

Bärande murverk i flerbostadshus

Folke Höst



Rapport TVBK-5115
Lund 2002

Lunds Tekniska Högskola
Avdelningen för Konstruktionsteknik
Box 118
221 00 Lund

Lund University
Division of Structural Engineering
Box 118
S-221 00 Lund
Sweden

Bärande murverk i flerbostadshus

Structural masonry in multi-residential housing

Folke Höst

Rapport TVBK-5115
ISSN 0349-4969
ISRN: LUTVDG/TVBK 02/5115 122p

Examensarbete
Handledare: Tomas Gustavsson, Avdelningen för Konstruktionsteknik, LTH
Juni 2002

Förord

Detta examensarbete omfattande 20 poäng har utförts på Avdelningen för Konstruktionsteknik vid Lunds Tekniska Högskola.

Eftersom jag utöver ren konstruktionsteknik även har ett stort intresse för arkitektur föll det sig naturligt att göra ett examensarbete som behandlar båda ämnesområdena samt samspelet dem emellan. Under arbetets gång har jag fått stor hjälp och inspiration av min handledare Tekn. lic. Tomas Gustavsson, Avdelningen för Konstruktionsteknik, LTH. Stort tack riktas även till Jan Ekblad, HSB Ystad, som låtit mig använda kvarteret Östman 3 i Ystad som utgångspunkt för undersökningarna. Dessutom vill jag tacka arkitekten bakom HSB's flerbostadshus i kvarteret Östman, ark. SAR Marie Ericsson, Marie Ericsson Arkitektkontor AB, som bidragit med värdefulla synpunkter.

Lund, juni 2002

Folke Höst

Sammanfattning

Detta examensarbete studerar möjligheterna att använda bärande murverk i modernt byggande med avseende på statisk bärförmåga, byggnadsfysikaliska aspekter, byggkostnader och akustik. Undersökningen görs genom att med utgångspunkt från en befintlig byggnad projektera tre byggnader med olika stommar men med samma huvudsakliga utformning. Dessa byggnader jämförs sedan med varandra, samt med den befintliga byggnaden, med avseende på ämnesområdena ovan. Ytterväggarna i de olika stomalternativen utgörs av kanalmurar av tegel, massivmurar av lättbetong samt kombinationsmurar av tegel och Leca.

Med avseende på statisk bärförmåga ter sig samtliga alternativ som mycket gångbara, samtidigt som de ger olika möjligheter och begränsningar till konstruktiv utformning. Även med avseende på byggnadsfysikaliska aspekter ter sig samtliga alternativ som mycket ändamålsenliga. De uppskattade byggkostnaderna för de olika stomalternativen inklusive den ursprungliga byggnaden skiljer sig relativt lite från varandra.

Den bärande murverksstommens påverkan på det arkitektoniska uttrycket studeras också. De olika stomalternativen ger olika möjligheter till utformning av byggnaden. Gemensamt för bärande murverk i allmänhet är dock en enkelhet i detaljer som bidrar till att underlätta förståelsen av stommens verkningssätt.

Vid en sammanvägd bedömning med avseende på de ovan nämnda ämnesområdena ter sig bärande murverk som fullt gångbart i modernt byggande, dock under förutsättning att byggnadernas utformning sker med stommaterialet i åtanke.

Abstract

This Masters thesis examines the possibilities of using structural masonry in modern building with respect to statical load bearing capacity, building physics, building costs and acoustics. The examination is done by designing three buildings using an existing building as a model. These buildings are then compared to each other and to the existing building with respect to the areas of interest mentioned above. The outer walls in the different building alternatives are constituted of brick canal walls, massive lightweight concrete walls and combination walls of bricks and Leca.

With respect to statical load bearing capacity all of the building alternatives seem to be very suitable, with different possibilities and limitations for constructive design associated with the different alternatives. Also with respect to building physics all of the building alternatives seem very suitable. The estimated building costs of the different building alternatives, the existing building included, differ relatively little from each other.

The influence of load bearing masonry on the architectonic expression is also studied. The different alternatives mean different possibilities for designing the building. Structural masonry in common implies a simplicity in details which contributes to making the mode of operation of the structure easily understandable.

In a summary judgement with respect to the areas of interest mentioned above structural masonry appears to be fully negotiable in modern building, however under the condition that the buildings' design are made with the structural material in consideration.

Innehållsförteckning

1.	INLEDNING	1
1.1.	SYFTE.....	1
1.2.	METOD.....	1
1.3.	BAKGRUND	2
1.4.	FÖRUTSÄTTNINGAR.....	3
2.	STATISK BÄRFÖRMÅGA.....	9
2.1.	LASTER	9
2.2.	LASTNEDRÄKNING	13
2.3.	BÄRFÖRMÅGA MED HÄNSYN TILL VERTIKALLASTKAPACITET	21
2.4.	RESULTAT AV STATISK DIMENSIONERING.....	45
2.5.	DIMENSIONERING AV BALKAR ÖVER ÖPPNINGAR	48
2.6.	DIMENSIONERING AV MURKRAMLOR	52
3.	BYGGNADSFYSIK.....	53
3.1.	FUKT.....	53
3.2.	VÄRME.....	60
3.3.	LUFTTÄTHET	62
3.4.	AKUSTIK	62
4.	EKONOMI	65
4.1.	GENOMGÅNG AV BERÄKNINGSFÖRFARANDE.....	65
4.2.	RESULTAT	67
4.3.	KOMMENTARER TILL VAL OCH ANTAGANDEN	68
5.	ARKITEKTUR.....	71
5.1.	ARKITEKTONISKA ASPEKTER VID VAL AV STOMSYSTEM	71
5.2.	KONSEKVENSER AV DE OLIKA STOMALTERNATIVEN	72
5.3.	DE OLIKA MATERIALENS STARKA OCH SVAGA SIDOR	74
6.	SAMMANFATTANDE DISKUSSION.....	75
6.1.	ÄR BÄRANDE MURVERK ETT HÅLLBART ALTERNATIV I MODERNT BYGGANDE?	75
6.2.	HÄR SYFTENA MED EXAMENSARBETET UPPNÅTTS?.....	77
6.3.	FRAMTIDA UNDERSÖKNINGAR	78
7.	REFERENSER.....	79
I	BILAGA	BERÄKNING AV STATISK BÄRFÖRMÅGA I TABELLFORM
II	BILAGA	BERÄKNING AV VÄRMEISOLERINGSFÖRMÅGA
III	BILAGA	BYGGKOSTNADSBERÄKNINGAR
IV	BILAGA	RITNINGAR

1. Inledning

1.1. Syfte

Examensarbetet har tre huvudsakliga syften:

- Studera möjligheterna för att bygga med bärande murverk med avseende på statisk bärförmåga, byggnadsfysikaliska aspekter, byggkostnader och akustik.
- Ge en inblick i arbetsmetodikerna vid en realistisk projektering av en byggnad.
- Undersöka hur en stomme av bärande murverk kan påverka det arkitektoniska uttrycket.

1.2. Metod

Syftena ovan skall uppnås genom att projekteringar av tre likartade flerbostadshus med olika typer av murverksstommar utföres parallellt.

Genom att undersökningen fokuserar på flera olika typer av murverksstommar kommer relevanta jämförelser mellan de olika stomsystemen att kunna göras. Jämförelserna kommer att göras inom samtliga ovan nämnda intresseområden. Dessutom sker jämförelser med en befintlig byggnad med stomme av platsgjuten betong. Målet med jämförelserna är att uppfylla det första av syftena med examensarbetet.

Vid lösandet av varje enskilt problem finns konsekvenserna för samtliga intresseområden hela tiden i åtanke. En helhetssyn på byggnaden tillämpas under arbetets gång. Genom att detta arbetssätt tillämpas skall det andra av examensarbetets syften uppnås.

Det tredje syftet skall uppnås genom att konsekvenserna för byggnadens fysiska utformning till följd av stomval analyseras och diskuteras. Den arkitektoniska analysen sker i samarbete med Marie Ericsson som driver Marie Ericsson Arkitektkontor AB och är arkitekten bakom den verkliga byggnad som utgör underlag för undersökningen.

1.3. Bakgrund

För några år sedan kunde man se ett ökat intresse för byggande med bärande murverk, vilket lett till att fler byggnader uppförts med bärande stomme av murverk. Det finns bland en del arkitekter ett intresse för bärande murverk, medan entreprenörerna är mer tveksamma eftersom man tror att stommar av bärande murverk innebär ökade kostnader.

Bärande murverk var ett vanligt stomalternativ fram till 1950-talet, då det kom att ses som en förlegad metod som inte uppfyllde tidens krav på industrialiserat byggande. Under senare år har dock frågor som rör sjuka hus och inneklimatets kvalitet ägnats en ökad uppmärksamhet. Krav på resurssnålhet, återbrukbarhet och återvinningsbarhet är också aktuella. Detta gör att bärande murverk återigen ter sig som ett ändamålsenligt stomalternativ.

Förutom de rent tekniska egenskaperna så förknippas bärande murverk med uppskattade estetiska egenskaper. Bland annat ger det genom sin saklighet en intuitiv förståelse för hur konstruktionen är uppbyggd och fungerar. Dessutom uppvisar, framförallt tegelmurverk, ett vackert slitage och åldrande. Det senare är något som uppmärksammas mer på senare tid, när man har kunnat jämföra åldrandet hos äldre murverksbyggnader med det som byggts med mer "moderna" och industriella metoder och material.

1.4. Förutsättningar

För att arbetsbördan skall vara inom ramen för ett examensarbete har ett uppfört bostadshus valts som utgångspunkt. Undersökningen kommer att genomföras genom att ett antal alternativa lösningar med bärande murverk i olika former studeras, varefter de förväntade konsekvenserna av dessa lösningar jämförs sinsemellan samt med den redan uppförda byggnaden.

1.4.1. Beskrivning av den befintliga byggnaden

Byggnaden ifråga, ett trevånings bostadshus i Ystad, kvarteret Östman 3, med en stomme av platsgjuten betong (se *Figur 1.1*), är ritad av Marie Ericsson, som driver Marie Ericsson Arkitektkontor AB. Huset byggdes 1998. Byggherre är HSB.



Figur 1.1. HSB's flerbostadshus i kvarteret Östman 3, Ystad.

Ytterväggarna består längs gavlarna av platsgjuten betong med fasadtegel och längs långsidorna av utfackningsväggar av träreglar med fasadtegel. Från början skulle byggnaden enligt arkitektens förslag haft puts på mineralull som fasadmaterial, men detta ändrades under projekterings gång.

De lägenhetsskiljande väggarna samt trapphusen består av platsgjuten betong medan övriga innerväggar är regelväggar.

Bjälklagen är av platsgjuten betong. De vilar på gavelväggarna samt ett antal tvärväggar och en längsgående hjärtvägg.

Takkonstruktionen består av ett uppstolpat sadeltak på ett vindsbjälklag av platsgjuten betong. Takbeklädnaden utgörs av tegelpannor.

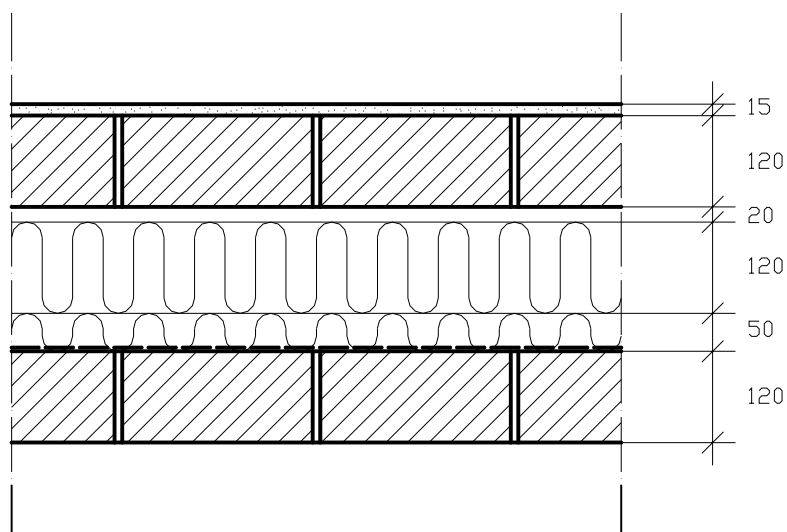
Horisontella vindlaster förs ner till grunden genom att de vid varje våning förs över från ytterväggarna till bjälklagen, som fördelar lasterna över de stabiliserande väggarna. De stabiliserande väggarna för sedan ner lasterna till grunden.

1.4.2. Beskrivning av de alternativa lösningarna

Tre alternativa kombinationer av väggar kommer att studeras. Nedan följer en kort beskrivning av de olika kombinationerna. Stabilisering och stomsystem beskrivs utförligare i kapitel "2. Statisk bärförmåga".

I alternativ 1 utgörs ytterväggarna (se *Figur 1.2*) inifrån räknat av:

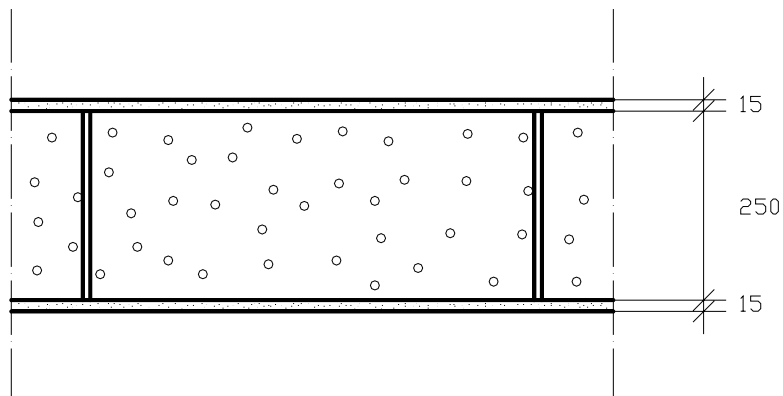
15	slätputs
120	tegel
20	luftspalt
120	isolering
50	isolering slamning
120	tegel



Figur 1.2. Ytterväggstvärsnitt för stomalternativ 1.

De lägenhetsskiljande innerväggarna (se *Figur 1.3*) utgörs av:

- 15 puts
- 250 Lecablock (5 MPa)
- 15 puts

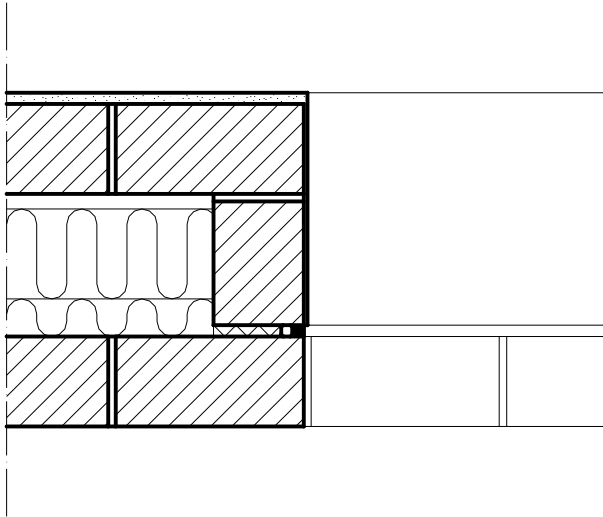


Figur 1.3. Tvärsnitt för lägenhetsskiljande vägg i stomalternativ 1 och 3.

Övriga innerväggar är lättväggar av träreglar med gipsskivor.

Den yttre muren muras upp något före. Innan isoleringen monteras slammas insidan av den yttre muren. Slamningen ger ökad säkerhet mot regngensomslag. Isoleringen monteras intill den yttre muren, med en luftspalt mot den inre muren. De båda murarna binds samman av murkramlor, vilket gör att man kan tillgodoräkna sig en viss grad av samverkan vid bärförmågekontrollerna. Vid horisontell vindlast deformeras de båda murarna lika mycket, vilket ger ett dubbelt så stort maximalt tillåtet moment pga horisontallast, jämfört med en enkel mur. Vid knäckningskontroll av den inre muren får man tillgodoräkna sig en ökad styvhet hos kanalväggen genom att man använder en effektiv väggjocklek, som beror på de båda murarnas respektive tjocklekar.

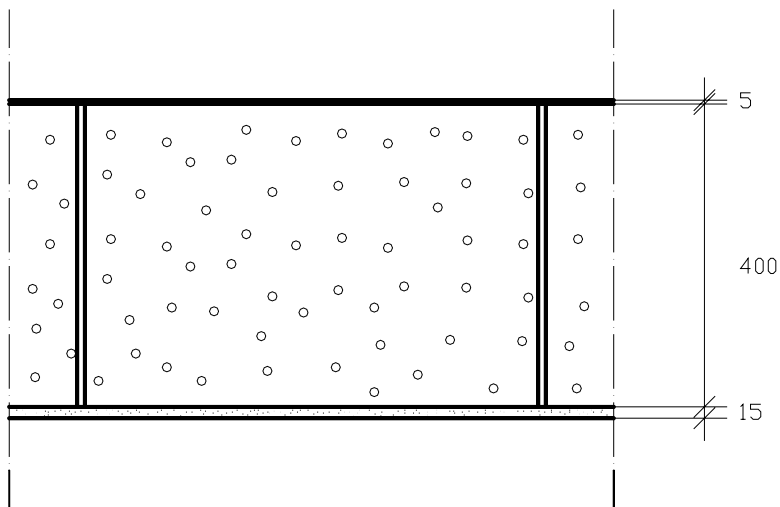
I fönstersmygarna muras den inre muren ut mot den yttre muren. De båda murarna muras dock inte ihop, utan en 15 mm fog med cellplast, bottningslist och fogmassa skiljer dem åt (se *Figur 1.4*). Betongbjälklagen vilar på den inre muren, som är bärande, medan den yttre muren endast bär sig själv. Fönster och dörrar placeras i den yttre muren.



Figur 1.4. Fog vid fönstersmyg i stomalternativ 1 (fönsterkarm ej utritad).

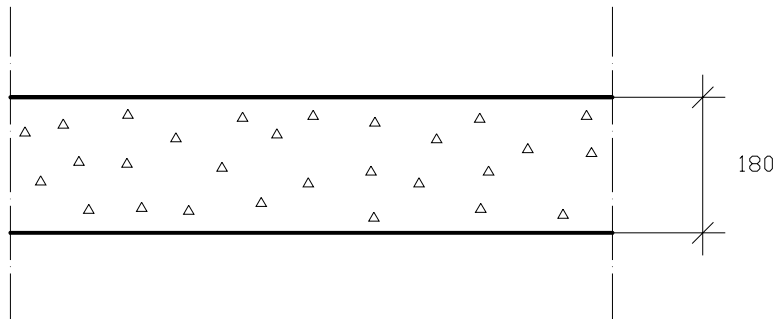
I alternativ 2 utgörs ytterväggarna (se **Figur 1.5**) inifrån räknat av:

- 5 puts
- 400 lättbetongblock
- 15 slätputs



Figur 1.5. Ytterväggstvärsnitt för stomalternativ 2.

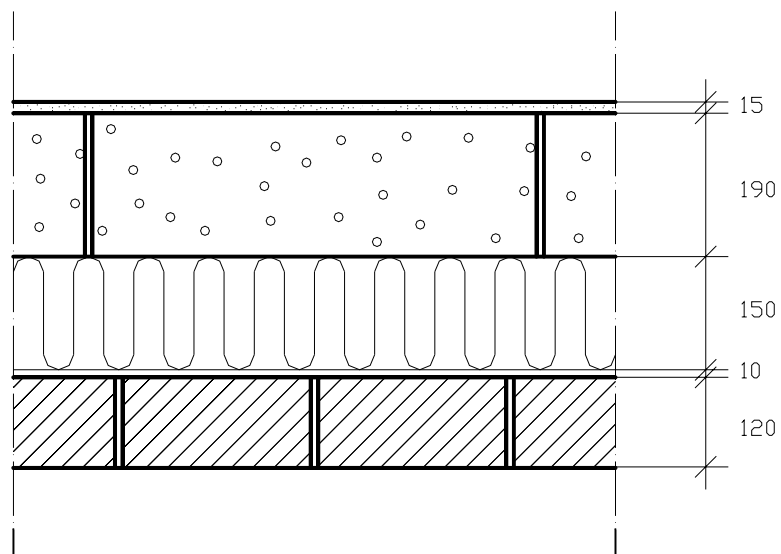
De lägenhetsskiljande innerväggarna utgörs av 180 mm platsgjuten betong (se *Figur 1.6*). Övriga innerväggar är lättväggar av träreglar med gipsskivor.



Figur 1.6. Tvärsnitt för lägenhetsskiljande vägg i stomalternativ 2.

I alternativ 3 utgörs ytterväggarna (se *Figur 1.7*) inifrån räknat av:

- 15 slätputs
- 190 Lecablock
- 150 isolering
- 10 luftspalt
- 120 tegel



Figur 1.7. Yttväggstvärsnitt för stomalternativ 3.

De lägenhetsskiljande innerväggarna (se *Figur 1.3*) utgörs av:

15 puts
250 Lecablock (5 MPa)
15 puts

Övriga innerväggar är lättväggar av träreglar med gipsskivor.

2. Statisk bärförmåga

Detta kapitel inleds med en genomgång av lastnedräkning för snölast, vertikal vindlast, nyttig last samt egentygder. Därefter följer en redovisning av framräknade dimensionerande laster.

2.1. Laster

Snölast

Byggnaden är belägen i Ystad (snözon 1): $\Rightarrow S_0 = 1 \text{ kN/m}^2$ ($\psi = 0,6$)

Taklutning: $22^\circ \Rightarrow (\mu_1 = 0,8) \quad \mu_2 = 0,95$

($C_t = 1,0$)

$$S_k = \mu C_t S_0 = 0,95 \cdot 1,0 \cdot 1 \approx 1,0 \text{ kN/m}^2$$

Vindlast

Byggnaden är belägen i Ystad: $\Rightarrow v_{\text{ref}} = 26 \text{ m/s}$

$q_{k,\text{vind}} = 0,73 \text{ kN/m}^2$ för taket

$q_{k,\text{vind}} = 0,65 \text{ kN/m}^2$ för plan 3

$q_{k,\text{vind}} = 0,62 \text{ kN/m}^2$ för plan 1 och 2

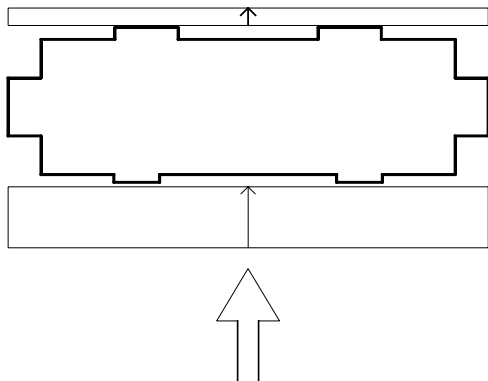
I samtliga fall är $\psi = 0,25$.

Terrängtyp: III

Formfaktorer för väggar vid anblåsning mot långsida (se *Figur 2.1*):

$$\mu_{\text{tryck}} = 0,85$$

$$\mu_{\text{sug}} = 0,27$$



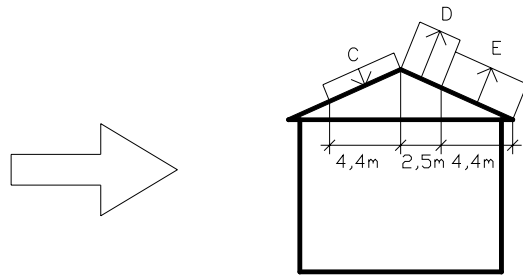
Figur 2.1. Formfaktorer för väggar vid anblåsning mot långsida.

Formfaktorer för tak vid anblåsning mot långsida (se *Figur 2.2*):

$$\mu_{\text{tryck, C}} = 0,10$$

$$\mu_{\text{sug, D}} = 0,53$$

$$\mu_{\text{sug, E}} = 0,34$$



Formfaktorer, tak,anblåsning mot långsida

Figur 2.2. Formfaktorer för tak vid anblåsning mot långsida.

Nyttig last

Vistelselast

$$\text{Bunden lastdel } q_{k,b} = 0,5 \text{ kN/m}^2 \quad \psi = 1$$

$$\text{Fri lastdel } q_{k,f} = 1,5 \text{ kN/m}^2 \quad \psi = 0,33$$

Speciell last, balkong

$$\text{Bunden lastdel } q_{k,b} = 0$$

$$\text{Fri lastdel } q_{k,f} = 2,0 \text{ kN/m}^2 \quad \psi = 0,5$$

Egentyngder

Bjälklag och balkong

Platsgjutet betongbjälklag med tjockleken 250 mm.

$$g_{k,bjälklag} = 0,250 \cdot 24 = 6,0 \text{ kN / m}^2$$

Balkongtjockleken är något mindre än 250 mm, men det är på säkra sidan att förenkla genom att låta balkongens egentyngd vara lika stor som bjälklagets egentyngd.

Vindsbjälklag

Platsgjutet betongbjälklag med tjockleken 200 mm.

$$g_{k,vindsbjlkl} = 0,200 \cdot 24 = 4,8 \text{ kN / m}^2$$

Tak

För att ta hänsyn till en eventuell nyttig last på vindsbjälklaget vid en eventuell framtida inredning av vinden antas tak inklusive takstolar ha en något överskattad egentygnd:

$$g_{k,tak} = 1,5 \text{ kN} / \text{m}^2$$

Ytterväggar

1. 15 slätputs + 120 tegel + 150 isolering + 120 tegel
Eftersom den yttre muren antas bära sin egen tyngd räknas den inte med i nedanstående uttryck för egentygnden hos ytterväggen.

Teglets karakteristiska tunghet är 16 kN/m^3
Insidan av väggen är slätputsad, vilket ökar egentygnden med $0,27 \text{ kN/m}^2$

$$g_{k,yttervägg} = 0,27 + 0,120 \cdot 16 + 0,150 \cdot 0,2 = 2,2 \text{ kN} / \text{m}^2$$

2. 5 puts + 400 lättbetong + 15 slätputs
Kvalitetsgrupp 400 har tungheten $5,3 \text{ kN/m}^3$

$$g_{k,yttervägg} = 0,09 + 0,400 \cdot 5,3 + 0,27 = 2,5 \text{ kN} / \text{m}^2$$

3. 15 slätputs + 190 lättklinkerblock + 150 isolering + 120 tegel
Eftersom den yttre muren antas bära sin egen tyngd räknas den inte med i nedanstående uttryck för egentygnden hos ytterväggen.

Lättklinkerblock med hållfasthet 2 MPa och densitet 550 kg/m^3 har medeltungheten 7 kN/m^3
(Uppskattat från samband mellan densitet och medeltunghet för 3 MPa -block)

$$g_{k,yttervägg} = 0,27 + 0,190 \cdot 7 + 0,150 \cdot 0,2 = 1,6 \text{ kN} / \text{m}^2$$

Lägenhetsskiljande väggar

1. 15 slätputs + 250 lättklinkerblock + 15 slätputs
Lättklinkerblock med hållfasthet 5 MPa har medeltungheten 11 kN/m^3
(Uppskattat från samband mellan densitet och medeltunghet för 3 MPa -block)

$$g_{k,lg.h.skiljande} = 0,27 + 0,250 \cdot 11 + 0,27 = 3,3 \text{ kN} / \text{m}^2$$

2. 180 betong

$$g_{k,lg.h.skiljande} = 0,180 \cdot 24 = 4,3 \text{ kN} / \text{m}^2$$

3. 15 slätputs + 250 lättklinkerblock + 15 slätputs
Lättklinkerblock med hållfasthet 5 MPa har enligt ovan
medeltungheten 11 kN/m^3

$$g_{k,lg.h.skiljande} = 0,27 + 0,250 \cdot 11 + 0,27 = 3,3 \text{ kN / m}^2$$

Övriga innerväggar

Icke bärande innerväggar utgörs av lättväggar (träregelväggar med gipsskivor). Lasten av icke bärande innerväggar antas jämnt fördelad över respektive bjälklag.

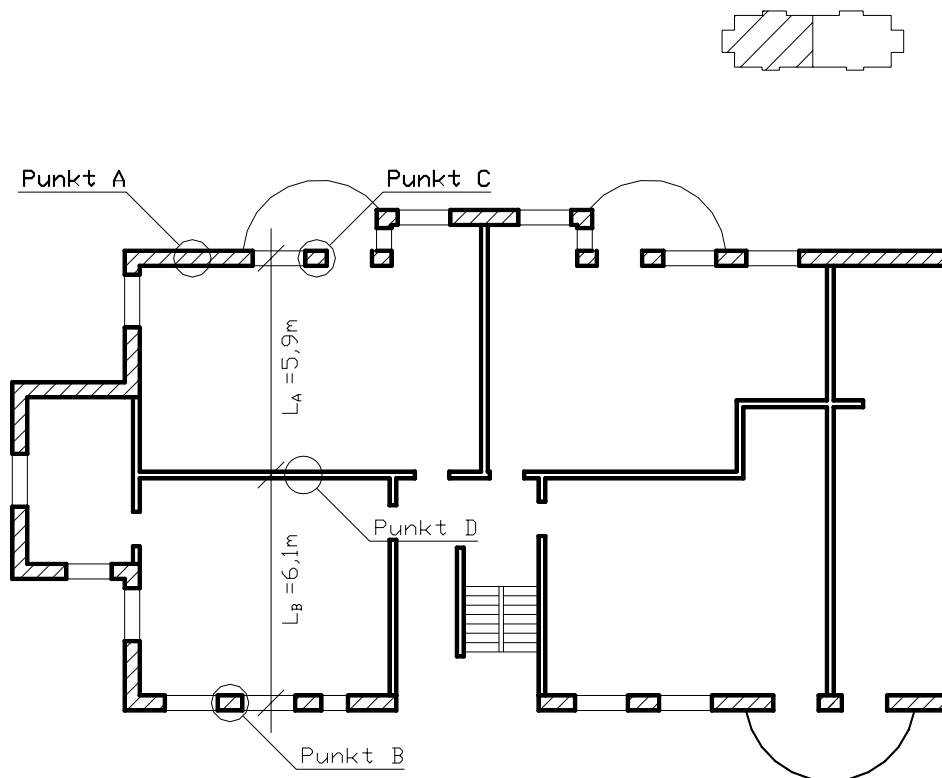
En allmänt använd uppskattning av egentyngheten för lättväggar på betongbjälklag i ett bostadshus är $0,5 \text{ kN/m}^2$.

$$g_{k,lättvägg} = 0,5 \text{ kN / m}^2$$

2.2. Lastnedräkning

Lastnedräkning sker för de fyra olika punkterna i *Figur 2.3* i varje plan (utom plan 2 och 3 för punkt D eftersom samma vägg tjocklek antas i alla plan och väggen i plan 1 därmed blir dimensionerande):

1. Yttervägg, punkt A
2. Yttervägg, punkt B
3. Yttervägg, punkt C
4. Hjärtvägg, punkt D



Figur 2.3. Punkter som studeras vid statisk dimensionering.

2.2.1. Uttryck för lastnedräkning

I nedanstående uttryck används L för att representera en av de två spännvidderna L_A och L_B i planskissen ovan. När uttrycken används för att ta fram laster för punkt A är $L=L_A$. Motsvarande gäller för punkt B.

Yttervägg, punkt A och B, plan 1

Först beräknas aktuellt värde för *vertikal* vindlast med hänsyn till formfaktor.

$$q_{vind} = q_{k,vind} \mu_{tryck,C} = 0,73 \cdot 0,1 = 0,07 \text{ kN} / \text{m}^2$$

Snölast som huvudlast:

$$q_d = (1,3S_k + (q_{k,b} + 0,33q_{k,f}) \cdot 2 + g_{k,tak} + g_{k,lättvägg} \cdot 2 + g_{k,bjälklag} \cdot 2 + g_{k,vindsbjlkl}) \cdot 0,4 \cdot L + 0,25q_{vind} \cdot 0,4 \cdot L + 2,4g_{k,yttervägg} \cdot 2$$

Nyttig last som huvudlast:

$$q_d = (0,6S_k + q_{k,b} + 0,33q_{k,f} + 1,3(q_{k,b} + q_{k,f}) + g_{k,tak} + g_{k,lättvägg} \cdot 2 + g_{k,bjälklag} \cdot 2 + g_{k,vindsbjlkl}) \cdot 0,4 \cdot L + 0,25q_{vind} \cdot 0,4 \cdot L + 2,4g_{k,yttervägg} \cdot 2$$

Vindlast som huvudlast:

$$q_d = (0,6S_k + (q_{k,b} + 0,33q_{k,f}) \cdot 2 + g_{k,tak} + g_{k,lättvägg} \cdot 2 + g_{k,bjälklag} \cdot 2 + g_{k,vindsbjlkl}) \cdot 0,4 \cdot L + 1,3q_{vind} \cdot 0,4 \cdot L + 2,4g_{k,yttervägg} \cdot 2$$

Yttervägg, punkt A och B, plan 2

Först beräknas aktuellt värde för *vertikal* vindlast med hänsyn till formfaktor.

$$q_{vind} = q_{k,vind} \mu_{tryck,C} = 0,73 \cdot 0,1 = 0,07 \text{ kN} / \text{m}^2$$

Snölast som huvudlast:

$$q_d = (1,3S_k + (q_{k,b} + 0,33q_{k,f}) \cdot 1 + g_{k,tak} + g_{k,lättvägg} \cdot 1 + g_{k,bjälklag} + g_{k,vindsbjlkl}) \cdot 0,4 \cdot L + 0,25q_{vind} \cdot 0,4 \cdot L + 2,4g_{k,yttervägg} \cdot 1$$

Nyttig last som huvudlast:

$$q_d = (0,6S_k + 1,3(q_{k,b} + q_{k,f}) + g_{k,tak} + g_{k,lättvägg} \cdot 1 + g_{k,bjälklag} + g_{k,vindsbjlkl}) \cdot 0,4 \cdot L + 0,25q_{vind} \cdot 0,4 \cdot L + 2,4g_{k,yttervägg} \cdot 1$$

Vindlast som huvudlast:

$$q_d = (0,6S_k + (q_{k,b} + 0,33q_{k,f})) \cdot 1 + g_{k,tak} + g_{k,lättvägg} \cdot 1 + g_{k,bjälklag} + g_{k,vindsbjlkl}) \cdot 0,4 \cdot L + 1,3q_{vind} \cdot 0,4 \cdot L + 2,4g_{k,yttervägg} \cdot 1$$

Yttervägg, punkt A och B, plan 3

Först så *liten* vertikalkraft som möjligt:

$$q_d = -1,3 \cdot 0,4L \cdot \mu_{sug,E} \cdot q_{k,vind} + 0,85(g_{k,tak} + g_{k,vindsbjlkl}) \cdot 0,4 \cdot L$$

q_d blir 11,9 kN/m respektive 12,3 kN/m för punkt A respektive B. Detta innebär att ingen dragkraft uppstår. Ytterväggarna på översta planet behöver alltså inte kontrolleras för lyft.

Sedan så *stor* vertikalkraft som möjligt:

Först beräknas aktuellt värde för vertikal vindlast med hänsyn till formfaktor.

$$q_{vind} = q_{k,vind} \mu_{tryck,C} = 0,73 \cdot 0,1 = 0,07 \text{ kN} / \text{m}^2$$

Snölast som huvudlast:

$$q_d = (1,3S_k + g_{k,tak} + g_{k,vindsbjlkl}) \cdot 0,4 \cdot L + 0,25q_{vind} \cdot 0,4 \cdot L$$

Vindlast som huvudlast:

$$q_d = (0,6S_k + g_{k,tak} + g_{k,vindsbjlkl}) \cdot 0,4 \cdot L + 1,3q_{vind} \cdot 0,4 \cdot L$$

Yttervägg, punkt C, plan 1

Snölast som huvudlast:

$$q_{dC} = q_{dA} + 0,5 \cdot q_{k,f,balkong} \cdot 2,05 \cdot 2 + g_{k,balkong} \cdot 2,05 \cdot 2 = (q_{dA} + 28,7) \text{ kN} / \text{m}$$

Nyttig last på bjälklag som huvudlast:

$$q_{dC} = q_{dA} + 0,5 \cdot q_{k,f,balkong} \cdot 2,05 \cdot 2 + g_{k,balkong} \cdot 2,05 \cdot 2 = (q_{dA} + 28,7) \text{ kN} / \text{m}$$

Nyttig last på balkong som huvudlast:

$$q_{dC} = (0,6S_k + (q_{k,b} + 0,33q_{k,f})) \cdot 2 + g_{k,tak} + g_{k,lättvägg} \cdot 2 + g_{k,bjälklag} \cdot 2 + g_{k,vindsbjlkl}) \cdot 0,4 \cdot L_A + 0,25q_{vind} \cdot 0,4 \cdot L_A + 2,4g_{k,yttervägg} \cdot 2 + 1,3q_{k,f,balkong} \cdot 2,05 + 0,5q_{k,f,balkong} \cdot 2,05 + g_{k,balkong} \cdot 2,05 \cdot 2$$

Vindlast som huvudlast:

$$q_{dC} = q_{dA} + 0,5 \cdot q_{k,f,balkong} \cdot 2,05 \cdot 2 + g_{k,balkong} \cdot 2,05 \cdot 2 = (q_{dA} + 28,7) \text{ kN / m}$$

Yttervägg, punkt C, plan 2

Snölast som huvudlast:

$$q_{dC} = q_{dA} + 0,5 \cdot q_{k,f,balkong} \cdot 2,05 + g_{k,balkong} \cdot 2,05 = (q_{dA} + 14,35) \text{ kN / m}$$

Nyttig last på bjälklag som huvudlast:

$$q_{dC} = q_{dA} + 0,5 \cdot q_{k,f,balkong} \cdot 2,05 + g_{k,balkong} \cdot 2,05 = (q_{dA} + 14,35) \text{ kN / m}$$

Nyttig last på balkong som huvudlast:

$$q_{dC} = (0,6S_k + q_{k,b} + 0,33q_{k,f} + g_{k,tak} + g_{k,lätvägg} + g_{k,bjälklag} + g_{k,vindsbjlkl}) \cdot 0,4 \cdot L_A + 0,25q_{vind} \cdot 0,4 \cdot L_A + 2,4g_{k,yttervägg} + 1,3q_{k,f,balkong} \cdot 2,05 + g_{k,balkong} \cdot 2,05$$

Vindlast som huvudlast:

$$q_{dC} = q_{dA} + 0,5 \cdot q_{k,f,balkong} \cdot 2,05 + g_{k,balkong} \cdot 2,05 = (q_{dA} + 14,35) \text{ kN / m}$$

Yttervägg, punkt C, plan 3

Eftersom det inte finns någon balkong på vindsbjälklaget gäller:

$$q_{dC} = q_{dA}$$

Hjärtvägg, punkt D, plan 1

Snölast som huvudlast:

$$q_{dD} = (1,3S_k + (q_{k,b} + 0,33q_{k,f})) \cdot 2 + g_{k,tak} + g_{k,lätvägg} \cdot 2 + g_{k,bjälklag} \cdot 2 + g_{k,vindsbjlkl} \cdot (0,6 \cdot L_A + 0,6 \cdot L_B) + 0,25q_{vind} \cdot 0,6 \cdot L_B + 2,4g_{k,lg h. skiljande} \cdot 2$$

Nyttig last som huvudlast:

$$q_{dD} = (0,6S_k + q_{k,b} + 0,33q_{k,f} + 1,3(q_{k,b} + q_{k,f})) + g_{k,tak} + g_{k,lätvägg} \cdot 2 + g_{k,bjälklag} \cdot 2 + g_{k,vindsbjlkl} \cdot (0,6 \cdot L_A + 0,6 \cdot L_B) + 0,25q_{vind} \cdot 0,6 \cdot L_B + 2,4g_{k,lg h. skiljande} \cdot 2$$

Vindlast som huvudlast:

$$q_{dD} = (0,6S_k + (q_{k,b} + 0,33q_{k,f}) \cdot 2 + g_{k,tak} + g_{k,lättvägg} \cdot 2 + g_{k,bjälklag} \cdot 2 + g_{k,vindsbjkl}) \cdot (0,6 \cdot L_A + 0,6L_B) + 1,3q_{vind} \cdot 0,6 \cdot L_B + 2,4g_{k,lg.h.skiljande} \cdot 2$$

2.2.2. Resultat av lastnedräkning

Ovanstående uttryck beräknas för de olika väggalternativen med respektive egentyngder införda.

Väggalternativ 1

Plan 1

<u>Huvudlast</u>	<u>q_{dA}</u>	<u>q_{dB}</u>	<u>q_{dC}</u>	<u>q_{dD}</u>
		(kN/m)		
Snölast	63,9	65,7	92,6	194,3
Nyttig last, bjälklag	66,0	68,0	94,7	201,3
Vindlast	63,4	65,2	92,1	189,1
Nyttig last, balkong	-	-	94,2	-

Vindlast avser vindtryck på taket och vindsug på fasad.

Plan 2

<u>Huvudlast</u>	<u>q_{dA}</u>	<u>q_{dB}</u>	<u>q_{dC}</u>	<u>q_{dD}</u>
		(kN/m)		
Snölast	40,9	42,1	55,3	-
Nyttig last, bjälklag	43,1	44,4	57,5	-
Vindlast	39,5	40,6	53,9	-
Nyttig last, balkong	-	-	56,9	-

Vindlast avser vindtryck på taket och vindsug på fasad.

Plan 3

<u>Huvudlast</u>	<u>q_{dA}</u>	<u>q_{dB}</u>	<u>q_{dC}</u>	<u>q_{dD}</u>
		(kN/m)		
Snölast	17,3	17,9	17,3	-
Nyttig last, bjälklag	-	-	-	-
Vindlast	16,5	17,1	16,5	-
Nyttig last, balkong	-	-	-	-
Vindlast	11,9	12,3	11,9	-

Första vindlasten avser vindtryck på tak och vindsug på fasad, den andra avser vindsug på tak och vindtryck på fasad.

Väggalternativ 2

Plan 1

<u>Huvudlast</u>	<u>q_{dA}</u>	<u>q_{dB}</u>	<u>q_{dC}</u>	<u>q_{dD}</u>
	(kN/m)			
Snölast	65,4	67,2	94,1	199,1
Nyttig last, bjälklag	67,4	69,4	96,1	206,1
Vindlast	64,8	66,6	93,5	193,9
Nyttig last, balkong	-	-	95,7	-

Vindlast avser vindtryck på taket och vindsug på fasad.

Plan 2

<u>Huvudlast</u>	<u>q_{dA}</u>	<u>q_{dB}</u>	<u>q_{dC}</u>	<u>q_{dD}</u>
	(kN/m)			
Snölast	41,7	42,8	56,1	-
Nyttig last, bjälklag	43,9	45,1	58,3	-
Vindlast	40,2	41,3	54,6	-
Nyttig last, balkong	-	-	57,6	-

Vindlast avser vindtryck på taket och vindsug på fasad.

Plan 3

<u>Huvudlast</u>	<u>q_{dA}</u>	<u>q_{dB}</u>	<u>q_{dC}</u>	<u>q_{dD}</u>
	(kN/m)			
Snölast	17,3	17,9	17,3	-
Nyttig last, bjälklag	-	-	-	-
Vindlast	16,5	17,1	16,5	-
Nyttig last, balkong	-	-	-	-
Vindlast	11,9	12,3	11,9	-

Första vindlasten avser vindtryck på tak och vindsug på fasad, den andra avser vindsug på tak och vindtryck på fasad.

Väggalternativ 3

Plan 1

<u>Huvudlast</u>	<u>q_{dA}</u>	<u>q_{dB}</u>	<u>q_{dC}</u>	<u>q_{dD}</u>
	(kN/m)			
Snölast	61,0	62,8	89,7	194,3
Nyttig last, bjälklag	63,1	65,1	91,8	201,3
Vindlast	60,5	62,3	89,2	189,1
Nyttig last, balkong	-	-	91,4	-

Vindlast avser vindtryck på taket och vindsug på fasad.

Plan 2

<u>Huvudlast</u>	<u>q_{dA}</u>	<u>q_{dB}</u>	<u>q_{dC}</u>	<u>q_{dD}</u>
	(kN/m)			
Snölast	39,5	40,7	53,9	-
Nyttig last, bjälklag	41,7	43,0	56,1	-
Vindlast	38,0	39,2	52,4	-
Nyttig last, balkong	-	-	55,5	-

Vindlast avser vindtryck på taket och vindsug på fasad.

Plan 3

<u>Huvudlast</u>	<u>q_{dA}</u>	<u>q_{dB}</u>	<u>q_{dC}</u>	<u>q_{dD}</u>
	(kN/m)			
Snölast	17,3	17,9	17,3	-
Nyttig last, bjälklag	-	-	-	-
Vindlast	16,5	17,1	16,5	-
Nyttig last, balkong	-	-	-	-
Vindlast	11,9	12,3	11,9	-

Första vindlasten avser vindtryck på tak och vindsug på fasad, den andra avser vindsug på tak och vindtryck på fasad.

2.3. Bärförmåga med hänsyn till vertikallastkapacitet

Kontroller av bärförmåga med hänsyn till knäckning och kantpåkänningsbrott genomförs enligt kapitel 6.23 i Konstruktionshandbok Bärande tegelmurverk [1]. Kontrollerna genomförs för punkterna A, B, C och D enligt *Figur 2.3*. Beräkningarna utförs för de tre väggalternativen. Beräkningarna skiljer sig något åt beroende bland annat på vilket plan som studeras. Den första beräkningen av varje typ redovisas utförligt för att beskriva beräkningsgången medan senare beräkningar redovisas i sammanfattad form (se **Bilaga 1**). I de fall vertikallasten är mycket liten kontrolleras väggarna för vindlast *mot* fasaden. Då vertikallasten är större kontrolleras väggarna för vertikallast kombinerad med vindlast i riktning *från* fasad.

Bärförmåga med hänsyn till knäckning, väggalternativ 1, punkt A, plan 1

Nyttig last är huvudlast

Kontrollen sker för vindlast riktad från fasad.

Bärförmåga med hänsyn till knäckning kontrolleras enligt följande ekvation:

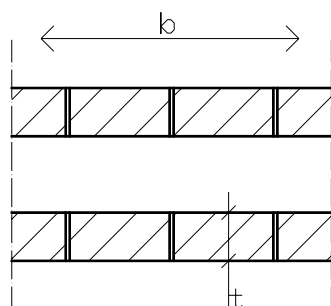
$$R_{nd} = 0,75 \cdot \Phi \cdot b \cdot t \cdot f_{cd}$$

Φ = reduktionsfaktor som tar hänsyn till slankhet λ_e och excentricitet e_{dim}

b = murverkets längd (1m), (se *Figur 2.4*)

t = lastbärande murverkets tjocklek (se *Figur 2.4*)

f_{cd} = dimensionerande tryckhållfasthet i vertikalled



Figur 2.4. Definition av dimensionerna t och b.

Först bestäms reduktionsfaktorn Φ enligt diagram 6.2/1 i Konstruktionshandbok Bärande tegelmurverk [1]. För detta krävs att slankhet λ_e och excentricitet e_{dim} bestäms.

För att bestämma slankheten λ_e används följande formel:

$$\lambda_e = \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \cdot \left(\frac{1000 \cdot f_{ck}}{E_k} \right)^{0,5}$$

h_{ef} = effektiv knäcklängd

t_{ef} = effektiv murtjocklek

f_{ck} = karakteristisk tryckhållfasthet i vertikalled

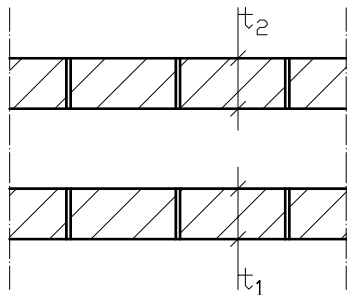
E_k = karakteristisk elasticitetsmodul

Enligt avsnitt 6.262 [1] är $h_{ef} = 0,75h$ för väggar som är styrda av betongbjälklag i övre och undre rand.

$$h_{ef} = 0,75 \cdot h = 0,75 \cdot 2,4 = 1,8 \text{ m}$$

$$t_{ef} = (t_1^3 + t_2^3)^{1/3} = (0,120^3 + 0,120^3)^{1/3} = 0,151 \text{ m}$$

t_1 och t_2 definieras i **Figur 2.5**.



Figur 2.5. Definition av t_1 och t_2 .

Vi antar tegelsten av hållfasthetsklass 45 och murbruksklass C. Genom att välja murbruksklass C borde risken för att eventuella sprickor i fasaden går genom murstenarna minimeras. Istället kommer eventuella sprickor att följa fogarna runt murstenarna, vilket medför att de utseendemässiga störningarna blir mindre.

$$f_{ck} = 5,7 \text{ MPa}$$

Enligt avsnitt 6.112 [1] är E_k för håltegel:

$$E_k = 700 \cdot f_{ck} = 700 \cdot 5,7 \cdot 10^6 = 4,0 \text{ GPa}$$

Med ovanstående värden insatta i uttrycket för slankheten λ_e fås:

$$\lambda_e = \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \cdot \left(\frac{1000 \cdot f_{ck}}{E_k} \right)^{0,5} = \frac{1,8}{0,151} \cdot \left(\frac{1000 \cdot 5,7}{4000} \right)^{0,5} = 14,2$$

e_{dim} , som är dimensionerande excentricitet på halva väggens höjd, fås enligt avsnitt 6.25 [1] enligt följande:

$$e_{dim} = e_m + e_0 + e_p + e_k$$

e_m = excentricitet i tvärsnitt på halva höjden av mittmoment M_m orsakat av ändmoment $N_{d,e1}$ i ök respektive $N_{d,e2}$ i uk vägg.

e_0 = initialkrokighet, $h_{ef}/300$ i utförandeklass I

e_p = M_p/N_d = beräkningsmässig excentricitet av horisontallast

e_k = excentricitet av krypning (kan sättas lika med noll för tegelmurverk)

För vertikalt enkelspänd vägg blir $e_m = (e_1 + e_2)/2$, där e_1 är excentricitet i väggens överkant och e_2 är excentricitet i väggens underkant. Om inte väggen är belastad från en sida i ovankanten och vilar på ett genomgående bjälklag eller ett bjälklag från andra sidan sätts e_2 lika med noll. I vårt fall sätts e_2 lika med noll. e_1 beräknas enligt figur 6.2:6 [1].

$$e_1 = \frac{N_a \cdot e_a + N_c \cdot e_c}{N_a + N_c} \quad \text{dock minst } 0,05t$$

$$e_a = \frac{t}{6} = \frac{120}{6} = 20 \text{ mm} \quad (\text{minst } 12 \text{ mm i utförandeklass I})$$

$$e_c = 12 \text{ mm} \quad \text{i utförandeklass I}$$

N_a är lasten från bjälklaget som vilar på väggen.

N_c är lasten som förs ner till väggen från väggen i ovanliggande våning.

Eftersom $e_a > e_c$ blir e_1 störst när N_a är så stor som möjligt. Detta inträffar när man placerar huvudlasten på bjälklaget som vilar på väggen. N_a och N_c fås genom att modifiera de tidigare dimensionerande lasterna enligt följande:

$$N_a = (1,3(q_{k,f} + q_{k,b}) + 1,0 \cdot g_{k,bjälklag} + 1,0 \cdot g_{k,lättvägg}) \cdot 0,4 \cdot L_A$$

$$N_c = q_{dA} - N_a$$

$$N_a = (1,3(1,5 + 0,5) + 1,0 \cdot 6,0 + 1,0 \cdot 0,5) \cdot 0,4 \cdot 5,9 = 21,5 \text{ kN/m}$$

$$N_c = 66,0 - 21,5 = 44,5 \text{ kN/m}$$

$$e_1 = \frac{21,5 \cdot 20 + 44,5 \cdot 12}{21,5 + 44,5} = 15 \text{ mm} \quad (\text{dock minst } 0,05t = 6 \text{ mm})$$

$$e_m = \frac{e_1 + e_2}{2} = \frac{15 + 0}{2} \approx 8 \text{ mm}$$

$$e_0 = \frac{h_{ef}}{300} = \frac{1800}{300} = 6 \text{ mm}$$

Horisontallasten består av vindlast som verkar i riktning *från* fasadmuren. Denna last upptas genom samverkan mellan de båda murhalvorna. Först beräknas vindlasten och därefter beräkningsmässig excentricitet e_p av horisontallast, dvs den excentricitet med vilken vertikallasten skall angripa för att ge upphov till ett lika stort moment som horisontallasten orsakar.

$$q_{vind} = \psi \cdot \mu_{sug} \cdot q_{k,vind} = 0,25 \cdot 0,27 \cdot 0,62 = 0,04 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$e_p = \frac{M_p}{q_{dA}} = \frac{0,125 \cdot q_{vind} \cdot h^2}{q_{dA}} = \frac{0,125 \cdot 0,04 \cdot 2,4^2}{66,0} \approx 0 \text{ mm}$$

$$e_{dim} = e_m + e_0 + e_p + e_k = 8 + 6 + 0 + 0 = 14 \text{ mm}$$

$$\frac{e_{dim}}{t} = \frac{14}{120} = 0,12$$

Genom att gå in i diagram 6.2/1 [1] med λ_e och e_{dim}/t fås värdet för reduktionsfaktorn $\Phi = 0,62$.

Dimensionerande tryckhållfasthet i vertikalled bestäms av följande uttryck:

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_m \cdot \gamma_n}$$

$\gamma_m = 1,8$ enligt 6:3123, BKR 99 [2]

$\gamma_n = 1,2$ i SK 3

$$f_{cd} = \frac{5,7}{1,8 \cdot 1,2} = 2,6 \text{ MPa}$$

Bärförmåga med hänsyn till knäckning kan nu beräknas:

$$R_{nd} = 0,75 \cdot \Phi \cdot b \cdot t \cdot f_{cd} = 0,75 \cdot 0,62 \cdot 1 \cdot 0,120 \cdot 2,6 \cdot 10^6 = 145,1 \text{ kN} / \text{m}$$

$R_{nd} > S_d = q_{dA} = 66,0 \text{ kN} / \text{m} \Rightarrow \text{OK!}$

Kontroll med avseende på kantpåkänningsbrott, väggalternativ 1, punkt A, plan 1

Nyttig last är huvudlast

Enligt avsnitt 6.23 [1] kontrolleras kantpåkänningsbrott i väggens ovan- och underkant enligt följande ekvation:

$$N_d \leq \left(1 - \frac{2 \cdot e}{t}\right) \cdot b \cdot t \cdot 0,75 \cdot f_{cd}$$

där e är knutpunktsexcentriciteterna e_1 respektive e_2 enligt tidigare.

För ovankanten av väggen blir villkoret följande:

$$N_d \leq \left(1 - \frac{2 \cdot 15}{120}\right) \cdot 1 \cdot 0,120 \cdot 0,75 \cdot 2,6 \cdot 10^6 = 175,7 \text{ kN} / \text{m}$$

För underkanten av väggen blir villkoret följande:

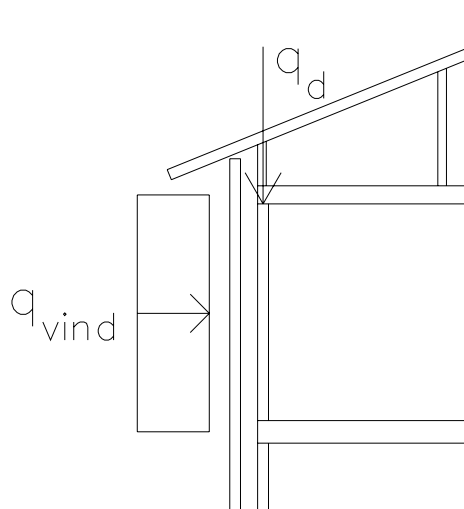
$$N_d \leq \left(1 - \frac{2 \cdot 0}{120}\right) \cdot 1 \cdot 0,120 \cdot 0,75 \cdot 2,6 \cdot 10^6 = 234,0 \text{ kN} / \text{m}$$

$N_d = q_{dA} = 66,0 \text{ kN} / \text{m} \Rightarrow \text{OK!}$
--

Bärförmåga med hänsyn till knäckning, väggalternativ 1, punkt A, plan 3

Vindlast är huvudlast

Om bärförmågan för ren vertikallast endast är utnyttjad till max 10% är det tillåtet att räkna en vägg som enbart horisontalbelastad. Det aktuella lastfallet illustreras i **Figur 2.6**. När man kontrollerar villkoret med avseende på hur stor del av vertikallastkapaciteten som utnyttjats är det tillåtet att räkna med $e_{dim}/t = 0,05$. Bärförmåga med hänsyn till knäckning betecknas då R_{nd0} . Om villkoret är uppfyllt dimensioneras väggen med hjälp av brottlinjeanalogi.



Figur 2.6. Vertikal och horisontell last.

Bärförmåga med hänsyn till knäckning kontrolleras enligt följande ekvation:

$$R_{nd0} = 0,75 \cdot \Phi \cdot b \cdot t \cdot f_{cd}$$

Φ = reduktionsfaktor som tar hänsyn till slankhet λ_e och excentricitet e_{dim}

b = murverkets längd (1 m), (se **Figur 2.4**)

t = lastbärande murverkets tjocklek (se **Figur 2.4**)

f_{cd} = dimensionerande tryckhållfasthet i vertikalled

Först bestäms reduktionsfaktorn Φ enligt diagram 6.2/1 [1]. För detta krävs att slankhet λ_e och excentricitet e_{dim} bestäms.

För att bestämma slankheten λ_e används följande formel:

$$\lambda_e = \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \cdot \left(\frac{1000 \cdot f_{ck}}{E_k} \right)^{0,5}$$

h_{ef} = effektiv knäcklängd
 t_{ef} = effektiv murtjocklek
 f_{ck} = karakteristisk tryckhållfasthet i vertikalled
 E_k = karakteristisk elasticitetsmodul

Enligt avsnitt 6.262 [1] är $h_{ef} = 0,75h$ för väggar som är styrda av betongbjälklag i övre och undre rand.

$$h_{ef} = 0,75 \cdot h = 0,75 \cdot 2,4 = 1,8 \text{ m}$$

$$t_{ef} = (t_1^3 + t_2^3)^{1/3} = (0,120^3 + 0,120^3)^{1/3} = 0,151 \text{ m}$$

t_1 och t_2 definieras i **Figur 2.5**.

Vi antar tegelsten av hållfasthetsklass 45 och murbruksklass B.

$$f_{ck} = 8,0 \text{ MPa}$$

Enligt avsnitt 6.112 [1] är E_k för håltegel:

$$E_k = 700 \cdot f_{ck} = 700 \cdot 8,0 \cdot 10^6 = 5,6 \text{ GPa}$$

Med ovanstående värden insatta i uttrycket för slankheten λ_e fås:

$$\lambda_e = \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \cdot \left(\frac{1000 \cdot f_{ck}}{E_k} \right)^{0,5} = \frac{1,8}{0,151} \cdot \left(\frac{1000 \cdot 8,0}{5600} \right)^{0,5} = 14,2$$

Genom att gå in i diagram 6.2/1 [1] med $\lambda_e = 14,2$ och $e_{dim}/t = 0,05$ fås värdet för reduktionsfaktorn $\Phi = 0,76$.

Dimensionerande tryckhållfasthet i vertikalled bestäms av följande uttryck:

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_m \cdot \gamma_n}$$

$\gamma_m = 1,8$ enligt avsnitt 6:3123 i BKR 99 [2]
 $\gamma_n = 1,2$ i SK 3

$$f_{cd} = \frac{8,0}{1,8 \cdot 1,2} = 2,6 \text{ MPa}$$

Bärförmåga med hänsyn till knäckning kan nu beräknas:

$$R_{nd0} = 0,75 \cdot \Phi \cdot b \cdot t \cdot f_{cd} = 0,75 \cdot 0,76 \cdot 1 \cdot 0,120 \cdot 3,7 \cdot 10^6 = 253,1 \text{ kN / m}$$

$$S_d = q_{dA} = 11,9 \text{ kN/m}$$

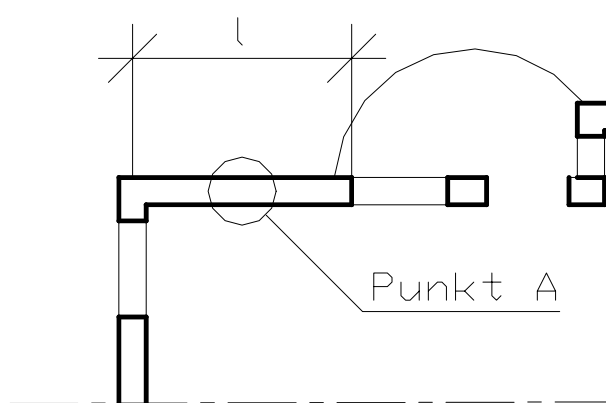
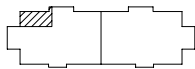
$$\frac{S_d}{R_{nd0}} = \frac{11,9}{253,1} = 0,05 < 0,10 \Rightarrow \text{OK!}$$

Det är korrekt att betrakta väggen som enbart horisontalbelastad.

Bärförmågekontrollen görs enligt brottlinjeanalogi med hjälp av tabellmetod (enligt s. 186 MUR 90 [3]).

Horisontallasten består av vindlast på fasadmuren.

$$q_{vind} = 1,3 \cdot (\mu_{tryck} + \mu_{invändig}) \cdot q_{k,vind} = 1,3 \cdot (0,85 + 0,3) \cdot 0,65 = 1,0 \text{ kN/m}^2$$

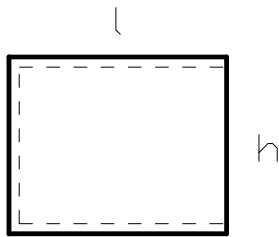


Figur 2.7. Den belastade väggens placering i byggnaden.

Upplagsfall U9 beskriver det aktuella fallet (se **Figur 2.7** och **Figur 2.8**).

$$h = 2,6 \text{ m} \quad (\text{Fri höjd (2,4 m) + hälften av respektive bjälklagstjocklek})$$

$$l \approx 3,2 \text{ m}$$



Figur 2.8. Upplagsfall U9 i MUR 90 [3].

Enligt MUR 90 [3], häfte 4B tab. 5.1 är momentkapacitet med avseende på vertikal respektive horisontell momentvektor för en halvstens tegelmur:

$$m_v = 0,44 \cdot 0,92 = 0,40 \text{ kNm} / m$$

$$m_h = 1,6 \cdot 0,92 = 1,47 \text{ kNm} / m$$

Eftersom väggen består av två likadana tegelmurar, som deformeras lika mycket vid horisontell belastning kommer momentkapaciteterna för hela väggen att vara dubbelt så stora som för enbart en mur.

$$m_{v,kanalmur} = 2 \cdot 0,40 = 0,80 \text{ kNm} / m$$

$$m_{h,kanalmur} = 2 \cdot 1,47 = 2,94 \text{ kNm} / m$$

Enligt tabellmetoden beräknas maximal tillåten horisontell momentvektor (när momentkapacitet med hänsyn till vertikal momentvektor är fullt utnyttjad) med hjälp av förhållandet mellan h och l, samt mellan $m_{v,kanalmur}$ och $m_{h,kanalmur}$:

$$\left. \begin{array}{l} \frac{h}{l} = \frac{2,6}{3,2} = 0,81 \\ \frac{m_{v,kanalmur}}{m_{h,kanalmur}} = \frac{0,80}{2,94} \approx 0,30 \end{array} \right\} \Rightarrow \alpha = 0,12$$

$$M_h = \alpha \cdot q_{vind} \cdot l^2 = 0,12 \cdot 1,0 \cdot 3,2^2 = 1,23 \text{ kNm} / m$$

$$M_h < m_{h,kanalmur} \Rightarrow OK!$$

Bärförmåga med hänsyn till knäckning, väggalternativ 1, punkt B, plan 3

Vindlast är huvudlast

Vindlasten verkar i riktning *mot* fasaden.

Bärförmågan för ren vertikallast antas endast vara utnyttjad till max 10%. När man kontrollerar villkoret med avseende på hur stor del av vertikallastkapaciteten som utnyttjats är det tillåtet att räkna med $e_{dim}/t = 0,05$. Bärförmåga med hänsyn till knäckning betecknas då R_{nd0} .

Bärförmåga med hänsyn till knäckning kontrolleras enligt följande ekvation:

$$R_{nd0} = 0,75 \cdot \Phi \cdot b \cdot t \cdot f_{cd}$$

Φ = reduktionsfaktor som tar hänsyn till slankhet λ_e och excentricitet e_{dim}

b = murverkets längd, (se *Figur 2.4*)

t = lastbärande murverkets tjocklek (se *Figur 2.4*)

f_{cd} = dimensionerande tryckhållfasthet i vertikalled

Först bestäms reduktionsfaktorn Φ enligt diagram 6.2/1 [1]. För detta krävs att slankhet λ_e och excentricitet e_{dim} bestäms.

För att bestämma slankheten λ_e används följande formel:

$$\lambda_e = \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \cdot \left(\frac{1000 \cdot f_{ck}}{E_k} \right)^{0,5}$$

h_{ef} = effektiv knäcklängd

t_{ef} = effektiv murtjocklek

f_{ck} = karakteristisk tryckhållfasthet i vertikalled

E_k = karakteristisk elasticitetsmodul

Enligt avsnitt 6.263 [1] är $h_{ef} = 0,75h + 0,25h_w$ för fönsterpelare som är styrda av betongbjälklag i övre och undre rand, där h är våningshöjden och h_w är höjden på den i vertikal riktning största öppningen.

$$h_{ef} = 0,75 \cdot h + 0,25 \cdot h_w = 0,75 \cdot 2,4 + 0,25 \cdot 2,1 = 2,3 \text{ m}$$

$$t_{ef} = (t_1^3 + t_2^3)^{1/3} = (0,250^3 + 0,120^3)^{1/3} = 0,259 \text{ m}$$

t_1 och t_2 definieras i *Figur 2.5*.

Vi antar tegelsten av hållfasthetsklass 45 och murbruksklass B.

$$f_{ck} = 8,0 \text{ MPa}$$

Enligt avsnitt 6.112 [1] är E_k för håltegel:

$$E_k = 700 \cdot f_{ck} = 700 \cdot 8,0 \cdot 10^6 = 5,6 \text{ GPa}$$

Med ovanstående värden insatta i uttrycket för slankheten λ_e fås:

$$\lambda_e = \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \cdot \left(\frac{1000 \cdot f_{ck}}{E_k} \right)^{0,5} = \frac{2,3}{0,259} \cdot \left(\frac{1000 \cdot 8,0}{5600} \right)^{0,5} = 10,6$$

Genom att gå in i diagram 6.2/1 [1] med $\lambda_e = 10,6$ och $e_{dim}/t = 0,05$ fås värdet för reduktionsfaktorn $\Phi = 0,83$.

Dimensionerande tryckhållfasthet i vertikalled bestäms av följande uttryck:

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_m \cdot \gamma_n}$$

$\gamma_m = 1,8$ enligt avsnitt 6:3123 i BKR 99 [2]

$\gamma_n = 1,2$ i SK 3

$$f_{cd} = \frac{8,0}{1,8 \cdot 1,2} = 2,6 \text{ MPa}$$

Bärförmåga med hänsyn till knäckning kan nu beräknas:

$$R_{nd0} = 0,75 \cdot \Phi \cdot b \cdot t \cdot f_{cd} = 0,75 \cdot 0,83 \cdot 0,510 \cdot 0,250 \cdot 3,7 \cdot 10^6 = 293,9 \text{ kN}$$

$$S_d = q_{dB} \cdot \left(\frac{1,410}{2} + 0,510 + \frac{1,410}{2} \right) = 11,9 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{1,410}{2} + 0,510 + \frac{1,410}{2} \right) = 22,8 \text{ kN}$$

$$\frac{S_d}{R_{nd0}} = \frac{23,6}{293,9} = 0,08 < 0,10 \Rightarrow \text{OK!}$$

Det är korrekt att betrakta väggen som enbart horisontalbelastad.

Horisontallasten består av vindlast på fasadmuren.

$$q_{vind} = 1,3 \cdot (\mu_{tryck} + \mu_{invändig}) \cdot q_{k,vind} = 1,3 \cdot (0,85 + 0,3) \cdot 0,65 = 1,0 \text{ kN} / \text{m}^2$$

Enligt MUR 90 [3], häfte 4B tab. 5.1 är momentkapacitet med avseende på horisontell momentvektor för en helstens tegelmur:

$$m_h = 1,9 \cdot 0,92 = 1,75 \text{ kNm} / m$$

$$M_{sd} = \frac{q_{vind} \cdot l^2}{8} = \frac{1,0 \cdot 2,4^2}{8} = 0,72 \text{ kNm} / m$$

$m_h > M_{sd} \Rightarrow OK!$

Bärförmåga med hänsyn till knäckning, väggalternativ 1 och 3, punkt D, plan 1

Nyttig last är huvudlast

Bärförmåga med hänsyn till knäckning kontrolleras enligt följande ekvation:

$$R_{nd} = 0,75 \cdot \Phi \cdot b \cdot t \cdot f_{cd}$$

Φ = reduktionsfaktor som tar hänsyn till slankhet λ_e , excentricitet e_{dim} och andra ordningens utböjningar

b = murverkets längd (1m)

t = lastbärande murverkets tjocklek

f_{cd} = dimensionerande tryckhållfasthet i vertikalled

Först bestäms reduktionsfaktorn Φ enligt diagram 6.2/1 [1]. För detta krävs att slankhet λ_e och excentricitet e_{dim} bestäms.

För att bestämma slankheten λ_e används följande formel:

$$\lambda_e = \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \cdot \left(\frac{1000 \cdot f_{ck}}{E_k} \right)^{0,5}$$

h_{ef} = effektiv knäcklängd

t_{ef} = effektiv murtjocklek ($t_{ef} = t$ för massiva murverk)

f_{ck} = karakteristisk tryckhållfasthet i vertikalled

E_k = karakteristisk elasticitetsmodul

Enligt avsnitt 6.262 [1] är $h_{ef} = 0,75h$ för väggar som är styrda av betongbjälklag i övre och undre rand.

$$h_{ef} = 0,75 \cdot h = 0,75 \cdot 2,4 = 1,8 \text{ m}$$

$$t_{ef} = t = 0,250 \text{ m}$$

Vi antar lättklinkerblock av hållfasthetsklass 5 och murbruksklass B.

$$f_{ck} = 3,4 \text{ MPa}$$

Enligt avsnitt 6.214 i BKR 99 [2] är E_k för lättklinkerblock:

$$E_k = 1400 \cdot f_{ck} = 1400 \cdot 3,4 \cdot 10^6 = 4,8 \text{ GPa}$$

Med ovanstående värden insatta i uttrycket för slankheten λ_e fås:

$$\lambda_e = \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \cdot \left(\frac{1000 \cdot f_{ck}}{E_k} \right)^{0,5} = \frac{1,8}{0,250} \cdot \left(\frac{1000 \cdot 3,4}{4800} \right)^{0,5} = 6,1$$

e_{dim} , som är dimensionerande excentricitet på halva väggens höjd, fås enligt avsnitt 6.25 i Konstruktionshandbok Bärande tegelmurverk [1] enligt följande:

$$e_{dim} = e_m + e_0 + e_p + e_k$$

e_m = excentricitet i tvärsnitt på halva höjden av mittmoment M_m orsakat av ändmoment $N_d e_1$ i ök respektive $N_d e_2$ i uk vägg.

e_0 = initialkrokighet, $h_{ef}/300$ i utförandeklass I

$e_p = M_p/N_d$ = beräkningsmässig excentricitet av horisontallast

e_k = excentricitet av krypning (kan sättas lika med noll för murverk)

För vertikalt enkelspänd vägg blir $e_m = (e_1 + e_2)/2$, där e_1 är excentricitet i ök vägg och e_2 är excentricitet i uk vägg. e_2 sätts lika med e_1 , som beräknas enligt figur 6.2:6 [1].

$$e_1 = \frac{N_a \cdot e_a + N_c \cdot e_c}{N_a + N_c} \quad \text{dock minst } 0,05t$$

$$e_a = \frac{t}{6} = \frac{250}{6} - \frac{125}{3} = 42 \text{ mm} \quad (\text{minst } 12 \text{ mm i utförandeklass I})$$

$$e_c = 12 \text{ mm} \quad \text{i utförandeklass I}$$

N_a är lasten från bjälklaget som vilar på väggen.

N_c är lasten som förs ner till väggen från väggen i ovanliggande våning.

Eftersom $e_a > e_c$ blir e_1 störst när N_a är så stor som möjligt. Detta inträffar när man placerar huvudlasten på det bjälklag som vilar på väggen. N_a och N_c fås genom att modifiera de tidigare dimensionerande lasterna enligt följande:

$$N_a = (1,3(q_{k,f} + q_{k,b}) + 1,0 \cdot g_{k,bjälklag} + 1,0 \cdot g_{k,lättvägg}) \cdot (0,6 \cdot L_A + 0,6 \cdot L_B)$$

$$N_c = q_{dD} - N_a$$

$$N_a = (1,3(1,5 + 0,5) + 1,0 \cdot 6,0 + 1,0 \cdot 0,5) \cdot (0,6 \cdot 5,9 + 0,6 \cdot 6,1) = 65,5 \text{ kN}$$

$$N_c = 201,3 - 65,5 = 135,8 \text{ kN}$$

$$e_1 = \frac{64,4 \cdot 42 + 135,8 \cdot 12}{64,4 + 135,8} = 22 \text{ mm} \quad (\text{dock minst } 0,05t = 13 \text{ mm})$$

$$e_m = \frac{e_1 + e_2}{2} = \frac{22 + 22}{2} = 22 \text{ mm}$$

$$e_0 = \frac{h_{ef}}{300} = \frac{1800}{300} = 6 \text{ mm}$$

Eftersom horisontallasten (endast invändig vindlast) är försumbar i förhållande till vertikallasten bör e_p kunna sättas till noll.

$$e_{\text{dim}} = e_m + e_0 + e_p + e_k = 22 + 6 + 0 + 0 = 28 \text{ mm}$$

$$\frac{e_{\text{dim}}}{t} = \frac{28}{250} = 0,11$$

Genom att gå in i diagram 6.2/1 [1] med λ_e och e_{dim}/t fås värdet för reduktionsfaktorn, $\Phi = 0,76$.

Dimensionerande tryckhållfasthet i vertikalled bestäms av följande uttryck:

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_m \cdot \gamma_n}$$

$\gamma_m = 1,8$ enligt avsnitt 6:3123 i BKR 99 [2]

$\gamma_n = 1,2$ i SK 3

$$f_{cd} = \frac{3,4}{1,8 \cdot 1,2} = 1,6 \text{ MPa}$$

Bärförmåga med hänsyn till knäckning kan nu beräknas:

$$R_{nd} = 0,75 \cdot \Phi \cdot b \cdot t \cdot f_{cd} = 0,75 \cdot 0,76 \cdot 1 \cdot 0,250 \cdot 1,6 \cdot 10^6 = 228,0 \text{ kN / m}$$

$R_{nd} > S_d = q_{dD} = 201,3 \text{ kN / m} \Rightarrow \text{OK!}$

Kontroll med avseende på kantpåkänningsbrott, väggalternativ 1 & 3, punkt D, plan 1

Nyttig last är huvudlast

Enligt avsnitt 6.23 [1] kontrolleras kantpåkänningsbrott i väggens ovan- och underkant enligt följande ekvation:

$$N_d \leq \left(1 - \frac{2 \cdot e}{t}\right) \cdot b \cdot t \cdot 0,75 \cdot f_{cd}$$

där e är knutpunktsexcentriciteterna e_1 respektive e_2 enligt tidigare.

För ovankanten av väggen blir villkoret följande:

$$N_d \leq \left(1 - \frac{2 \cdot 22}{250}\right) \cdot 1 \cdot 0,250 \cdot 0,75 \cdot 1,6 \cdot 10^6 = 247,2 \text{ kN} / \text{m}$$

För underkanten av väggen blir villkoret följande:

$$N_d \leq \left(1 - \frac{2 \cdot 0}{250}\right) \cdot 1 \cdot 0,250 \cdot 0,75 \cdot 1,6 \cdot 10^6 = 300,0 \text{ kN} / \text{m}$$

$S_d = 201,3 \text{ kN} / \text{m} \Rightarrow \text{OK!}$
--

Bärförmåga med hänsyn till knäckning, väggalternativ 2, punkt B, plan 3

Snölast är huvudlast

Bärförmåga med hänsyn till knäckning kontrolleras enligt följande ekvation:

$$R_{nd} = 0,75 \cdot \Phi \cdot b \cdot t \cdot f_{cd}$$

Φ = reduktionsfaktor som tar hänsyn till slankhet λ_e och excentricitet e_{dim}

b = murverkets längd

t = lastbärande murverkets tjocklek

f_{cd} = dimensionerande tryckhållfasthet i vertikalled

Först bestäms reduktionsfaktorn Φ enligt diagram 6.2/1 [1]. För detta krävs att slankhet λ_e och excentricitet e_{dim} bestäms.

För att bestämma slankheten λ_e används följande formel:

$$\lambda_e = \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \cdot \left(\frac{1000 \cdot f_{ck}}{E_k} \right)^{0,5}$$

h_{ef} = effektiv knäcklängd

t_{ef} = effektiv murtjocklek

f_{ck} = karakteristisk tryckhållfasthet i vertikalled

E_k = karakteristisk elasticitetsmodul

Enligt avsnitt 6.263 [1] är $h_{ef} = 0,75h + 0,25h_w$ för fönsterpelare som är styrda av betongbjälklag i övre och undre rand, där h är våningshöjden och h_w är höjden på den i vertikal riktning största öppningen.

$$h_{ef} = 0,75 \cdot h + 0,25 \cdot h_w = 0,75 \cdot 2,4 + 0,25 \cdot 2,1 = 2,3 \text{ m}$$

$$t_{ef} = t = 0,400 \text{ m}$$

Vi antar lättbetongblock av kvalitetsgrupp 500 och murbruksklass B.

$$f_{ck} = 1,7 \text{ MPa}$$

Enligt avsnitt 6.214 i BKR 99 [2] är E_k för lättbetongblock:

$$E_k = 700 \cdot f_{ck} = 700 \cdot 1,7 \cdot 10^6 = 1,2 \text{ GPa}$$

Med ovanstående värden insatta i uttrycket för slankheten λ_e fås:

$$\lambda_e = \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \cdot \left(\frac{1000 \cdot f_{ck}}{E_k} \right)^{0,5} = \frac{2,3}{0,400} \cdot \left(\frac{1000 \cdot 1,7}{1200} \right)^{0,5} = 6,9$$

e_{dim} , som är dimensionerande excentricitet på halva väggens höjd, fås enligt avsnitt 6.25 [1] enligt följande:

$$e_{dim} = e_m + e_0 + e_p + e_k$$

e_m = excentricitet i tvärsnitt på halva höjden av mittmoment M_m orsakat av ändmoment $N_{d,e1}$ i ök respektive $N_{d,e2}$ i uk vägg.

e_0 = initialkrokighet, $h_{ef}/300$ i utförandeklass I

e_p = M_p/N_d = beräkningsmässig excentricitet av horisontallast

e_k = excentricitet av krypning (kan sättas lika med noll för murverk)

För vertikalt enkelspänd vägg blir $e_m = (e_1 + e_2)/2$, där e_1 är excentricitet i väggens överkant och e_2 är excentricitet i väggens underkant. Om inte väggen är belastad från en sida i ovankanten och vilar på ett genomgående bjälklag eller ett bjälklag från andra sidan sätts e_2 lika med noll. I vårt fall sätts e_2 lika med noll. e_1 beräknas enligt figur 6.2:4 [1]

$$e_1 = \frac{t}{2} - \frac{a}{3} = \frac{400}{2} - \frac{200}{3} = 133 \text{ mm} \quad (\text{dock minst 12 mm i utförandeklass I})$$

$$e_2 = 0$$

$$e_m = \frac{e_1 + e_2}{2} = \frac{133 + 0}{2} = 67 \text{ mm}$$

$$e_0 = \frac{h_{ef}}{300} = \frac{2300}{300} = 8 \text{ mm}$$

Horisontallasten består av vindlast på fasadmuren. Först beräknas vindlasten och därefter beräkningsmässig excentricitet e_p av horisontallast, dvs den excentricitet med vilken vertikallasten skall angripa för att ge upphov till ett lika stort moment som horisontallasten orsakar.

$$q_{vind} = \psi \cdot (\mu_{tryck} + \mu_{invändig}) \cdot q_{k,vind} = 0,25 \cdot (0,85 + 0,3) \cdot 0,65 = 0,19 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$e_p = \frac{M_p}{q_{dA}} = \frac{0,125 \cdot q_{vind} \cdot h^2}{q_{dA}} = \frac{0,125 \cdot 0,19 \cdot 2,4^2}{17,9} = 8 \text{ mm}$$

$$e_{\text{dim}} = e_m + e_0 + e_p + e_k = 67 + 8 + 8 + 0 = 83 \text{ mm}$$

$$\frac{e_{\text{dim}}}{t} = \frac{83}{400} = 0,21$$

Genom att gå in i diagram 6.2/1 [1] med λ_e och e_{dim}/t fås värdet för reduktionsfaktorn $\Phi = 0,55$.

Dimensionerande tryckhållfasthet i vertikalled bestäms av följande uttryck:

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_m \cdot \gamma_n}$$

$\gamma_m = 1,8$ enligt avsnitt 6:3123 i BKR 99 [2]

$\gamma_n = 1,2$ i SK 3

$$f_{cd} = \frac{1,7}{1,8 \cdot 1,2} = 0,79 \text{ MPa}$$

Bärförmåga med hänsyn till knäckning kan nu beräknas:

$$R_{nd} = 0,75 \cdot \Phi \cdot b \cdot t \cdot f_{cd} = 0,75 \cdot 0,55 \cdot 0,550 \cdot 0,400 \cdot 0,79 \cdot 10^6 = 71,5 \text{ kN}$$

$$S_d = q_{dB} \cdot \left(\frac{1,410}{2} + 0,550 + \frac{1,410}{2} \right) = 17,9 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{1,410}{2} + 0,550 + \frac{1,410}{2} \right) = 35,1 \text{ kN}$$

$R_{nd} > S_d \Rightarrow \text{OK!}$

Kontroll med avseende på kantpåkänningsbrott, väggalternativ 2, punkt B, plan 3

Snölast är huvudlast

Enligt avsnitt 6.23 [1] kontrolleras kantpåkänningsbrott i väggens ovan- och underkant enligt följande ekvation:

$$N_d \leq \left(1 - \frac{2 \cdot e}{t}\right) \cdot b \cdot t \cdot 0,75 \cdot f_{cd}$$

där e är knutpunktsexcentriciteterna e_1 respektive e_2 enligt tidigare.

För ovankanten av väggen blir villkoret följande:

$$N_d \leq R_{kantpåkänning,ök} = \left(1 - \frac{2 \cdot 133}{400}\right) \cdot 0,550 \cdot 0,400 \cdot 0,75 \cdot 0,79 \cdot 10^6 = 43,8 \text{ kN}$$

För underkanten av väggen blir villkoret följande:

$$N_d \leq R_{kantpåkänning,uk} = \left(1 - \frac{2 \cdot 0}{400}\right) \cdot 0,550 \cdot 0,400 \cdot 0,75 \cdot 0,79 \cdot 10^6 = 130,5 \text{ kN}$$

$N_d = S_d = 35,1 \text{ kN} \Rightarrow OK!$

Kontroll med avseende på lokalt tryck, väggalternativ 2, punkt B, plan 3

Snölast är huvudlast

Enligt avsnitt 6.27 [1] anses lokalt tryck föreligga när kontaktytans utbredning i murverkets längdriktning är mindre än dubbla murverkstjockleken eller mindre än 1/3 av murverkets längd.

Kontaktytans utbredning i murverkets längdriktning är det samma som fönsterpelarens bredd, det vill säga 550 mm. Dubbla murverkstjockleken är 800 mm, vilket innebär att lokalt tryck föreligger.

Kontroll med avseende på lokalt tryck sker enligt MUR 90 [3], häfte 4A, 3.9.

$$\sigma_{ld} \leq f_{ld}$$

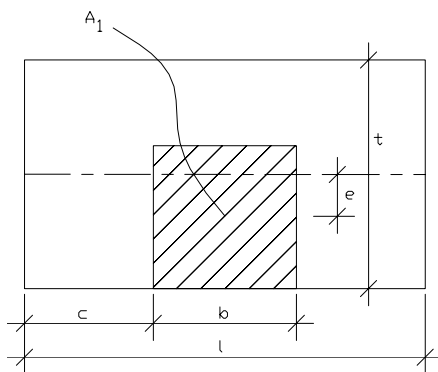
där

$$f_{ld} = f_{cd} \cdot \left(1 + \frac{0,1c}{b}\right) \leq 1,5 \cdot f_{cd}$$

vilket gäller under förutsättning att

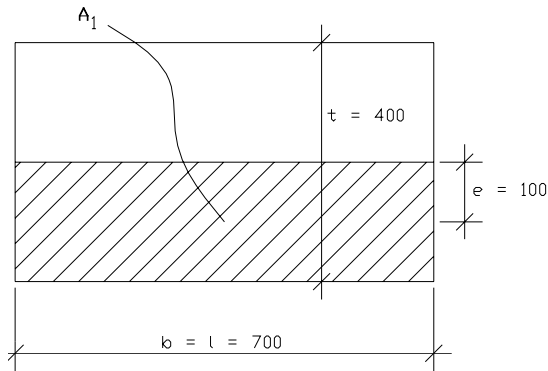
$$A_1 \leq 2 \cdot t^2 \quad \text{och} \quad e \leq \frac{t}{6}$$

Ovanstående beteckningar anges i **Figur 2.9**.



Figur 2.9. Definition av beteckningar vid kontroll med avseende på lokalt tryck.

I vårt fall ser situationen ut som i **Figur 2.10**.



Figur 2.10. Beteckningar i det aktuella fallet.

$$A_1 = 0,550 \cdot 0,200 = 0,110 \text{ mm}^2 \leq 2 \cdot t^2 = 2 \cdot 0,400^2 = 0,320 \text{ mm}^2 \quad \text{och}$$

$$e = 100 \text{ mm} \leq \frac{t}{6} = \frac{400}{6} = 67 \text{ mm}$$

Eftersom c är noll i vårt fall reduceras dock uttrycket för f_{ld} till:

$$f_{ld} = f_{cd}$$

Det dimensionerande lokala trycket blir:

$$\sigma_{ld} = \frac{q_{dB} \cdot \left(\frac{1,410}{2} + 0,550 + \frac{1,410}{2} \right)}{0,550 \cdot 0,400} = 0,31 \text{ MPa}$$

$$f_{ld} = f_{cd} = 0,79 \text{ MPa}$$

$$\boxed{f_{ld} > \sigma_{ld} \Rightarrow \text{OK!}}$$

Bärförmåga med hänsyn till knäckning, väggalternativ 2, punkt D

För att klara ljudisoleringskraven används lägenhetsskiljande väggar av 180 mm betong. En annan möjlighet hade varit att använda samma typ av Lecablocksvägg som i alternativ 1 och 3.

Vid dimensioneringen av betongväggen krävs långtidslasten, vilken beräknas först.

$$q_{LD} = (0,15S_k + 1,0q_{k,b} \cdot 2 + 1,0g_{k,tak} + 1,0q_{innervägg} \cdot 2 + 1,0g_{k,bjälklag} \cdot 2 + 1,0g_{k,vindsbjälklag}) \cdot (0,6 \cdot L_A + 0,6 \cdot L_B) + 2,4g_{k,lg.h.skiljande} \cdot 2$$
$$q_{LD} = (0,15 \cdot 1,0 + 1,0 \cdot 0,5 \cdot 2 + 1,0 \cdot 1,5 + 1,0 \cdot 0,5 \cdot 2 + 1,0 \cdot 6,0 \cdot 2 + 1,0 \cdot 4,8) \cdot (0,6 \cdot 5,9 + 0,6 \cdot 6,1) + 2,4 \cdot 4,3 \cdot 2 = 167,9 \text{ kN / m}$$

Betong: K30

SK 3

$f_{cc} = 11,9 \text{ MPa}$

$E_c = 20,8 \text{ MPa}$

Armering: B500B ϕ 10 mm

SK3

$f_{st} = 362 \text{ MPa}$

$E_s = 159 \text{ GPa}$

Täckskikt: $10 + 1,5\phi = 25 \text{ mm}$ (BBK 94 [4], sid 90)

Dubbla rader s 500 antas räcka som armering.

$$A_{s,tot} = \frac{1}{0,5} \cdot 2 \cdot \left(\frac{\phi}{2}\right)^2 \cdot \pi = \frac{1}{0,5} \cdot 2 \cdot \left(\frac{0,010}{2}\right)^2 \cdot \pi = 314 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$d = t - 25 - \frac{\phi}{2} = 180 - 25 - \frac{10}{2} = 150 \text{ mm}$$

$$d' = 25 + \frac{\phi}{2} = 25 + \frac{10}{2} = 30 \text{ mm}$$

Centriskt tryck:

Knäcklängd:

$$L_c = \beta \cdot L = 1,0 \cdot 2,4 = 2,4 \text{ m}$$

$$\frac{L_c}{t} = \frac{2,4}{0,180} \approx 13 \Rightarrow \begin{cases} k_c = 0,84 \\ k_\varphi = 0,08 \\ k_s = 0,60 \end{cases} \quad (\text{Tabell 6.3.3.2a i BBK 94 [4]})$$

$$\varphi_{eff} = \frac{N_L}{N_d} \cdot \varphi = \frac{1 \cdot q_{LD}}{1 \cdot q_{dD}} \cdot \varphi = \frac{167,9}{206,1} \cdot 3 = 2,4$$

Inomhus i uppvärmda lokaler får kryptalet φ sättas lika med 3 (avsnitt 2.4.7 i BBK 94 [4]).

$$N_u = k_c \cdot \frac{A_c \cdot f_{cc}}{1 + k_\varphi \cdot \varphi_{eff}} + k_s \cdot A_{s,tot} \cdot f_{st}$$

$$N_u = 0,84 \cdot \frac{0,180 \cdot 1 \cdot 11,9 \cdot 10^6}{1 + 0,08 \cdot 2,4} + 0,60 \cdot 314 \cdot 10^{-6} \cdot 362 \cdot 10^6 = 1,58 \text{ MN}$$

Samtidig böjning och normalkraft:

Momentberäkning

Lastexcentriciteten, som är 20 mm (sid3-6 i Mårtensson, Isaksson [5]), plus initialkrokigheten, $L/300 = 8$ mm, ger upphov till ett moment. Detta moment utgör första ordningens moment, M_0 .

$$M_0 = M_{exc.} = q_{dD} \cdot (e_{lastexc.} + e_{mit.krokigh.}) = 206,1 \cdot (0,020 + 0,008) = 5,8 \text{ kNm}$$

Kontrollerar ifall andra ordningens moment skall beaktas (sid 3-8 i Mårtensson, Isaksson [5]):

$$\frac{L_c}{i} = \frac{2,4}{\frac{0,180}{\sqrt{12}}} = 46 > 34 - 12 = 22 \Rightarrow \text{Andra ordningens moment skall beaktas!}$$

Tabell 6.3.3.2b i BBK 94 [4] ger:

$$\left. \begin{array}{l} \frac{L_c}{t} = \frac{2,4}{0,180} \approx 13 \\ \frac{N_d}{N_u} = \frac{206,1}{1580} = 0,13 \end{array} \right\} \Rightarrow c = 0,86$$

$$M_d = \frac{M_0}{c} = \frac{5,8}{0,86} = 6,7 \text{ kNm}$$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{N_d}{b \cdot d \cdot f_{cc}} = \frac{206,1 \cdot 10^3}{1 \cdot 0,150 \cdot 11,9 \cdot 10^6} = 0,115 \\ \frac{M_d}{b \cdot d^2 \cdot f_{cc}} = \frac{6,7 \cdot 10^3}{1 \cdot 0,150^2 \cdot 11,9 \cdot 10^6} = 0,025 \\ \frac{d'}{d} = \frac{0,030}{0,150} = 0,20 \end{array} \right\} \Rightarrow \omega = 0$$

Interaktionsdiagrammet (Diagram IV i "Betonghandbok Konstruktion, utgåva 2, Diagram- och tabellbilaga" [6]) ger inget krav på armering.

2.4. Resultat av statisk dimensionering

Kraven på statisk bärförmåga med hänsyn till knäckning, kantpåkänningsbrott och lokalt tryck medför i vissa fall att de bredder på fönsterpelare som använts i den ursprungliga byggnaden måste ökas. Alternativet är att minska fönster- och balkongdörrbredderna. I samtliga förekommande fall har en avvägning mellan rimligheten i fönsterpelarens bredd, tjocklek, värmeisoleringsegenskaper och materialkostnader gjorts. Detta innebär att de nedan framräknade dimensionerna bara är urval av ett antal möjliga lösningar. De val som gjorts kommenteras närmare med hänsyn till arkitektoniska avvägningar i kapitel 5 Arkitektur.

Vid en fullständig dimensionering skulle fler kontroller gjorts, t ex skulle även fallet med vindlast *mot* fasad i plan 1 och 2 kontrolleras.

I de fall där annat inte anges har B-bruk använts. Samtliga beräkningar finns redovisade i tabellform i **Bilaga 1**.

2.4.1. Väggalternativ 1

Punkt A

I plan 1 och 2 har C-bruk använts.

Plan 1	Plan 2	Plan 3
15 slätputs	15 slätputs	15 slätputs
120 tegel	120 tegel	120 tegel
20 spalt	20 spalt	20 spalt
120 isol.	120 isol.	120 isol.
50 isol.	50 isol.	50 isol.
slamning	slamning	slamning
120 tegel	120 tegel	120 tegel

Punkt B

Plan 1	Plan 2	Plan 3
15 slätputs	15 slätputs	15 slätputs
250 tegel	250 tegel	250 tegel
10 spalt	10 spalt	10 spalt
50 isol.	50 isol.	50 isol.
slamning	slamning	slamning
120 tegel	120 tegel	120 tegel

Punkt C

I plan 1 har A-bruk använts.

Plan 1		Plan 2		Plan 3	
15	slätputs	15	slätputs	15	slätputs
250	tegel	250	tegel	250	tegel
10	spalt	10	spalt	10	spalt
50	isol.	50	isol.	50	isol.
	slamning		slamning		slamning
120	tegel	120	tegel	120	tegel

2.4.2. Väggalternativ 2

Punkt A

Plan 1		Plan 2		Plan 3	
5	puts	5	puts	5	puts
400	lättbtg (400)	400	lättbtg (400)	400	lättbtg (400)
15	slätputs	15	slätputs	15	slätputs

Punkt B

Bredden på fönsterpelaren har ökats från 510 mm i den ursprungliga byggnaden till 550 mm.

Plan 1		Plan 2		Plan 3	
5	puts	5	puts	5	puts
400	lättbtg (600)	400	lättbtg (600)	400	lättbtg (500)
15	slätputs	15	slätputs	15	slätputs

Punkt C

Bredden på fönsterpelaren har måste ökas från 380 mm i den ursprungliga byggnaden till 850 mm. Detta innebär förmodligen att man väljer att använda en betongpelare istället.

Plan 1		Plan 2		Plan 3	
5	puts	5	puts	5	puts
400	lättbtg (600)	400	lättbtg (500)	400	lättbtg (400)
15	slätputs	15	slätputs	15	slätputs

2.4.3. Väggalternativ 3

Punkt A

Plan 1		Plan 2		Plan 3	
15	slätputs	15	slätputs	15	slätputs
190	Leca (2)	190	Leca (2)	190	Leca (2)
150	isol.	150	isol.	150	isol.
10	spalt	10	spalt	10	spalt
120	tegel	120	tegel	120	tegel

Punkt B

Plan 1		Plan 2		Plan 3	
15	slätputs	15	slätputs	15	slätputs
340	Leca (5)	250	Leca (5)	250	Leca (3)
		90	isol.	90	isol.
10	spalt	10	spalt	10	spalt
120	tegel	120	tegel	120	tegel

Punkt C

Bredden på fönsterpelaren har ökat från 380 mm i den ursprungliga byggnaden till 510 mm.

Plan 1		Plan 2		Plan 3	
15	slätputs	15	slätputs	15	slätputs
340	Leca (10)	340	Leca (5)	250	Leca (3)
				90	isol.
10	spalt	10	spalt	10	spalt
120	tegel	120	tegel	120	tegel

2.5. Dimensionering av balkar över öppningar

2.5.1. Väggalternativ 1

Prefabricerade murstensskift används.

Över varje öppning i muren placeras en balk i den yttre muren och en i den inre muren. Den balk som är placerad i den inre muren antas bära upp en last som motsvarar tyngden av balken själv samt två murstensskift. Detta innebär att bjälklagsplattan antas ta upp tyngden av den muryta som befinner sig under motsvarande öppning på planet över, och föra denna tyngd vidare till fönsterpelaren och murpartierna bredvid öppningen. Detta bör vara ett rimligt antagande då det rör sig om en platsgjuten och korsarmerad bjälklagsplatta.

Den balk som är placerad i den yttre muren antas bära upp en last som motsvarar tyngden av den muryta som befinner sig rakt ovanför öppningen upp till underkanten av överliggande öppning.

Dimensionerande laster för de prefabricerade balkarna blir därmed:

$$q_{d,ytermur} = g_{k,ytermur} \cdot h_y = 0,120 \cdot 16 \cdot 1,3 = 2,5 \text{ kN} / \text{m}$$

$$q_{d,innermur} = g_{k,innermur} \cdot h_i = (0,120 \cdot 16 + 0,27) \cdot 0,22 = 0,5 \text{ kN} / \text{m}$$

Prefabricerade murstensskift dimensioneras av tillverkaren. Ovanstående dimensionerande laster måste betraktas som små i sammanhanget, varför det inte bör vara några problem att tillverka erforderliga balkar.

2.5.2. Väggalternativ 2

Prefabricerade lättbetongbalkar används.

Över varje öppning i muren placeras en balk. Denna balk antas bära upp en last som motsvarar tyngden av den muryta som befinner sig rakt ovanför öppningen upp till underkanten av överliggande öppning. På samma sätt som för väggalternativ 1 antas bjälklagsplattan vara så styv att den fördelar bjälklagslasterna vid muröppningarna till de angränsande väggpartierna.

Dimensionerande last för den prefabricerade balken blir därmed:

$$q_d = g_k \cdot h = 2,5 \cdot 1,3 = 3,3 \text{ kN / m}$$

Enligt Lättbetonghandboken [7] tillverkas armerade lättbetongbalkar för blockväggar med märklasten 17,0 kN/m i brottgränstillståndet samt 15,0 kN/m i bruksgränstillståndet. Dimensionerande bärförmåga i brottgränstillstånd är 1,3 gånger större än märklasten plus balkens egentyngd. Dessa värden gäller för säkerhetsklass 2. Detta bör innebära att dimensionerande bärförmåga i brottgränstillståndet i säkerhetsklass 3 blir:

$$R_d = 1,3 \cdot 17,0 \cdot \frac{\gamma_{n,SK2}}{\gamma_{n,SK3}} = 1,3 \cdot 17,0 \cdot \frac{1,1}{1,2} = 20,3 \text{ kN / m}$$

Detta värde överskrider den dimensionerande brottlasten. Även bärförmågan i bruksgränstillståndet, med hänsyn till en maximal tillåten nedböjning av $L/350$, överskrider den dimensionerande brottlasten, vilken är större än motsvarande brukslast. Det är därför inte nödvändigt att ta fram brukslasten.

Vid muröppningar under 1950 mm krävs en minsta upplagslängd på 150 mm.

Balkar över fönster- och balkongdörröppningar i mur vid B och C:

1 st balk med $l=1800$, $h=200$ och $b=400$

2.5.3. Väggalternativ 3

Prefabricerade murstensskift används för den yttre muren, medan prefabricerade Lecabalkar används i den inre muren.

Över varje öppning i muren placeras en balk i den yttre muren och en i den inre muren. Den balk som är placerad i den inre muren antas endast bära upp en last som motsvarar tyngden av den del av den inre muren som befinner sig rakt ovanför öppningen upp till underkanten av ovanliggande bjälklag. Detta innebär att bjälklagsplattan antas ta upp tyngden av den muryta som befinner sig under mostvarande öppning på planet över, och föra denna tyngd vidare till fönsterpelaren och murpartierna bredvid öppningen.

Den balk som är placerad i den yttre muren antas bära upp en last som motsvarar tyngden av den muryta som befinner sig rakt ovanför öppningen upp till underkanten av överliggande öppning.

Dimensionerande laster för de prefabricerade balkarna blir därmed:

$$q_{d,yttermur} = g_{k,yttermur} \cdot h_y = 0,120 \cdot 16 \cdot 1,3 = 2,5 \text{ kN / m}$$

$$q_{d,innermur} = g_{k,innermur} \cdot h_i = (0,190 \cdot 7 + 0,27) \cdot 0,11 = 0,2 \text{ kN / m}$$

Enligt LECA Balkar [8]:

Upplagslängden är 250 mm och läggs på oskadade kanter. Dimensionering sker med hjälp av tabeller för brottgränstillstånd och bruksgränstillstånd.

Brottgränstillstånd

Dimensioneringstabell ger:

Balkar i inre muren över fönsteröppningar i mur vid B och C:

1 st balk med $l=2090$, $h=190$ och $b=290$

$$R = 58,6 \text{ kN/m} > q_{d,innermur} = 0,2 \text{ kN/m} \Rightarrow \text{OK!}$$

Balkar i inre muren över balkongdörröppning vid C:

1 st balk med $l=1790$, $h=190$ och $b=290$

$$R = 50,5 \text{ kN/m} > q_{d,innermur} = 0,2 \text{ kN/m} \Rightarrow \text{OK!}$$

För balkarna i den yttre muren är förutsättningarna identiska med väggalternativ 1, vilket innebär att samma balkar väljs som för väggalternativ 1.

Bruksgränstillstånd

Enligt dimensioneringstabell har de balkar som valdes ovan följande bärförmåga med hänsyn till att maximal långtidsnedböjning inte får överskrida muröppning/500.

Balkar i inre muren över fönsteröppningar i mur vid B och C:

1 st balk med $l=2090$, $h=190$ och $b=290$

$$R_{\text{långtid}} = 19,7 \text{ kN/m}$$

Balkar i inre muren över balkongdörröppning vid C:

1 st balk med $l=1790$, $h=190$ och $b=290$

$$R_{\text{långtid}} = 19,5 \text{ kN/m}$$

Ovanstående bärförmågor överskrider dimensionerande laster i brottgränstillståndet med god marginal. Eftersom dimensionerande långtidslaster är mindre än motsvarande brottgränslaster behöver långtidslasterna inte tas fram.

För balkarna i den yttre muren är förutsättningarna identiska med väggalternativ 1, vilket innebär att balkar enligt väggalternativ 1 uppfyller bruksgränskraven.

2.6. Dimensionering av murkramlor

Murkramlor av Z-typ används. MUR 90 [3] ger minsta horisontella avstånd mellan vertikala rader av kramlor i varje skift. Kramlorna fördelas istället mer jämnt över fasaden, men med minst lika många kramlor/m² som enligt MUR 90 [3].

2.6.1. Murkramlor i alternativ 1

I alternativ 1 har B-bruk använts i plan 3 samt över och under fönsteröppningar. I plan 1 och 2 har C-bruk, som är något svagare, använts för stora sammanhängande murytor. För de muravsnitt där B-bruk använts ger MUR 90 [3] vertikala rader av murkramlor med ett horisontellt avstånd av 3,8 m, medan de placeras med ett horisontellt avstånd av 3,4 m för murpartier där C-bruk använts. Detta motsvarar 3,5 kramlor/m² respektive 3,9 kramlor/m². I båda fallen väljs kramlor i vart femte skift med centrumavstånd 600 mm mellan de vertikala raderna. Detta motsvarar ca 4,4 kramlor/m².

Inom ett avstånd av 0,5 m från hopmurade hörn placeras inga kramlor på grund av risk för fastlåsning vid temperaturrelser.

2.6.2. Murkramlor i alternativ 3

I alternativ 3 har B-bruk använts i samtliga murpartier. Murkramlor placeras i vart femte skift med centrumavstånd 600 mm mellan de vertikala raderna.

Detsamma som för alternativ 1 gäller, dvs att inga kramlor placeras inom ett avstånd av 0,5 m från hopmurade hörn på grund av risk för fastlåsning vid temperaturrelser.

3. Byggnadsfysik

I detta kapitel behandlas ett antal byggnadsfysikaliska aspekter. Dessa är fukt, värme, lufttäthet och akustik. I respektive avsnitt sker först en kort genomgång av grundläggande förutsättningar och mekanismer. Därefter följer en genomgång av de olika materialens egenskaper med hänsyn till de studerade fenomenen. Här ges också förslag till goda byggnadstekniska detaljutformningar.

3.1. Fukt

En vägg kan utsättas för fukt på ett antal olika sätt. Genom att ha de olika fuktkällorna i åtanke vid utformning av de byggnadstekniska detaljerna kan man minimera risken för att olika typer av fuktrelaterade skador eller olägenheter uppstår. Det är viktigt att tänka på att även om murverket i sig inte alltid tar skada av att vara fuktigt så kan andra material som står i kontakt med murverket skadas. Detta gäller till exempel träreglar.

3.1.1. Fuktkällor

De vanligaste fuktkällorna när det gäller ytterväggar är:

- Nederbörd
- Kondens
- Markfukt
- Byggfukt
- Läckage

Nederbörd

Nederbörd kan förekomma som till exempel regn, snö, smältvatten och slagregn. För väggar medför regn och snö i allmänhet inte några större problem, eftersom fallriktningen är mer eller mindre lodrät. Endast en mindre mängd träffar väggen. Vid samtidig nederbörd och kraftig vind kan nederbördens komponent i horisontalled dock bli mycket stor. I vissa fall kan nederbörden träffa väggen helt horisontellt. Med slagregn avses regnets horisontella komponent.

Slagregn kan medföra att vatten tränger genom ofullständigt utförda fogar och anslutningar. Detta kan leda till att vatten rinner på baksidan av fasadmuren i en kanalmur eller på insidan av en massivmur. Problemet med vatteninträngningen uppstår när slagregnet pågår tillräckligt länge med tillräckligt hög intensitet. Då förmår inte murverket suga upp det vatten som träffar ytan, utan en vattenfilm bildas. Det är detta vatten som sedan rinner genom ofullkomligheter i murverket.

Smältvatten bildas när snö eller is som samlats på tak, balkonger eller andra icke vertikala ytor smälter. Om regnvattenavledningssystemet fungerar som det skall så medför inte smältvatten några problem. Däremot kan problem uppstå om smältvattnet på grund av ett defekt eller dåligt utformat avvattningsystem tvingar det att hitta nya vägar. Då kan smältvattnet rinna in genom otätheter vid anslutningar mm.

Kondens

Luften innehåller alltid en viss mängd vattenånga. Den maximala ånghalt som luften kan ha vid en viss temperatur benämns mätnadsånghalt. Mätnadsånghalten är temperaturberoende. Vid höga temperaturer är mätnadsånghalten större och luften kan innehålla en större mängd vattenånga. Kondens kan uppstå när luft med en viss ånghalt kommer i kontakt med en yta som har en lägre temperatur. Om mätnadsånghalten för luft vid en temperatur som motsvarar ytans temperatur är lägre än luftens aktuella ånghalt så kondenserar den del av vattenångan som överskrider mätnadsånghalten på ytan.

Ånghalten för inomhusluften är beroende av uteluftens ånghalt, ventilationens storlek, lufttemperaturen inomhus och fukttillskottet inomhus. Fukttillskottet utgörs av den vattenånga som avges genom avdunstning från människor, djur och växter samt från olika aktiviteter som tex diskning, bad, dusch mm. Även uttorkning av byggfukt och avsiktlig luftbefuktning bidrar till fukttillskottet.

Om inte ett ångtätt skikt finns på insidan av väggen så kommer inomhusluften med sitt ökade innehåll av vattenånga att kunna diffundera genom murverket och ut i de yttre delarna av väggen. Med undantag för varma och soliga dagar är temperaturen i de yttre delarna av väggen lägre än i de inre delarna. Detta betyder att kondens kan uppstå i murverket eller mot tex insidan av fasadmuren. Detta bör inte medföra några problem för en murverksvägg, eftersom den tål att utsättas för mindre mängder fukt. Kondensen sugas upp av väggen och transporteras antingen till murens utsida eller insida och avdunstar där när temperaturen är tillräckligt hög.

Markfukt

Markens fuktighet har betydelse för källarväggar och andra delar av en konstruktion som kommer i direkt eller indirekt kontakt med marken. Om inte dessa konstruktionsdelar skyddas från markens fukt genom kapillärbrytande skikt eller ett vattentätt skikt kan vatten sugas upp och transporteras upp i väggarna. Ett problem som kan uppstå är till exempel saltutfällningar på murverkets insida eller utsida. En ökad avdunstning från källarväggen in mot källaren kan medföra problem med för hög luftfuktighet i källaren. Det är viktigt att ha hela grundkonstruktionen i åtanke, inte enbart källarväggarna, eftersom markfukt till exempel annars kan sugas upp i grundplattan och sedan transporteras vidare upp i källarväggarna.

Byggfukt

När vissa byggnadsmaterial lämnar tillverkningsprocessen har de ett högt fukttinnehåll som delvis måste avges innan materialet byggs in eller kommer i kontakt med fuktkänsliga material. Denna överskottsfuktmängd kallas byggfukt. Lättbetong och betong är exempel på två material som innehåller en relativt stor mängd byggfukt efter tillverkningsprocessen. Även vid själva uppförandet av en byggnad tillförs byggfukt som måste avdunsta. Ett exempel på detta är att murbruk innehåller en stor mängd vatten som gör att även om murstenarna är helt torra innan murning så kommer det nyuppförda murverket att innehålla byggfukt.

Det är viktigt att byggfukten får tid att torka ut innan känsliga material som tex trä anbringas. Dessutom är det viktigt att inte stänga in byggfukt innanför ångtäta skikt som plastfärger eller plastmattor. Uttorkningen kan påskyndas med exempelvis värmefläktar och kondensavfuktare.

Läckage

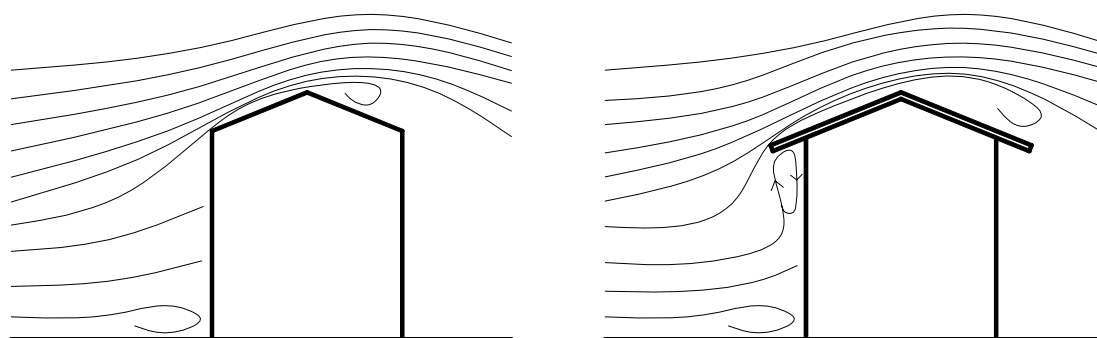
Läckage kan uppstå från vattenledningar som är dragna i väggarna och bjälklagen. Vid ett eventuellt läckage kan skador på fuktkänsliga material uppstå. Upptäcks ett läckage relativt snabbt kan skadan begränsas. Om ett läckage däremot inte upptäcks kan stora skador uppstå. Genom att dra vattenledningar synligt eller dra dom så att ett eventuellt läckage ändå upptäcks snabbt kan man minimera risken för skador.

3.1.2. Konstruktionsutformning med hänsyn till fukt

Väggalternativ 1

Nederbörd

Ett effektivt sätt att minimera slagregnmängden som en fasad utätts för är att se till att taket för ett ordentligt takutsprång. Detta gör nämligen att luftvirvlar som böjer av slagregnet bildas. Även utan takutsprång böjs slagregnet av till viss del, men effekten blir klart bättre med takutsprång (se *Figur 3.1*).



Figur 3.1. Effekt av takutsprång vid slagregn mot fasad (efter Figur 6.3 i MUR 90 [3]).

För att förhindra att en eventuell vattenfilm på fasadytan medför vatteninträngning genom ofullständigheter i fogar och anslutningar kan insidan av fasadmuren slammas. Detta ger ett heltäckande putslager som stoppar det vatten som kan ha runnit igenom själva murverket.

För att leda ut eventuellt vatten som trots allt skulle tränga genom fasadmuren placeras en vattenutledande plåt mellan fasadmuren och grundmuren. Plåten läggs på en hålkål av bruk och ges en svag lutning neråt-utåt. Även över fönster- och dörröppningar placeras plåtar som leder eventuellt vatten till sidorna om öppningarna. Kring fönster och dörrar drevas med mineralull och tätas med bruksfog.

Eftersom regngenslag hindras av slamningen bör öppna stötfogar ej krävas. Den lilla mängd vatten som eventuellt skulle tränga genom fasadmuren bör kunna sugas upp och transporteras ut genom murbruk och mursten i nedersta skiftet.

Kondens

Kanalmuren innehåller inga fukt känsliga material. Genom att murverket har förmåga att suga upp den fukt som kondenserar och sedan avge den igen vid väggens ut- eller insida så kommer mineralullsisoleringen inte att utsättas för några större fukt mängder.

Markfukt

Den vattenutledande plåten under fasadmuren hindrar även eventuell fukt i grundmuren att transporteras vidare upp i fasadmuren.

Byggfukt

Genom att se till att murverkets ovansida hela tiden är skyddat mot nederbörd minimeras den mängd fukt som måste torkas ut. Det är även viktigt att se till att byggnadsmaterialet är skyddat mot nederbörd och markfukt vid lagring på byggarbetsplatsen. Eftersom inga ångtäta skikt används kommer kanalmuren att kunna torka ut både inåt och utåt. Det är dock viktigt att se till att inga fukt känsliga material placeras i direkt kontakt med murverket. Ett kapillärbrytande skikt krävs mellan träreglar och murverk.

Läckage

Ur fuktsäkerhetssynpunkt är det att föredra att vattenledningar dras synliga där det är möjligt så att ett eventuellt läckage är lätt att upptäcka.

Väggalternativ 2

Nederbörd

Slagregnsmängden minimeras på samma sätt som för alternativ 1 genom att ha ett ordentligt takutsprång.

Eftersom väggen är putsad kommer en vattenfilm troligen att bildas på fasaden vid slagregn. Den stora murtjockleken, 400 mm, bör innebära en minskad risk för att genomgående ofyllda fogar eller sprickor skall förekomma. Dessutom är både väggens utsida och insida putsade. Således bör det inte föreligga någon större risk för regngenomslag.

Tätningen vid fönster- och dörröppningar är mycket viktig. Innan fönster och dörrar monteras putsas smygarna runt om, så att lättbetongen överallt är täckt av ett putslager. Kring fönster- och dörrkarmar drevas med mineralull och tätas med bruksfog.

Kondens

Massivmuren innehåller inga fuktkänsliga material. Murverket har förmåga att suga upp den fukt som eventuellt kondenserar och sedan avge den igen.

Markfukt

För att förhindra att eventuell fukt i grundmuren transporteras vidare upp i lättbetongmuren placeras en plåt mellan lättbetongmuren och grundmuren.

Byggfukt

Samma åtgärder som för alternativ 1 vidtas. Det vill säga att murverkets ovansida hela tiden skyddas mot nederbörd, byggnadsmaterialet skyddas mot nederbörd och markfukt vid lagring på byggarbetsplatsen och inga fuktkänsliga material placeras i direkt kontakt med murverket. Eftersom inga ångtäta skikt används kommer lättbetongmuren att kunna torka ut både inåt och utåt. Lättbetong innehåller relativt stora mängder byggfukt varför det är viktigt att se till att tillräcklig tid för uttorkning ges.

Läckage

Detsamma som för alternativ 1 gäller, det vill säga att det är att föredra att vattenledningar dras synliga där det är möjligt så att ett eventuellt läckage är lätt att upptäcka.

Väggalternativ 3

Nederbörd

Slagregnsmängden minimeras på samma sätt som för alternativ 1 och 2 genom att ha ett ordentligt takutsprång.

I detta alternativ vidtas inga särskilda åtgärder för att förhindra att en eventuell vattenfilm på fasadytan medför vatteninträning genom ofullständigheter i fogar och anslutningar. Istället lämnas en spalt mellan fasadmuren och isoleringsskiktet för att leda ut eventuellt vatten som rinner på fasadmurens baksida. För att leda ut vattnet placeras en vattenutledande plåt mellan fasadmuren och grundmuren. Plåten läggs på en hålkål av bruk och ges en svag lutning neråt-utåt. Även över fönster- och dörröppningar placeras plåtar som leder ut eventuellt vatten. Kring fönster och dörrar drevas med mineralull och tätas med fogmassa och bottningslist. Innan fönster och dörrar monteras putsas smygarna i den inre muren runt om.

Öppna stötfogar i nedersta skiftet kan användas för att effektivt kunna leda ut vatten.

Kondens

Kanalmuren innehåller inga fukt känsliga material. Genom att murverket har förmåga att suga upp den fukt som kondenserar och sedan avge den igen vid väggens ut- eller insida så kommer mineralullsisoleringen inte att utsättas för några större fuktmängder.

Markfukt

Den vattenutledande plåten under fasadmuren hindrar även eventuell fukt i grundmuren att transporteras vidare upp i fasadmuren.

Byggfukt

Samma åtgärder som för alternativ 1 och 2 vidtas. Det vill säga att murverkets ovansida hela tiden skyddas mot nederbörd, byggnadsmaterialet skyddas mot nederbörd och markfukt vid lagring på byggarbetsplatsen och inga fukt känsliga material placeras i direkt kontakt med murverket. Eftersom inga ångtäta skikt används kommer kombinationsmuren att kunna torka ut både inåt och utåt.

Läckage

Detsamma som för alternativ 1 och 2 gäller, det vill säga att det är att föredra att vattenledningar dras synliga där det är möjligt så att ett eventuellt läckage är lätt att upptäcka.

3.2. Värme

För att säkerställa ett komfortabelt inomhusklimat och en så liten uppvärmningskostnad som möjligt är det viktigt att ytterväggarna, och stommen i övrigt, har goda termiska egenskaper. Termiska egenskaper som är intressanta är värmemotstånd och värmekapacitet. I de fall då man har en inre och en yttre mur är även de temperaturberoende rörelserna intressanta.

3.2.1. Värmemotstånd

Ett materials värmemotstånd är ett mått på hur väl materialet hindrar att värme transporteras genom materialet. Ett högt värmemotstånd innebär alltså en god värmeisoleringsförmåga. När man kontrollerar hur god värmeisoleringsförmåga en byggnad har använder man värmegenomgångskoefficienten, vilken även benämns U-värde. För att beräkna U-värdet adderas inversen av det praktiskt tillämpbara värmemotståndsvärdet med ett antal påslag som tar hänsyn till en rad omständigheter, bland annat hur stor risken för oavsiktliga luftspalter är. Ett totalt U-värde för hela byggnaden fås genom att vikta ett medelvärde för de olika byggnadsdelarna i förhållande till dess areor.

3.2.2. Värmekapacitet

Värmekapacitet, C (Ws/K), är ett mått på hur stor värmemängd som åtgår för att höja ett materials temperatur 1 K. En stor värmekapacitet innebär att det tar lång tid för ett material att värmas upp och kylas ner. Tunga material har en stor värmekapacitet, vilket gör att de kan lagra värme från dygnets varma del och sedan avge denna värme under den kalla delen. På detta vis kan en tung stomme förhindra att innetemperaturen blir för hög under soliga dagar. Under natten kan den värme som lagrats i stommen avges. Detta kan innebära en viss minskning av uppvärmningsbehoven, men framförallt innebär det en fördel ur komfortsynpunkt genom att stora temperaturvariationer dämpas.

3.2.3. Temperaturberoende rörelser

I de fall ytterväggen består av en inre och en yttre mur kommer dessa murar att befinna sig i olika klimat. Detta medför att deras rörelser på grund av temperaturförändringar blir olika stora. Detta kan ge upphov till sprickbildning när den yttre muren låses fast mot andra byggnadsdelar. För att undvika detta delas den yttre muren in i lagom stora delar med hjälp av dilatationsfogar. Dilatationsfogar är vertikala fogar som fylls med fogmassa istället för bruk. Dessa fogar klarar att ta upp de temperaturberoende rörelserna i de avsnitt av den yttre muren som befinner sig på ömse sidor om fogen. I MUR 90 [3] rekommenderas att sammanhängande fasadmurar av halvstens tegel inte görs längre än 15-20 m. Dessutom kan risken för sprickbildning minskas ytterligare genom att man använder C-bruk där det är möjligt

med hänsyn till bärförmågan. Genom att placera en plåt mellan sockeln och det nedersta murstensskiftet minskas friktionen vilket också leder till minskad sprickrisk.

3.2.4. De olika alternativen termiska egenskaper

Praktiskt tillämpbart U-värde har beräknats för de tre olika väggalternativen samt för betongväggarna och utfackningsväggarna i den befintliga byggnaden (se **Bilaga 2**):

Väggalternativ 1 (Tegel): $U_p = 0,233 \text{ W/m}^2\text{K}$

Väggalternativ 2 (Lättbetong): $U_p = 0,259 \text{ W/m}^2\text{K}$

Väggalternativ 3 (Lättklinker): $U_p = 0,232 \text{ W/m}^2\text{K}$

Befintlig betongvägg: $U_p = 0,262 \text{ W/m}^2\text{K}$

Befintlig utfackningsvägg: $U_p = 0,235 \text{ W/m}^2\text{K}$

Den största delen av ytterväggsarean i den befintliga byggnaden utgörs av utfackningsväggar, vilket innebär att U_p -medelvärdet blir väsentligt lägre än betongväggarnas U_p -värde. U_p -medelvärdet för ytterväggarna (grundmurarna ej medräknade) blir $U_{p,medel} = 0,242 \text{ W/m}^2\text{K}$.

För alternativ 1 och 3 blir U-värdet lägre än i den ursprungliga byggnaden, medan det blir något högre i alternativ 2. Ett högre U-värde kan medföra större kostnader för uppvärmning. Dock kan ett högre U-värde i väggarna kompenseras genom att man har extra tjock isolering på vindsbjälklaget.

Betongbjälklagen och de lägenhetsskiljande innerväggarna av betong medför ett stort bidrag till byggnadens totala värmekapacitet. Detsamma gäller den inre tegelmuren i kanalmuren i alternativ 1. Lättbetong- och Lecamurarna bidrar något mindre, men absolut inte obetydligt, till en hög total värmekapacitet. I den ursprungliga byggnaden bidrar bjälklag och väggar av betong till en hög total värmekapacitet, medan utfackningsväggarna inte bidrar nämnvärt på grund av mineralullens mycket låga värmekapacitet per massenhet.

Det är rimligt att anta att alla de tre alternativa stommarna innebär en ökad termisk komfort i lägenheterna, jämfört med en lätt stomme av till exempel trä.

När det gäller sprickrisk på grund av temperaturrörelser är det endast alternativ 1 och alternativ 3 som kräver dilatationsfogar. Eftersom temperaturgradienten i massivmuren i alternativ 2 sjunker i stort sett linjärt från insida till utsida kommer inte alltför stora spänningar att uppstå. Placeringen av dilatationsfogarna i alternativ 1 och 3 sker lämpligen bakom stuprören i fasaden. Dessa är placerade så att de passar för att dela in ytterväggen i lagom stora delar.

3.3. Lufttätet

I samtliga alternativ putsas ytterväggarnas insida, vilket gör att erforderlig lufttätet uppnås. Innan fönster och dörrar placeras tätas smygarna med bruk. Kravet på lufttätet avser främst att minimera byggnadens energiförluster samt att säkerställa en god komfort för brukarna.

3.4. Akustik

När man tittar på en byggnad ur ljudisoleringsynvinkel skiljer man på två typer av ljudisoleret. Dessa är luftljudisoleret och stegljudisoleret.

Med luftljudisoleret menar man konstruktionens förmåga att hindra luftljud att transporteras från ett rum till ett annat. Luftljud kan spridas mellan olika rum på flera sätt. Dels kan ljudet överföras genom väggar, dels genom ventilationssystem, men även genom otäteter i konstruktionen. Dessutom förekommer ett fenomen som benämns flanktransmission. Flanktransmission innebär att ljudet transporteras via en vägg till angränsande bjälklag och därifrån till angränsande rum.

Stegljudisoleret är bjälklagens förmåga att hindra störande ljud från steg att fortplantas till angränsande rum. Stegljud kan fortplantas direkt genom bjälklaget eller genom flanktransmission.

En konstruktions luftljuds- och stegljudisoleringsförmåga beror inte endast av materialegenskaperna i de olika byggdelarna. På grund av ljudets många spridningsvägar är även utformningen av anslutningar mellan olika byggdelar mycket viktig.

3.4.1. Ljudisoleringskrav

I BBR 99[10] anges lägsta tillåtna värden för luftljudisoleret, R'_w (dB), för olika byggnadsdelar. Kravet på luftljudisoleret mellan lägenheter är:

$$R'_w = 53 \text{ dB}$$

I BBR 99[10] anges dessutom högsta tillåtna värden på stegljudsnivå, $L'_{n,w}$ (dB). I samtliga av de studerade byggnadsalternativen används 250 mm platsgjutna betongbjälklag. Detta bör tillsammans med golvbeläggning tillgodose att kraven med avseende på stegljudsnivå uppfylls.

3.4.2. Lägenhetsskiljande väggar

I alternativ 1 och 3 har 250 mm Leca med puts på båda sidor valts som lägenhetsskiljande väggar. Denna väggkonstruktion ger enligt tillverkaren $R'_w \approx 55$ dB. Osäkerheten i värdet beror bland annat på väggens täthet. Även 250 tegel hade uppfyllt kraven på luftljudsisoleringsförmåga. Anledningen till att Leca-konstruktionen valts är att det dels blir billigare och att man troligen ändå skulle välja att putsa tegelväggarna. I alternativ 3 muras den inre muren i ytterväggarna med fog mitt för lägenhetsskiljande väggar.

I alternativ 2 har 180 mm platsgjutna betongväggar valts. Detta ger $R'_w \approx 54$ dB. Betongväggen har en något lägre beräknad sektionkostnad än Leca-väggen ovan. En viss risk för flanktransmission finns vid anslutningar mellan betongvägg och betongbjälklag. Denna risk borde dock minimeras av betongväggens stora tyngd.

4. Ekonomi

I detta kapitel görs en jämförelse mellan de olika stomalternativen. Jämförelsen sker utifrån beräknade byggkostnader för ytter- och innerväggar. Först redovisas och kommenteras beräkningsförfarandet, därefter presenteras resultaten av beräkningarna. Kapitlet avslutas med en diskussion kring beräkningsresultaten och de antaganden och val som kan ha betydelse för beräkningsresultaten.

4.1. Genomgång av beräkningsförfarande

Beräkningarna omfattar endast byggnadens väggar, eftersom övriga komponenter antas vara identiska för de tre nya alternativen och den ursprungliga byggnaden. Fönster och dörrar har ej tagits med i beräkningarna.

4.1.1. Areasammanställning

Först har en sammanställning av de olika byggdelarnas areor gjorts för respektive alternativ. I denna sammanställning har hänsyn tagits till att ytterväggarna har olika utformning i olika punkter. Förutom de dimensioner som gäller för punkt A, och därmed större delen av ytterväggarna, har dimensioner i punkterna B och C redovisats. De olika punkterna definieras i *Figur 2.3*. Statiska beräkningar har endast gjorts för ett antal punkter, som bedömts vara dimensionerande. Det är troligt att ytterväggarnas konstruktion även i andra, mindre belastade punkter, kommer att vara något annorlunda än konstruktionen i punkt A. För att ta hänsyn till detta har de beräknade areorna för väggsnitt i punkterna B och C dubblerats. Fönsterpelare B förekommer två gånger per plan. Det innebär att fönsterpelaren i punkt B är representerad i areasammanställningen med en area för varje plan som motsvarar fyra gånger arean för fönsterpelare B. Fönsterpelare C förekommer fyra gånger per plan. Den är då representerad i areasammanställningen med åtta gånger arean för fönsterpelare C.

Väggarnas höjd har satts till 2,5 m. Detta har gjorts för att ta hänsyn till att den yttre muren vid kanalmur och fasadmur på grund av bjälklagen är 0,2 m högre än våningshöjden (invändigt), som är 2,4 m. Således är den korrekta höjden för den inre delen av ytterväggarna 2,4 m och för den yttre delen 2,6 m. Vägghöjden har satts till medelvärdet av dessa höjder.

4.1.2. Sektionskostnad

En sektionskostnad exklusive moms, uttryckt i kr/m², har beräknats för de olika väggsektionerna. Beräkningen är gjord utifrån Wikells Sektionsfakta [11]. Så långt som det varit möjligt har färdiga redovisningar av väggsektioner använts. Dessa har vid behov korrigerats så att de önskade sektionerna erhållits.

Vid beräkning av sektionskostnaden erhålls först materialkostnad och drifttid. Arbetslönen beräknas genom att drifttiden multipliceras med en timlön av 115 kr, exklusive sociala kostnader och övriga pålägg. Ett omkostnadspålägg som motsvarar 233% av arbetslönen beräknas. Sektionskostnaden utgörs av summan av materialkostnad, arbetslön och omkostnadspålägg.

4.1.3. Byggkostnad för väggarna

Genom att multiplicera respektive väggtypers areor med deras sektionskostnader har en total byggkostnad för väggarna för varje byggnadsalternativ beräknats.

4.2. Resultat

Den totala byggkostnaden för väggarna i de olika alternativen har beräknats till följande:

- Alternativ 1: 1 878 530,39 kr
- Alternativ 2: 1 504 087,46 kr
- Alternativ 3: 1 688 494,91 kr
- Ursprunglig: 1 587 151,82 kr

Eftersom resultaten bygger på förutsättningar där vissa förenklingar och uppskattningar gjorts innehåller de en viss mån av osäkerhet. Detta innebär att alla värdesiffrorna inte kan ses som tillförlitliga. Det har heller inte varit avsikten att ta fram exakta byggkostnader. Syftet med resultaten är att de skall tjäna som utgångspunkt för att göra en uppskattning av storleken på skillnaden i byggkostnad mellan de olika alternativen.

För att få fram värden på byggkostnaderna som bättre återspeglar noggrannheten i beräkningarna avrundas resultaten till jämna 100 000 kr. Detta innebär att de olika alternativens totala byggkostnader för ytterväggarna uppskattas till:

- Alternativ 1: 1,9 mkr
- Alternativ 2: 1,5 mkr
- Alternativ 3: 1,7 mkr
- Ursprunglig: 1,6 mkr

För att kunna avgöra hur betydelsefulla skillnaderna i beräknad byggkostnad för väggarna är måste dessa sättas i relation till storleksordningen på den totala produktionskostnaden för byggnaden. Detta görs genom att använda den från HSB erhållna totala produktionskostnaden för den ursprungliga byggnaden. Denna kostnad uppgår till 12 590 000 kr (exkl. moms).

I den totala produktionskostnaden ingår kostnad för totalentreprenad, kostnad för administration, kreditivkostnad, konsultkostnader, byggförsäkring samt kostnad för tomt och lagfart mm.

Jämfört med den totala produktionskostnaden bör kostnadsskillnaderna mellan de olika stomalternativen kunna ses som relativt små.

4.3. Kommentarer till val och antaganden

En osäkerhetsfaktor i ovanstående beräkningar är uppskattningarna av väggareor med förstärkt konstruktion i jämförelse med konstruktionen i punkt A. Det är av intresse att veta i vilken storleksordning dessa uppskattningar kan påverka de beräknade byggkostnaderna.

4.3.1. Alternativ 1

För alternativ 1 är sektionkostnaderna (för hela väggsektionen inklusive isolering mm) för kanalmur av tegel med inre mur av 120 tegel respektive med inre mur av 250 tegel:

- 120 tegel 1 892,57 kr/m²
- 250 tegel 2 131,43 kr/m²

De uppskattade areorna för respektive väggsektion är 540,1 m² för 120 tegel i inre muren och 37,5 m² för 250 tegel i inre muren. Skillnaden i sektionkostnad är 238,86 kr/m². Den totala byggdelskostnaden för ytterväggarna har beräknats till 1 102 106,76 kr. För att illustrera i vilken utsträckning fördelningen av väggarea på de två olika väggsektionerna påverkar beräkningsresultatet antas alla ytterväggar ha 250 tegel i inre muren. Detta ger en total byggdelskostnad för ytterväggarna av 1 231 113,97 kr. Skillnaden blir ca 130 000 kr. Detta resultat visar att en feluppskattning av areafördelningen mellan de båda väggsektionerna på några tiotal kvadratmeter inte nämnvärt kan påverka den beräknade totala byggkostnaden för ytterväggarna i alternativ 1.

4.3.2. Alternativ 2

I Sektionsfakta [11] redovisas endast materialkostnad och tidsåtgång för lättbetongblock av kvalitetsgrupperna 450 och 500. Vid beräkningarna av sektionkostnad för ytterväggskonstruktionerna i alternativ 2 har därför materialkostnader och tidsåtgång för kvalitetsgrupperna 450 och 500 använts. De angivna materialkostnaderna och tidsåtgången för murning med lättbetongblock av de båda olika kvalitetsgrupperna skiljer sig inte åt. Endast blockens geometri medför skillnader i kostnad. Den beräknade totala byggkostnaden för ytterväggarna i alternativ 2 bör därför kunna ses som oberoende av fel i uppskattningar av areafördelning mellan olika ytterväggssektioner.

4.3.3. Alternativ 3

Sektionskostnaderna för kombinationsmur av Leca och tegel är beroende av tjockleken på Leca-muren. De olika tjocklekerna ger följande sektionkostnader (för hela väggsektionerna inklusive tegel och eventuell isolering mm):

- 190 Leca 1 569,79 kr/m²
- 250 Leca 1 630,09 kr/m²
- 340 Leca 1 700,07 kr/m²

De uppskattade areorna för respektive väggsektion är 524,1 m² för 190 Leca, 23,0 m² för 250 Leca och 30,5 m² för 340 Leca i inre muren. Skillnaden i sektionkostnad mellan väggsektioner med 190 Leca och 340 Leca är 130,28 kr/m². Den totala byggdelskostnaden för ytterväggarna har beräknats till 912 071,28 kr. För att uppskatta betydelsen av eventuella fel i areafördelningen antas alla ytterväggar ha 340 Leca i inre muren. Detta ger en total byggdelskostnad för ytterväggarna av 981 960,43 kr. Skillnaden blir ca 70 000 kr. Detta resultat visar att en feluppskattning av areafördelningen mellan de olika väggsektionerana på några titotal kvadratmeter inte nämnvärt kan påverka den beräknade totala byggkostnaden för ytterväggarna i alternativ 3.

5. Arkitektur

Detta kapitel inleds med en diskussion om arkitektoniska aspekter vid val av stomsystem. Därefter redovisas och kommenteras konsekvenserna av de olika stomalternativen som undersökts. Kapitlet avslutas med en jämförelse av de undersökta väggalternativens möjligheter och begränsningar.

5.1. Arkitektoniska aspekter vid val av stomsystem

Val av stomsystem görs utifrån en rad olika synvinklar. I detta avsnitt fokuseras dock endast på de arkitektoniska aspekterna.

I arkitektonisk mening kan en byggnadsstomme ha flera olika funktioner. Den kan ha som funktion att endast utgöra en stomme som bär upp själva byggnaden utan att exponeras. I detta fall är stommen arkitektoniskt underordnad byggnadens fasader och insida. Vidare kan den vara utformad för att direkt eller indirekt bidra till det arkitektoniska uttrycket. Detta kan ske genom att stommen exponeras helt eller delvis, eller att stommaterialets karakteristiska egenskaper uttrycks i fasaden.

I fallet med bärande murverk kan stommen bidra till det arkitektoniska uttrycket. Detta kan ske genom att stommaterialets begränsningar påverkar fasadernas utformning. Öppningar i muren kan till exempel inte göras hur breda som helst och inte heller placeras hur tätt som helst. Vidare kan till exempel en massiv vägg bidra till att ge en känsla av byggnadens tyngd och samtidigt genom sin enkelhet göra stommens funktionssätt lättförståeligt.

5.2. Konsekvenser av de olika stomalternativen

5.2.1. Väggtjocklek

Ytterväggstjocklekarna i den ursprungliga byggnaden är 450 mm för betongväggar och 370 mm för utfackningsväggar. Ytterväggskonstruktionerna i de tre alternativa byggnaderna medför att nya väggstjocklekar måste väljas. För att få en någorlunda god värmeisolering krävs en väggstjocklek på 445 mm för tegelalternativet och 420 mm för lättbetongalternativet. För Leca-alternativet krävs väggstjockleken 485 mm.

De nya väggalternativen innebär således en ökning av väggstjockleken jämfört med utfackningsväggarna längs långsidorna med 75 mm för tegelalternativet och med 50 mm för lättbetongalternativet. För Leca-alternativet blir ökningen 115 mm jämfört med utfackningsväggen. Jämfört med de ursprungliga betongväggarna medför de nya alternativen inte några större skillnader i väggstjocklek.

Den ökade väggstjockleken medför en viss reduktion av boendeytan. Dock kan de tjockare väggarna samtidigt bidra till att förmedla ett intryck av byggnadens tyngd. Genom att arbeta med ytbehandlingen på ut- och insidan kan man utnyttja murverkets estetiska kvaliteter. Exempelvis kan delar av en tegelväggs insida lämnas oputsad eller slmmas för att framhäva materialet. Genom att använda olika ytbehandlingstekniker kan man på detta vis skapa en varierad och spännande boendemiljö. De största variationsmöjligheterna finns sannolikt för fallet med tegelmurverk, men även de andra alternativen erbjuder möjligheter för att skapa en vacker och trivsamt miljö.

Detaljutförningen vid tex fönster- och dörröppningar erbjuder stora möjligheter för att skapa en känsla av kvalitet och hantverksmässig omsorgsfullhet.

Eftersom lättbetong är mycket lätt att bearbeta på arbetsplatsen finns stora möjligheter för intressanta detaljer som tex avfasningar av fönstersmygar för att öka ljusinsläppet. Även tegel och Leca erbjuder goda möjligheter för intressanta detaljer.

5.2.2. Fönstrens placering i väggtvärsnittet

I den befintliga byggnaden är fönstren placerade ungefär mitt i väggtvärsnittet. Om man i tegelalternativet väljer att mura den yttre muren först kan man placera fönstret i den yttre muren. Det kan vara intressant att placera fönstren nära väggens utsida, vilket ger en djup fönstersmyg på insidan. Vid denna utformning undviks dessutom de plåtar som annars används för att överbrygga avståndet mellan yttre och inre mur. Detta bidrar till att förmedla en upplevelse av väggen som en massiv murverkskonstruktion. Utmurning av den inre muren i smygarna och placering av fönstret i den yttre muren bidrar till den hantverksmässiga känslan i äldre murade hus och ger logiska materialmöten. Detta är kvaliteter som saknas när man använder sig av plåtar kring fönstren, vilket är helt dominerande idag.

När det gäller alternativet med massiva lättbetongväggar kan fönstren placeras på valfritt djup i väggen. I kombination med lättbearbetbarheten som nämndes ovan ger detta stora variationsmöjligheter för utformningen av fönsterpartierna. Eftersom väggen i detta fall är homogen krävs inga överbryggande plåtar, vilket bidrar ytterligare till att ge ett intryck av massiv och lättförståelig konstruktion.

Leca-alternativet medför att fönstren placeras i den inre muren. Detta innebär att man behöver använda vattenutledande plåtar över fönstren.

5.2.3. Fönsterplacering i fasaden

I vissa fall medför de nya väggalternativen även att fasaden behöver ändras. Det är då fråga om behov av ökade avstånd mellan tätt placerade fönster.

En fråga som man måste ta ställning till är huruvida man skall låta en förändring av avståndet mellan två fönster i det nedersta eller de nedersta planen gå igen i de övre planen. I det aktuella fallet är det troligt att man skulle välja att placera fönstren i de olika planen rakt ovanför varandra. Huset befinner sig i en omgivning som domineras av trevåningshus från 1930- till 1950-talet. Dessa hus har fönstren placerade rakt ovanför varandra. Det har troligen varit arkitektens avsikt att det nybyggda huset skall anpassa sig till omgivningen genom att uppvisa vissa av de karakteristiska dragen hos den omgivande bebyggelsen samtidigt som andra delar av utformningen, tex de rundade balkongerna, signalerar att det är ett nytt hus och inte ett försök att få byggnaden att se ut att vara från en tidigare period. Fönsterplaceringen är troligen en viktig del i denna anpassning, vilket leder till att man skulle välja att öka bredden av den aktuella fönsterpelaren i samtliga plan.

Tegelalternativet innebär inte några behov av ökade fönsterpelarbredder.

Alternativet med lättbetongblock medför att bredden på fönsterpelaren i punkt B behöver ökas från ursprungliga 510 mm till 550 mm i plan 1. I punkt C behöver bredden på fönsterpelaren ökas från ursprungliga 380 mm till 850 mm i plan 1. De olika punkterna definieras i *Figur 2.3*. Förändringen i punkt B är mycket liten, och den skulle troligen inte förändra fasadens karaktär särskilt mycket. När det gäller punkt C skulle förändringen av fasaden troligen vara för stor. Både balkongdörren och fönstret skulle till exempel inte få plats ovanför balkongen, vilket är fallet i den ursprungliga byggnaden. Detta gör att man troligen skulle välja att frångå lättbetongmaterialet i den aktuella punkten och istället använda en betongpelare. Om man skulle hålla sig strängt till lättbetongblock i väggarna skulle byggnaden få en annan karaktär än den ursprungliga byggnaden. Materialets egenskaper påverkar fasadutformningen, vilket kan utnyttjas för att ge byggnaden ett intressant uttryck.

Alternativet med Lecablock medför att bredden på fönsterpelaren i punkt C behöver ökas från ursprungliga 380 mm till 510 mm i plan 1. Denna förändring är troligen inte så stor att den skulle förändra fasadens karaktär alltför mycket.

5.3. De olika materialens starka och svaga sidor

Tegelväggen lämnar stora möjligheter till variation. Uttrycket går att variera genom olika puts tekniker eller obehandlat tegel och dessutom olika tegelsorter med olika färger och ytor. Olika typer av förband, fogar, indragningar, utdragningar och valvslagningar ger ytterligare valmöjligheter.

I jämförelse med tegelväggen har lättbetongväggen kanske inte riktigt lika stor potential för variation av uttrycket genom att använda olika ytbehandlingar och blocktyper, men den har den stora fördelen att den är homogen. Detta innebär att eventuella funderingar och värderingar, kring hurvuda en konstruktion är "oärlig" om den ger intryck av att vara något som den inte är, uteblir. Detta i kombination med att lättbetongblocken är lätta att bearbeta på arbetsplatsen, genom tex sågning, är troligen lättbetongväggens största fördel sett utifrån möjligheten att skapa intressanta arkitektoniska uttryck.

Fördelarna med Lecablock jämfört med tegel ligger troligen mest i att det går fortare att mura med Lecablock, och därmed blir billigare, och att man behöver en mindre isoleringstjocklek för att uppnå samma värmeisoleringsförmåga. Om den inre tegelytan ändå skulle putsas kan det i så fall vara ekonomiskt intressant med Lecablock istället. I jämförelse med lättbetong är fördelen att Lecablocken inte medför lika stränga krav på minsta tillåtna fönsterpelarbredd, medan det tar längre tid att uppföra väggarna i fallet med kanalmur av tegel och Lecablock.

6. Sammanfattande diskussion

6.1. Är bärande murverk ett hållbart alternativ i modernt byggande?

I detta examensarbete har tre olika varianter av bärande murverk behandlats. Dessa utgör naturligtvis bara en del av alla de former av bärande murverk som kan användas. Till exempel har hålmurar inte behandlats i detta arbete. Utan att på något sätt göra anspråk på att vara heltäckande kan de i detta examensarbete undersökta stomalternativen ändå bidra med värdefulla insikter.

Ännu en begränsning är att endast trevånings flerbostadhus har behandlats. Resultaten av jämförelser mellan de olika stomalternativen måste självklart ses mot bakgrund av detta. När det gäller andra typer av byggnader som villor, skolor, kontor, industrilokaler, idrottsanläggningar mm kan resultaten bli helt andra.

6.1.1. Statisk bärförmåga

Med avseende på statisk bärförmåga medför de olika stomalternativen skilda förutsättningar för byggnadens utformning. Alternativet med kanalmur av tegel medförde inte att fasaderna på den ursprungliga byggnaden behövde modifieras. I fallet med massivmur av lättbetong krävdes på vissa ställen stora modifieringar av fasaderna. Detta visar på en begränsning av möjligheterna vid utformning av fasaderna. Även fallet med en kombinationsmur av Leca och tegel medförde vissa begränsningar, dock avsevärt mindre än för lättbetongalternativet. Dessa skillnader skulle troligtvis inte bli lika tydliga om byggnaden endast varit en eller två våningar hög.

Sammanfattningsvis ter sig således alternativet med kanalmurar av tegel som mycket gångbart med avseende på statisk bärförmåga. Massivmur av lättbetong är också ett gångbart alternativ som däremot medför större begränsningar när det gäller slanka fönsterpelare och därmed ställer högre krav på en medvetenhet om statisk bärförmåga vid gestaltningen. Alternativet med kombinationsmur av Leca och tegel medför mindre begränsningar i fasadutformning än lättbetongalternativet, men mer än tegelalternativet. I samtliga fall kan man självklart välja att frångå stomvalet lokalt genom att till exempel sätta in betongpelare i punkter där påkänningen är störst.

6.1.2. Byggnadsfysik

När det gäller byggnadsfysikaliska aspekter ter sig samtliga undersökta stomalternativ som mycket ändamålsenliga. När det gäller akustik skall poängteras att de lägenhetsskiljande väggar som studerats har varit av putsad Leca samt av platsgjuten betong. Förutom dessa alternativ uppfyller även putsade murar av 250 tegel ljudisoleringskraven. Att uppfylla ljudisoleringskraven med lättbetongväggar kräver mycket tjocka väggar.

6.1.3. Ekonomi

Kostnadsskillnaderna mellan de olika stomalternativen bör kunna ses som relativt små i förhållande till den totala produktionskostnaden.

6.1.4. Arkitektur

När det gäller bärande murverk har den arkitektoniska utformningen en stark koppling till den statiska bärförmågan. Den statiska bärförmågan innebär begränsningar för hur byggnaden kan utformas. Dessa begränsningar blir i denna undersökning tydligast i fallet med massivmurar av lättbetong. Även fallet med kombinationsmurar av Leca och tegel innebär vissa begränsningar. När det gäller kanalmurar av tegel medförde dessa inte några ändringar av fasaderna. Detta betyder självklart inte att det saknas begränsningar för detta stomalternativ utan endast att den i denna undersökning studerade byggnadsutformningen höll sig inom stomalternativets begränsningar.

Emellertid bör man inte se begränsningarna som enbart begränsningar utan även som möjligheter att utforma byggnaden på ett sätt som är karakteristiskt för stommaterialet. Genom att utforma byggnaden på stommens villkor kan man skapa en byggnad med en välmotiverad och lättförståelig utformning.

Sammanfattningsvis innebär alltså de olika stomalternativen vissa konsekvenser för byggnadens arkitektoniska utformning. Byggnaden blir inte densamma för de olika stomsystemen.

6.1.5. Sammanvägd bedömning

Svaret på frågan huruvida bärande murverk är ett hållbart alternativ i modernt byggande grundar sig på samtliga ovan diskuterade ämnesområden.

Eftersom denna undersökning endast omfattar tre olika stomalternativ och endast en typ av byggnad går det inte att ge ett allomfattande svar på ovanstående fråga. Svaret blir snarare att de olika typerna av bärande murverk som undersökts här ter sig som fullt hållbara alternativ i modernt byggande, men dock vid en byggnadsutformning som sker på de olika stomalternativens respektive villkor. Till exempel är alternativet med massivmurar av lättbetong troligen mer konkurrenskraftigt vid byggnader som är lägre än tre våningar. För ett trevånings flerbostadshus medför kanalmurar av tegel stor frihet vid gestaltningen men samtidigt blir byggkostnaden något högre än vid de andra stomalternativen som undersökts, inklusive alternativet med platsgjuten betongstomme. En avvägning krävs mellan vad man är beredd att betala och hur högt man värderar de kvaliteter som stomvalet tillför byggnaden. Alternativet med kombinationsmur av Leca och tegel ter sig som konkurrenskraftigt både när det gäller utformningsmöjligheter och byggkostnad.

6.2. Har syftena med examensarbetet uppnåtts?

De huvudsakliga syftena med examensarbetet var följande:

- Studera möjligheterna för att bygga med bärande murverk med avseende på statisk bärförmåga, byggnadsfysikaliska aspekter, byggkostnader och akustik.
- Ge en inblick i arbetsmetodiken vid en realistisk projektering av en byggnad.
- Undersöka hur en stomme av bärande murverk kan påverka det arkitektoniska uttrycket.

Resultatet av studierna inom det första och det tredje syftet redovisas dels i respektive kapitel och dels i detta kapitel. Det andra syftet har uppnåtts under arbetets gång genom att en helhetssyn på byggnaden hela tiden tillämpats.

6.3. Framtida undersökningar

Under arbetets gång har en rad olika funderingar dykt upp. Med hänsyn till tidsramarna för examensarbetet har det dock inte varit möjligt att vidare utreda dessa frågor. I framtida undersökningar skulle det därför vara intressant att närmare studera några av dessa.

6.3.1. Bärande murverk i andra byggnadstyper

Denna undersökning har varit begränsad till trevånings flerbostadshus. För att vidare undersöka möjligheterna att bygga med bärande murverk skulle det vara intressant att göra om samma typ av undersökning med andra typer av byggnader som förlagor. Under analysen av undersökningens resultat har bland annat funderingar framkommit kring huruvida massivmurar av lättbetong är mer konkurrenskraftiga vid lägre byggnader än tre våningar.

6.3.2. Dansk bredsten i lägenhetsskiljande vägg

Vid valet av material för de lägenhetsskiljande väggarna kom jag via Niklas Martinsson på Tegelmäster i kontakt med ett danskt tegelformat som kallas bredsten. Dessa tegelstenar är 163 mm breda. En vanlig putsad 120 mm tegelmur uppfyller inte kraven på luftljudsisolering mellan lägenheter, medan en putsad 250 mm tegelmur uppfyller kraven med god marginal. Det vore därför mycket intressant att närmare studera bredstens luftljudsisolerande egenskaper. För att få relevanta värden på reduktionstalet krävs mätningar i befintliga konstruktioner.

6.3.3. Alternativ till prefabricerade murstensskift över muröppningar

Funktionen hos prefabricerade tegel- och lättbetongbalkar över muröppningar är väsensskilda från murverkets funktion. Därför vore det intressant att istället markera funktionen som balk genom att använda andra material som till exempel stål eller trä. Dessa konstruktionsutförningar skulle kunna studeras utifrån byggnadsteknisk och arkitektonisk synvinkel.

7. Referenser

- [1] A. Cajdert, A. Eriksson, A. Herwall, O. Sjöstrand, "Konstruktionshandbok Bärande tegelmurverk", Svenskt Tegel/MPI AB/AB Svensk Byggtjänst, 1997
- [2] Boverket, Karlskrona, "Boverkets Konstruktionsregler, BKR", Boverket, 1999
- [3] Svenska Tegelinstriföreningen, TCK AB, "MUR 90", 1990
- [4] Boverket, Karlskrona, "Boverkets handbok om Betongkonstruktioner, BBK", Boverket, 1994
- [5] A. Mårtensson, T. Isaksson, "Tabell- och Formelsamling", Avdelningen för Konstruktionsteknik, LTH, 2000
- [6] (M. Lorentsen m fl), "Betonghandbok Konstruktion, utgåva 2, Diagram- och tabellbilaga", AB Svensk Byggtjänst, 1990
- [7] (G. Dahl m fl), "Lättbetonghandboken 1993", Siporex AB, Yxhult AB, 1993
- [8] AB Svensk Leca, "LECA Balkar, Produktbeskrivning Bärförmåga montering", AB Svensk Leca, 1997
- [9] K. Sandin, "Värme och fukt", Institutionen för Byggnadsteknik, Byggnadsfysik, LTH, 1996
- [10] Boverket, Karlskrona, "Boverkets Byggregler, BBR", Boverket, 1999
- [11] Wikells Byggberäkningar AB, "Wikells Sektionsfakta-NYB, Teknisk-Ekonomisk Sammanställning av Byggdelar", Wikells Byggberäkningar AB, 2000

BILAGA 1 BERÄKNING AV STATISK BÄRFÖRMÅGA I TABELLFORM

Väggalternativ	1	1	1
Punkt	A	A	A
Plan	1	1	3
Material, bärande vägg	Tegel	Tegel	Tegel
Huvudlast	Nyttig	Vind	Vind
Vertikallast, q_d (kN/m)	66,0	63,4	11,9
Vindlast, $q_{k,vind}$ (kN/m ²)	0,62	0,62	0,65
Hållfasthetsklass	45	45	45
f_{ck} (MPa)	5,7	5,7	8,0
γ_m	1,8	1,8	1,8
γ_n (SK 3)	1,2	1,2	1,2
E_k (GPa)	4	4	5,6
Murbruksklass	C	C	B
h_{ef} (m)	1,8	1,8	1,8
t (m)	0,120	0,120	0,120
t_{ef} (m)	0,151	0,151	0,151
λ_e	14,2	14,2	14,2
e_m (mm)	8	8	
e_0 (mm)	6	6	
e_p (mm)	0	3	
e_k (mm)	0	0	
e_{dim} (mm)	14	17	$e_{dim}/t=0,05$
Φ	0,62	0,57	0,76
R_{nd} (kN/m)	145,1	133,5	
R_{nd0} (kN/m)			253,1
S_d (kN/m)	66,0	63,4	11,9
Knäckningskontroll	OK!	OK!	OK!
$R_{kantpåkänning,ök}$ (kN/m)	175,7	175,7	
$R_{kantpåkänning,uk}$ (kN/m)	234,0	234,0	
Kantpåkänningskontroll	OK!	OK!	

	bredd 510		bredd 510		bredd 510	
Väggalternativ	1	1	1	1	1	1
Punkt	B	B	B	B	B	B
Plan	1	1	2	2	3	3
Material, bärande vägg	Tegel	Tegel	Tegel	Tegel	Tegel	Tegel
Huvudlast	Nyttig	Vind	Nyttig	Vind	Snö	Vind
Vertikallast, q_d (kN/m)	68,0	65,2	44,4	40,6	17,9	11,9
Vindlast, $q_{k,vind}$ (kN/m ²)	0,62	0,62	0,62	0,62	0,65	0,65
Hållfasthetsklass	45	45	45	45	45	45
f_{ck} (MPa)	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
γ_m	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
γ_n (SK 3)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
E_k (GPa)	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
Murbruksklass	B	B	B	B	B	B
h_{ef} (m)	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
t (m)	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250
t_{ef} (m)	0,259	0,259	0,259	0,259	0,259	0,259
λ_e	10,6	10,6	10,6	10,6	10,6	10,6
e_m (mm)	18	18	24	26	43	
e_0 (mm)	8	8	8	8	8	
e_p (mm)	0	2	1	4	2	
e_k (mm)	0	0	0	0	0	
e_{dim} (mm)	26	28	25	38	53	$e_{dim}/t=0,05$
Φ	0,73	0,70	0,73	0,62	0,49	0,83
R_{nd} (kN)	258,3	247,6	241,0	204,7	173,4	
R_{nd0} (kN)						293,9
S_d (kN)	130,6	125,2	85,3	78	34,4	22,8
Knäckningskontroll	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!
$R_{kantpåkänning,ök}$ (kN)	274,6	251,9	215,1	206,6	113,2	
$R_{kantpåkänning,uk}$ (kN)	353,8	353,8	353,8	353,8	353,8	
Kantpåkänningskontroll	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!	

	bredd 380		bredd 380		bredd 380	
Väggalternativ	1	1	1	1	1	1
Punkt	C	C	C	C	C	C
Plan	1	1	2	2	3	3
Material, bärande vägg	Tegel	Tegel	Tegel	Tegel	Tegel	Tegel
Huvudlast	Nyttig	Vind	Nyttig	Vind	Snö	Vind
Vertikallast, q_d (kN/m)	94,7	92,1	57,5	53,9	17,3	11,9
Vindlast, $q_{k,vind}$ (kN/m ²)	0,62	0,62	0,62	0,62	0,65	0,65
Hållfasthetsklass	45	45	45	45	45	45
f_{ck} (MPa)	10,0	10,0	8,0	8,0	8,0	8,0
γ_m	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
γ_n (SK 3)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
E_k (GPa)	7,0	7,0	5,6	5,6	5,6	5,6
Murbruksklass	A	A	B	B	B	B
h_{ef} (m)	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
t (m)	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250
t_{ef} (m)	0,259	0,259	0,259	0,259	0,259	0,259
λ_e	10,6	10,6	10,6	10,6	10,6	10,6
e_m (mm)	22	21	32	31	43	
e_0 (mm)	8	8	8	8	8	
e_p (mm)	0	2	1	3	8	
e_k (mm)	0	0	0	0	0	
e_{dim} (mm)	30	31	41	42	59	$e_{dim}/t=0,05$
Φ	0,69	0,69	0,60	0,59	0,43	0,83
R_{nd} (kN)	227,4	227,4	158,2	155,6	113,4	
R_{nd0} (kN)						218,8
S_d (kN)	160,0	155,6	97,2	91,1	29,2	20,1
Knäckningskontroll	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!
$R_{kantpåkänning,ök}$ (kN)	226,8	224,1	143,4	143,4	84,3	
$R_{kantpåkänning,uk}$ (kN)	329,5	329,5	263,6	263,6	263,6	
Kantpåkänningskontroll	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!	

Väggalternativ	2	2	2
Punkt	A	A	A
Plan	1	1	3
Material, bärande vägg	Lättbtg	Lättbtg	Lättbtg
Huvudlast	Nyttig	Vind	Vind
Vertikallast, q_d (kN/m)	67,4	64,8	11,9
Vindlast, $q_{k,vind}$ (kN/m ²)	0,62	0,62	0,65
Kvalitetsgrupp	400	400	400
f_{ck} (MPa)	1,1	1,1	1,1
γ_m	1,8	1,8	1,8
γ_n (SK 3)	1,2	1,2	1,2
E_k (GPa)	0,77	0,77	0,77
Murbruksklass	B	B	B
h_{ef} (m)	1,8	1,8	1,8
t (m)	0,400	0,400	0,400
t_{ef} (m)	0,400	0,400	0,400
λ_e	5,4	5,4	5,4
e_m (mm)	25	23	
e_0 (mm)	6	6	
e_p (mm)	2	2	
e_k (mm)	0	0	
e_{dim} (mm)	33	31	$e_{dim}/t=0,05$
Φ	0,81	0,83	0,89
R_{nd} (kN/m)	123,9	127,0	
R_{nd0} (kN/m)			136,3
S_d (kN/m)	67,4	64,8	11,9
Knäckningskontroll	OK!	OK!	OK!
$R_{kantpåkänning,ök}$ (kN/m)	114,0	111,7	
$R_{kantpåkänning,uk}$ (kN/m)	153,0	153,0	
Kantpåkänningskontroll	OK!	OK!	

	bredd 550		bredd 550		bredd 550	
Väggalternativ	2	2	2	2	2	2
Punkt	B	B	B	B	B	B
Plan	1	1	2	2	3	3
Material, bärande vägg	Lättbtg	Lättbtg	Lättbtg	Lättbtg	Lättbtg	Lättbtg
Huvudlast	Nyttig	Vind	Nyttig	Vind	Snö	Vind
Vertikallast, q_d (kN/m)	69,4	66,6	45,1	41,3	17,9	12,3
Vindlast, $q_{k,vind}$ (kN/m ²)	0,62	0,62	0,62	0,62	0,65	0,65
Kvalitetsgrupp	600	600	600	600	500	500
f_{ck} (MPa)	2,7	2,7	2,7	2,7	1,7	1,7
γ_m	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
γ_n (SK 3)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
E_k (GPa)	1,9	1,9	1,9	1,9	1,2	1,2
Murbruksklass	B	B	B	B	B	B
h_{ef} (m)	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
t (m)	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400
t_{ef} (m)	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400
λ_e	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9
e_m (mm)	25	23	36	34	67	67
e_0 (mm)	8	8	8	8	8	8
e_p (mm)	0	2	1	4	8	13
e_k (mm)	0	0	0	0	0	0
e_{dim} (mm)	33	43	45	46	83	88
Φ	0,81	0,75	0,75	0,75	0,55	0,53
R_{nd} (kN)	167,1	154,6	154,6	154,6	71,5	68,8
R_{nd0} (kN/m)						
S_d (kN)	136,0	130,5	88,4	80,9	35,1	24,1
Knäckningskontroll	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!
$R_{kantpåkänning,ök}$ (kN)	153,5	151,4	132,7	126,5	43,8	43,8
$R_{kantpåkänning,uk}$ (kN)	207,3	207,3	207,3	207,3	130,5	130,5
Kantpåkänningskontroll	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!
f_{ld} (MPa)	1,25	1,25	1,25	1,25	0,79	0,79
σ_{ld} (MPa)	1,24	1,19	0,81	0,74	0,31	0,22
Kontroll av lokalt tryck	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!

	bredd 850		bredd 850		bredd 850	
Väggalternativ	2	2	2	2	2	2
Punkt	C	C	C	C	C	C
Plan	1	1	2	2	3	3
Material, bärande vägg	Lättbtg	Lättbtg	Lättbtg	Lättbtg	Lättbtg	Lättbtg
Huvudlast	Nyttig	Vind	Nyttig	Vind	Snö	Vind
Vertikallast, q_d (kN/m)	96,1	93,5	58,3	54,6	17,3	11,9
Vindlast, $q_{k,vind}$ (kN/m ²)	0,62	0,62	0,62	0,62	0,65	0,65
Kvalitetsgrupp	600	600	500	500	400	400
f_{ck} (MPa)	2,7	2,7	1,7	1,7	1,1	1,1
γ_m	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
γ_n (SK 3)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
E_k (GPa)	1,9	1,9	1,2	1,2	0,77	0,77
Murbruksklass	B	B	B	B	B	B
h_{ef} (m)	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
t (m)	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400
t_{ef} (m)	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400
λ_e	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9
e_m (mm)	32	30	49	47	67	67
e_0 (mm)	8	8	8	8	8	8
e_p (mm)	0	2	1	3	2	14
e_k (mm)	0	0	0	0	0	0
e_{dim} (mm)	40	40	58	58	77	89
Φ	0,78	0,78	0,69	0,69	0,59	0,53
R_{nd} (kN)	248,6	248,6	138,5	138,5	76,6	68,8
R_{nd0} (kN/m)						
S_d (kN)	226,8	220,7	137,5	128,9	40,8	28,1
Knäckningskontroll	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!
$R_{kantpåkänning,ök}$ (kN)	228,0	226,5	157,6	155,6	43,5	43,5
$R_{kantpåkänning,uk}$ (kN)	319,0	319,0	200,8	200,8	129,9	129,9
Kantpåkänningskontroll	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!
f_{ld} (MPa)	1,25	1,25	0,79	0,79	0,51	0,51
σ_{ld} (MPa)	1,22	1,19	0,74	0,7	0,22	0,15
Kontroll av lokalt tryck	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!

Väggalternativ	3	3	3
Punkt	A	A	A
Plan	1	1	3
Material, bärande vägg	Leca	Leca	Leca
Huvudlast	Nyttig	Vind	Vind
Vertikallast, q_d (kN/m)	63,1	60,5	11,9
Vindlast, $q_{k,vind}$ (kN/m ²)	0,62	0,62	0,65
Hållfasthetsklass	2	2	2
f_{ck} (MPa)	1,8	1,8	1,8
γ_m	1,8	1,8	1,8
γ_n (SK 3)	1,2	1,2	1,2
E_k (GPa)	2,5	2,5	2,5
Murbruksklass	B	B	B
h_{ef} (m)	1,8	1,8	1,8
t (m)	0,190	0,190	0,190
t_{ef} (m)	0,205	0,205	0,205
λ_e	7,4	7,4	7,4
e_m (mm)	9	9	16
e_0 (mm)	6	6	6
e_p (mm)	0	3	14
e_k (mm)	0	0	0
e_{dim} (mm)	15	18	26
Φ	0,81	0,79	0,71
R_{nd} (kN/m)	97,7	95,3	85,6
R_{nd0} (kN/m)			
S_d (kN/m)	63,1	60,5	11,9
Knäckningskontroll	OK!	OK!	OK!
$R_{kantpåkänning,ök}$ (kN/m)	96,6	96,6	80,0
$R_{kantpåkänning,uk}$ (kN/m)	120,7	120,7	120,7
Kantpåkänningskontroll	OK!	OK!	OK!

	bredd 510		bredd 510		bredd 510	
Väggalternativ	3	3	3	3	3	3
Punkt	B	B	B	B	B	B
Plan	1	1	2	2	3	3
Material, bärande vägg	Leca	Leca	Leca	Leca	Leca	Leca
Huvudlast	Nyttig	Vind	Nyttig	Vind	Snö	Vind
Vertikallast, q_d (kN/m)	65,1	62,3	43,0	39,2	17,9	12,3
Vindlast, $q_{k,vind}$ (kN/m ²)	0,62	0,62	0,62	0,62	0,65	0,65
Hållfasthetsklass	5	5	5	5	3	3
f_{ck} (MPa)	3,4	3,4	3,4	3,4	2,4	2,4
γ_m	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
γ_n (SK 3)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
E_k (GPa)	4,8	4,8	4,8	4,8	3,4	3,4
Murbruksklass	B	B	B	B	B	B
h_{ef} (m)	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
t (m)	0,340	0,340	0,250	0,250	0,250	0,250
t_{ef} (m)	0,345	0,345	0,259	0,259	0,259	0,259
λ_e	5,6	5,6	7,5	7,5	7,5	7,5
e_m (mm)	19	20	19	18	21	21
e_0 (mm)	8	8	8	8	8	8
e_p (mm)	0	3	1	4	2	13
e_k (mm)	0	0	0	0	0	0
e_{dim} (mm)	27	31	28	30	31	42
Φ	0,83	0,81	0,74	0,73	0,73	0,63
R_{nd} (kN)	172,7	168,5	113,2	111,7	78,8	68,1
R_{nd0} (kN/m)						
S_d (kN)	125,0	119,6	82,6	75,3	34,4	23,6
Knäckningskontroll	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!
$R_{kantpåkänning,ök}$ (kN)	155,4	153,0	107,7	105,3	71,7	71,7
$R_{kantpåkänning,uk}$ (kN)	208,0	208,0	153,0	153,0	108,0	108,0
Kantpåkänningskontroll	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!
f_{ld} (MPa)	1,57	1,57	1,57	1,57	1,11	1,11
σ_{ld} (MPa)	1,29	1,23	0,85	0,84	0,09	0,07
Kontroll av lokalt tryck	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!

	bredd 510		bredd 510		bredd 510	
Väggalternativ	3	3	3	3	3	3
Punkt	C	C	C	C	C	C
Plan	1	1	2	2	3	3
Material, bärande vägg	Leca	Leca	Leca	Leca	Leca	Leca
Huvudlast	Nyttig	Vind	Nyttig	Vind	Snö	Vind
Vertikallast, q_d (kN/m)	91,8	89,2	56,1	52,4	17,3	11,9
Vindlast, $q_{k,vind}$ (kN/m ²)	0,62	0,62	0,62	0,62	0,65	0,65
Hållfasthetsklass	10	10	5	5	3	3
f_{ck} (MPa)	4,3	4,3	3,4	3,4	2,4	2,4
γ_m	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
γ_n (SK 3)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
E_k (GPa)	6,0	6,0	4,8	4,8	3,4	3,4
Murbruksklass	B	B	B	B	B	B
h_{ef} (m)	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
t (m)	0,340	0,340	0,340	0,340	0,250	0,250
t_{ef} (m)	0,345	0,345	0,345	0,345	0,259	0,259
λ_e	5,6	5,6	5,6	5,6	7,5	7,5
e_m (mm)	27	26	41	40	31	31
e_0 (mm)	8	8	8	8	8	8
e_p (mm)	0	2	1	3	2	14
e_k (mm)	0	0	0	0	0	0
e_{dim} (mm)	35	36	50	51	41	53
Φ	0,77	0,77	0,69	0,69	0,64	0,54
R_{nd} (kN)	199,3	199,3	143,6	143,6	92,5	78,0
R_{nd0} (kN/m)						
S_d (kN)	167,0	162,3	102,1	95,4	31,5	21,7
Knäckningskontroll	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!
$R_{kantpåkänning,ök}$ (kN)	185,8	186,6	122,9	118,0	73,1	73,1
$R_{kantpåkänning,uk}$ (kN)	258,9	259,9	205,5	205,5	145,0	145,0
Kantpåkänningskontroll	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!
f_{ld} (MPa)	2,00	2,00	1,57	1,57	1,11	1,11
σ_{ld} (MPa)	1,72	1,68	1,06	0,98	0,33	0,22
Kontroll av lokalt tryck	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!

BILAGA 2 BERÄKNING AV VÄRMEISOLERINGSFÖRMÅGA

Väggalternativ 1

Material	d (m)	λ_p (W/mK)	R_p (m ² K/W)
Insida			0,130
Slätputs	0,015	1,000	0,015
Tegel	0,120	0,700	0,171
Luftspalt	0,020		0,160
Mineralull	0,120	0,033	3,636
Mineralull	0,050	0,033	1,515
Tegel	0,120	0,700	0,171
Utsida			0,040
			$R_T = 5,838 \text{ m}^2\text{K/W}$

Mineralull

$$\lambda_{kl} = 0,033 \text{ W/mK}$$

$$\lambda_p = \lambda_{kl} + \Delta\lambda_w = 0,033 + 0 = 0,033 \text{ W/mK}$$

(Mineralull bakom slammat tegel)

$$R_p = R_T - \Delta R_w = 5,838 - 0 = 5,838 \text{ m}^2\text{K/W}$$

(Avdrag endast för isolering i mark)

$$\Delta U_f = n(\alpha\lambda_j A_j)/d_i = 1,75(0,5 \cdot 20 \cdot 19,635 \cdot 10^{-6})/0,170 = 0,002 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_p = 1/R_p + \Delta U_g + \Delta U_k + \Delta U_f + \Delta U_w = 1/5,838 + 0,020 + 0,040 + 0,002 + 0 = 0,233 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Väggalternativ 2

Material	d (m)	λ_p (W/mK)	R_p (m ² K/W)
Insida			0,130
Puts	0,005	1,000	0,005
Lättbetong	0,400	0,100	4,000
Slätputs	0,015	1,000	0,015
Utsida			0,040
			$R_T = 4,190 \text{ m}^2\text{K/W}$

$$R_p = R_T - \Delta R_w = 4,190 - 0 = 4,190 \text{ m}^2\text{K/W}$$

(Avdrag endast för isolering i mark)

$$U_p = 1/R_p + \Delta U_g + \Delta U_k + \Delta U_f + \Delta U_w = 1/4,190 + 0,020 + 0 + 0 + 0 = 0,259 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Väggalternativ 3

Material	d (m)	λ_p (W/mK)	R_p (m ² K/W)
Insida			0,130
Slätputs	0,015	1,000	0,015
Lättklinker	0,190	0,200	0,950
Mineralull	0,150	0,033	4,545
Luftspalt	0,010		0,200
Tegel	0,120		
Utsida			0,040
			$R_T = 5,880 \text{ m}^2\text{K/W}$

Lättklinker

$$\lambda_{kl} = 0,200 \text{ W/mK}$$

$$\lambda_p = \lambda_{kl} + \Delta\lambda_w = 0,20 + 0 = 0,20 \text{ W/mK}$$

Mineralull

$$\lambda_{kl} = 0,033 \text{ W/mK}$$

$$\lambda_p = \lambda_{kl} + \Delta\lambda_w = 0,033 + 0 = 0,033 \text{ W/mK}$$

(Mineralull bakom ventilerat fasadskikt)

$$R_p = R_T - \Delta R_w = 5,880 - 0 = 5,880 \text{ m}^2\text{K/W}$$

(Avdrag endast för isolering i mark)

$$\Delta U_f = n(\alpha\lambda_j A_j)/d_i = 1,75(0,5 \cdot 20 \cdot 19,635 \cdot 10^{-6})/0,170 = 0,002 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_p = 1/R_p + \Delta U_q + \Delta U_k + \Delta U_f + \Delta U_w = 1/5,880 + 0,020 + 0,040 + 0,002 + 0 = 0,232 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Betongvägg

Material	d (m)	λ_p (W/mK)	R_p (m ² K/W)
Insida			0,130
Betong	0,150	1,700	0,088
Skalmursskiva	0,150	0,033	4,545
Luftspalt	0,030		0,200
Tegel	0,120		
Utsida			0,040
			$R_T = 5,003 \text{ m}^2\text{K/W}$

Mineralull

$$\lambda_{kl} = 0,033 \text{ W/mK}$$

$$\lambda_p = \lambda_{kl} + \Delta\lambda_w = 0,033 + 0 = 0,033 \text{ W/mK}$$

(Mineralull bakom ventilerat fasadskikt)

$$R_p = R_T - \Delta R_w = 5,003 - 0 = 5,003 \text{ m}^2\text{K/W}$$

(Avdrag endast för isolering i mark)

$$\Delta U_f = n(\alpha\lambda_j A_j)/d_i = 1,75(0,5 \cdot 20 \cdot 19,635 \cdot 10^{-6})/0,150 = 0,002 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_p = 1/R_p + \Delta U_g + \Delta U_k + \Delta U_f + \Delta U_w = 1/5,003 + 0,020 + 0,040 + 0,002 + 0 = 0,262 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Utfackningsvägg

Andel reglar: $45/600 = 0,075$

$$\lambda_{p,skikt} = 0,075 \cdot 0,140 + 0,925 \cdot 0,036 = 0,044 \text{ W/mK}$$

λ -värdesmetoden			
Material	d (m)	λ_p (W/mK)	R_p (m ² K/W)
Insida			0,130
Gips	0,013	0,220	0,059
Mineralull	0,045	0,044	1,023
Reglar			
Plastfolie	0,000		
Mineralull	0,145	0,044	3,295
Reglar			
Utegips	0,009	0,220	0,041
Luftspalt	0,038		0,200
Tegel	0,120		
Utsida			0,040

$R_{T\lambda} = 4,788 \text{ m}^2\text{K/W}$

Mineralull

$$\lambda_{kl} = 0,033 \text{ W/mK}$$

$$\lambda_p = \lambda_{kl} + \Delta\lambda_w = 0,033 + 0 = 0,033 \text{ W/mK}$$

(Mineralull bakom ventilerat fasadskikt)

U-värdesmetoden			
Material	d (m)	λ_p (W/mK)	R_p (m ² K/W)
Insida			0,130
Gips	0,013	0,220	0,059
Mineralull	0,045	0,036	1,250
Reglar	0,045	0,140	0,321
Plastfolie	0,000		
Mineralull	0,145	0,036	4,028
Reglar	0,145	0,140	1,036
Utegips	0,009	0,220	0,041
Luftspalt	0,038		0,200
Tegel	0,120		
Utsida			0,040

$R_{T,regel} = 1,827 \text{ m}^2\text{K/W}$
 $R_{T,min.ull} = 5,748 \text{ m}^2\text{K/W}$

$$R_{T,U} = 0,075 \cdot R_{T,regel} + 0,925 \cdot R_{T,min.ull} = 5,454 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_T = 0,5 \cdot R_{T,\lambda} + 0,5 \cdot R_{T,U} = 5,121 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_p = R_T - \Delta R_w = 5,121 - 0 = 5,121 \text{ m}^2\text{K/W}$$

(Avdrag endast för isolering i mark)

$$\Delta U_f = n(\alpha \lambda_j A_j) / d_i = 1,75(0 \cdot 20 \cdot 19,635 \cdot 10^{-6}) / 0,170 = 0$$

$$U_p = 1/R_p + \Delta U_g + \Delta U_k + \Delta U_f + \Delta U_w = 1/5,121 + 0,020 + 0,020 + 0 + 0 = 0,235 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Beräkning av U_{medel} för väggar i ursprunglig byggnad

Nettoarea betongyttervägg: $140,7 \text{ m}^2$

Nettoarea utfackningsvägg: $436,9 \text{ m}^2$

$$U_{p,\text{betong}} = 0,262 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{p,\text{utf.vägg}} = 0,235 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{\text{medel}} = (U_{p,\text{betong}} \cdot 140,7 + U_{p,\text{utf.vägg}} \cdot 436,9) / (140,7 + 436,9) = 0,242 \text{ W/m}^2\text{K}$$

BILAGA 3 BYGGKOSTNADSBERÄKNINGAR

Byggnad: Alternativ 1						
Byggdelen	Plan	Längd (lpm)	Höjd (m)	Bruttoarea (m ²)	Area öppningar (m ²)	Nettoarea (m ²)
Yttervägg, kanalmur t = 120 mm	1	102,8	2,5	257,0	89,3	167,7
	2	110,2	2,5	275,5	89,3	186,2
	3	110,2	2,5	275,5	89,3	186,2
Summa:						540,1
Yttervägg, kanalmur t = 250 mm	1	5	2,5	12,5		12,5
	2	5	2,5	12,5		12,5
	3	5	2,5	12,5		12,5
Summa:						37,5
Innervägg, 250 Leca	1	109	2,4	261,6	18,9	242,7
	2	109	2,4	261,6	18,9	242,7
	3	109	2,4	261,6	18,9	242,7
Summa:						728,1
Innervägg, lättvägg	1	87,2	2,4	209,3	30,2	179,1
	2	87,2	2,4	209,3	30,2	179,1
	3	87,2	2,4	209,3	30,2	179,1
Summa:						537,2

Byggnad: Alternativ 2						
Byggdel	Plan	Längd (lpm)	Höjd (m)	Bruttoarea (m ²)	Area öppningar (m ²)	Nettoarea (m ²)
Yttervägg, lättbetong kvalitetsgrupp 400	1	96,6	2,5	241,5	89,3	152,2
	2	104,0	2,5	260,0	89,3	170,7
	3	112,4	2,5	281,0	89,3	191,7
						514,6
Yttervägg, lättbetong kvalitetsgrupp 500	1	0				
	2	8,4	2,5	21,0		21,0
	3	2,8	2,5	7,0		7,0
						28,0
Yttervägg, lättbetong kvalitetsgrupp 600	1	11,2	2,5	28,0		28,0
	2	2,8	2,5	7,0		7,0
	3	0				
						35,0
Innervägg, 180 betong	1	109	2,4	261,6	18,9	242,7
	2	109	2,4	261,6	18,9	242,7
	3	109	2,4	261,6	18,9	242,7
						728,1
Innervägg, lättvägg	1	87,2	2,4	209,3	30,2	179,1
	2	87,2	2,4	209,3	30,2	179,1
	3	87,2	2,4	209,3	30,2	179,1
						537,2

Byggnad: Alternativ 3						
Byggdelen	Plan	Längd (lpm)	Höjd (m)	Bruttoarea (m ²)	Area öppningar (m ²)	Nettoarea (m ²)
Yttervägg, Leca-tegelmur Hållfasthetsklass 2 t = 190 mm	1	100,7	2,5	251,8	89,3	162,5
	2	108,1	2,5	270,3	89,3	181,0
	3	108,0	2,5	270,0	89,3	180,7
						524,1
Yttervägg, Leca-tegelmur Hållfasthetsklass 3 t = 250 mm	1	0,0				
	2	0,0				
	3	7,2	2,5	18,0	0	18,0
						18,0
Yttervägg, Leca-tegelmur Hållfasthetsklass 5 t = 250 mm	1	0,0				
	2	2,0	2,5	5,0	0	5,0
	3	0,0				
						5,0
Yttervägg, Leca-tegelmur Hållfasthetsklass 5 t = 340 mm	1	2,0	2,5	5,0	0	5,0
	2	5,1	2,5	12,8	0	12,8
	3	0,0				
						17,8
Yttervägg, Leca-tegelmur Hållfasthetsklass 10 t = 340 mm	1	5,1	2,5	12,8	0	12,8
	2	0,0				
	3	0,0				
						12,8
Innervägg, 250 Leca	1	109	2,4	261,6	18,9	242,7
	2	109	2,4	261,6	18,9	242,7
	3	109	2,4	261,6	18,9	242,7
						728,1
Innervägg, lättvägg	1	87,2	2,4	209,3	30,2	179,1
	2	87,2	2,4	209,3	30,2	179,1
	3	87,2	2,4	209,3	30,2	179,1
						537,2

Byggnad: Ursprunglig						
Byggdelen	Plan	Längd (lpm)	Höjd (m)	Bruttoarea (m ²)	Area öppningar (m ²)	Nettoarea (m ²)
Yttervägg, betong	1	23,8	2,5	59,5	12,6	46,9
	2	23,8	2,5	59,5	12,6	46,9
	3	23,8	2,5	59,5	12,6	46,9
Summa:						140,7
Utfackningsvägg,	1	84	2,5	210,0	76,7	133,3
	2	91,4	2,5	228,5	76,7	151,8
	3	91,4	2,5	228,5	76,7	151,8
Summa:						436,9
Innervägg, 180 betong	1	93,2	2,4	223,7	15,1	208,6
	2	93,2	2,4	223,7	15,1	208,6
	3	93,2	2,4	223,7	15,1	208,6
Summa:						625,7
Innervägg, 150 betong	1	15,8	2,4	37,9	3,8	34,1
	2	15,8	2,4	37,9	3,8	34,1
	3	15,8	2,4	37,9	3,8	34,1
Summa:						102,4
Innervägg, lättvägg	1	87,2	2,4	209,3	30,2	179,1
	2	87,2	2,4	209,3	30,2	179,1
	3	87,2	2,4	209,3	30,2	179,1
Summa:						537,2

Beräkning av kostnader för olika byggdelar i alternativ 1

Yttervägg, kanalmur av tegel (t=120)				
BSAB 96		Åtgång	Material (kr)	Tid (h)
AFH.61	Hakställning	1,15 m ²	18,40	0,18
FSG.22	120 fasadtegel, gult spånat	1 m ²	152,00	1,00
FSG.22	Frakt tegel (t=120)	1 m ²	15,00	
FSG.22	Vanligt bruk (t=120)	1 m ²	73,50	0,10
LBS.121	Tunnputs, slammad yta	1 m ²	16,30	0,18
IBE.23	50 våningshög fasadskiva-33	1 m ²	43,70	0,11
IBE.23	120 mineralullsskiva-36	1 m ²	36,05	0,09
FS	Diam. 4, kramla	4 st	27,00	0,16
FSG.21	120 murtegel, håltegel inkl. bruk	1 m ²	236,20	0,80
FSG.22	Frakt tegel (t=120)	1 m ²	15,00	
LBS.121	Filtad slätputs	1 m ²	35,30	0,38
AFH.61	Invändig hög murarställning	1 m ²	14,00	0,16
			682,45	3,16

Materialkostnad: 682,45 kr
 Arbetslön (115:- per timme): 363,40 kr
 Omkostnadspålägg 233% på arbetslön: 846,72 kr

Sektionskostnad exkl. moms:	1 892,57 kr/m ²
-----------------------------	----------------------------

Yttervägg, kanalmur av tegel (t=250)				
BSAB 96		Åtgång	Material (kr)	Tid (h)
AFH.61	Hakställning	1,15 m ²	18,40	0,18
FSG.22	120 fasadtegel, gult spånat	1 m ²	152,00	1,00
FSG.22	Frakt tegel (t=120)	1 m ²	15,00	
FSG.22	Vanligt bruk (t=120)	1 m ²	73,50	0,10
LBS.121	Tunnputs, slammad yta	1 m ²	16,30	0,18
FS	Diam. 4, kramla	4 st	27,00	0,16
FSG.21	250 murtegel, håltegel inkl. bruk	1 m ²	461,90	1,40
FSG.22	Frakt tegel (t=250)	1 m ²	30,00	
LBS.121	Filtad slätputs	1 m ²	35,30	0,38
AFH.61	Invändig hög murarställning	1 m ²	14,00	0,16
			829,40	3,40

Materialkostnad: 829,40 kr
Arbetslön (115:- per timme): 391,00 kr
Omkostnadspålägg 233% på arbetslön: 911,03 kr

Sektionskostnad exkl. moms:	2 131,43 kr/m ²
-----------------------------	----------------------------

Innervägg, massivmur av Leca (t=250)				
BSAB 96		Åtgång	Material (kr)	Tid (h)
LBS.121	Brädriven slätputs	1 m ²	35,30	0,35
FSF.2	250 lättklinkerblock, fullfogsmurade	1 m ²	241,50	0,65
FSG.22	Frakt lättklinker (t=250)	1 m ²	20,65	
LBS.121	Brädriven slätputs	1 m ²	35,30	0,35
AFH.61	Invändig låg murarställning	1 m ²	7,00	0,08
			332,75	1,35

Materialkostnad: 332,75 kr
Arbetslön (115:- per timme): 155,25 kr
Omkostnadspålägg 233% på arbetslön: 361,73 kr

Sektionskostnad exkl. moms:	849,73 kr/m ²
-----------------------------	--------------------------

Innervägg, oisolerad lättvägg				
BSAB 96		Åtgång	Material (kr)	Tid (h)
KBC.21	13 gipsskiva	1 m ²	18,80	0,18
HSD.113	45x70 regler c 600	3,5 m	22,40	0,25
KBC.21	13 gipsskiva	1 m ²	18,80	0,18
			60,00	0,61

Materialkostnad: 60,00 kr
Arbetslön (115:- per timme): 70,15 kr
Omkostnadspålägg 233% på arbetslön: 163,45 kr

Sektionskostnad exkl. moms:	293,60 kr/m ²
-----------------------------	--------------------------

Beräkning av kostnader för olika byggdelar i alternativ 2

Yttervägg, massivmur av lättbetongblock (t=400)				
BSAB 96		Åtgång	Material (kr)	Tid (h)
AFH.61	Hakställning	1,15 m ²	17,25	0,18
LBS	5 spritputs KC	1 m ²	57,75	0,28
LBS	10 utstockning-grovputs	31,75	0,30	
LBS	Galvat nät+hakspik	1 m ²	24,40	0,32
LBS	1.5 grundning	1 m ²	10,05	0,10
FSE.2	400 lättbetong tunnfog	1 m ²	403,50	0,75
FSE.2	Frakt lättbetong (t=400)	1 m ²	39,85	
LBS.121	Filtad tunnputs	1 m ²	17,65	0,20
AFH.61	Invändig låg murarställning	1 m ²	7,00	0,08
			577,75	1,91

Materialkostnad: 577,75 kr
 Arbetslön (115:- per timme): 219,65 kr
 Omkostnadspålägg 233% på arbetslön: 511,78 kr

Sektionskostnad exkl. moms:	1 309,18 kr/m ²
-----------------------------	----------------------------

(Samma materialkostnad och tidsåtgång för kv 450 och 500 i Sektionsfakta.)

Innervägg, betongvägg (t=180)				
BSAB 96		Åtgång	Material (kr)	Tid (h)
ESB	Elementform, slät	1 m ²	50,00	0,45
ESE.21	180 betong K30	1 m ²	138,42	0,18
ESC.1	Armering Ks500ST diam. 12	1 kg	3,80	0,03
ESC.1	Armering Ks500ST diam. 10	9,4 kg	36,04	0,28
ESB	Elementform, slät	1 m ²	50,00	0,45
			278,26	1,39

Materialkostnad: 278,26 kr
 Arbetslön (115:- per timme): 159,85 kr
 Omkostnadspålägg 233% på arbetslön: 372,45 kr

Sektionskostnad exkl. moms:	810,56 kr/m ²
-----------------------------	--------------------------

Beräkning av kostnader för olika byggdelar i alternativ 3

Yttervägg, komb.mur av Leca (t=190) och tegel				
BSAB 96		Åtgång	Material (kr)	Tid (h)
AFH.61	Hakställning	1,15 m ²	17,25	0,18
FSG.22	120 fasadtegel, gult spånat	1 m ²	152,00	1,00
FSG.22	Frakt tegel (t=120)	1 m ²	15,00	
FSG.22	Vanligt bruk (t=120)	1 m ²	73,50	0,10
IBE.23	145 mineralullsskiva-36	1 m ²	43,95	0,09
FS	Diam. 4, kramla	4 st	27,00	0,16
FSF.2	190 lättklinker, fullfogsmurad	1 m ²	189,90	0,60
FSF.2	Frakt lättklinker (t=190)	1 m ²	17,05	
LBS.121	Filtad slätputs	1 m ²	35,30	0,38
AFH.61	Invändig låg murarställning	1 m ²	7,00	0,08
			577,95	2,59

Materialkostnad:	577,95 kr
Arbetslön (115:- per timme):	297,85 kr
Omkostnadspålägg 233% på arbetslön:	693,99 kr

Sektionskostnad exkl. moms:	1 569,79 kr/m ²
-----------------------------	----------------------------

Yttervägg, komb.mur av Leca (t=250) och tegel				
BSAB 96		Åtgång	Material (kr)	Tid (h)
AFH.61	Hakställning	1,15 m ²	17,25	0,18
FSG.22	120 fasadtegel, gult spånat	1 m ²	152,00	1,00
FSG.22	Frakt tegel (t=120)	1 m ²	15,00	
FSG.22	Vanligt bruk (t=120)	1 m ²	73,50	0,10
IBE.23	95 mineralullsskiva-36	1 m ²	29,90	0,09
FS	Diam. 4, kramla	4 st	27,00	0,16
FSF.2	250 lättklinker, fullfogsmurad	1 m ²	241,50	0,65
FSF.2	Frakt lättklinker (t=250)	1 m ²	20,65	
LBS.121	Filtad slätputs	1 m ²	35,30	0,38
AFH.61	Invändig låg murarställning	1 m ²	7,00	0,08
			619,10	2,64

Materialkostnad: 619,10 kr
Arbetslön (115:- per timme): 303,60 kr
Omkostnadspålägg 233% på arbetslön: 707,39 kr

Sektionskostnad exkl. moms:	1 630,09 kr/m ²
-----------------------------	----------------------------

Yttervägg, komb.mur av Leca (t=340) och tegel				
BSAB 96		Åtgång	Material (kr)	Tid (h)
AFH.61	Hakställning	1,15 m ²	17,25	0,18
FSG.22	120 fasadtegel, gult spånat	1 m ²	152,00	1,00
FSG.22	Frakt tegel (t=120)	1 m ²	15,00	
FSG.22	Vanligt bruk (t=120)	1 m ²	73,50	0,10
FS	Diam. 4, kramla	4 st	27,00	0,16
FSF.2	340 lättklinker, fullfogsmurad	1 m ²	329,50	0,75
FSF.2	Frakt lättklinker (t=340)	1 m ²	28,70	
LBS.121	Filtad slätputs	1 m ²	35,30	0,38
AFH.61	Invändig låg murarställning	1 m ²	7,00	0,08
			685,25	2,65

Materialkostnad: 685,25 kr
Arbetslön (115:- per timme): 304,75 kr
Omkostnadspålägg 233% på arbetslön: 710,07 kr

Sektionskostnad exkl. moms:	1 700,07 kr/m ²
-----------------------------	----------------------------

Beräkning av kostnader för olika byggdelar i ursprunglig byggn.

Yttervägg, betongvägg med tegelfasad				
BSAB 96		Åtgång	Material (kr)	Tid (h)
AFH.61	Hakställning	1,15 m ²	18,40	0,18
FSG.22	120 fasadtegel, gult spånat	1 m ²	152,00	1,00
FSG.22	Frakt tegel (t=120)	1 m ²	15,00	
FSG.22	Vanligt bruk (t=120)	1 m ²	73,50	0,10
IBE.23	150 skalmursskiva-33	1 m ²	70,05	0,10
FS	Diam. 4, kramla	4 st	27,00	0,16
ESB	Luckform	1 m ²	44,00	0,75
ESB	Tillägg för utv gjutbrygga	1 m ²	15,00	0,10
ESE.21	150 betong K30	1 m ²	115,35	0,10
ESC.1	Armering Ks500ST diam. 12	1 kg	3,80	0,03
ESC.1	Armering Ks500ST diam. 10	6,6 kg	25,41	0,20
ESB	Skivform	1 m ²	50,00	0,80
			609,51	3,52

Materialkostnad:	609,51 kr
Arbetslön (115:- per timme):	404,80 kr
Omkostnadspålägg 233% på arbetslön:	943,18 kr

Sektionskostnad exkl. moms:	1 957,49 kr/m ²
-----------------------------	----------------------------

Yttervägg, träregelvägg med tegelfasad				
BSAB 96		Åtgång	Material (kr)	Tid (h)
AFH.61	Hakställning	1,15 m ²	18,40	0,18
FSG.22	120 fasadtegel, gult spånat	1 m ²	152,00	1,00
FSG.22	Frakt tegel (t=120)	1 m ²	15,00	
FSG.22	Vanligt bruk (t=120)	1 m ²	73,50	0,10
FS	Märla + bygelkramla	4 st	20,40	0,08
KBC.11	9 gipsskiva GU	1 m ²	16,10	0,13
HSD.113	45x145 regler c 600	3,5 m	56,00	0,32
IBE.24	145 mineralullsskiva-36	1 m ²	43,95	0,09
JSF.54	0,20 plastfolie	1 m ²	3,25	0,05
HSD.151	45x45 läkt c 600	3 m	13,05	0,09
IBE.24	45 mineralullsskiva-36	1 m ²	16,15	0,07
KBC.21	13 gipsskiva	1 m ²	18,80	0,18
			446,60	2,29

Materialkostnad: 446,60 kr
Arbetslön (115:- per timme): 263,35 kr
Omkostnadspålägg 233% på arbetslön: 613,61 kr

Sektionskostnad exkl. moms:	1 323,56 kr/m ²
-----------------------------	----------------------------

Innervägg, betongvägg (t=180)				
BSAB 96		Åtgång	Material (kr)	Tid (h)
ESB	Elementform, slät	1 m ²	50,00	0,45
ESE.21	180 betong K30	1 m ²	138,42	0,18
ESC.1	Armering Ks500ST diam. 12	1 kg	3,80	0,03
ESC.1	Armering Ks500ST diam. 10	9,4 kg	36,04	0,28
ESB	Elementform, slät	1 m ²	50,00	0,45
			278,26	1,39

Materialkostnad: 278,26 kr
Arbetslön (115:- per timme): 159,85 kr
Omkostnadspålägg 233% på arbetslön: 372,45 kr

Sektionskostnad exkl. moms:	810,56 kr/m ²
-----------------------------	--------------------------

Innervägg, betongvägg (t=150)				
BSAB 96		Åtgång	Material (kr)	Tid (h)
ESB	Elementform, slät	1 m ²	50,00	0,45
ESE.21	150 betong K30	1 m ²	115,35	0,10
ESC.1	Armering Ks500ST diam. 12	1 kg	3,80	0,03
ESC.1	Armering Ks500ST diam. 10	3,6	13,86	0,11
ESB	Elementform, slät	1 m ²	50,00	0,45
			233,01	1,14

Materialkostnad: 233,01 kr
 Arbetslön (115:- per timme): 131,10 kr
 Omkostnadspålägg 233% på arbetslön: 305,46 kr

Sektionskostnad exkl. moms:	669,57 kr/m ²
-----------------------------	--------------------------

Kostnadsberäkning enligt Sektionsfakta 00/01

Alternativ 1			
Byggdel	Area (m ²)	Sektionskostnad (kr/m ²)	Byggdelskostnad kr
Yttervägg, kanalmur tegel (t= 120)	540,1	1892,57	1 022 178,14 kr
Yttervägg, kanalmur tegel(t= 250)	37,5	2131,43	79 928,63 kr
			1 102 106,76 kr
Innervägg, 250 Leca	728,1	849,73	618 690,23 kr
Innervägg, lättvägg	537,2	293,60	157 733,40 kr
			776 423,63 kr
		Summa:	1 878 530,39 kr

Alternativ 2			
Byggdel	Area (m ²)	Sektionskostnad (kr/m ²)	Byggdelskostnad kr
Yttervägg, massivmur lättbetong	577,6	1309,18	756 184,97 kr
Innervägg, 180 betong	728,1	810,56	590 169,10 kr
Innervägg, lättvägg	537,24	293,60	157 733,40 kr
			747 902,50 kr
		Summa:	1 504 087,46 kr

Alternativ 3			
Byggdelen	Area (m ²)	Sektionskostnad (kr/m ²)	Byggdelskostnad kr
Yttervägg, komb.mur, 190 Leca	524,1	1569,79	822 727,20 kr
Yttervägg, komb.mur, 250 Leca	23,0	1630,09	37 492,02 kr
Yttervägg, komb.mur, 340 Leca	30,5	1700,07	51 852,06 kr
			<hr/> 912 071,28 kr
Innervägg, 250 Leca	728,1	849,73	618 690,23 kr
Innervägg, lättvägg	537,2	293,60	157 733,40 kr
			<hr/> 776 423,63 kr
		Summa:	1 688 494,91 kr

Ursprunglig byggnad			
Byggdelen	Area (m ²)	Sektionskostnad (kr/m ²)	Byggdelskostnad kr
Yttervägg, betong	140,7	1 957,49	275 419,41 kr
Utfackningsvägg	436,9	1 323,56	578 261,40 kr
			<hr/> 853 680,80 kr
Innervägg, 180 betong	625,7	810,56	507 200,13 kr
Innervägg, 150 betong	102,4	669,57	68 537,49 kr
Innervägg, lättvägg	537,2	293,60	157 733,40 kr
			<hr/> 733 471,01 kr
		Summa:	1 587 151,82 kr

BILAGA 4 RITNINGAR