egenskaper som skiljer väggarna åt. Avslutningsvis i kapitlet sammanställs kommentarer från stominköparna som intervjuats.

6.1 Väggens akustikegenskaper

Vid beräkning av akustikegenskaper för ytterväggarna i det fiktiva projektet fastställdes trafikbullersreduktionstalet för de olika rummen som angränsar mot yttervägg. Rummen konstruerades i *Bastian* med total ytterväggsarea, inklusive fönster och dörrar, samt total rumsvolym. Då samtliga rum har fönster alternativt fönster och dörr mot sändarrummet påverkar fönsternas och dörrarnas reduktionstal resultatet på det totala reduktionstalet avsevärt, se Bilaga 3. Resultaten visar att FBKB-väggen i genomsnitt erhöill högst trafikbullersreduktionstal och Standardväggen lägst, vilket kan avläsas i Tabell 6.1.1 nedan.

Tabell 6.1.1 Totalt, teoretiskt, trafikbullaerduktionstal, $R_{tr,s,w} + C_{tr,50-3150}$, i yttervägg

Lgh	Rum	R _{tr,s,w} + C _{tr,50-3150} [dB]		
		Standardvägg	FBKB-vägg	FBKB-vägg2*
1 & 4	Kök/vardagsrum	38,8	40,9	40,8
	Sovrum	39,1	40,2	40,1
2 & 3	Kök/vardagsrum	39,5	42,0	41,9
	Sovrum	38,2	38,1	37,8

* Med samma rumsvolym och ytterväggsarea som Standardväggen har.

Då sändaren avger en ljudnivå som motsvarar det maximalt tillåtna bullret från spår- och vägtrafik vid fasadyta, 55 dB, genererar det en ljudnivå inomhus på mellan 12,7 dB och 16,1 dB beroende på val av vägg och förutsättningar. Lägst ljudnivå i mottagarrummet konstateras då ytterväggen utgörs av FBKB-vägg, se Tabell 6.1.2. Skillnaden till de övriga presenterade scenariona är dock marginella. I tabellen framgår det att det som mest skiljer 2,7 dB i rummet. Då FBKB-väggen erhöill samma rumsvolym och ytterväggsarea som Standardväggen (FBKB-vägg2) är skillnaden mellan väggtyperna i vissa fall ännu mindre, se Tabell 6.1.2.

Tabell 6.1.2 Ljudnivån i mottagarrummet, L_2 .

Lgh	Rum	L_2 [dB]		
		Standardvägg	FBKB-vägg	FBKB-vägg2*
1 & 4	Kök vardagsrum	15,9	13,7	13,9
	Sovrum	14,2	12,9	13,2
2 & 3	Kök vardagsrum	16,1	13,4	13,7
	Sovrum	13,3	12,7	13,7

* Med samma rumsvolym och ytterväggsarea som Standardväggen har.

6.2 Väggens U-värde

Beräkningarna av väggarnas U-värde, presenterar resultat med, och utan hänsyn till korrigeringar på grund av olika köldbryggor i byggnadsdelen. Vid beräkningar av det konventionella U-värdet beräknades Standardväggen som en konstruktion med sammansatta materialskikt vinkelrätt värmeflödesriktningen, se beräkningar i Bilaga 1. Detta eftersom isoleringsskiktet består av två olika material, EPS80 och Paroc COS 10, se Figur 1.1. i kapitel 1. *Inledning*. FBKB-väggen beräknades som en konstruktion med homogena materialskikt då isoleringen i den endast består av Kooltherm K3. Resultatet av det konventionella U-värdet i väggarna visar att FBKB-väggen har ett lägre värde trots sin tunnare tvärsnittstjocklek, se Tabell 6.2.1.

Vid beräkningar av korrigerat U-värde tas det hänsyn till påverkan av fästanordningar mellan ytter- och innerskivan, luftfickor i isoleringen samt rinnande vatten på isoleringen. Beräkningarna i Bilaga 1 visar att FBKB-väggen inte påverkas märkbart av korrigeringarna, medan Standardväggen får ett betydligt högre U-värde, se Tabell 6.2.1.

Tabell 6.2.1. Beräkningsresultat av konventionellt samt korrigerat U-värde för Standardväggen respektive FBKB-väggen.

Vägg	Konventionellt U-värde [W/m ² °C]	Korrigerat U-värde [W/m ² °C]
Standardvägg	0,176	0,219
FBKB-vägg	0,159	0,159

6.3 Väggens fuktegenskaper

Fuktberäkningarna utfördes utifrån förutsättningarna för den dimensionerande vinterutetemperaturen, $DVUT_{20}$. Resultatet för Standardväggen visar på en höjning med 2 % -enheter av $R\ddot{A}$ mellan det yttre betongskiktet och isoleringen, se Tabell 6.3.1. Enligt beräkningarna uppstår ingen kondens i väggen då $R\ddot{A}$ aldrig uppnår 100 %.

Tabell 6.3.1. Resultat av fuktberäkningarna för Standardväggen.

Material	Temperatur [°C]	$R\ddot{A}$ [%]
	-12,9	95
Ute		
	-12,7	93
Betong		
	-12,4	97
Cellplast		
	18,7	13
Betong		
	19,2	33
Inne		
	20,0	31

Resultatet av $R\ddot{A}$ i FBKB-väggen visar på att reaktionen i denna konstruktion liknar den i Standardväggen, se Tabell 6.3.2. En skillnad mellan konstruktionerna finns dock i skikten ytterskiva och isolering samt innerskiva och inomhus. Där FBKB-väggen har marginellt lägre värde på $R\ddot{A}$. I båda konstruktionerna ligger $R\ddot{A}$ inomhus på 31 %. I tabellerna 6.3.1. och 6.3.2. framgår det även att temperaturskillnaderna mellan de olika skikten i väggarna liknar varandra.

Tabell 6.3.2. Resultat av fuktberäkningarna för FBKB-väggen.

Material	Temperatur [°C]	$R\ddot{A}$ [%]
	-12,9	95
Ute		
	-12,7	93
Betong		
	-12,6	95
Kooltherm		
	18,9	13
Fiberbetong		
	19,3	32
Inne		
	20,0	31

6.4 Väggens brandegenskaper

Då det fiktiva projektet är ett flerbostadshus på fem våningar kommer ytterväggarna ingå i en byggnad med VK3a, Br1 och brandsäkerhetsklass 5. Brandbelastningen, f , kan sättas till $f \leq 800 \text{ MJ/m}^2$ på byggnadsdelar i bostadslägenheter då ingen djupare utredning har utförts. Detta medför att en byggnadsdel i brandsäkerhetsklass 5 ska uppfylla R90. För att en brandcells- eller sektionsgräns ska upprätthållas i byggnaden måste alla byggnadsdelar som angränsar till dessa gränser upprätthålla den brandtekniska klassen EI90 (EKS, BFS 2015:6). Detta medför att ytterväggen i det fiktiva projektet måste uppfylla REI90.

Hur väggarna som helhet reagerar mot brand går inte att konstatera utan ett brandtest. Detta innebär att Standardväggen och FBKB-väggen bör testas enligt till exempel *SP Fire 105* för att garantera att kraven från BBR uppfylls. Följande teoretiska analyser av hur varje delmaterial i väggarna reagerar vid brand har utförts:

I både Standardväggen och FBKB-väggen är betongen det som utgör konstruktionens ytskikt. Då betong är ett obrännbart material, som nämnts i kapitel 4.2 *Materialegenskaper för betong*, kan direkta lågor endast nå de inre skikten i väggen där betongen inte finns som ett skyddande lager. Risken att isoleringen träffas av lågor är som störst mellan väggelement och vid uttag, för exempelvis fönster och dörrar. Standardväggens isolering, EPS80, har enligt kapitel 4.1 *Materialegenskaper för isolering* mindre goda brandegenskaper vilket resulterat i att konstruktionen behöver ett skyddande lager av stenull i kanter som angränsar mot elementskarvar och uttag. I jämförelse med FBKB-väggen som, enligt samma kapitel, har tillräckligt goda brandegenskaper att den klarar sig utan stenull. Att Kooltherm K3 kan ligga i direkt kontakt i skarvar och uttag stärks även genom det brandtest som utförts på en konstruktionsdetalj innehållande Kooltherm K3. Detta presenteras mer utförligare under kapitel 4.1 *Materialegenskaper för isolering*.

I samma kapitel framgår det att, utöver direkt låga, finns risk att EPS80 och Kooltherm K3 börjar brinna då de självantänds av att det omkringliggande materialet, betongen, blir upphettat till en viss grad. Även presenteras det att Kooltherm K3 har en högre självantändningspunkt än EPS80. Det gör att FBKB-väggen behåller sina isolerande egenskaper vid högre temperaturer och därmed bör uthärda brand under en längre tid.

Enligt kapitel 4.2 *Materialegenskaper för betong* kan materialet betong drabbas av spjälkning vid brand. I samma kapitel förklaras flertalet orsaker till spjälkning samt varför vissa konstruktioner drabbas värre av spjälkning än andra. De båda väggtypernas betong innehåller samma typ av ballast och kornstorleksfördelning³². Därför bör ingen skillnad i spjälkningsrisk finnas, då enbart hänsyn till ballast tas. All

³² Joakim Olsson (Driftchef blandarstation, Kynningsrud Prefab AB) intervjuad av författarna den 22 februari 2016.

betong i Standardväggen har, enligt kapitel 4.2 *Materialegenskaper för betong* ett vct på 0,535. FBKB-väggen består av två olika betongsorter, där den armerade betongen har samma vct som betongen i föregående vägg medan fiberbetongen i ytterskivan har ett vct på 0,465. Betongens förmåga att släppa igenom vätska beror primärt på dess cementpasta och ålder. Där ett lägre vct och en högre hydratationsgrad ger en tätare cementpasta (Burstrom, 2015). Som tidigare nämnts i kapitel 4.2 *Materialegenskaper* ökar generellt risken för betongspjälkning ju tätare materialet är, vilket innebär att vid endast hänsyn till vct bör FBKB-väggens fasadskiva ha en högre risk för spjälkning.

En intervju med sakkunnig Robert Jansson McNamee³³ utfördes för att diskutera möjliga resultat av ett brandtest på väggarna. Det som avgör hur bra en konstruktion i betong klarar av brand beror, enligt Jansson McNamee³³, på om och hur betongen spjälkar. Enligt Jansson McNamee³³ kommer Standardväggen troligen klara fysiska brandtester relativt bra om den består av en vanlig uttorkad betong, vilket Standardväggen består av³⁴. När det gäller FBKB-väggen kan den också klara eventuella tester om inte fasadskivan spjälkar för mycket³³.

6.5 Väggens livslängdsklass

I kapitel 4 *Indata för beräkningar* framgår de olika ingående materialens referenslivslängder. För samtliga materialsikt ligger den på 50 år, vilket innebär att med hänsyn på materialsikten i konstruktionen kan de klassas som L50.

6.6 Kostnad för inköp, transport och montering av väggen

När det fiktiva projektets ytterväggar utgörs av Standardvägg krävs det cirka 1205 m² vägg och cirka 1211 m² då ytterväggarna utgörs av FBKB-vägg. Att det blir mer kvadratmeter av FBKB-väggen beror på att ytterväggselementen D och E blir längre då tjockleken på tvärsnitten reduceras, se planritningarna som illustreras i figur 4.3.1 och 4.3.2. Baserat på priserna som framgår i kapitel 4.4 *Kostnad för inköp, transport och montering av sandwichväggarna*, ger det en total inköpskostnad på 1,928 Mkr för Standardväggen respektive 2,059 Mkr för FBKB-väggen. I Bilaga 4 har lastkombinationer med väggtyperna sammanställts för det fiktiva projektet. Det finns fyra respektive fem olika kombinationer för Standardväggen och FBKB-väggen, där varje kombination betecknas med en bokstav, se Tabell 6.6.1. Maximalt kan det fraktas tre respektive fyra väggelement tillsammans på en lastbil. Vid ett högre antal element överskrids kassetternas maximala bredd på 1,5 meter. Kombinationerna kräver ett visst antal transporter, se Tabell 6.6.1 för redovisning av antalet lastbilstransporter för respektive fall och kombination.

³³ Robert Jansson McNamee (Forskare, SP) intervjuad av författarna den 3 mars 2016.

³⁴ Mikael Andersson (Konstruktionschef, Kynningsrud Prefab AB) intervjuad av författarna 18 maj 2016.

Tabell 6.6.1 Redovisning av transporter för samtliga lastkombinationer, se Bilaga 4.

Väggtyp	Lastkombination (lassnr)	Antal lastbilstransporter [st]
Standardväggen	a	10
	b	10
	c	5
	d	3
FBKB-väggen	e	10
	f	5
	g	5
	h	1
	i	1

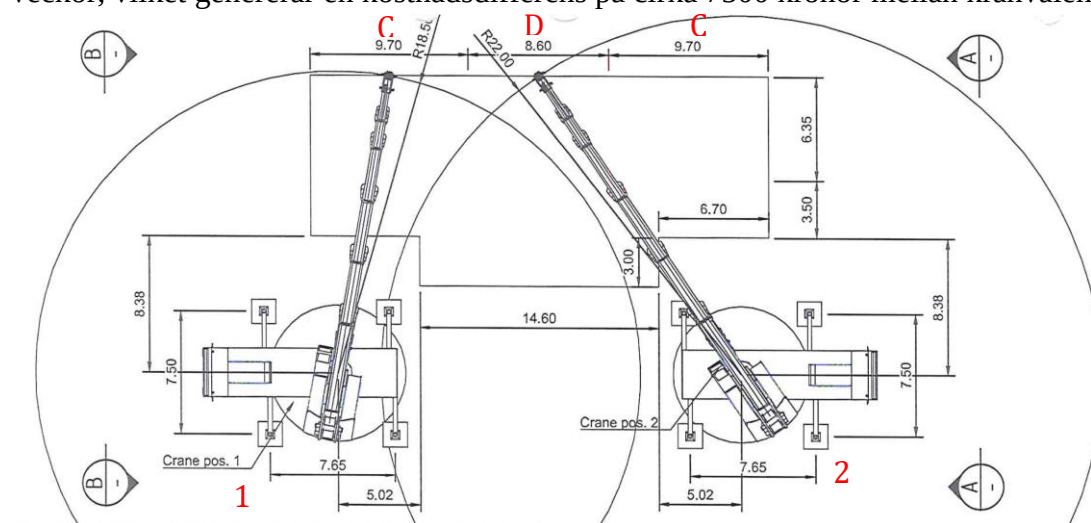
Totalt krävs det 28 lastbilstransporter för att transportera samtliga ytterväggelement av typen Standardvägg. Motsvarande antal transporter för FBKB-väggen är 22. Det krävs således ett mindre antal lastbilstransporter för väggtypen FBKB-väggen än för Standardväggen, vilket resulterar i att transportkostnaden för FBKB-väggen blir 26 kkr lägre, se Tabell 6.6.2.

Tabell 6.6.2 Total transportkostnad av vägg, sträckan Uddevalla till Mölndal.

Väggtyp	Totalt antal element [st]	Antal transporter, Uddevalla- Mölndal [st]	Total transportkostnad [kkr]
Standardväggen	65	28	118
FBKB-väggen	65	22	92

I det fiktiva projektet utförs endast förändringar vid val av yttervägg. I fråga om arbetskraft medför det inga förändringar mellan de olika fallen. Detta eftersom projekten innehåller samma antal arbetsmoment, som även nämns i kapitel 4.4 *Kostnad för inköp, transport och montering av sandwichväggarna*. Vid användning av Standardväggen väger element C mest, 13,9 ton, och kräver en monteringsradie från kranen på 18,5 m vid kranplacering 1 och 2, se Figur 6.6.1. Den längsta radien, 22 m, krävs vid montering av element D som även är det näst tyngsta elementet på 13,5 ton. I detta fall används kranplacering 2, se Figur 6.6.1. Detta resulterade i att vid montering av Standardväggen krävs en "130 ton-kran", se Bilaga 5. Vid montering av FBKB-väggen erfordras istället en "120 ton-kran" då samtliga element väger mindre. Element C är fortfarande det tyngsta och väger 10,8 ton. Detta kräver fortfarande en monteringsradie på 18,5 m. Element D som monteras på radien 22 m är även här det näst tyngsta elementet och väger 10,6 ton. Prisskillnaden mellan dessa kranar är cirka

300 kronor per dag³⁵. Monteringstiden för det fiktiva projektet beräknas pågå i fem veckor, vilket genererar en kostnadsdifferens på cirka 7500 kronor mellan kranvalen.



Figur 6.6.1: Kranuppställningsplatser vid montage av ytterväggar (Carlsson. 2016). Återgiven med tillstånd.

Enligt Tabell 4.3.1 Boarea för lägenhet 1, 2, 3 & 4 figörs 3 m² i lägenhet 1 och 4 vid användning av FBKB-väggen samt 1 m² i lägenhet 2 och 3. Det leder till 8 m² mer boarea per våningsplan och totalt 40 m² i det fiktiva projektet. Enligt kapitel 4.3 *Det fiktiva projektet*, kostar i genomsnitt en kvadratmeter boarea i Mölndal 32 665 kr, vilket genererar en vinst på ungefär 1,31 Mkr. Den totala vinsten av area per våningsplan inklusive trapphus är 10,5 m² vilket innebär 52,5 m² i hela byggnaden.

En kalkyl har sammanställts för respektive vägg för att visa eventuella skillnader på total kostnad, se Tabell 7.6.4. I kostnadskalkylerna presenteras samtliga kostnader för inköp av yttervägg, transport, monteringskran samt avdrag för den vinst som skapas vid ökad boarea.

Tabell 6.6.3 Kostnadskalkyl för det fiktiva projektet.

	Standardvägg [kkr]	FBKB-vägg [kkr]
Inköp yttervägg	1927	2059
Transport	118	88
Kran*	0	-7,5
Frigjord boarea**	0	-1310
Total kostnad	2045	829

* kostnadsreduceringar för behov av mindre kran

** avdrag för vinst av frigjord boarea

³⁵ Jon Blomberg (Försäljningschef, Kynningsrud Prefab AB) intervjuad av författarna den 10 maj 2016.

6.7 Kommentarer från intervjuade stominköpare

För att få en tydligare bild hur marknadens inställning till väggen ser ut genomfördes två separata intervjuer med stominköpare, Jonas Celanders³⁶ från Skanska och Andreas Ante Aronsson³⁷ samt Roger Person³⁸ från NCC. Vid valet av intervjupersoner beaktades främst eventuellt framtida intressenter.

Vid intervjuerna presenterades och diskuterades resultaten. Diskussionen fördes kring nedanstående frågor:

- Skulle ni med denna information tänka på väggen som ett alternativ vid val av ytterväggar i stomme?
- Ifall inte, vad mer bör undersökas?

Första responsen av Celanders var positiv, där han uttryckte att det finns ett stort intresse att hitta en tunnare yttervägg som uppfyller kraven i BBR. Dessa konstruktioner, menar Celanders, är särskilt intressanta för dem då de bygger i storstäder eftersom vinsten av frigjord area är som störst i dessa områden. Celanders tyckte att resultaten av beräkningarna tyder på en lovande utveckling för FBKB-väggen och teoretiskt sett kan den vara ett alternativ vid inköp av stomsystem. Det finns dock några frågetecken kring FBKB-väggens funktion som Skanska vill ha besvarade för att kunna gå vidare med väggen. Celanders hade funderingar kring om och hur lång tid det tar tills det uppstår mikrosprickor i fiberbetongen på grund av krympning. Om det skulle uppkomma sprickor, skulle dessa då klara kraven i BBR? Diskussion om hur mycket last fästansordningarna för fiberbetongen kan ta från eventuella fasadbeklädnader fördes. Funderingar angående skarvar mellan element diskuterades också, där frågor fanns om hur den tunnare ytterskivan i fiberbetong hanterar mjukfog. Är utrymmet för mjukfog och tätningslist tillräckligt då ytterskivan endast är 30 mm djup? En annan fundering kring ytterskivan är om denna klarar trycket från pågjutningen av bjälklaget. Att vara först att satsa på en ny typ av vägg innebär stora risker, vilket kan leda till dyra följdkostnader. Därför hade Celanders gärna sett att utomstående praktiska tester visar på att kraven uppfylls.

Reaktionerna från Aronsson och Person på NCC var också positiva, då de ser ett behov av att marknaden utvecklas. En möjlighet menar Aronsson och Person, är att utveckla stommen i byggnader. Detta dels för att vinna mer kvadrat i byggnader men också för att minska materialåtgången och därmed eventuellt minska miljöpåverkan. De ser FBKB-väggen som en produkt med stor potential, där utvecklingen har kommit långt. Några funderingar som de hade var bland annat, precis som Celanders undrade, hur mjukfogen får plats mellan elementen. De ser ytterskivan på endast 30 mm som ett kritiskt mått och diskuterade om det kanske behövs minst 40 mm i

³⁶ Jonas Celanders (Kategoriänsvarig inom inköp för portföljen prefab betongstommar, Skanska) intervjuad av författarna den 13 maj 2016.

³⁷ Andreas Ante Aronsson (Lead Buyer Structural frames Division Sweden, NCC) intervjuad av författarna den 16 maj 2016.

³⁸ Roger Person (Chef teknisk utveckling, NCC) intervjuad av författarna den 16 maj 2016.

praktiken. För att övertygas krävs detaljritningar och praktiska exempel på hur mjukfogen ska rymmas. Andra tankar som diskuterades var hur fästanordningarna mellan ytter- och innerskivan i FBKB-väggen åldras samt i vilka längder de kan tillverkas. Längre förbindelsestavar kan behövas i de fall då mer isolering krävs enligt Aronsson och Person. En jämförelse de anser intressant är hur FBKB-väggen gentemot Standardväggen hanterar byggfukt då detta är ett problem vid montage. För att FBKB-väggen ska vara ett alternativ vid nybyggnation måste det finnas kännedom om produkten i tidiga projekteringsskeden, menar Aronsson och Person. Det bör även finnas tydliga svar på de frågor som tidigare diskuterats för att minska skepticism från branschen.

7 Diskussion om resultaten och hur de uppfyller kraven

I följande kapitel diskuteras för- och nackdelarna med de resultat som presenterats i kapitel 6 *Resultat*. Det tas upp både hur Standard- och FBKB-väggen förhåller sig till varandra och till de krav som redovisats i kapitel 3 *Bostadskrav på yttervägg*.

7.1 Akustik

Beräkningarna grundar sig på indata som enbart gäller för det fiktiva projektet och kan därför endast användas i jämförelse mellan dessa två väggar. Detta innebär att resultaten är indikatorer på hur väggarnas ljudegenskaper ser ut. För att fastställa enligt krav bör ytterligare certifierade praktiska tester utföras. Detta var även något som Celanders³⁹ tyckte var viktigt för att kunna stärka de teoretiska resultaten.

Resultatet av Standard- och FBKB-väggens ljudisoleringsförmåga tyder på liknande egenskaper. De tre jämförda fallen visar att samtliga fall uppnår ljudklass A, som presenteras i kapitel 3.1 *Akustikkrav*. Det lägsta kravet vid nybyggnation är klass C, vilket tyder på goda ljudisoleringsegenskaper hos både Standardväggen och FBKB-väggen. I kapitel 6.1 *Väggens akustikegenskaper* visar resultaten att FBKB-väggen har marginellt bättre förmåga att stänga ute ljud i de fall som kontrollerats.

Båda väggarna klassas som dubbelväggar och därför finns det risk för dubbelväggsresonans. I Bilaga 2 framgår det att FBKB-väggen har en resonansfrekvens på 157,3 Hz vilket är betydligt högre än Standardväggens 50,7 Hz. Detta innebär att FBKB-väggens resonansfrekvens ligger inom det frekvensintervall som kontrolleras och också är mer hörbart för människan. Den mer kritiska resonansfrekvensen för FBKB-väggen bidrar till en avvikelse i reduktionstalskurvan vid den frekvensen och kan ses i dess diagram i Bilaga 2.

Vid beräkningarna av ljudnivåerna i mottagarrummet användes fönster och dörrar med goda ljudegenskaper. Dessa val har påverkat resultatet positivt. Då fallen har utformats med samma fönster och dörrar har detta inte påverkat skillnaderna mellan väggarnas ljudisoleringsförmåga.

Förutsättningarna som används för det fiktiva projektet är bland annat att ljudnivån från sändarrummet antas till den högst tillåtna som ligger på 55 dB. I de fall som denna ljudnivå överskrider kan anpassningar av planlösningen behöva ske. Eftersom båda väggarna klarar ljudklass A med goda marginaler bör väggarna kunna utsättas för högre ljudnivåer utan att planlösningen behöver anpassas.

³⁹ Jonas Celanders (Kategoriänsvarig inom inköp för portföljen prefab betongstommar, Skanska) intervjuad av författarna den 13 maj 2016.

7.2 U-värde

Resultatet av U-värdesberäkningarna visar att FBKB-väggen, trots sitt totalt 130 mm tunnare tvärsnitt ger ett bättre värmeisoleringskydd. Från resultaten framgår även tydligt hur Standardväggens korrigerade U-värde påverkas negativt av köldbryggorna vid armeringsstegarnas fästen. Dock kan korrektionstermen för fästanordningarna vara missvisande. Detta eftersom koefficienten α saknade värde för en betongsandwichvägg och antogs därför till 6, som gäller vid fästanordningar i murade väggar. Detta antogs då de förutsättningarna var de som mest liknade Standardväggens. FBKB-väggens fästanordningar i form av fiberkompositnålar visade sig vara mycket positiva för väggarnas U-värde då dess värmeledningsförmåga är $1 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ och därför ger U-värdet ett nästintill försumbart tillägg på $0,00004241 \text{ W/m}^2\text{C}$.

I kapitel 3.2 *U-värdeskrav* förklaras det att vid nybyggnation kontrolleras en byggnads totala genomsnittliga värmegenomgångskoefficient. Kraven säger att U_m ska som mest vara $0,40 \text{ W/m}^2\text{C}$. I beräkningarna har U-värdet på en vägg i det fiktiva projektet kontrollerats, både som Standardvägg och FBKB-vägg. Då endast en byggnadsdel i byggnaden beräknats går det inte att jämföra mot BBRs krav för nybyggnation. I arbetet jämförs ytterväggarna istället mot de krav som BBR ställer på enskilda byggnadsdelar. Dock stämmer fallet med det fiktiva projektet inte överens med förutsättningarna för dem. Detta eftersom byggnaden har mer än 100 m^2 som ska värmas till högre temperaturer än 10°C samt inte är en ändring av redan befintlig byggnad. Då en byggnad värms upp på annat sätt än elvärme visar det sig att FBKB-väggen har ett tillräckligt bra U-värde medan Standardväggens korrigerade värde överstiger $0,18 \text{ W/m}^2\text{C}$ och klarar därmed inte kraven. Som nämnts i ovanstående stycke finns det möjlighet att det korrigerade värdet blir lägre än beräknat och därför finns det chans att Standardväggen klarar kravet på $0,18 \text{ W/m}^2\text{C}$.

En beräkning av konventionellt U-värde visar att FBKB-väggen uppnår $0,10 \text{ W/m}^2\text{C}$ då tjockleken på Kooltherm K3 ändras till 200 mm, vilket är samma mått som EPS80 har i Standardväggen. Enligt Aronsson⁴⁰ och Person⁴¹ är detta särskilt intressant då marknaden kan se hårdare krav gällande energiförbrukning i framtiden, vilket kommer medföra ökat behov av nya lösningar för att få ut likvärdig boarea. Materialen i FBKB-väggen är därför intressanta då de genom små modifikationer kan uppnå framtida krav med liknande tjocklek som Standardväggens.

⁴⁰ Andreas Ante Aronsson (Lead Buyer Structural frames Division Sweden, NCC) intervjuad av författarna den 16 maj 2016.

⁴¹ Roger Person (Chef teknisk utveckling, NCC) intervjuad av författarna den 16 maj 2016.

7.3 Fukt

Enligt kapitel 4 *Indata för beräkningar* är materialen i båda väggar oorganiska. Detta betyder att materialen har en högsta tillåtna fukthalt på 100 % då det är vid denna procent som vatten kondenseras. I fallet som beräknas i Bilaga 1 uppnår ingen av väggkonstruktionerna 100 % vilket innebär att inget mögel utvecklas. Detta betyder att väggarna hanterar fukten väl och inte tar skada. Att inte mögel bildas medför även att fukten inte påverkar människans hygien eller hälsa i byggnaden. Fastän det är en låg utetemperatur uppnår fukthalten inomhus, i båda fall, över 30 %. Detta innebär att båda väggkonstruktionerna ger ett gott inomhusklimat även vid extrema förhållanden. Att de uppnår 30 % betyder att inomhusklimatet även passar för människor med luftvägsbesvär.

Då Standard- och FBKB-väggen hanterar fukt bra och skapar ett gott inomhusklimat för människor uppfyller väggarna kraven som presenteras i kapitel 3.3 *Fuktkrav*. I fallet som beräknats i Bilaga 1, når FBKB-väggen en marginell lägre fukthalt jämfört med Standardväggen. Detta kan indikera att FBKB-väggen hanterar fukt lite bättre än Standardväggen. Beräkningarna har endast beaktat fukt som går rakt igenom en vägg. Då båda väggarna är sandwichelement kommer skarvar uppstå mellan elementen. Hur bra fukten tar sig igenom där kan avgöra om vilken vägg som egentligen hanterar fukt bäst. Detta intresserade även Celander, Aronsson och Person enligt kapitel 6.7 *Intervjuer* då de belyste en problematisering med mjukfogen mellan FBKB-väggelement. Om problematiken som de beskrivit stämmer kan ytterskivans tjocklek ifrågasättas. Därför kan undersökningar gällande skarvar mellan element men också vid öppningar vara nödvändiga för att ge en bättre bild av hur fukten hanteras av byggnaden som helhet.

7.4 Brand

Enligt kapitel 3.4 *Brandkrav* ska förenklad dimensionering, verksamhetsklass och byggnadsklass tas hänsyn till när ett projekt dimensioneras. Detta utförs vid projektering av det fiktiva projektet vilket medför att båda fallen uppfyller dessa krav. Kraven ställs dock på sådant sätt att de ska uppfyllas av byggnaden som helhet. Det betyder att det är svårt att endast analysera ytterväggens förmåga att uppfylla kraven. Därför kan ingen analys utföras om vilken vägg som bättre än den andra i frågan om förenklad dimensionering.

Då väggarna har ett yttre skikt av ett obrännbart material kommer troligtvis en begränsad mängd av rök och värme utvecklas i konstruktionen. Detta är enligt kapitel 3.4 *Brandkrav* en förutsättning för ytterväggar. I samma kapitel presenteras ytterligare brandkrav som säger att delar av en yttervägg inte får lossna samt ska de begränsa brandspridning. Vilken av konstruktionerna som skulle vara den bättre, med avseende på ovanstående krav går inte att fastställa utan jämförande brandtester. Antaganden kan dock genomföras om hur resultatet kan se ut genom att analysera enskilda

material i väggkonstruktionerna, vilket har utförts i kapitel 6.4 *Väggens brandegenskaper*. Där har det visat sig att en viss skillnad bör finnas i materialens reaktioner. Detta indikerar på att väggarna kommer reagera något olika vid ett fysiskt brandtest.

I analys av väggarnas isolering har FBKB-väggen bättre förutsättningar att motstå branden utan att behöva kompletteras med ytterligare isoleringsmaterial. Kooltherm K3 avger dock en giftigare gas än EPS80 när den väl antänds. Om analys utförs på konstruktionernas ytterskiva finns det en större osäkerhet om hur FBKB-väggen reagerar jämförelsevis mot Standardväggen. Detta eftersom FBKB-väggens ytterskiva både är tunnare och har ett lägre vct än Standardväggen, vilket kan resultera i större risk för spjälkning. Ingen undersökning av hur fästordningarna i väggarna reagerar vid brand har utförts vilket kan vara avgörande i ett framtida brandtest. Enligt kapitel 4.2 *Materialegenskaper för betong* är täcksiktet för armeringen en avgörande faktor för konstruktionen då betongen spjälkar.

7.5 Livslängdsklass

Genom att båda väggkonstruktionerna uppfyller L50 uppnår de livslängdsklass 4, vilket är vad de måste göra, enligt kapitel 3.5 *Krav på livslängdsklass*. Samma kapitel nämner att en högre livslängd skulle minska konstruktionernas totala miljöpåverkan. Betongen i Standardväggen och FBKB-väggens innerskiva kan klara en högre klassning, men en eventuell förändring av täcksikt och vct kan behövas. Hur en högre klassning skulle kunna utföras på fiberbetongen är mer oklar, detta då det är mer osäkert vad det är som påverkar dess livslängd. Även vidare undersökningar av hur isoleringarna åldras bör genomföras för att kunna fastställa om konstruktionerna kan uppnå en högre livslängdsklass och på så vis minska miljöpåverkan. Väggarna är alltså, i fråga om livslängd, likvärdiga, där båda uppfyller de krav som ställs. Standardväggen kan lättare utvärderas om och hur den kan uppfylla högre livslängdsklass. FBKB-väggen däremot är svårare att analysera gällande högre klassning på grund av fiberbetongen i ytterskivan.

7.6 Kostnader

Som nämnt i kapitel 7.6 *Kostnad för inköp, transport och montering av väggen* kan element av FBKB-väggen, vid användande av kassett, transporteras i lastuppsättning på fyra stycken väggar ihop. Standardväggens tjocklek begränsar dess transportkombinationer till att innehålla max tre väggelement i bredd åt gången. I Bilaga 4 presenteras ett exempel på hur transportkombination med fyra stycken väggelement kan se ut, se lassnummer *h*. Trots att det går att kombinera fyra väggelement vid användning av FBKB-väggen kan det vara svårt att försöka konstruera sådana konstellationer. Svårigheten ligger i att elementen som ska ingå i en konstellation av fyra väggar inte kan bestå av element som är mycket längre och tyngre än de element som kan ses i tidigare nämnda lassnummer *h*. Att kombinera

konstellationer om tre väggar av typen Standardvägg finns det större möjlighet att transportera element som är något längre, vilket kan ses i lassnummer *a* i Bilaga 4. Risken blir istället att man kommer för nära den maximala vikten, då det kan krävas fler transporter för att det tillverkats element som fått en förhöjd vikt än den tidigare beräknade.

Det lastdokumentet som använts vid beräkning av antalet transporter i projektet ska ses som en approximation av verkligheten. Detta då väggelementen i realiteten kan ha en mer varierad vikt än den beräknade. Således kan detta leda till att det kan krävas fler transporter, speciellt i fall där den beräknade transporten nästan uppnår den maximalt tillåtna lastvikten. Detta händer dock inte ofta utan i de flesta fall stämmer dokumentet enligt Jonas Karlsson⁴².

I kapitel 6.6 *Kostnad för inköp, transport och montering av väggen* antogs det att ytterväggarnas egenvikt är dimensionerande vid val av kran. Där konstateras det att krävs en kran av storlek 130 ton respektive 120 ton för Standard- och FBKB-väggen. Kostnadsskillnaden mellan de olika kranvalen, som ligger på 7,5 kkr, är i princip försumbar. Då FBKB-väggarna väger mindre än Standardväggen finns större möjligheter att andra typer element i projektet är dimensionerande. Detta innebär att besparingen är osäker.

Då även antalet arbetsmoment i de olika fallen är lika många påverkas inte heller kostnaden för arbetskraft avsevärt. Detta tyder på att viktskillnaden mellan väggarna inte kommer vara av betydelse för de totala monteringskostnaderna. Enligt samma kapitel erhålls 8 m² i lägenheterna för varje våning i det fiktiva projektet. Totalt sett på hela våningen erhålls 10,5 m² mer än vid användning av Standardväggen då även trapphuset angränsar till yttervägg. Detta innebär att om planlösningen i byggnaden hade anpassats efter FBKB-väggen hade ytterligare ekonomisk vinst varit möjlig. En ytterligare intressant aspekt är att analysera hur vinsterna för den ökande boarean i ett flerbostadshus sett ut om det varit hyreslägenheter.

⁴² Jonas Karlsson (Driftchef logistik, Kynningsrud Prefab AB) intervjuad av författarna den 11 mars 2016.

8 Slutsats

Enligt resultatet gällande akustik, fukt, och livslängdsklass är FBKB-väggen likvärdig Standardväggen och i de flesta fall marginellt bättre. I beräkningar av akustik har data använts som endast får användas i en jämförelse mellan FBKB- och Standardväggen. Därför bör ytterligare undersökningar samt eventuella tester utföras för att kunna fastslå exakta akustikegenskaper av FBKB-väggen. Det krävs också vidare studier för att fastslå om väggen uppnår kraven gällande brand. Därför bör testet *SP Fire 105* utföras. Resultatet av U-värdet visar att FBKB-väggen har ett lägre värde jämförelsevis med Standardväggen. Förbindelsestavarna i FBKB-väggen har en lägre påverkan än armeringsstegarna på resultatet. Via intervjuer och analyser av resultatet har frågor angående hur vissa detaljer kommer fungera dykt upp. En av dessa är hur skarvarna mellan elementen kommer se ut. Funderingar om mjukfogen får plats i skarven har väckts från marknaden där ytterskivans tjocklek ifrågasätts. Samtidigt har frågor väckts kring om och hur skarvarna kommer påverka beräkningarna kring fukt och U-värde. Därför är vidare studie av skarvarna ytterst intressant. Än finns alltså osäkerheter kring FBKB-väggen som är nödvändiga att kartlägga innan väggen kan lanseras på marknaden.

Tack vare den frigjorda boarean som bidrar till ökade inkomster vid försäljning blir kostnaden för FBKB-väggen totalt lägre. Detta innebär att det är fördelaktigt att välja den nya FBKB-väggen ur ett ekonomiskt perspektiv.

Vidare studier bör utföras gällande väggens brandegenskaper, detaljlösning mellan skarvar samt djupare studie angående fiberbetongens egenskaper gällande livslängd. Även är studier gällande förbindelsestavnas egenskaper i FBKB-väggen intressanta, där undersökningar bör utföras på deras livslängd samt påverkan på sprickbildning i ytterskivan. Vidare undersökningar där alla avgränsningar som utförs i detta arbete beaktas är också intressanta.

Referenslista

- Al-Emrani, M., Engström, B., Johansson, M. & Johansson, P., 2013. *Bärande konstruktioner - Del 1*. 6:e upplagan red. Göteborg: Avdelningen för konstruktionsteknik.
- Anderlind, G. & Stadler, C.-G., 2004. *Isolerguiden 04*. Tomelilla: Swedisol.
- Andersson, M., 2016. *Tvärsnitt av FBKB-väggen*. [Konstverk] (Anderssons privata samling).
- Bauhaus, 2016. *CELLPLAST S80 600X1200X30MM 12,24M² PER PAKET*. [Online] Available at: <http://www.bauhaus.se/cellplast-s80-600x1200x30-mm.html> [Använd 17 maj 2016].
- Benders, 2015. *Byggvarudeklaration*. [Online] Available at: <http://www.benders.se/globalassets/c4-assets/document/bvd-eps-cellplast-benders-2015-02-24.pdf> [Använd 25 april 2016].
- Benders, 2016. *EPS80*. [Online] Available at: <http://www.benders.se/sortiment/isolering/cellplast/eps/eps-kvalitet-80/> [Använd 5 april 2016].
- Berg, S. A., 2008. *Brandteknik och läran om ljud, Byt 2*. 1 red. Stockholm: Lärnö AB.
- Boverket, 2008. *Bullerskydd i bostäder och lokaler*, Karlskrona: Boverket.
- Boverket, 2013. *BFS 2013:14, BBR 20*. Karlskrona: Boverket.
- Boverket, 2014. *BFS 2014:3, BBR 21*. Karlskrona: Boverket.
- Boverket, 2015. *BFS 2015:3, BBR 22*. Karlskrona: Boverket.
- Boverket, 2015. *BFS 2015:6, EKS 10*. Karlskrona: Boverket.
- Boverket, 2016. *Kommuner med underskott på bostäder ökar kraftigt – bostadsbyggandet förväntas öka*. [Online] Available at: <http://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/bostadsplanering/bostadsmarknaden/indikatorer-for-bostadsbyggande/> [Använd 24 maj 2016].
- Briab Brand & Riskingenjörerna AB, 2015. *Utlåtande avseende användande av Kooltherm som brandavskiljare i fasadsystem*, Stockholm: Briab Brand & Riskingenjörerna AB.

- Burström, P.-G., 2015. *Byggnadsmaterial - Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper*. 2:13 red. Lund: Studentlitteratur.
- Danielsson, T. o.a., 2015. *Byggvägledning. 6, Brandskydd: En handbok i anslutning till Boverkets byggregler*. 6 red. Malmö: Norra Skåne Offset.
- Di Prisco, M., Plizzari, G. & Vandewalle, L., 2009. Fibre reinforced concrete: new design perspective. *Materials and structures*, 10 09, 42(9), pp. 1261-1281.
- Gylfe, L., 2013. Boven bakom betongspjälkning. *Brandsäkert*, pp. 46-48.
- Isaksson, T., Mårtensson, A. & Thelandersson, S., 2010. *Byggnadskonstruktioner: baserad på Eurocode*. 2:2 red. Lund: Studentlitteratur.
- Jóhannesson, G. & Björk, F., 1994. *Expanderande polystyren i ytterväggar*, Stockholm: KTH Royal Institute of Technonlgy, avdelning för byggnadsteknik.
- Kihlman, T., 1996. *Byggnadsakustik V3*. 2:a upplagan red. Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola.
- Kingspan, 2016a. *Brandsäkerhet*. [Online]
Available at: <http://www.kingspaninsulation.se/Brandsakerhet.aspx>
[Använd 10 mars 2016].
- Kingspan, 2016b. *Kooltherm K3 Golvisolering - ISOLERING FÖR INGJUTNING I GOLV OCH SANDWICHVÄGGAR*. [Online]
Available at: <http://www.kingspaninsulation.se/getattachment/b9b1aa6b-1f43-451c-913c-2a2530c6bff7/Kooltherm-K3-Golvisolering.aspx>
[Använd 11 mars 2016].
- Martinsson, L. & Skoglund, P., 2015. *Brand i olika cellplaster under produktionsskedet - Risksänkande åtgärder och rekommendationer till byggbranschen*. [Online]
Available at:
<http://vpp.sbuf.se/Public/Documents/ProjectDocuments/64e8a893-5ea0-4448-bc44-6f8b8dafdaf8/FinalReport/SBUF%2013032%20Slutrapport%20Brand%20i%20olika%20cellplaster%20under%20produktionsskedet.pdf>
[Använd 22 april 2016].
- Nevander, L. E. & Elmarsson, B., 2006. *Fukthandbok Praktik och teori*. 3:6 red. Stockholm: AB Svensk Byggtjänst.
- Noord, M., 2016. *Lastbil*. [Konstverk] (Noords privata samling).
- Nordic Crane Group, 2016. *Equipment Guide*.:Nordic Crane Group.
- Nyqvist, C., 2016. *Förbindelsestav*. [Konstverk] (Nyqvists privata samling).

Paroc, 2012. *Byggvarudeklaration BVD 3, PAROC COS 10, Sverige*. [Online]
Available at: <http://www.paroc.se/losningar-och-produkter/related-pages?t=Certifikat+%26+Godkännanden>
[Använd 25 april 2016].

Paroc, 2015. *Produktkatalog byggisolering*.:Paroc Group.
Peikko, 2016. *PD-FÖRBINDELSESTEGAR*. [Online]
Available at: <http://www.peikko.se/product-se/p=PD-förbindelsestegar>
[Använd 20 maj 2016].

Petersson, B.-Å., 2009. *Tillämpad byggnadsfysik*. 4:3 red. Lund: Studentlitteratur AB.

Petersson, B.-Å., 2012. *Byggnadens klimatskärm*. 2:1 upplagan red. Lund: Studentlitteratur AB.

Svensk Betong, 2016a. *Fukt*. [Online]
Available at: <http://www.svenskbetong.se/om-betong/fakta-egenskaper/fukt>
[Använd 11 mars 2016].

Svensk betong, 2016b. *Livslängd för byggnader*. [Online]
Available at: <http://www.svenskbetong.se/bygga-med-betong/bygga-med-prefab/miljo-och-hallbarhet/livslangd-for-byggnader>
[Använd 27 januari 2016].

Svensk betong, 2016c. *Ljud*. [Online]
Available at: <http://www.svenskbetong.se/om-betong/fakta-egenskaper/ljud>
[Använd 6 april 2016].

Svensk författningssamling, 2010. *SFS 2010:900*. Stockholm: Näringsdepartementet RS N.

Svensk författningssamling, 2011. *SFS 2011:338*. Stockholm: Näringsdepartementet RS N.

Svensk författningssamling, 2015. *SFS 2015:216*. Stockholm: Näringsdepartementet RS N.

Svensk Mäklarstatistik, 2016. *Svensk Mäklarstatistik - Statistik - Bostadsrätt*. [Online]
Available at: <http://www.maklarstatistik.se/maeklarstatistik/kommun.aspx?Main=Möln&LK=1481&Typ=Boratter&Months=12&Ant=172&Extra1=8888&Extra2=8888>
[Använd 13 april 2016].

Svensk standard, 2008. *SS-EN ISO 6946:2007*. Stockholm: SIS Förlag AB.

Svensk standard, 2010. *SS-EN 1990*. Stockholm: SIS förlag AB.

Svensk standard, 2015. *SS 25267:2015*. Stockholm: SIS förlag AB.

Thermomass, 2011. *Questions and Answers about System NC for Non-Composite Concrete Sandwich Walls*. [Online]

Available at:

http://www.thermomass.com/files/thermomass_standard_systems_faq.pdf

[Använd 24 maj 2016].

Transportstyrelsen, 2016a. *Bruttoviktstabeller BK1*. [Online]

Available at: <https://www.transportstyrelsen.se/sv/vagtrafik/Yrkestrafik/Gods-och-buss/Matt-och-vikt/Bruttoviktstabeller/>

[Använd 1 maj 2016].

Transportstyrelsen, 2016b. *Mått och vikt*. [Online]

Available at: <https://www.transportstyrelsen.se/sv/vagtrafik/Yrkestrafik/Gods-och-buss/Matt-och-vikt/>

[Använd 1 maj 2016].

Transportstyrelsen, 2016c. *Tillåten bruttovikt*. [Online]

Available at: <https://www.transportstyrelsen.se/sv/vagtrafik/Yrkestrafik/Gods-och-buss/Matt-och-vikt/Tillaten-bruttovikt/>

[Använd 1 maj 2016].

Transportstyrelsen, 2016d. *Tillåtet axeltryck*. [Online]

Available at: <https://www.transportstyrelsen.se/sv/vagtrafik/Yrkestrafik/Gods-och-buss/Matt-och-vikt/Tillatet-axeltryck/>

[Använd 1 maj 2016].

Winberg Nordström, M., 2015. *"Det är bättre att ha en bostad med lägre standard än att inte ha någon bostad alls."*. [Online]

Available at: <http://www.sydsvenskan.se/2015-11-29/det-ar-battre-att-ha-en-bostad-med-lagre-standard-an-att-inte-ha-nagon-bostad-a>

[Använd 26 maj 2016].

Zhou, J. o.a., 2013. Thermomechanical analyses of phenolic foam reinforced with glass fiber mat. *Materials and Design*, 18 04, Volym 51, pp. 131-135.

Bilaga 1

**Beräkning av Standard- och
FBKB-väggens egenskaper**
med fokus på akustik, U-värde och fukt

Innehållsförteckning

INNEHÅLLSFÖRTECKNING	II
INLEDNING	1
1.1 Förutsättningar	1
2 ALLMÄN INDATA	3
3 BERÄKNING AV VÄGGENS EGENVIKT	6
4 BERÄKNING AV AKUSTIK	7
5 BERÄKNING AV U-VÄRDE	9
6 BERÄKNING AV FUKT	12

Inledning

Denna beräkningsrapport är ett komplement till examensarbetet *Utökad boarea med en ny typ av vägg, Analys av väggelement med högpresterande isoleringsmaterial och fiberbetong i ytterskiva*. I denna bilaga presenteras beräkningar och resultat för de beräkningsgångar som redovisas i ovanstående examensarbete. Beräkningarna berör två olika sandwichväggar, Standardväggen och FBKB-väggen, där deras egenskaper med avseende på akustik, U-värde och fukt konstaterats. För att bestämma dessa egenskaper har även beräkningar genomförts gällande egenvikt, vilket också redovisas i denna beräkningsrapport. Indata som krävs i beräkningarna redovisas, där allmän indata presenteras under kapitel 2. *Allmän indata*. De indata som endast berör en beräkningsdel presenteras i det aktuella kapitlet.

1.1 Förutsättningar

Det fiktiva projektet är placerat i Mölndal

Det fiktiva projektet består av ett flerbostadshus i fem våningar, där det finns fyra lägenheter på varje plan.

Framtagen data, se Bilaga 2, från Krister Larsson, som berör väggarnas reduktionstal, R_w , får endast användas till att ge en första indikator på hur de förhåller sig med varandra.

Ljudnivån i sändarrummet antas till maximalt ekvivalent ljudnivå, $L_1 = 55$ dB.

Efterklangstiden antas till ett lägre värde än det högst tillåtna i korridorer, $T = 0,5$ s.

Värsta dimensionerande fukthalten utomhus antas till 95 %.

Beräkningsmetoderna genomförs med hjälp av beskrivningar i:

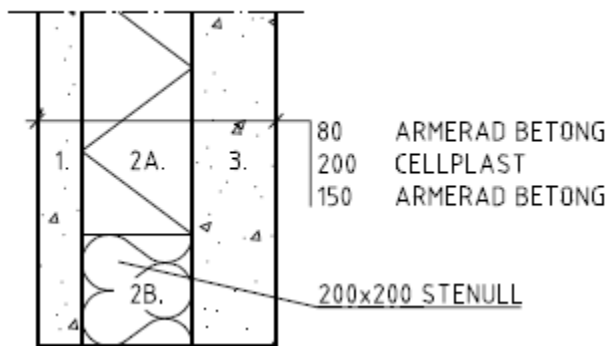
- Byggnadsakustik V3 (Kihlman, 1996)
- Brandteknik och läran om ljud (Berg, 2008)
- Fukthandbok praktik och teori (Nevander & Elmarsson, 2006)
- Isolerguiden 04 (Anderlind & Stadler, 2004)
- Svensk standard: SS-EN ISO 6946:2007
- Tillämpad byggnadsfysik (Petersson, 2009)

Indata har sammanställts från följande källor:

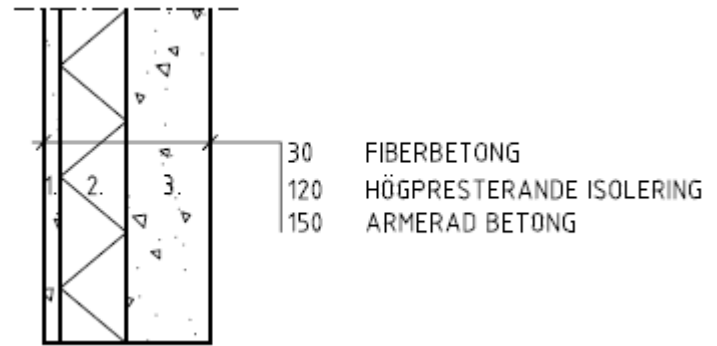
- Bilaga 2
- Bilaga 3
- BBR, BFS 2014:3
- Bärande konstruktioner Del 1 (Al-Emrani, et al., 2013)
- Fukthandbok praktik och teori (Nevander & Elmarsson, 2009)
- Isolerguiden 04 (Anderlind & Stadler, 2004)
- Kooltherm K3 Golvisolering (Kingspan, 2013)
- Tillämpad byggnadsfysik (Petersson, 2009)
- Questions and Answers about System NC for Non-Composite Concrete Sandwich Walls (Thermomass, 2011)

2 Allmän indata

I detta kapitel kommer den indata som används i flertalet beräkningar att presenteras. Väggarnas tvärsnitt framgår i Figur 2.1 och 2.2. I Tabell 2.1 redovisas de ingående materialens värmeledningsförmåga och densitet.



Figur 2.1 Tvärsnitt Standardväggen

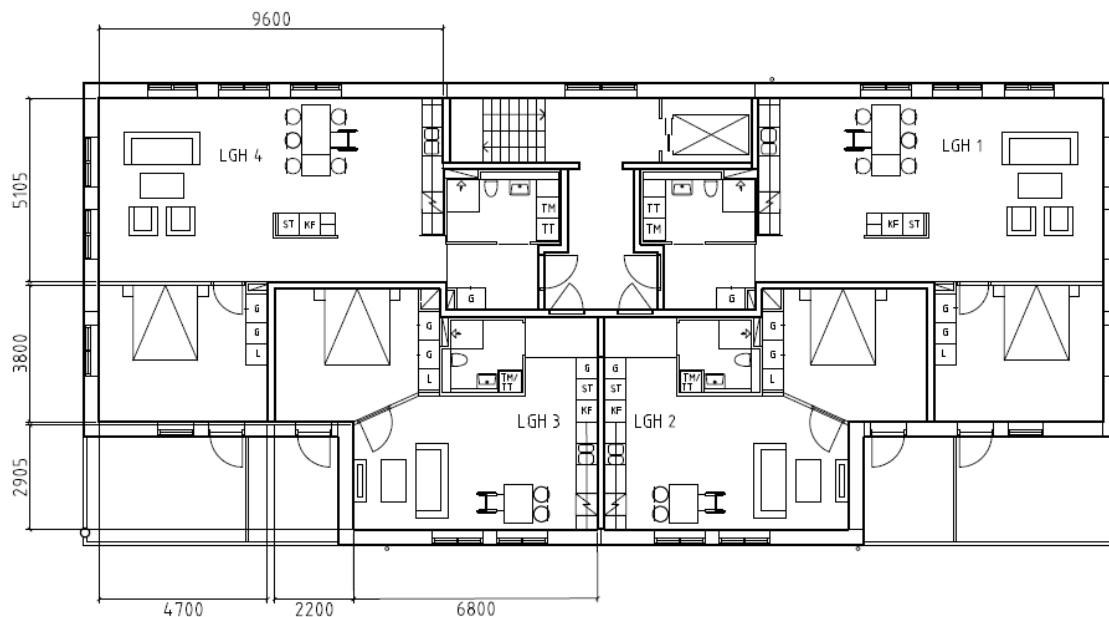


Figur 2.2 Tvärsnitt FBKB-väggen

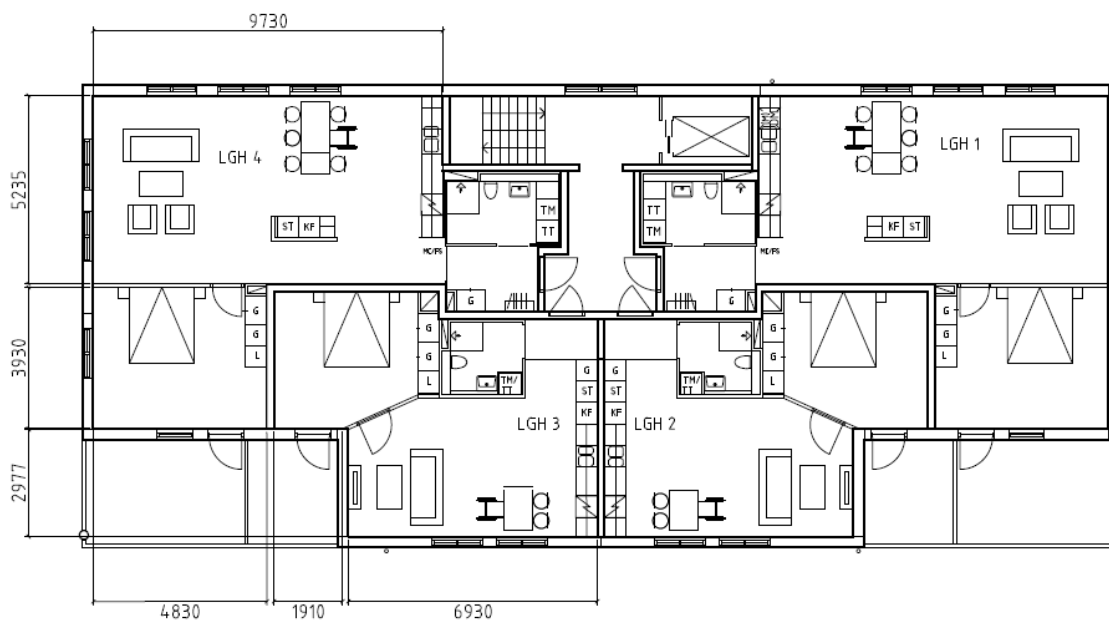
Tabell 2.1 Materialparametrar.

	$\lambda \left[\frac{W}{m^{\circ}C} \right]$	$m' \left[\frac{kg}{m^3} \right]$
EPS80	0,038	17
Paroc COS 10	0,035	65
Kooltherm	0,020	35
Betong	1,7	2500
Fiberbetong	1,7	2350

Det fiktiva projektet är ett flerbostadshus som består av 5 våningar varav 4 lägenheter på varje plan, se Figur 2.3 och 2.4. Elementen i projektet namnges till A, B, C, D, E, F och G. Mått på elementen samt på de eventuella uttagen presenteras i Tabell 2.2.



Figur 2.3 Planlösning våningsplan Standardvägg.



Figur 2.4 Planlösning våningsplan FBKB-vägg.

Tabell 2.2 Storlek på element samt eventuella uttag.

Element	Standard-vägg		FBKB-vägg		Antal element	Fönster		Antal element	Dörr		Antal element
	Mått [m]		Mått [m]			Mått [m]			Mått [m]		
	<i>b</i>	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>h</i>		<i>b</i>	<i>h</i>		<i>b</i>	<i>h</i>	
A	6,40	3,00	6,36	3,00	10	1,40	1,20	2			
B	3,50	3,00	3,50	3,00	10	1,40	1,20	1			
C	9,70	3,00	9,70	3,00	10	1,40	1,20	3			
D	8,60	3,00	8,86	3,00	5	2,00	1,20	1			
E	6,70	3,00	6,80	3,00	10	1,00	1,20	1	1,00	2,10	2
F	3,00	3,00	3,00	3,00	10						
G	7,30	3,00	7,30	3,00	10	1,40	1,20	2			

3 Beräkning av väggens egenvikt

I följande kapitel presenteras beräkningar av Standard- och FBKB-väggens egenvikt. I Tabell 3.1 presenteras egenvikten för Standardväggens element och motsvarande data för FBKB-väggen presenteras i Tabell 3.2.

Tabell 3.1 Egenvikt för Standardväggelement.

Väggelement	Vikt innan uttag [kg]	Fönsteruttag [kg]	Dörruttag [kg]	Vikt efter uttag [kg]	Total vikt [kg]
A	11036	1943		9092	90924
B	6073	972		5101	51015
C	16831	2915		13916	139163
D	14923	1388		13535	67673
E	11574	694	2429	8450	84504
F	5206			5206	52056
G	12719	1943		10776	107756
					= 593091
					~ 593 ton

Tabell 3.2 Egenvikt för FBKB-väggelement.

Väggelement	Vikt innan uttag [kg]	Fönsteruttag [kg]	Dörruttag [kg]	Vikt efter uttag [kg]	Total vikt [kg]
A	8580	1511		7069	70693
B	4722	755		3966	39664
C	13086	2266		10820	108198
D	11953	1368		10585	52925
E	9174	684	1889	6601	66011
F	4047			4047	40473
G	9848	1915		7933	79332
					= 457296
					~ 457 ton

4 Beräkning av akustik

I *Bastian* beräknas reduktionstalet för ytterväggarna som angränsar till sovrum, kök och vardagsrum. För att möjliggöra beräkningarna krävs indata till *Bastian*. De värden som avlästs ur diagrammen över reduktionstalskurvan i Bilaga 2 presenteras i Tabell 4.1. Från diagrammen har även resonanstalet, f_0 för väggarna framtagits. För Standardväggen är f_0 50,8 Hz och för FBKB-väggen 157,3 Hz.

Tabell 4.1 Reduktionstal vid specifik frekvens.

f [Hz]		50	63	80	100	125	160	200	250	315	400
R [dB]	Standard	32,7	32,5	32,0	31,4	30,1	30,1	31,8	34,5	38,2	41,6
	FBKB	37,7	37,3	35,5	34,5	34,5	34,5	33,2	39,9	40,9	42,7

f [Hz]		500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
R [dB]	Standard	44,5	47,3	50,9	53,2	56,4	59,8	62,7	65,5	68,4	71,8	74,5
	FBKB	45,0	48,2	51,8	55,5	58,2	61,8	64,5	67,7	70,5	74,1	76,4

Andra indata som krävs är rumsvolym i respektive rum samt den totala arean av ytterväggen sett inifrån, se Tabell 4.2 och 4.3.

Tabell 4.2 Volym i rum som angränsar mot yttervägg.

Lägenhet	Rum	V _{standardvägg} [m ³]	V _{FBFB-vägg} [m ³]
1 & 4	Kök/vardagsrum	118,14	122,799
	Sovrum	42,533	67,119
2 & 3	Kök/vardagsrum	64,059	45,225
	Sovrum	36,988	37,629

Tabell 4.3 Total ytterväggsarea.

Lägenhet	Rum	S _{standardvägg} [m ²]	S _{FBFB-vägg} [m ²]
1 & 4	Kök/vardagsrum	35,292	35,916
	Sovrum	9,120	9,432
2 & 3	Kök/vardagsrum	23,292	23,777
	Sovrum	5,280	4,584

Vid utförandet av beräkningar i *Bastian* användes fönster och dörrar av nedåttstående slag:

- Fönster från Elitfönster EFH-AFH-AL
- Balkongdörr med fönster Snidex SA-100-KDU

Resultat från *Bastian* presenteras i Bilaga 3. I Tabell 4.4 visas resultatet för det teoretiska reduktionstalet med avseende på trafikbuller för yttervägg i de olika rummen.

Tabell 4.4 Totala, teoretiska, trafikbullersreduktionstal, $R_{tr,s,w} + C_{tr,50-3150}$, i yttervägg.

Lgh	Rum	R _{tr,s,w} + C _{tr,50-3150} [dB]		
		Standardväggen	FBKB-väggen	FBKB-väggen*
1 & 4	Kök vardagsrum	39,6	40,9	40,8
	Sovrum	38,6	39,9	40,1
2 & 3	Kök vardagsrum	40,0	41,7	41,9
	Sovrum	38,2	37,8	38,1

* Med samma rumsvolym och ytterväggsarea som för Standardväggen.

Ljudisolering mellan två rum

$$L_2 = L_1 - R + 10 \log_{10} \frac{S}{A}$$

Sabines formel

$$T = 0,16 \frac{V}{A}$$

Resultatet av beräkningar för ljudnivån i mottagarrummet presenteras i Tabell 4.5 och har beräknats med $L_1 = 55$ dB samt $T = 0,5$ s enligt förutsättningarna.

Tabell 4.5 Ljudnivån i mottagarrummet.

Lgh	Rum	L ₂ [dB]		
		Standardväggen	FBKB-väggen	FBKB-väggen*
1 & 4	Kök vardagsrum	15,1	13,7	13,9
	Sovrum	14,7	13,2	13,2
2 & 3	Kök vardagsrum	15,6	13,7	13,7
	Sovrum	13,3	13,0	13,4

* Med samma rumsvolym och ytterväggsarea som för Standardväggen.

5 Beräkning av U-värde

Vid beräkningar av U-värde för väggarna har följande indata använts:

$\Delta\lambda_w$	0	W/m°C	p.g.a. isolering skyddad mot väta
ρ_A	0,751	m ² /m ²	
ρ_B	0,249	m ² /m ²	
α	6		
λ_f	60	W/m°C	armeringsstege
	1	W/m°C	nål i fiberkomposit
n_f	6		armeringsstege
	4		nål i fiberkomposit
A_f	0,00001963	m ²	armeringsstege
	0,00000177	m ²	nål i fiberkomposit
$\Delta U_{g,0}$	0	W/m ² °C	
R_1	5,263	m ² °C/W	EPS80
	6,000	m ² °C/W	Kooltherm K3
p	-	mm/dag	p.g.a. isolering skyddad mot väta
f_x	-	Wdag/m ² Kmm	p.g.a. isolering skyddad mot väta

Beräkningsvärde för värmeledningsförmåga

$$\lambda_{ber} = \lambda_{dekl} + \Delta\lambda_w$$

Mtrl i Standardväggen $\lambda_{ber} = \lambda_{dekl}$

Mtrl i FBKB-väggen $\lambda_{ber} = \lambda_{dekl}$

Beräkning för sammansatta materialsikt

U-värdesmetoden:

Värmemotstånd, med A som isoleringsmaterial

$$R_{TA} = R_{si} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_{2A}} + \frac{d_3}{\lambda_3} + R_{se}$$

Standardväggen $R_{TA} = 5,568 \text{ m}^2\text{°C/W}$

Värmemotstånd, med B som isoleringsmaterial

$$R_{TB} = R_{si} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_{2B}} + \frac{d_3}{\lambda_3} + R_{se}$$

Standardväggen $R_{TB} = 6,020 \text{ m}^2\text{°C/W}$

U-värde

$$U^U = p_A * \frac{1}{R_{TA}} + p_B * \frac{1}{R_{TB}}$$

Standardväggen $U^U = 0,176 \text{ W/m}^2\text{°C}$

Totalt värmemotstånd

$$R_T^U = \frac{1}{U^U}$$

Standardväggen $R_T^U = 5,674 \text{ m}^2\text{°C/W}$

λ-värdesmetoden:

Genomsnittligt värde för ett materialskikts värmeledningsförmåga

$$\lambda_2 = p_A * \lambda_{A2} + p_B * \lambda_{B2}$$

Standardväggen $\lambda_2 = 0,037 \text{ W/m}^2\text{°C}$

Totalt värmemotstånd

$$R_T^\lambda = R_{si} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + R_{se}$$

Standardväggen $R_T^\lambda = 5,674 \text{ m}^2\text{°C/W}$

Kombination av U- och λ-värdesmetoden:

Totalt värmemotstånd

$$R_T = \frac{R_T^\lambda + R_T^U}{2}$$

Standardväggen $R_T = 5,674 \text{ m}^2\text{°C/W}$

Beräkning för homogena materialskikt

Totalt värmemotstånd

$$R_T = R_{si} + \sum \frac{d_i}{\lambda_i} + R_{se}$$

FBKB-väggen $R_T = 6,276 \text{ m}^2\text{°C/W}$

Bilaga 1

U-värde

Konventionellt U-värde

$$U = \frac{1}{R_T}$$

Standardväggen	$U = 0,176 \text{ W/m}^2\text{°C}$
FBKB-väggen	$U = 0,159 \text{ W/m}^2\text{°C}$

Korrigerig för fästanordningar

$$\Delta U_f = \alpha * \lambda_f * n_f * A_f$$

Standardväggen	$\Delta U_f = 0,042 \text{ W/m}^2\text{°C}$
FBKB-väggen	$\Delta U_f = 0,000042 \text{ W/m}^2\text{°C}$

Korrigerig för luftfickor

$$\Delta U_g = \Delta U_{g,0} \left(\frac{R_1}{R_T} \right)^2$$

Standardväggen	$\Delta U_g = 0 \text{ W/m}^2\text{°C}$
FBKB-väggen	$\Delta U_g = 0 \text{ W/m}^2\text{°C}$

Korrigerig på grund av vatten som rinner mellan isoleringen och vattentäta membran

$$\Delta U_r = p * f_x * \left(\frac{R_1}{R_T} \right)^2$$

Standardväggen	$\Delta U_r = 0 \text{ W/m}^2\text{°C}$
FBKB-väggen	$\Delta U_r = 0 \text{ W/m}^2\text{°C}$

Korrigerat U-värde

$$U_{korr} = U + \Delta U_f + \Delta U_g + \Delta U_r$$

Standardväggen	$U_{korr} = 0,219 \text{ W/m}^2\text{°C}$
FBKB-väggen	$U_{korr} = 0,159 \text{ W/m}^2\text{°C}$

6 Beräkning av fukt

Vid beräkningar av fukthalt i väggen har följande indata använts:

G	250	g/h och lgh	
Antal lgh/våningsplan	4	lgh	
n	0,47	h ⁻¹	bör minst vara 0,35 l/sm ²
V _{vent, standardvägg}	554,05	[m ³]	(per våningsplan)
V _{vent, FBKB-vägg}	575,36	[m ³]	(per våningsplan)
T _e = DVUT ₂₀	-12,9	°C	
T _i	20	°C	
R _{si}	0,13	m ² °C/W	
R _{se}	0,04	m ² °C/W	
D _{luft}	25e-6	m ² /s	
μ _{K3}	35		
δ _{v,betong} (RÅ 93-97%)	2,00	10 ⁻⁶ m ² /s	
δ _{v,betong} (RÅ 13-33%)	0,12	10 ⁻⁶ m ² /s	
δ _{v,fiberbetong} (RÅ 13-32%)	0,12	10 ⁻⁶ m ² /s	
δ _{v,EPS80}	0,15	10 ⁻⁶ m ² /s	

Ånghaltsdifferensen i konstruktionen

$$\Delta v = \frac{G}{nV_{vent}}$$

Standardväggen	Δv = 3,840 g/m³
FBKB-väggen	Δv = 3,698 g/m³

Temperaturen på avståndet x in i konstruktionen

$$T_x = T + \frac{R_x}{R_{si} + \sum R_i + R_{se}} \cdot (T_i - T_e)$$

Mättnadstryck

$$p_s = a \left(b + \frac{T}{100} \right)^n$$

Bilaga 1

Parametrarna a, b och c är beroende av temperaturen, och skall därför ges värden som presenteras i Tabell 6.1.

Tabell 6.1 Värden på parametrarna a, b och c.

Temperatur	a	b	c
0<T<30°C	288.68	1.098	8.02
-20<T<0 °C	4.689	1.486	12.3

Mättnadsånghalt

$$v_s = \frac{p_s}{46.4(T + 273.2)}$$

Ångpermeabilitet

$$\delta_v = \frac{D}{\mu}$$

Ånggenomgångsmotstånd

$$Z_v = \frac{d}{\delta_v}$$

Ånghalten på avståndet x meter in i konstruktionen

$$v_x = v + \frac{Z_x}{\sum Z_i} \Delta v$$

Relativ ånghalt

$$R\ddot{A} = \frac{v_x}{v_s}$$

Resultaten för de olika skikten i standardvägg presenteras i Tabell 6.2 och för FBKB-väggen i Tabell 6.3.

Tabell 6.2 Resultat av fuktberäkningar för Standardvägg.

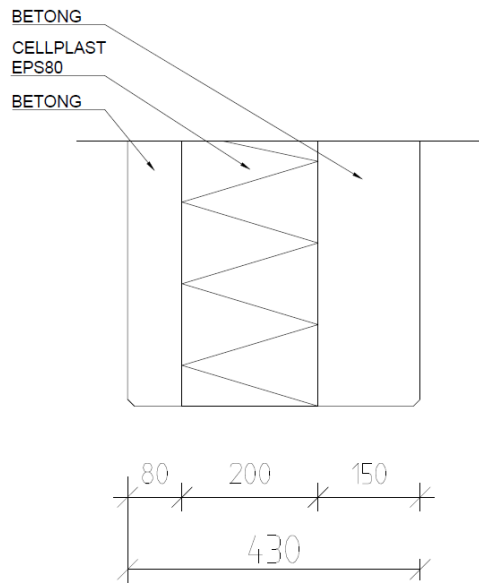
Mtrl	d	λ	R	T	p_s	v_s	δ_v	Z_v	v_x	RA
	m	W/m°C	m ² °C/W	°C	Pa	g/m ³	10 ⁻⁶ m ² /s	s/m	g/m ³	%
				-12,9	200,4	1,668			1,585	95
Ute			0,040							
			0,047	-12,7	204,7	1,703			1,585	93
Btg	0,08	1,700					1,825	43836		
			5,263	-12,4	209,9	1,744			1,748	100
EPS80	0,20	0,038					1,15	173913		
			0,088	18,7	2158,3	16,024			2,398	15
Btg	0,15	1,700					1,825	810811		
			0,130	19,2	2229,5	16,524			5,425	33
Inne										
				20,0	2338,2	17,284			5,425	31

Tabell 6.3 Resultat av fuktberäkningar för FBKB-vägg.

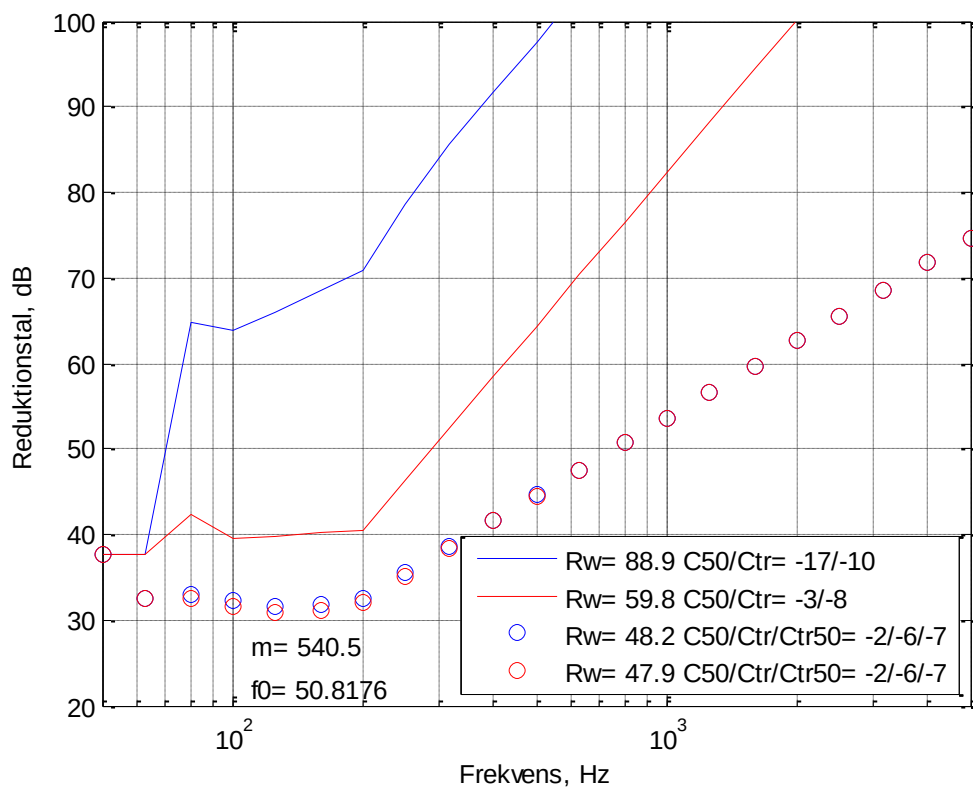
Mtrl	d	λ	R	T	p_s	v_s	μ	δ_v	Z_v	v_x	RA
	m	W/m°C	m ² °C/W	°C	Pa	g/m ³		10 ⁻⁶ m ² /s	s/m	g/m ³	%
				-12,9	200,4	1,668				1,585	95
Ute			0,040								
			0,018	-12,7	204,2	1,699				1,585	93
Btg	0,03	1,700						1,825	16438		
			6,000	-12,6	205,9	1,713				1,646	96
K3	0,12	0,020					35	0,7143	168000		
			0,088	18,9	2177,9	16,162				2,270	14
F.btg	0,15	1,700						1,825	810811		
			0,130	19,3	2241,5	16,608				5,283	32
Inne											
				20,0	2338,2	17,284				5,283	31

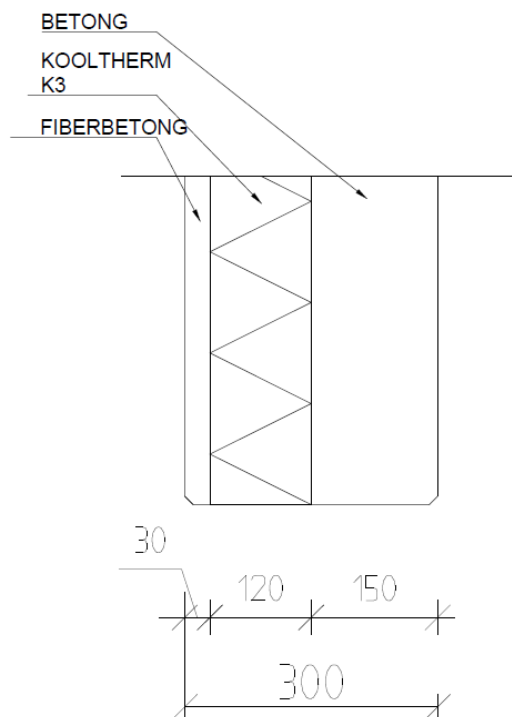
Bilaga 2

**Reduktionstalskurva för Standard-
och FBKB-väggen**

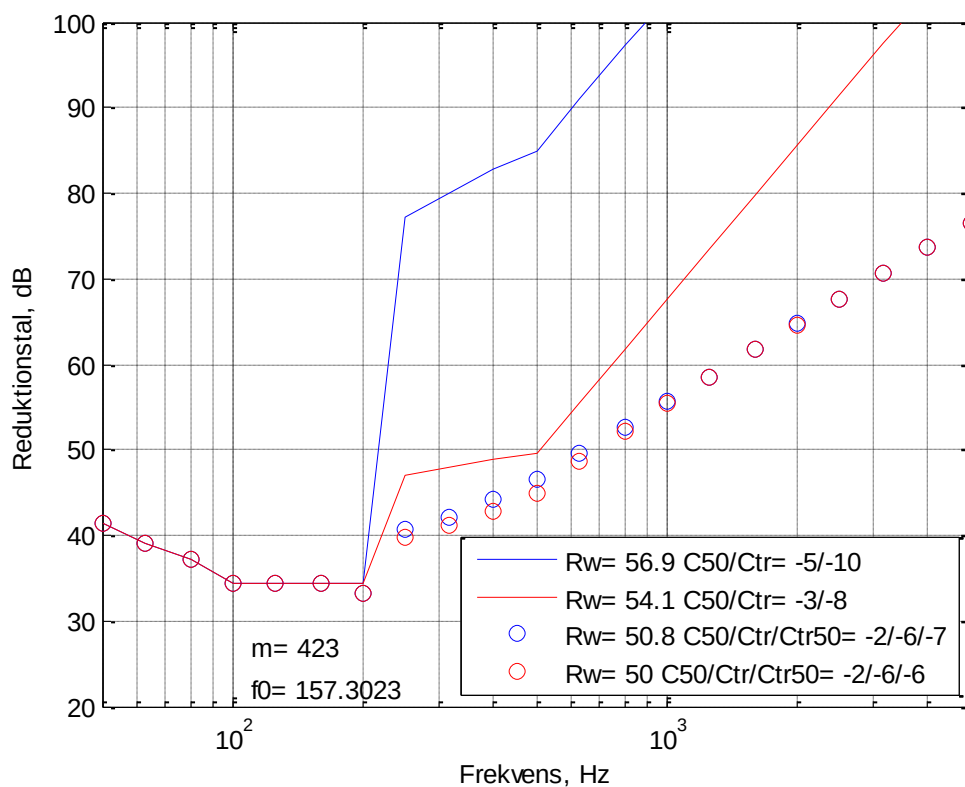
Standardväggen, beräknad som dubbelvägg.

Beräknad som ideal vägg, 4.2 x 2,6 m. Utan hänsyn till absorption i utrymmet mellan betonglagren ger R_w (C50,Ctr) 88,9 (-17,-10) och 59,8 (-3,-8) med absorption. Här används (0,075 som värde för kantabsorption i beräkningarna). Transmission via eventuella regler sänker resultaten. Dubbelväggsresonansen hamnar i detta fall på 50,8 Hz.



FBKB-väggen beräknad som dubbelvägg.

Beräknad som ideal vägg, 4,2 x 2,6 m. Utan hänsyn till absorption i utrymmet mellan betonglagren ger R_w (C50,Ctr) 56,9 (-5,-10) och 54,1 (-3,-8) med absorption. Här används (0,075 som värde för kantabsorption i beräkningarna). Transmission via eventuella regler sänker resultaten. Dubbelväggsresonansen hamnar i detta fall på 157 Hz.



Bilaga 3

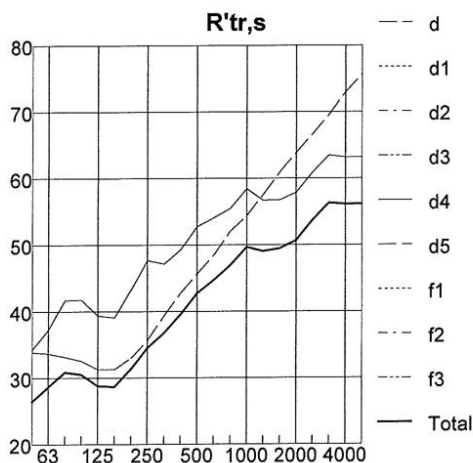
**Beräkning av det totala, teoretiska,
trafikbullersreduktionstalet i
Standard- och FBKB-väggen**

BASTIAN® - standardvägg_kök/vardagsrum_lgh1och4 [DM]

Kalkylblad-Tabell

M	t	Mottagar rum		Knutpunkt	R'tr,s,w + Ctr,50-3150	
		Stomme/byggnadsdel	Tilläggskonstruktion		dB	%
X	d	STANDARDVAGG			41.7	55
X	d1	Elit 19 EFH-AFH-AL [4-16-4-16-4/0,76/2] (#858)			49.6	9
X	d2	Elit 19 EFH-AFH-AL [4-16-4-16-4/0,76/2] (#858)			49.6	9
X	d3	Elit 19 EFH-AFH-AL [4-16-4-16-4/0,76/2] (#858)			49.6	9
X	d4	Elit 19 EFH-AFH-AL [4-16-4-16-4/0,76/2] (#858)			49.6	9
X	d5	Elit 19 EFH-AFH-AL [4-16-4-16-4/0,76/2] (#858)			49.6	9
X	f1			2		
X	f2			2		
X	f3			2		
X	f4			2		
			Total:		38.8	100

Resultat - diagram



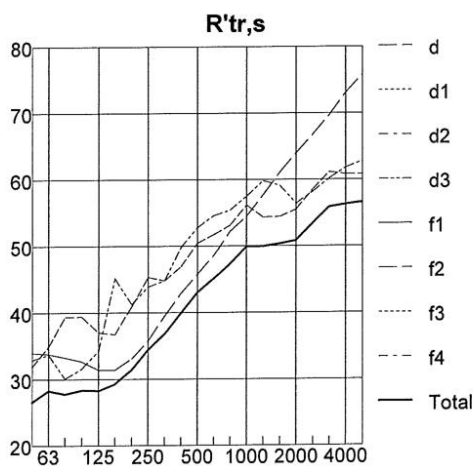
$R'tr,s,w = 45$
 $R'tr,s,w + C = 44$
 $R'tr,s,w + Ctr = 40$
 $R'tr,s,w + C_{100-5000} = 45$
 $R'tr,s,w + Ctr,100-5000 = 40$
 $R'tr,s,w + C_{50-5000} = 45$
 $R'tr,s,w + Ctr,50-5000 = 39$
 $R'tr,s,w + C_{50-3150} = 44$
 $R'tr,s,w + Ctr,50-3150 = 39$

BASTIAN® - standardvägg_sov_lgh1och4 [DM]

Kalkylblad-Tabell

M	t	Mottagarrum		Knutpunkt	R'tr,s,w + Ctr,50-3150	
		Stomme/byggnadsdel	Tilläggskonstruktion		Typ-Nr.	
X	d	STANDARDVAGG				41.8 50
X	d1	Elit 19 EFH-AFH-AL [4-16-4-16-4/0,76/2] (#858)				47.2 14
X	d2	Elit 19 EFH-AFH-AL [4-16-4-16-4/0,76/2] (#858)				47.2 14
X	d3	Snidex 08 SA-100-KDU Door Rw44 wood/aluminum sound-sashes				45.6 21
X	f1			2		
X	f2			2		
X	f3			2		
X	f4			2		
			Total:			39.1 100

Resultat - diagram



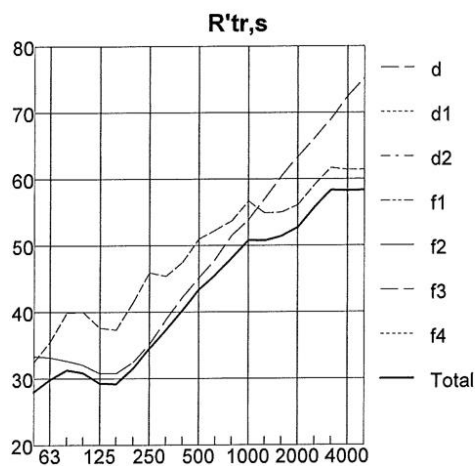
$R'_{tr,s,w} = 46$
 $R'_{tr,s,w} + C = 44$
 $R'_{tr,s,w} + C_{tr} = 40$
 $R'_{tr,s,w} + C_{100-5000} = 45$
 $R'_{tr,s,w} + C_{tr,100-5000} = 40$
 $R'_{tr,s,w} + C_{50-5000} = 45$
 $R'_{tr,s,w} + C_{tr,50-5000} = 39$
 $R'_{tr,s,w} + C_{50-3150} = 44$
 $R'_{tr,s,w} + C_{tr,50-3150} = 39$

BASTIAN® - Standardvägg_kökvardagsrum_lgh2och3 [DM]

Kalkylblad-Tabell

M	t	Mottagarrum		Knutpunkt Typ-Nr.	R'tr,s,w + Ctr,50-3150	
		Stomme/byggnadsdel	Tilläggskonstruktion		dB	%
X	d	STANDARDVAGG			41.1	70
X	d1	Elit 19 EFH-AFH-AL [4-16-4-16-4/0,76/2] (#858)			47.8	15
X	d2	Elit 19 EFH-AFH-AL [4-16-4-16-4/0,76/2] (#858)			47.8	15
X	f1			2		
X	f2			2		
X	f3			2		
X	f4			2		
		Total:			39.5	100

Resultat - diagram



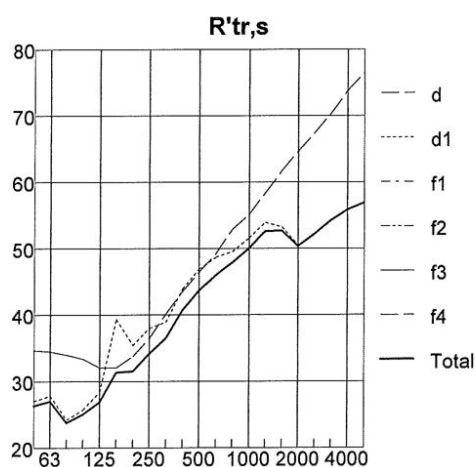
$R'_{tr,s,w} = 46$
 $R'_{tr,s,w} + C = 44$
 $R'_{tr,s,w} + Ctr = 40$
 $R'_{tr,s,w} + C_{100-5000} = 45$
 $R'_{tr,s,w} + Ctr_{100-5000} = 40$
 $R'_{tr,s,w} + C_{50-5000} = 45$
 $R'_{tr,s,w} + Ctr_{50-5000} = 40$
 $R'_{tr,s,w} + C_{50-3150} = 44$
 $R'_{tr,s,w} + Ctr_{50-3150} = 40$

BASTIAN® - standardvägg_sov_lgh2och3 [DM]

Kalkylblad-Tabell

M	t	Mottagarrum		Knutpunkt Typ-Nr.	R'tr,s,w + Ctr,50-3150	
		Stomme/byggnadsdel	Tilläggskonstruktion		dB	%
X	d	STANDARDVAGG			42.5	34
X	d1	Snidex 08 SA-100-KDU Door Rw44 wood/aluminum sound-sashes			39.7	66
X	f1			2		
X	f2			2		
X	f3			2		
X	f4			2		
		Total:			38.2	100

Resultat - diagram



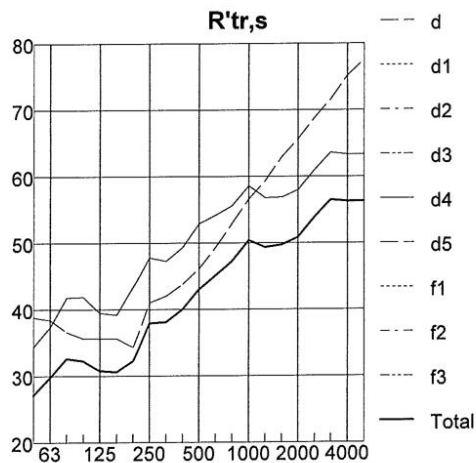
R'tr,s,w = 46
R'tr,s,w + C = 44
R'tr,s,w + Ctr = 39
R'tr,s,w + C100-5000 = 45
R'tr,s,w + Ctr,100-5000 = 39
R'tr,s,w + C50-5000 = 45
R'tr,s,w + Ctr,50-5000 = 38
R'tr,s,w + C50-3150 = 44
R'tr,s,w + Ctr,50-3150 = 38

BASTIAN® - FBKB-vägg_kök/vardagsrum_lgh1och4 [DM]

Kalkylblad-Tabell

M	t	Mottagarum		Knutpunkt Typ-Nr.	R'tr,s,w + Ctr,50-3150	
		Stomme/byggnadsdel	Tilläggskonstruktion		dB	%
X	d	FBKB-VAGG			45.1	37
X	d1	Elit 19 EFH-AFH-AL [4-16-4-16-4/0,76/2] (#858)			49.7	13
X	d2	Elit 19 EFH-AFH-AL [4-16-4-16-4/0,76/2] (#858)			49.7	13
X	d3	Elit 19 EFH-AFH-AL [4-16-4-16-4/0,76/2] (#858)			49.7	13
X	d4	Elit 19 EFH-AFH-AL [4-16-4-16-4/0,76/2] (#858)			49.7	13
X	d5	Elit 19 EFH-AFH-AL [4-16-4-16-4/0,76/2] (#858)			49.7	13
X	f1			2		
X	f2			2		
X	f3			2		
X	f4			2		
			Total:		40.9	100

Resultat - diagram



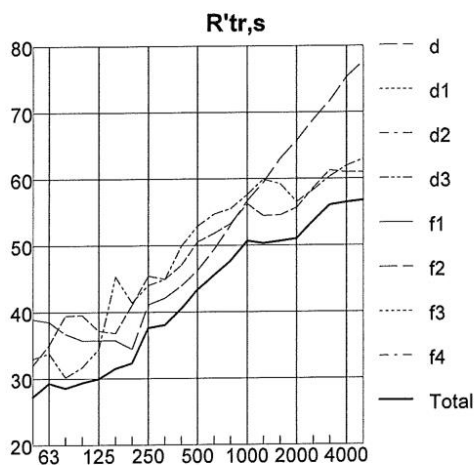
$R'_{tr,s,w} = 46$
 $R'_{tr,s,w} + C = 45$
 $R'_{tr,s,w} + C_{tr} = 41$
 $R'_{tr,s,w} + C_{100-5000} = 46$
 $R'_{tr,s,w} + C_{tr,100-5000} = 41$
 $R'_{tr,s,w} + C_{50-5000} = 46$
 $R'_{tr,s,w} + C_{tr,50-5000} = 41$
 $R'_{tr,s,w} + C_{50-3150} = 45$
 $R'_{tr,s,w} + C_{tr,50-3150} = 41$

BASTIAN® - FBKB-vägg_sov_lgh1och4 [DM]

Kalkylblad-Tabell

M	t	Mottagarrum		Knutpunkt Typ-Nr.	R'tr,s,w + Ctr,50-3150	
		Stomme/byggnadsdel	Tilläggskonstruktion		dB	%
X	d	FBKB-VAGG			45.2	32
X	d1	Elit 19 EFH-AFH-AL [4-16-4-16-4/0,76/2] (#858)			47.4	19
X	d2	Elit 19 EFH-AFH-AL [4-16-4-16-4/0,76/2] (#858)			47.4	19
X	d3	Snidex 08 SA-100-KDU Door Rw44 wood/aluminum sound-sashes			45.7	29
X	f1			2		
X	f2			2		
X	f3			2		
X	f4			2		
			Total:		40.2	100

Resultat - diagram



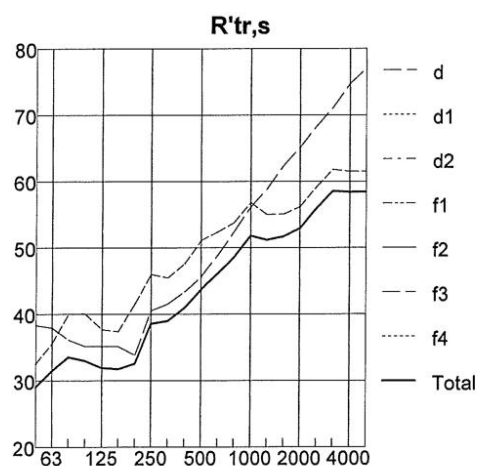
$R'_{tr,s,w} = 47$
 $R'_{tr,s,w} + C = 45$
 $R'_{tr,s,w} + C_{tr} = 41$
 $R'_{tr,s,w} + C_{100-5000} = 46$
 $R'_{tr,s,w} + C_{tr,100-5000} = 41$
 $R'_{tr,s,w} + C_{50-5000} = 46$
 $R'_{tr,s,w} + C_{tr,50-5000} = 40$
 $R'_{tr,s,w} + C_{50-3150} = 45$
 $R'_{tr,s,w} + C_{tr,50-3150} = 40$

BASTIAN® - FBKB-vägg_kök/vardagsrum_lgh2och3 [DM]

Kalkylblad-Tabell

M	t	Mottagarrum		Knutpunkt Typ-Nr.	R'tr,s,w + Ctr,50-3150	
		Stomme/byggnadsdel	Tilläggskonstruktion		dB	%
X	d	FBKB-VAGG			44.6	52
X	d1	Elit 19 EFH-AFH-AL [4-16-4-16-4/0,76/2] (#858)			47.9	24
X	d2	Elit 19 EFH-AFH-AL [4-16-4-16-4/0,76/2] (#858)			47.9	24
X	f1			2		
X	f2			2		
X	f3			2		
X	f4			2		
		Total:			42.0	100

Resultat - diagram



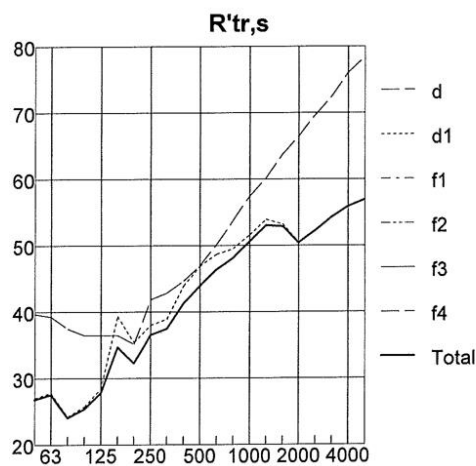
$R'_{tr,s,w} = 48$
 $R'_{tr,s,w} + C = 46$
 $R'_{tr,s,w} + C_{tr} = 42$
 $R'_{tr,s,w} + C_{100-5000} = 47$
 $R'_{tr,s,w} + C_{tr,100-5000} = 42$
 $R'_{tr,s,w} + C_{50-5000} = 47$
 $R'_{tr,s,w} + C_{tr,50-5000} = 42$
 $R'_{tr,s,w} + C_{50-3150} = 46$
 $R'_{tr,s,w} + C_{tr,50-3150} = 42$

BASTIAN® - FBKBvägg_sov_lgh2och3 [DM]

Kalkylblad-Tabell

M	t	Mottagarrum		Knutpunkt Typ-Nr.	R'tr,s,w + Ctr,50-3150	
		Stomme/byggnadsdel	Tilläggskonstruktion		dB	%
X	d	FBKB-VAGG			46.0	19
X	d1	Snidex 08 SA-100-KDU Door Rw44 wood/aluminum sound-sashes			39.7	81
X	f1			2		
X	f2			2		
X	f3			2		
X	f4			2		
		Total:			38.1	100

Resultat - diagram



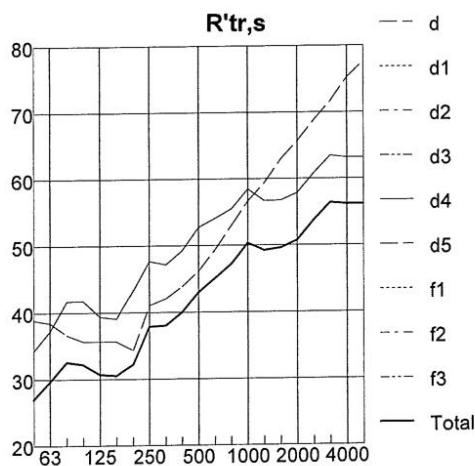
$R'tr,s,w = 47$
 $R'tr,s,w + C = 45$
 $R'tr,s,w + Ctr = 40$
 $R'tr,s,w + C100-5000 = 46$
 $R'tr,s,w + Ctr,100-5000 = 40$
 $R'tr,s,w + C50-5000 = 46$
 $R'tr,s,w + Ctr,50-5000 = 39$
 $R'tr,s,w + C50-3150 = 45$
 $R'tr,s,w + Ctr,50-3150 = 39$

BASTIAN® - FBKBvägg2_kök/vardagsrum_lgh1och4 [DM]

Kalkylblad-Tabell

M	t	Mottagarrum		Knutpunkt	R'tr,s,w + Ctr,50-3150	
		Stomme/byggnadsdel	Tilläggskonstruktion		dB	%
X	d	FBKB-VAGG			45.2	36
X	d1	Eilit 19 EFH-AFH-AL [4-16-4-16-4/0,76/2] (#858)			49.6	13
X	d2	Eilit 19 EFH-AFH-AL [4-16-4-16-4/0,76/2] (#858)			49.6	13
X	d3	Eilit 19 EFH-AFH-AL [4-16-4-16-4/0,76/2] (#858)			49.6	13
X	d4	Eilit 19 EFH-AFH-AL [4-16-4-16-4/0,76/2] (#858)			49.6	13
X	d5	Eilit 19 EFH-AFH-AL [4-16-4-16-4/0,76/2] (#858)			49.6	13
X	f1			2		
X	f2			2		
X	f3			2		
X	f4			2		
		Total:			40.8	100

Resultat - diagram



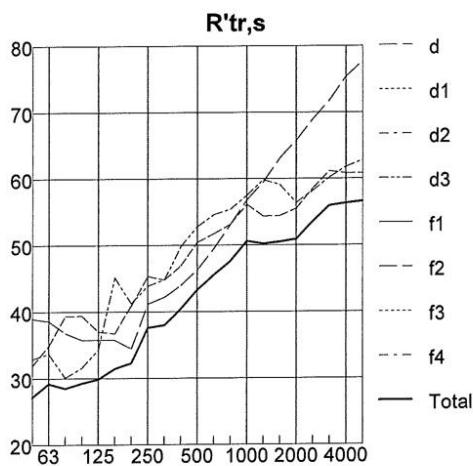
$R'_{tr,s,w} = 46$
 $R'_{tr,s,w} + C = 45$
 $R'_{tr,s,w} + C_{tr} = 41$
 $R'_{tr,s,w} + C_{100-5000} = 46$
 $R'_{tr,s,w} + C_{tr,100-5000} = 41$
 $R'_{tr,s,w} + C_{50-5000} = 46$
 $R'_{tr,s,w} + C_{tr,50-5000} = 40$
 $R'_{tr,s,w} + C_{50-3150} = 45$
 $R'_{tr,s,w} + C_{tr,50-3150} = 41$

BASTIAN® - FBKBvägg2_sov_lgh1och4 [DM]

Kalkylblad-Tabell

M	t	Mottagarrum		Knutpunkt	R'tr,s,w + Ctr,50-3150	
		Stomme/byggnadsdel	Tilläggskonstruktion		Typ-Nr.	
X	d	FBKB-VAGG				
X	d1	Elit 19 EFH-AFH-AL [4-16-4-16-4/0,76/2] (#858)				
X	d2	Elit 19 EFH-AFH-AL [4-16-4-16-4/0,76/2] (#858)				
X	d3	Snidex 08 SA-100-KDU Door Rw44 wood/aluminum sound-sashes				
X	f1			2		
X	f2			2		
X	f3			2		
X	f4			2		
		Total:				

Resultat - diagram



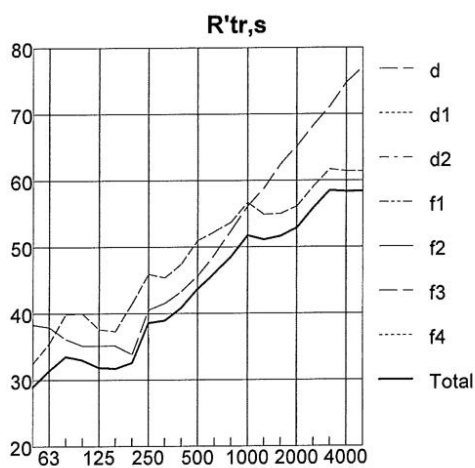
$R'tr,s,w = 47$
 $R'tr,s,w + C = 45$
 $R'tr,s,w + Ctr = 41$
 $R'tr,s,w + C100-5000 = 46$
 $R'tr,s,w + Ctr,100-5000 = 41$
 $R'tr,s,w + C50-5000 = 46$
 $R'tr,s,w + Ctr,50-5000 = 40$
 $R'tr,s,w + C50-3150 = 45$
 $R'tr,s,w + Ctr,50-3150 = 40$

BASTIAN® - FBKBvägg2_kök/vardagsrum_lgh2och3 [DM]

Kalkylblad-Tabell

M	t	Mottagarrum		Knutpunkt Typ-Nr.	R'tr,s,w + Ctr,50-3150	
		Stomme/byggnadsdel	Tilläggskonstruktion		dB	%
X	d	FBKB-VAGG			44.7	51
X	d1	Eilit 19 EFH-AFH-AL [4-16-4-16-4/0,76/2] (#858)			47.8	25
X	d2	Eilit 19 EFH-AFH-AL [4-16-4-16-4/0,76/2] (#858)			47.8	25
X	f1			2		
X	f2			2		
X	f3			2		
X	f4			2		
			Total:		41.9	100

Resultat - diagram



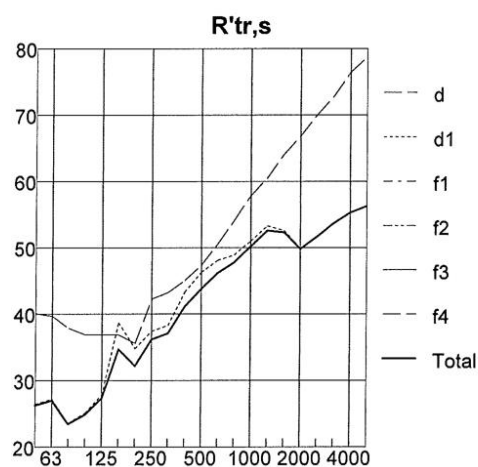
$R'_{tr,s,w} = 47$
 $R'_{tr,s,w} + C = 46$
 $R'_{tr,s,w} + Ctr = 42$
 $R'_{tr,s,w} + C_{100-5000} = 47$
 $R'_{tr,s,w} + Ctr,100-5000 = 42$
 $R'_{tr,s,w} + C_{50-5000} = 47$
 $R'_{tr,s,w} + Ctr,50-5000 = 42$
 $R'_{tr,s,w} + C_{50-3150} = 46$
 $R'_{tr,s,w} + Ctr,50-3150 = 42$

BASTIAN® - FBKB-vägg2_sov_lgh2och3 [DM]

Kalkylblad-Tabell

Mottagarrum			Knutpunkt Typ-Nr.	R'tr,s,w + Ctr,50-3150	
M	t	Stomme/byggnadsdel		dB	%
X	d	FBKB-VAGG		46.4	16
X	d1	Snidex 08 SA-100-KDU Door Rw44 wood/aluminum sound-sashes		39.1	84
X	f1		2		
X	f2		2		
X	f3		2		
X	f4		2		
Total:				37.8	100

Resultat - diagram



$R'tr,s,w = 46$
 $R'tr,s,w + C = 45$
 $R'tr,s,w + Ctr = 40$
 $R'tr,s,w + C_{100-5000} = 46$
 $R'tr,s,w + Ctr,100-5000 = 40$
 $R'tr,s,w + C_{50-5000} = 45$
 $R'tr,s,w + Ctr,50-5000 = 38$
 $R'tr,s,w + C_{50-3150} = 44$
 $R'tr,s,w + Ctr,50-3150 = 38$

Bilaga 4

**Lastkombinationer för
transportering av Standard- och
FBKB-väggen**



Projekt: Standardvägg

Lassnr: a (10 st)

Element	Längd	Vikt	Resultat:
A	6,36	9,092	28,91
G	7,33	10,776	39,49
F	3	5,206	7,81
2:a Stativ			
	Längd	Vikt	
Total:	16,690	25,07	76,22
Bil		22,91	1,09
Trailer		23,66	0,34
Bil+Trailer		46,57	3,43
Massmedelpunkt		3,04	

Lassnr: b (10 st)

Element	Längd	Vikt	Resultat:
C	9,7	13,916	67,49
B	3,5	5,101	8,93
2:a Stativ			
	Längd	Vikt	
Total:	13,200	19,02	76,42
Bil		18,49	5,51
Trailer		22,02	1,98
Bil+Trailer		40,52	9,48
Massmedelpunkt		4,02	

Lassnr: c (5 st)

Element	Längd	Vikt	Resultat:
D	8,6	13,535	58,20
E*	6,67	8,45	28,18
2:a Stativ			
	Längd	Vikt	
Total:	15,270	21,99	86,38
Bil		19,55	4,45
Trailer		23,93	0,07
Bil+Trailer		43,49	6,52
Massmedelpunkt		3,93	

*element finns med vid fyra av fem transporttillfällen

Lassnr: d (3 st)

Element	Längd	Vikt	Resultat:
E	6,67	8,45	28,18
E	6,67	8,45	28,18
2:a Stativ			
	Längd	Vikt	
Total:	13,340	16,90	56,36
Bil		19,16	4,84
Trailer		19,24	4,76
Bil+Trailer		38,40	11,60
Massmedelpunkt		3,34	



Projekt: FBKB-vägg

Lassnr: e (10 st)

Element	Längd	Vikt	Resultat:
C	9,7	10,82	52,48
F	3	4,047	6,07
A	6,36	7,069	22,48
2:a Stativ			
Längd			Vikt
Total:			81,03
Bil		20,11	3,89
Trailer		23,33	0,67
Bil+Trailer		43,44	6,56
Massmedelpunkt		3,69	

Lassnr: f (5 st)

Element	Längd	Vikt	Resultat:
D	8,86	10,558	46,77
B	3,5	3,966	6,94
E	6,8	6,601	22,44
2:a Stativ			
Längd			Vikt
Total:			76,16
Bil		20,05	3,95
Trailer		22,57	1,43
Bil+Trailer		42,63	7,38
Massmedelpunkt		3,61	

Lassnr: g (5 st)

Element	Längd	Vikt	Resultat:
G	7,3	7,933	28,96
G	7,3	7,933	28,96
E	6,8	6,601	22,44
2:a Stativ			
Längd			Vikt
Total:			80,35
Bil		20,56	3,44
Trailer		23,40	0,60
Bil+Trailer		43,97	6,03
Massmedelpunkt		3,58	

Lassnr: h (1 st)

Element	Längd	Vikt	Resultat:
B	3,5	3,966	6,94
B	3,5	3,966	6,94
B	3,5	3,966	6,94
B	3,5	3,966	6,94
2:a Stativ			
Längd			Vikt
Total:			27,76
Bil		21,55	2,45
Trailer		15,81	8,19
Bil+Trailer		37,36	12,64
Massmedelpunkt		1,75	

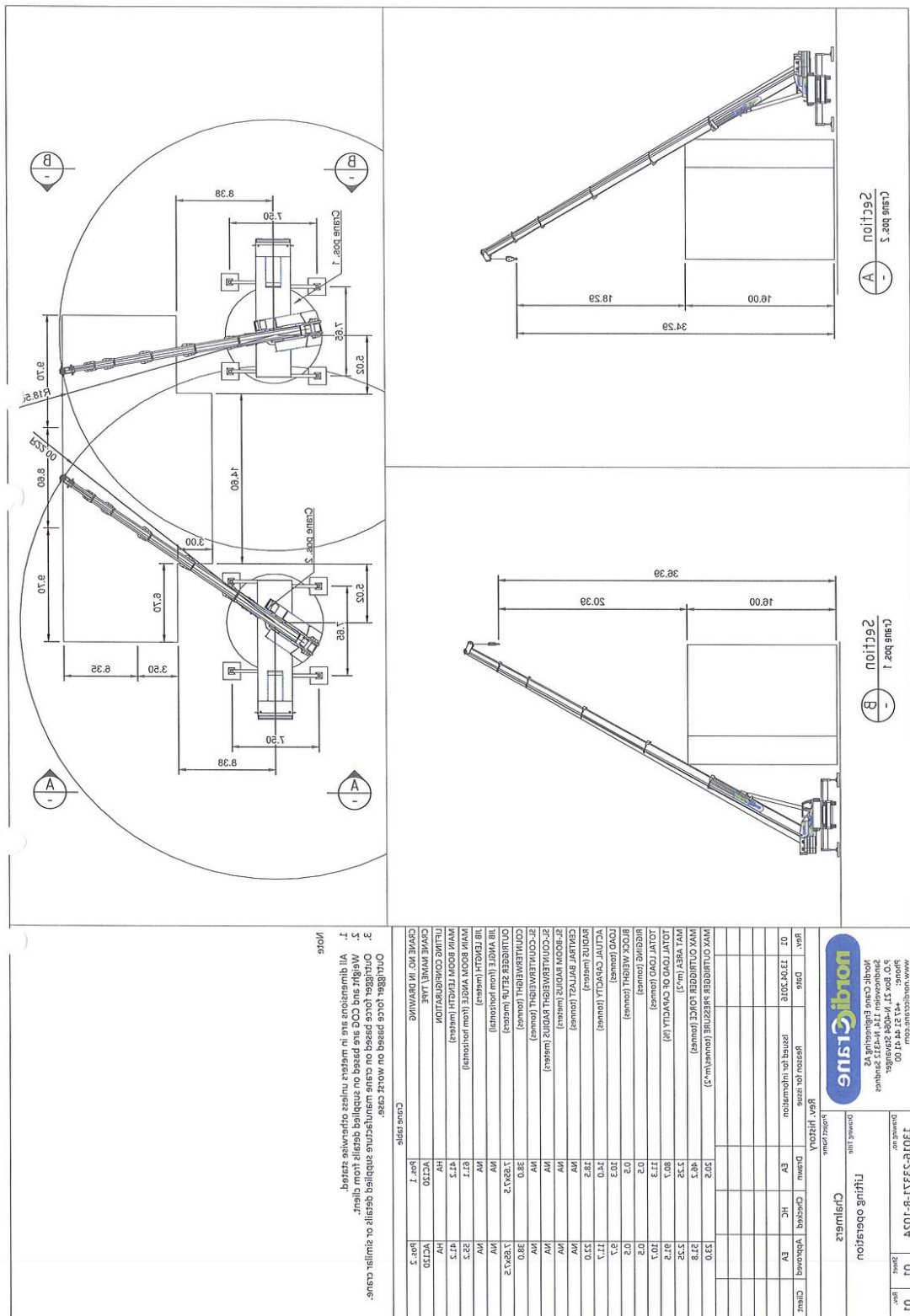
Bilaga 4

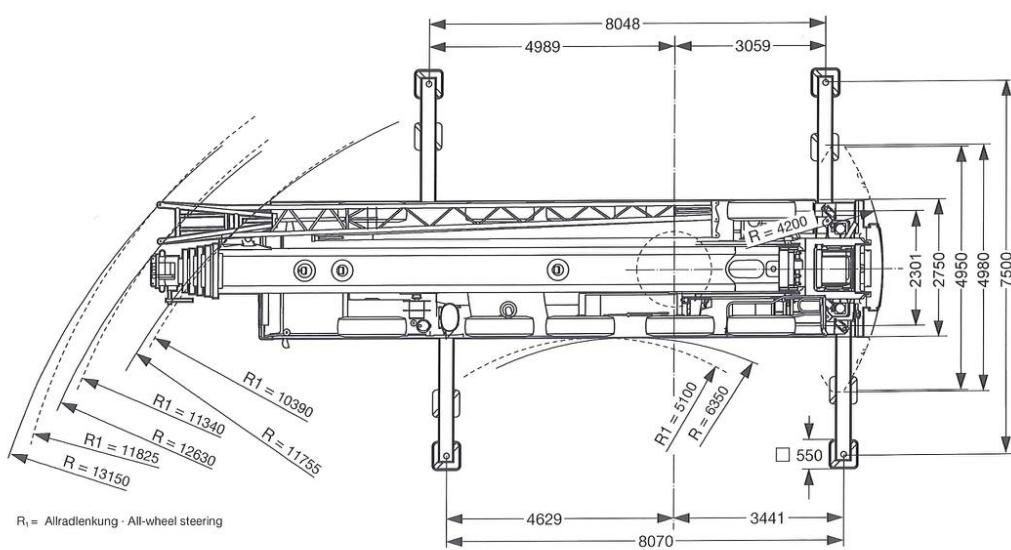
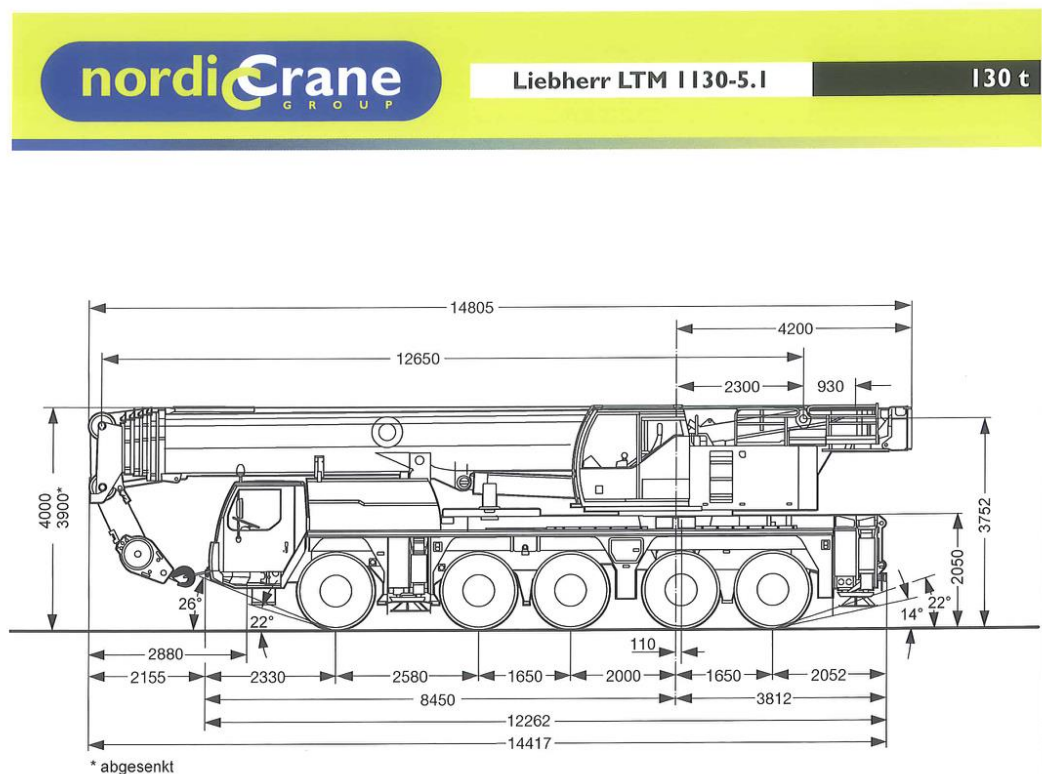
Lassnr: i (1 st)

Element	Längd	Vikt	Resultat:
B	3,5	3,966	6,94
2:a Stativ	Längd	Vikt	
Total:	3,500	3,97	6,94
Bil		15,21	8,79
Trailer		10,25	13,75
Bil+Trailer		25,47	24,53
Massmedelpunkt		1,75	

Bilaga 5

Val av monteringskran



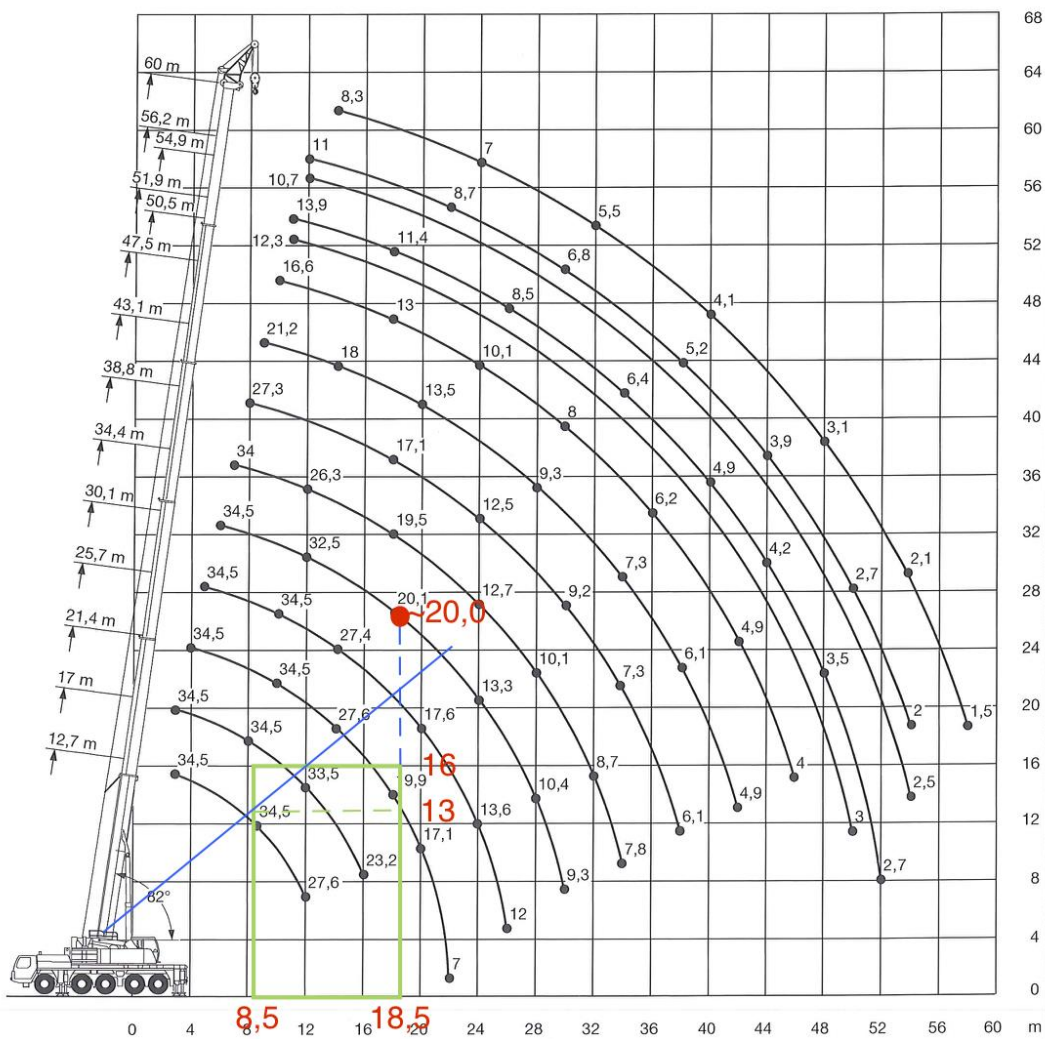


Dimensions in meters, weights and capacities in metric tonnes. For reference only.

www.NordicCraneGroup.com

Version 05-2010

mobile cranes



Dimensions in meters, weights and capacities in metric tonnes. For reference only.

7

www.NordicCraneGroup.com

nordicCrane
GROUP

Liebherr LTM 1130-5.1

130 t

mobile cranes

lattice boom cranes

crawler cranes

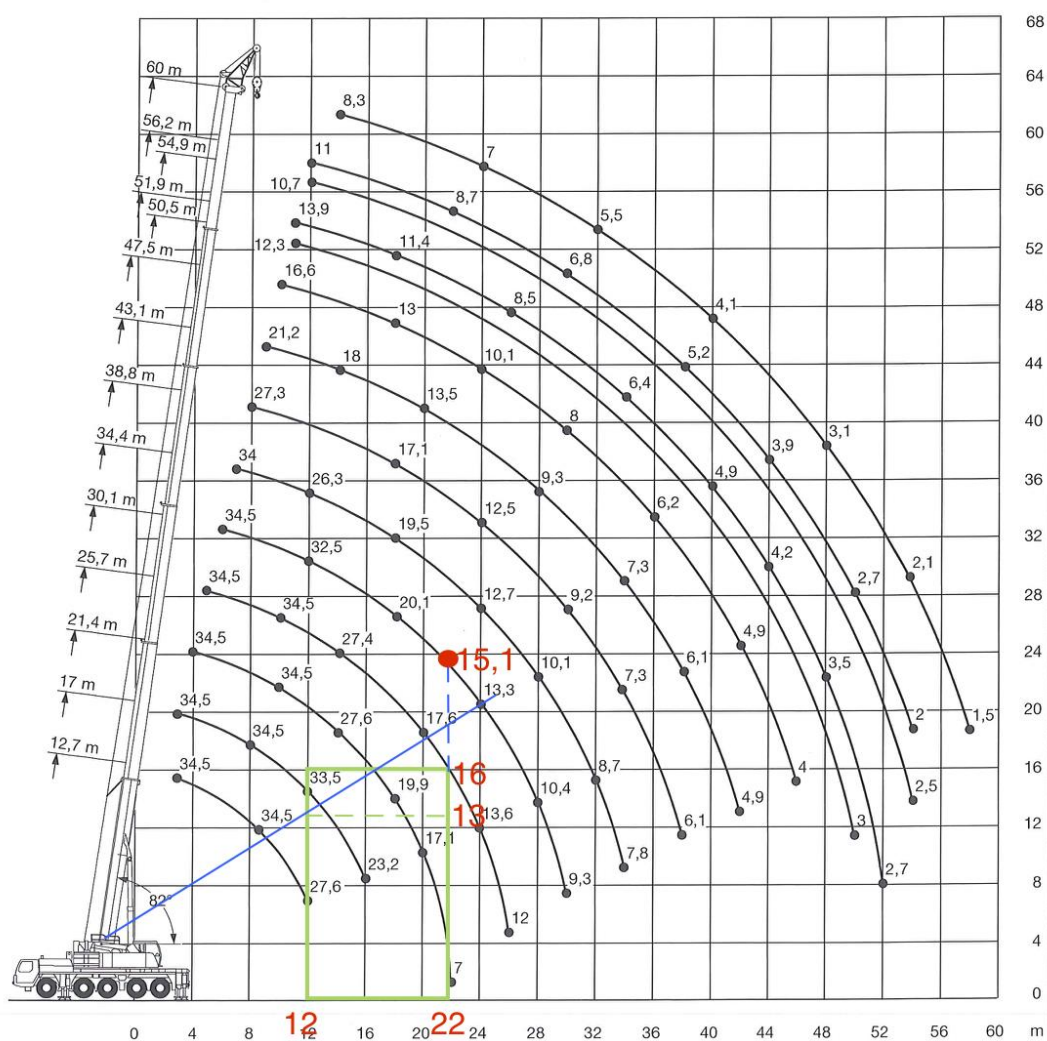
special cranes

crane trucks

trucks and trailers

special equipment

other services



Dimensions in meters, weights and capacities in metric tonnes. For reference only.

7

www.NordicCraneGroup.com

Version 05-2010

130 t

Liebherr LTM 1130-5.1





m	12,7	17	21,4	25,7	30,1	34,4	38,8	43,1	47,5	50,5	51,9	54,9	56,2	60	m
3,5	34,5	34,5													3,5
4	34,5	34,5	34,5												4
4,5	34,5	34,5	34,5												4,5
5	34,5	34,5	34,5	34,5											5
6	34,5	34,5	34,5	34,5	34,5										6
7	34,5	34,5	34,5	34,5	34,5	34									7
8	34,5	34,5	34,5	34,5	34,5	32,5	27,3								8
9	34,5	34,5	34,5	34,5	34,5	31,5	26,5	21,2							9
10	32,5	34,5	34,5	34,5	34,5	29,7	25,7	20,8	16,6						10
11	30,5	34,5	34,5	34,5	34,5	27,8	24,8	20,2	16,3	12,3	13,9				11
12	27,6	33,5	33,5	33	32,5	26,3	23,6	19,6	15,9	12	13,7	10,7	11		12
14		27,6	27,6	27,4	26,8	24,5	21	18	15,2	11,2	13,1	10,5	10,9	8,3	14
16		23,2	23,3	23	22,5	22,7	19,1	16,3	14,1	10,4	12,3	10	10,4	8,3	16
18,5			19,9	19,6	20,1	19,5	17,1	14,9	13	9,7	11,4	9,4	9,9	8,1	18
20			17,1	17,6	17,3	16,8	15,6	13,5	12	9	10,6	8,8	9,3	7,8	20
22			7	15,4	15,1	14,6	14	12,4	11	8,3	9,9	8,3	8,7	7,4	22
24				13,6	13,3	12,7	12,5	11,4	10,1	7,6	9,2	7,7	8,2	7	24
26				12	11,7	11,2	11,5	10,5	9,4	7,1	8,5	7,2	7,7	6,7	26
28					10,4	10,1	10,3	9,3	8,6	6,5	7,9	6,7	7,2	6,3	28
30					9,3	9,6	9,2	8,6	8	6	7,4	6,3	6,8	5,9	30
32						8,7	8,2	7,7	7,3	5,6	6,8	5,8	6,3	5,5	32
34						7,8	7,3	7,3	6,5	5,2	6,4	5,5	5,9	5,2	34
36							6,6	6,7	6,2	4,8	5,9	5,1	5,5	4,8	36
38							6,1	6,1	5,7	4,4	5,2	4,8	5,2	4,4	38
40								5,5	5,4	4,1	4,9	4,5	4,8	4,1	40
42								4,9	4,9	3,8	4,6	4,2	4,3	3,8	42
44									4,4	3,6	4,2	3,9	3,9	3,5	44
46									4	3,4	3,8	3,7	3,5	3,3	46
48										3,2	3,5	3,5	3,1	3,1	48
50										3	3,1	3,1	2,7	2,7	50
52											2,7	2,8	2,3	2,4	52
54												2,5	2	2,1	54
56														1,8	56
58														1,5	58

nordicCrane
GROUP

Demag AC 120-I

120 t

mobile cranes

lattice boom cranes

crawler cranes

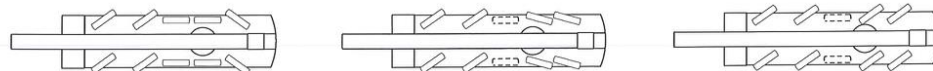
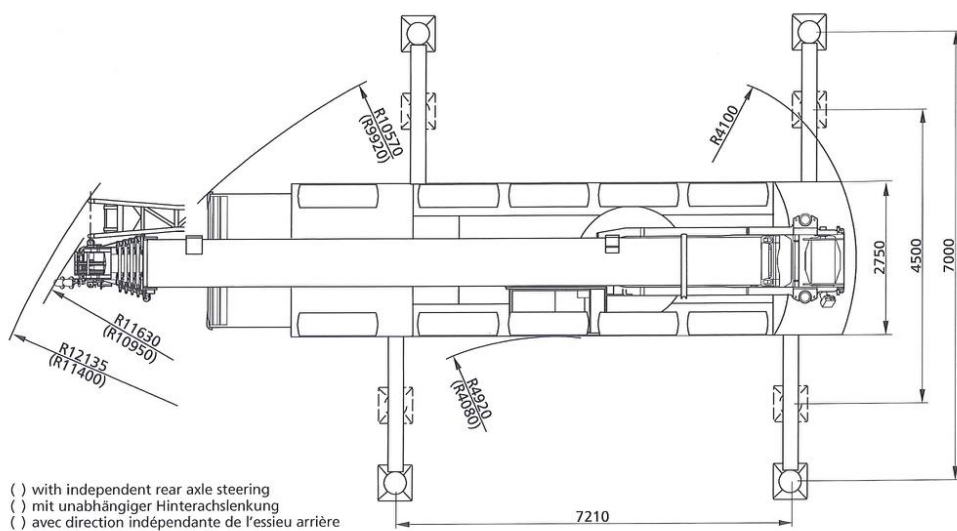
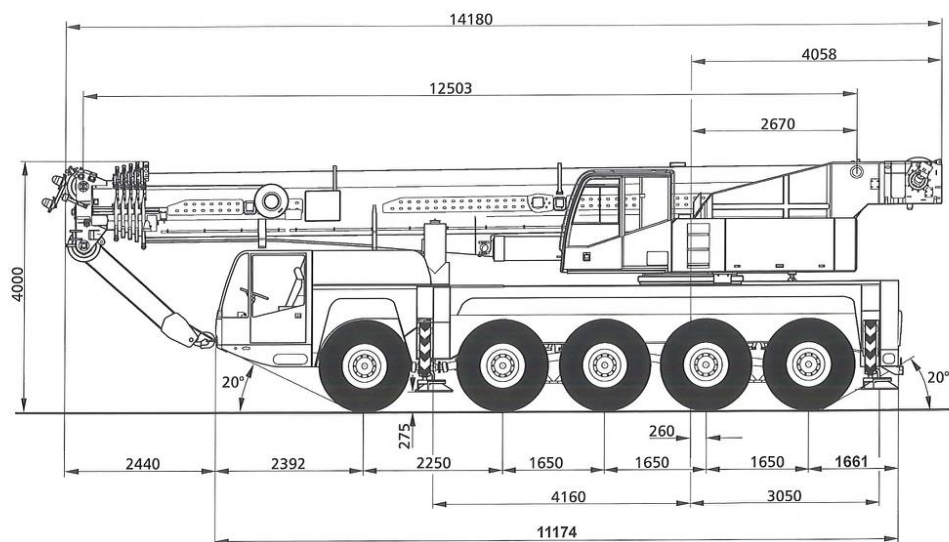
special cranes

crane trucks

trucks and trailers

special equipment

other services

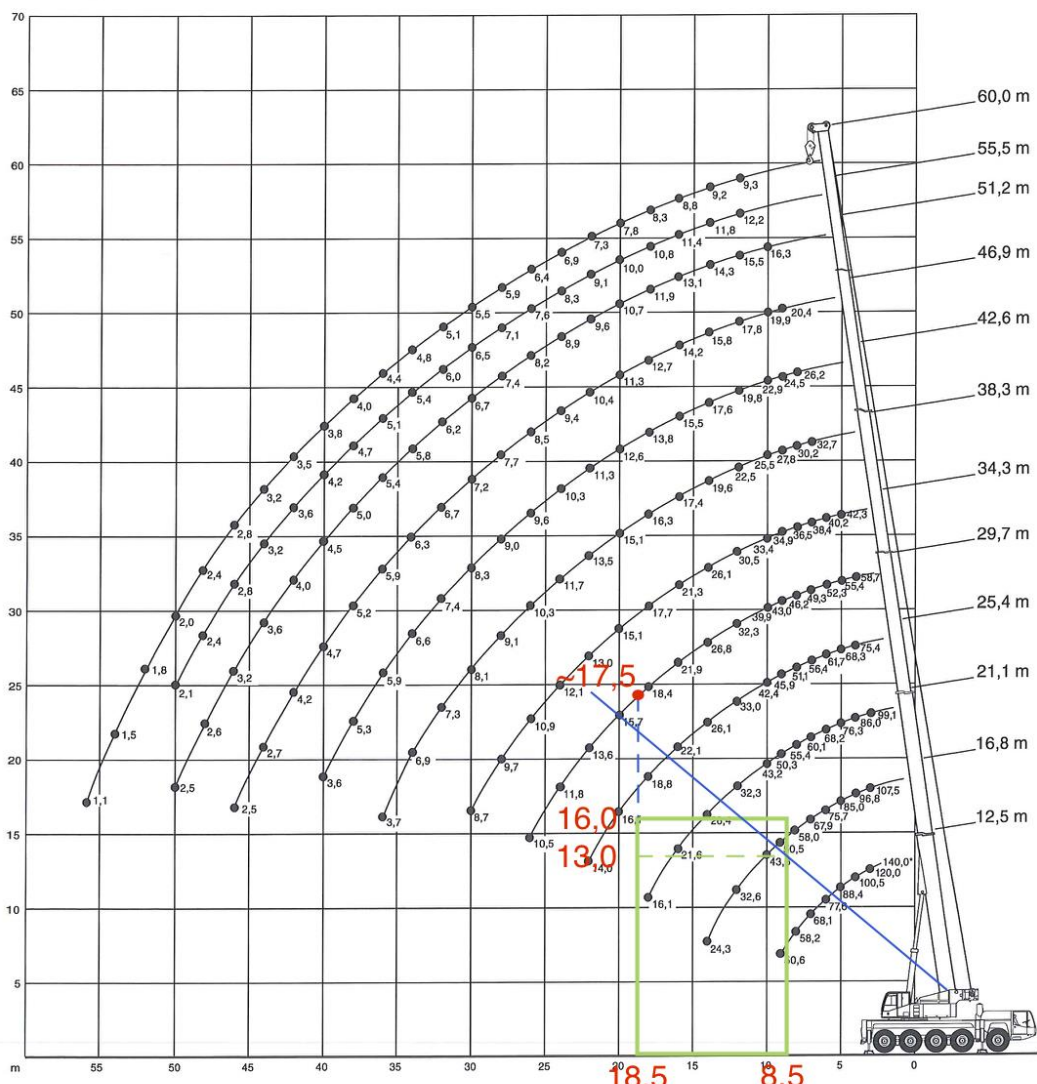


Dimensions in meters, weights and capacities in metric tonnes. For reference only.

www.NordicCraneGroup.com

120 t

Demag AC 120-I

nordicCrane
GROUP

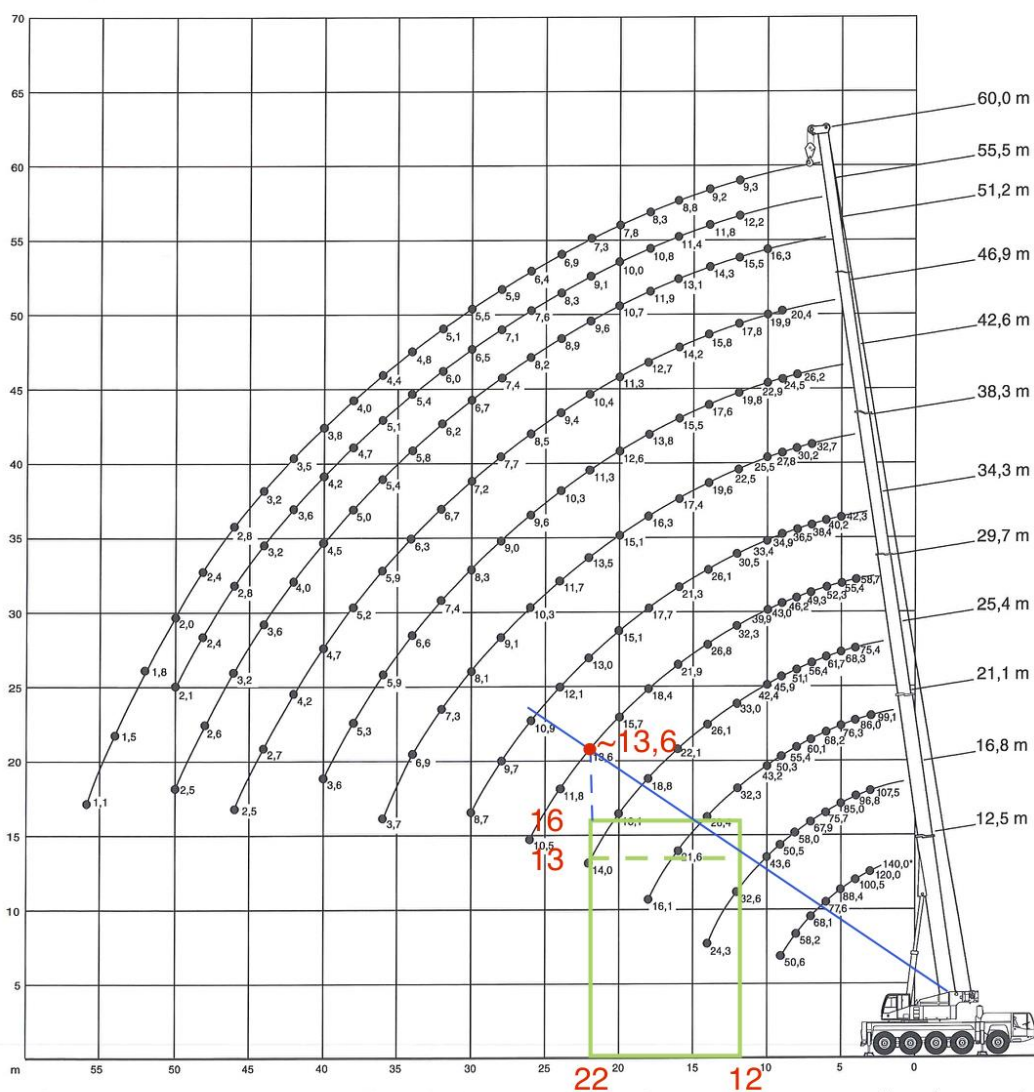
2

Dimensions in meters, weights and capacities in metric tonnes. For reference only.

www.NordicCraneGroup.com

120 t

Demag AC 120-I

nordicCrane
GROUP

2

Dimensions in meters, weights and capacities in metric tonnes. For reference only.

www.NordicCraneGroup.com

nordicCrane GROUP													Demag AC 120-I		120 t		mobile cranes
														lattice boom cranes			
12,5-60m		40,4t		7,21x7m		360°		75%						crawler cranes			
m	12,5	16,8	21,1	25,4	29,7	34,3	38,3	42,6	46,9	51,2	55,5	60	m	special cranes			
2,5	140*												2,5	crane trucks			
3	120	107,5	99,1										3				
3,5	108	101,5	92,5										3,5				
4	100,5	96,8	86	75,4	58,7								4				
4,5	94,2	90,5	81,1	71,8	57								4,5				
5	88,4	85	76,3	68,3	55,4	42,3							5	special cranes			
6	77,6	75,7	68,2	61,7	52,3	40,2							6				
7	68,1	67,9	60,1	56,4	49,3	38,4	32,7						7				
8	58,2	58	55,4	51,1	46,2	36,5	30,2	26,2					8				
9	50,6	50,5	50,3	45,9	43	34,9	27,8	24,5	20,4				9				
10		43,6	43,2	42,4	39,9	33,4	25,5	22,9	19,9	16,3			10	special cranes			
12		32,6	32,3	33	32,3	30,5	22,5	19,8	17,8	15,5	12,2	9,3	12				
14		24,3	26,4	26,1	26,8	26,1	19,6	17,6	15,8	14,3	11,8	9,2	14				
16			21,6	22,1	21,9	21,3	17,4	15,5	14,2	13,1	11,4	8,8	16				
18			16,1	18,8	19,5	17,7	16,3	13,8	12,7	11,9	10,8	8,3	18				
20				16,1	15,7	15,1	15,1	12,6	11,3	10,7	10	7,8	20	special cranes			
22				14	13,6	13	13,5	11,3	10,4	9,6	9,1	7,3	22				
24					11,8	12,1	11,7	10,3	9,4	8,9	8,3	6,9	24				
26					10,5	10,9	10,3	9,6	8,5	8,2	7,6	6,4	26				
28						9,7	9,1	9	7,7	7,4	7,1	5,9	28				
30						8,7	8,1	8,3	7,2	6,7	6,5	5,5	30	special cranes			
32							7,3	7,4	6,7	6,2	6	5,1	32				
34							6,9	6,6	6,3	5,8	5,4	4,8	34				
36							3,7	5,9	5,9	5,4	5,1	4,4	36				
38								5,3	5,2	5	4,7	4	38				
40								3,6	4,7	4,5	4,2	3,8	40	special cranes			
42									4,2	4	3,6	3,5	42				
44									2,7	3,6	3,2	3,2	44				
46									2,5	3,2	2,8	2,8	46				
48										2,6	2,4	2,4	48				
50										2,5	2,1	2	50	special cranes			
52												1,8	52				
54												1,5	54				
56												1,1	56				
*with special equipment																	
Dimensions in meters, weights and capacities in metric tonnes. For reference only.														3	other services		
www.NordicCraneGroup.com																	