

Avdelningen för Konstruktionsteknik  
Lunds Tekniska Högskola  
Box 118  
221 00 LUND

Division of Structural Engineering  
Faculty of Engineering, LTH  
P.O. Box 118  
S-221 00 LUND  
Sweden

## **Horisontalstabilisering av småhus i trä – en jämförelse av dimensioneringsmetoder**

Horizontal stabilization of wooden houses – a comparison of design methods

Amanda Bender & Alice Stilgård

2022

Rapport TVBK-5290  
ISSN 0349-4969  
ISRN: LUTVDG/TVBK-22/5290

Examensarbete  
Handledare: Eva Frühwald Hansson & Martin Heinegård  
Maj 2022

## Förord

Detta examensarbete på 30 högskolepoäng sätter punkt för våra fem års studier på civilingenjörsprogrammet inom väg- och vattenbyggnad på Lunds tekniska högskola.

Vi vill först och främst rikta ett stort tack till våra handledare Eva Frühwald Hansson vid avdelningen för konstruktionsteknik på Lunds tekniska högskola och Martin Heinegård på Skanska Teknik. Er expertis och vägledning har hjälpt oss att hålla rätt riktning under vårens gång. Till gänget på Skanska i Malmö, det har varit kul att få ta del av er gemenskap och att ni har visat stort intresse för vårt arbete.

Tack till respondenter och andra intressenter för att ni tagit er tid att besvara alla våra frågor. Det har gett oss värdefulla insikter!

Till våra studiekamrater: ni har gett oss fem otroligt roliga år som vi ser tillbaka på med stor glädje.

Lund 2022

*Amanda Bender & Alice Stilgård*



## Sammanfattning

De senaste tio åren har antalet sökta bygglov för småhus med träregelstomme mer än fördubblats. I dagsläget finns inget allmänt krav att säkerställa horisontalkapacitet för småhus men är något som beställaren kan efterfråga och som många konstruktörer någon gång upplevt problematiskt. Projekteringsfasen kan bli tidskrävande där lösningar för att fastställa kapacitet mot vindlast blir dyra och komplicerade vilket inte alltid får ett positivt bemötande från produktionen. Med bakgrund av detta finns ett allmänt intresse hos både konstruktörer och produktion att utvärdera lämpliga tillvägagångssätt för att möta båda parter intressen.

Examensarbetet utvärderar olika dimensioneringsmetoder för beräkning av en träregelstommes horisontella bärförmåga. Syftet med arbetet är att fastställa ett mer optimalt tillvägagångssätt genom att undersöka tillgängliga beräkningsmetodiker. Målet är att undersöka vilka styrkor och svagheter metoderna medför samt under vilka förutsättningar de lämpar sig.

Fallstudien inkluderar litteraturstudie, enkätstudie samt beräkningar där ett referensobjekt ligger till grund för analysen. Objektet är ett långsmalt kedjehus i två plan som består av en prefabricerad träregelstomme och är beläget i Bunkeflostrand söder om Malmö. Området ligger nära havet och är i perioder mycket vindutsatt. För att möta framtida boendes önskemål är planlösningen öppen och majoriteten av dörrar och fönster är placerade på gavlarna vilket leder till få stabiliserande väggar. Då denna typ av hus blir alltmer vanlig och objektet i fråga kan komma att bli ett standardhus för liknande etableringar är det av intresse att studera.

Genom enkätstudien inhämtas information och erfarenheter från konstruktörer och småhustillverkare för att få en bakgrund till hur branschen bemöter problematiken. Respondenternas svar ligger till viss grund för val och antaganden i vidare analys. I examensarbetet utvärderas olika dimensioneringsmetoder för beräkning av en träregelstommes horisontella bärförmåga. Metoderna som analyseras och jämförs är Metod A och Metod B enligt Eurokod 5, elastisk dimensionering enligt Gyprocs handbok 7 och nyanserad plastisk dimensionering enligt A. Girhammar och B. Källsner. En enklare FEM-modellering genomförs för att undersöka hur och om metoden kan implementeras vid beräkning av ett objekts horisontella bärförmåga.

Analysen delas upp i två delar vilka benämns som Studie 1 och Studie 2. I den första delen undersöks beräkningsmetoderna baserat på val av skivmaterial samt skruvavstånd för att nå en utnyttjandegrad så nära 100% som möjligt. De olika metodernas kostnadsmissiga utfall sammanställs och jämförs. Vidare utvärderas samtliga metoders horisontella bärförmåga under samma antagande för att få en bild av hur metoderna skiljer sig åt. I den andra delen genomförs sex geometriändringar för att undersöka hur referensobjektets horisontella bärförmåga påverkas.

Resultatet visar att nyanserad plastisk metod med full förankring ger ungefär 20% högre horisontell bärförmåga jämfört med den rekommenderade metoden i Eurokod 5, Metod A, då skivor över och under öppningar kan nyttjas stabiliserande. Då val av skivmaterial är den största kostnadsdrivande faktorn ger detta ungefär 30% lägre kostnad än Metod A. Att sänka referensobjektets höjd från 8,5 m till 7,0 m ger det mest fördelaktiga utfallet då vindlasten sänks väsentligt och cirka 50% lägre utnyttjandegrad erhålls jämfört med Studie 1. I Metod A, Metod B samt elastisk metod erhålls högst horisontell bärförmåga då fulla skivbredder används. Vid nyanserad plastisk dimensionering med partiell förankring erhålls en bättre horisontell bärförmåga vid kontinuerliga vägglängder där ett plastiskt skjuvflöde kan byggas upp under en

längre sträcka. Vidare rekommenderas inte plastisk dimensionering om öppningar är placerade tätt intill varandra då kapaciteten i skivor ovan och under öppningar måste reduceras kraftigt.

## Abstract

In the last ten years, the number of building permits applied for houses with timber frame structure has more than doubled. Today, there is no general requirement to establish horizontal capacity, but is something that can be demanded and that many structural engineers have occasionally experienced as problematic. The design phase can then be time-consuming, where solutions for determining capacity against wind loads can become expensive and complicated, which does not always receive a positive response from production. Against this background, there is a general interest among both structural engineers and production to evaluate appropriate approaches to meet the interests of both parties.

The purpose of the work is to establish a more optimal approach by examining the available calculation methods. The aim is to determine what strengths and weaknesses the methods entail and under what conditions the methods are suitable.

The case study includes a literature study, survey study and calculations where a reference object is the basis for the analysis. The object in question is a long and narrow two-floor single family house that consists of a prefabricated wooden frame and is situated in Bunkeflostrand, south of Malmö. The area is close to the sea and is at times very exposed to wind. To meet the requests of future residents, the floor plan is open, and most openings are located on the gables, which leads to few stabilizing walls. As this type of house is becoming more common and the object in question may become a standard house for similar establishments, it is of interest to study.

Through the survey study, information and experiences are gathered from structural engineers and house manufacturers to get a background on how the industry responds to the problem. The respondents' answers form a basis for some choices and assumptions in further analysis. In the thesis, different design methods are evaluated for calculating the shear resistance of a wooden frame. The methods that are analyzed and compared are Method A and Method B according to Eurocode 5, elastic design according to Gyproc's manual 7 and plastic design according to A. Girhammar and B. Källsner. A finite element method modeling is performed to investigate if and how the method can possibly be implemented when calculating an object's horizontal capacity.

The analysis is divided into two parts which are referred to as Study 1 and Study 2. In the first part, the calculation methods are investigated based on the choice of board material and screw distance to reach a degree of utilization as close to 100% as possible. The different methods cost outcomes are compiled and compared. Furthermore, the shear resistances according to all methods are evaluated under the same assumption to get an idea of how the methods differ. In the second part, a number of changes in geometry are made to examine how the horizontal capacity of the reference object is affected.

The results show that the plastic method with full anchoring gives approximately 20% higher shear capacity compared to the recommended method in Eurocode 5, Method A, as stabilizing boards above and below openings can be used for stabilization. As the choice of board material is the largest cost-driving factor, this gives approximately 30% lower cost than Method A. Lowering the reference object's height from 8.5 m to 7.0 m gives the most advantageous outcome as the wind load is reduced and approximately 50% higher degree of utilization is obtained compared to Study 1. The horizontal capacity regarding Method A, Method B, and elastic method is higher when full board widths are used. Plastic design with partial anchoring gives a higher shear capacity when continuous wall lengths are obtained since a plastic shear

flow can be built up over a longer distance. Furthermore, plastic design is not recommended if openings are placed close to each other as the capacity in boards above and below openings must be greatly reduced.



# Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Introduktion</b>	<b>1</b>
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte och frågeställningar	1
1.3	Avgränsningar	2
1.4	Metod	2
1.5	Disponering av rapport	2
1.6	Referensobjekt	3
<b>2</b>	<b>Horisontalstabilisering</b>	<b>7</b>
2.1	Skivverkan	7
2.2	Väggskivor	8
2.3	Förankringar	11
2.3.1	Full förankring	11
2.3.2	Partiell förankring	12
<b>3</b>	<b>Dimensioneringsmetoder</b>	<b>13</b>
3.1	Eurokod 5	15
3.1.1	Metod A	16
3.1.1.1	Förutsättningar	16
3.1.1.2	Beräkningsgång	16
3.1.2	Metod B	17
3.1.2.1	Förutsättningar	17
3.1.2.2	Beräkningsgång	18
3.2	Nyanserad plastisk dimensionering	21
3.2.1	Förutsättningar	21
3.2.2	En våning med öppningar	22
3.2.2.1	Ett våningsplan - huvudfall 1	23
3.2.2.2	Ett våningsplan - huvudfall 2	26
3.2.3	Flera våningar med öppningar	29
3.2.3.1	Två våningsplan - huvudfall 1	31
3.2.3.2	Två våningsplan - huvudfall 2	33
3.3	Elastisk dimensionering	35
3.3.1	Förutsättningar	35
3.3.2	Beräkningsgång	35
3.4	FEM-modellering	37
<b>4</b>	<b>Laster</b>	<b>39</b>
4.1	Lastnedräkning	39
4.2	Lastkombination	40
<b>5</b>	<b>Enkätstudie</b>	<b>41</b>
5.1	Sammanställning enkätstudie	41
<b>6</b>	<b>Produktionens önskemål</b>	<b>45</b>
<b>7</b>	<b>Kostnadsbedömning</b>	<b>47</b>

<b>8</b>	<b>Studie 1: Ursprungliga dimensioner .....</b>	<b>49</b>
8.1	<i>Antaganden och förutsättningar .....</i>	50
8.2	<i>Resultat.....</i>	50
<b>9</b>	<b>Studie 2: Ändring av geometri.....</b>	<b>53</b>
9.1	<i>Antaganden och förutsättningar .....</i>	53
9.1.1	Fall 1 - Flytt av öppningar till gavelns kanter.....	53
9.1.2	Fall 2 - Flytt av öppningar till gavelns mitt .....	54
9.1.3	Fall 3 - Flytt av groventrédörr till långsida.....	54
9.1.4	Fall 4 - Sänkt tak .....	55
9.1.5	Fall 5 - Addering av stabiliserande innerväggar på plan 1 och plan 2 .....	56
9.1.6	Fall 6 - Ändrad taklutning .....	57
9.2	<i>Resultat.....</i>	57
<b>10</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>61</b>
10.1	<i>Studie 1.....</i>	61
10.2	<i>Studie 2.....</i>	65
10.3	<i>Produktionstekniska aspekter.....</i>	67
10.4	<i>Generella lärdomar.....</i>	70
<b>11</b>	<b>Slutsats .....</b>	<b>73</b>
11.1	<i>Slutsatser från fallstudien .....</i>	73
11.2	<i>Rekommendationer för industrin.....</i>	74
11.3	<i>Förslag på framtida studier .....</i>	75
<b>12</b>	<b>Litteraturförteckning.....</b>	<b>77</b>
	<b>Bilaga A – Egentyngd.....</b>	<b>79</b>
	<b>Bilaga B – Vindlast.....</b>	<b>81</b>
	<i>B.1 Beräkningar.....</i>	82
	<b>Bilaga C – Enkätstudie .....</b>	<b>85</b>
	<b>Bilaga D - Exempelberäkningar.....</b>	<b>93</b>
	<i>D.1 Metod A .....</i>	93
	<i>D.2 Metod B.....</i>	94
	<i>D.3 Plastisk metod.....</i>	95
	D.3.1 Full förankring .....	95
	D.3.2 Partiell förankring.....	97
	<i>D.4 Elastisk metod.....</i>	99
	<b>Bilaga E – Studie 1 .....</b>	<b>101</b>
	<i>E.1 Lastfördelning innerväggar Studie 1 .....</i>	101
	<i>E.2 Optimering för kostnadsbedömning.....</i>	103
	<i>E.3 Jämförelse av horisontell bärförmåga.....</i>	107
	<i>E.4 FEM-modellering .....</i>	109

<b>Bilaga F - Studie 2: Ändring geometri .....</b>	<b>115</b>
<i>F.1 Fall 1 - Flytt av gavelöppningar till kortsida kant .....</i>	<i>115</i>
F.1.1 Metod A .....	115
F.1.2 Nyanserad plastisk dimensionering .....	115
<i>F.2 Fall 2 - Flytt av gavelöppningar till kortsidans mitt .....</i>	<i>117</i>
F.2.1 Metod A .....	117
F.2.2 Nyanserad plastisk dimensionering .....	118
<i>F.3 Fall 3 - Flytt av groventrédörr till långsida .....</i>	<i>120</i>
F.3.1 Metod A .....	120
F.3.2 Nyanserad plastisk dimensionering .....	120
<i>F.4 Fall 4 – Sänkt tak .....</i>	<i>122</i>
F.4.1 Metod A .....	123
F.4.2 Nyanserad plastisk dimensionering .....	123
<i>F.5 Fall 5 – Addering av stabiliserande innerväggar plan 1 och plan 2 .....</i>	<i>124</i>
F.5.1 Metod A .....	126
F.5.2 Nyanserad plastisk dimensionering .....	126
<i>F.6 Fall 6 – Ändrad taklutning .....</i>	<i>127</i>



# 1 Introduktion

I detta examensarbete utvärderas ett antal olika dimensioneringsmetoder vid beräkning av en träregelstommes horisontella bärförmåga för att fastställa metodernas kostnadsmässiga utfall och vid vilka geometriska förutsättningar de är lämpliga att applicera.

## 1.1 Bakgrund

Enligt Bygghälsa (uå) ökade antalet sökta bygglov för monteringsfärdiga trähus med över 100% mellan åren 2012–2021. Just nu utvecklar Skanska kedjehus i två plan med prefabricerad träregelstomme i Bunkeflostrand sydväst om Malmö. Området är beläget nära kusten och är under perioder hårt vindutsatt. Denna principiella hustyp kan senare komma att bli ett koncepthus för andra etableringar i Sverige. I examensarbetet studeras husbyggnadsprojektet med avseende på problematik kring horisontalstabilisering.

Kedjehuset projekteras med stabiliserande skivor som fästs med skruv eller spik på stommens vertikala och horisontella reglar. Träregelväggar klädda med skivor har stor styvhet vid belastning i sitt eget plan och genom att använda denna typ av stabiliseringsmetod kan horisontalkrafter, så som vindlast, överförs till grunden genom skivverkan (Carling, 1992).

Skjuvbärförmåga genom skivverkan kan beräknas med olika metoder. Eurokod 5 presenterar två möjliga tillvägagångssätt vilka benämns som Metod A och Metod B. Brister i dessa är dock att endast skivor med en viss bredd kan nyttjas vid beräkningar, samt att skivor med öppningar helt bortses från i den förstnämnda metoden (SS-EN-1995-1-1:2004, 2009). Girhammar och Källsner har utvecklat en mer nyanserad plastisk beräkningsmetod i vilken kraftflödet kan styras genom väggen där verkliga geometriska effekter beaktas och antalet komplicerade förankringar kan reduceras (Källsner & Girhammar, 2009). Ett alternativ till ovan nämnda angreppssätt är att utföra en elastisk dimensionering enligt Gyprocs handbok (2007).

För att tillfredsställa människors varierande önskemål om inredning och nyttjande av bostadsytan designas de aktuella husen med öppen planlösning på båda plan. Husen är avlånga och placeras nära varandra. För att skydda från insyn är långsidorna nästintill fria från öppningar och majoriteten av fönster och dörrar är således placerade på kortsidorna. Denna typ av geometri ger få stabiliserande väggar då vind angriper långsidan.

Från tidigare, liknande projekt i samma område har konstruktörer erfarit svårigheter att fastställa tillräcklig horisontalstabilitet för vindlast. Lösningen har blivit att förankra väggarna med kraftiga beslag, vilket har uppfattats tidskrävande, tekniskt komplicerat och dyrt. Baserat på rådande problematik har en önskan om en mer effektiv lösning initierats av Skanska.

## 1.2 Syfte och frågeställningar

Syftet med denna studie är att, för fallstudien av kedjehus i Bunkeflostrand, fastställa den mest ekonomiskt fördelaktiga beräkningsmetoden vid dimensionering av väggars skjuvkapacitet vid horisontalstabilisering. Olika beräkningsmetoder kommer utvärderas i kombination med dess kostnad.

Följande frågeställningar skall besvaras:

- *Vilken dimensioneringsmetod ger den lägsta kostnaden avseende stabiliserande skivmaterial och förankringsbeslag?*
- *Hur kan infästningar förbättras för att erhålla hög kapacitet och produktionsvänliga lösningar?*
- *Hur påverkas utnyttjandegraden vid justering av referensobjektets geometri?*

### 1.3 Avgränsningar

I arbetet görs en rad avgränsningar. Rapporten behandlar:

- Endast permanenta laster och vindlastfallet mot långsida
- Endast horisontalstabilisering genom skivverkan
- Endast dimensionering i brottgränstillståndet
- Endast kostnadsbedömning med avseende på stabiliserande skivmaterial samt förankringsbeslag

### 1.4 Metod

För att få en djupare förståelse för väggskivors och olika infästningars inverkan vid stomstabilisering genomförs en litteraturstudie innefattande artiklar, standarder, forskningsrapporter, handböcker och kurslitteratur.

Litteraturstudien kompletteras med en enkätstudie där konstruktörer med erfarenhet av småhusdimensionering konsulteras. Detta görs för att undersöka hur problem med horisontalstabilisering genom skivverkan kan bemötas, samt för att få en uppfattning om vilka alternativa lösningar som finns för att säkerställa tillräcklig kapacitet.

En fördjupning görs även för att fastställa hur val av olika skivmaterial, ändring av geometri och val av beräkningsmetod kan påverka ett hus stabilitet. I rapporten utvärderas olika beräkningsmetoder avseende skivverkan för referensobjektet: Metod A och Metod B enligt Eurokod 5, plastisk metod enligt Källsner och Girhammar (2009) samt elastisk metod enligt Gyprocs handbok (2007). Slutligen genomförs en FEM-modellering och enklare analys i FEM Design 21 (StruSoft).

### 1.5 Disponering av rapport

Rapporten tar avstamp i en litteraturstudie där Kapitel 2 beskriver horisontalstabilisering via skivverkan. Materialdata avseende förbindare för träbaserade skivor och gips presenteras samt olika förankringssätt. I Kapitel 3 presenteras de dimensioneringsmetoder som finns tillgängliga i Eurokod 5 och i övrig litteratur. Kapitel 4 behandlar vertikala och horisontella laster som verkar på en byggnad samt hur vindlast fördelas till husets väggar.

Ovan nämnda kapitel sammanfattar teorin från litteraturstudien som används vid analys av referensobjektet. Efterföljande kapitel inkluderar de antaganden, beräkningar, bakgrundsdata och resultat med mera som ligger till grund för att besvara frågeställningarna.

I Kapitel 5 presenteras en sammanfattning av enkätstudien där erfarenheter har samlats in från konstruktörer med kunskap av horisontalstabilisering av småhus med träregelstomme. Resultaten av studien används som grund för beräkningar och diskussion. Kapitel 6 ger en synopsis av produktionens önskemål och erfarenheter av tidigare, liknande projekt. Kapitel 7 ger en kort beskrivning om vad kostnadsbedömningen baseras på och vilka antaganden som

görs för att slutligen kunna utvärdera vilka kostnadsmässiga effekter de olika dimensioneringsmetoderna ger.

Som en del i analysen genomförs två studier. I Studie 1, Kapitel 8 appliceras dimensioneringsmetoderna med de givna geometriförutsättningarna för referensobjektet. Först anpassas skivmaterial och skruvavstånd för att optimera kostnaden. Därefter genomförs beräkningar för samtliga dimensioneringsmetoder med samma ingångsparametrar. Jämförelsen ger en uppfattning om vilken skillnad i kapacitet som erhålls beroende på val av dimensioneringsmetod. I Kapitel 9 presenteras Studie 2 som till viss del baseras på svaren från enkätstudien. Sex geometriförändringar genomförs för att undersöka hur utnyttjandegraden förändras.

Diskussion återfinns i Kapitel 10 och i Kapitel 11 presenteras de viktigaste slutsatserna, rekommendationer för industrin samt förslag på framtida studier.

Genom ovan beskriven disposition är förhoppningen att kontinuerligt ge läsaren tillgång till nödvändig information. Delresultat och mer ingående beskrivning av innehållet presenteras i Bilaga A – Egentyngd till och med Bilaga F – Studie 2: Ändring av geometri.

#### 1.6 Referensobjekt

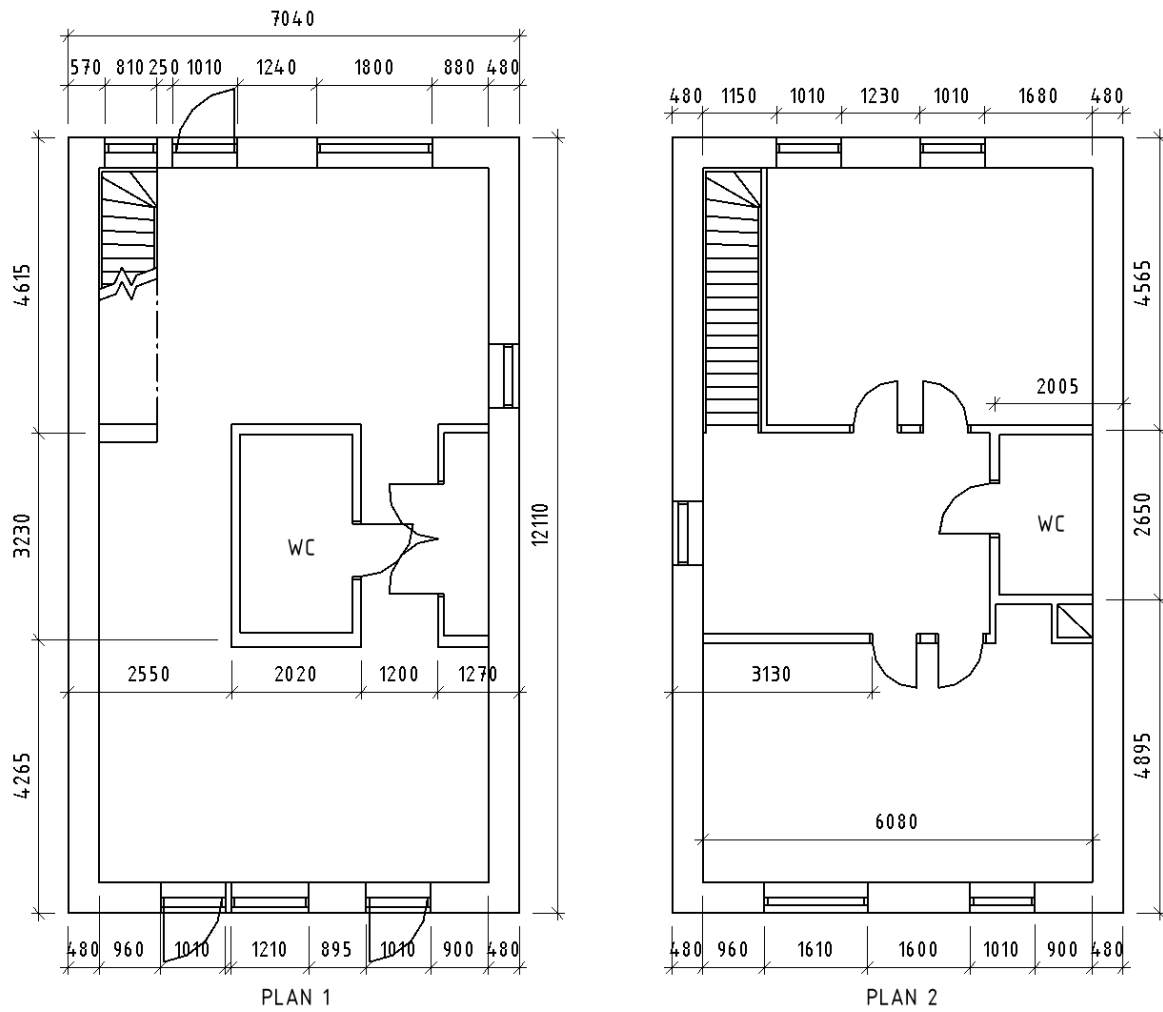
Referensobjektet är beläget i sydvästra Malmö och tillhör Skanskas projekt Söder om allén. Gällande bygghandlingar är ännu inte fastställda varvid dimensioner och utformning baseras på tidigare, liknande projekt samt preliminära A-handlingar.

Kedjehuset består av två våningsplan med sadeltak. För att skydda från insyn är dörrar och majoriteten av fönster belägna på kortsidan. Kedjehuset är relativt tätt placerade och kopplas samman med förråd. För att ge framtida boende viss möjlighet att själva välja utformning på de båda våningarna har husen delvis öppna planlösningar. Vid samtliga beräkningar friläggs ett hus och undersöks enskilt. Då en snabb produktionstakt eftersträvas prefabriceras plan-elementen.

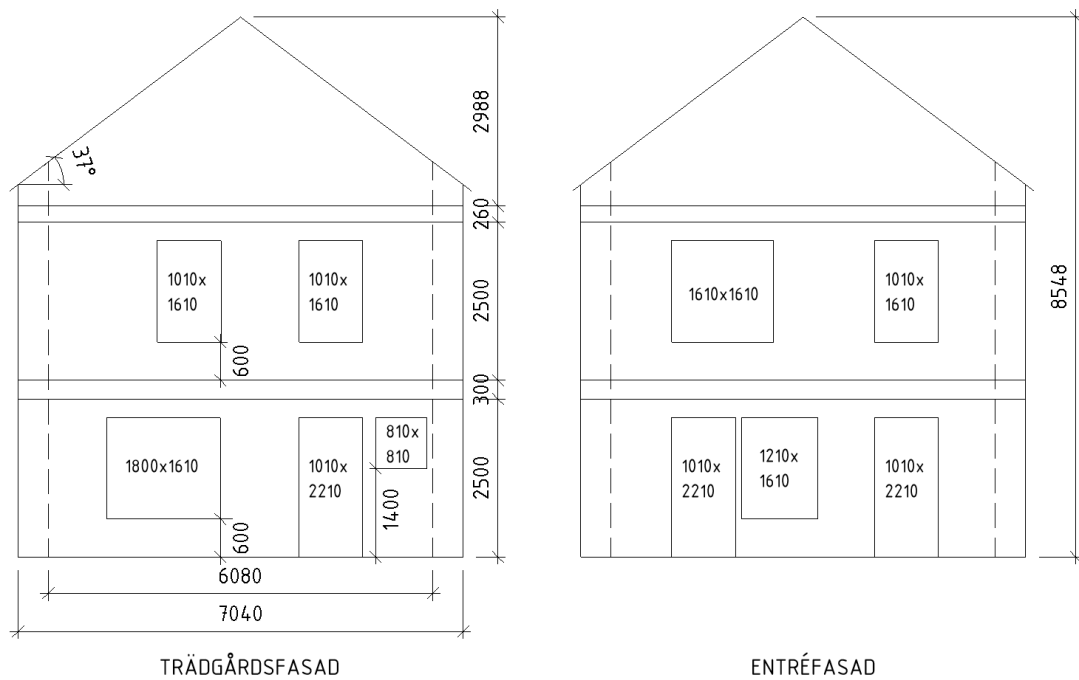
Byggnadens geometri presenteras nedan.

- Längd 12,1 m
- Bredd 7,0 m
- Höjd (inklusive tak) 8,5 m
- Höjd våningsplan 1 2,5 m
- Höjd våningsplan 2 2,5 m
- Taklutning 37°

Dimensioner i plan redovisas i Figur 1 och dimensioner i elevation redovisas i Figur 2.



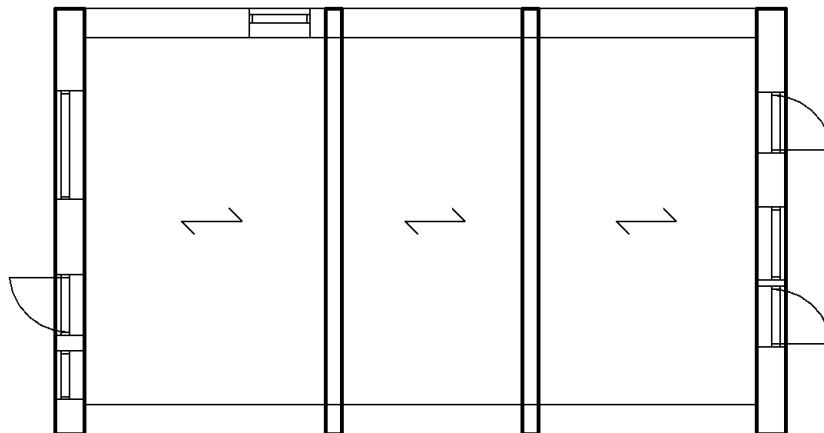
Figur 1 Referensobjektets dimensioner i plan



Figur 2 Referensobjektets dimensioner i elevation

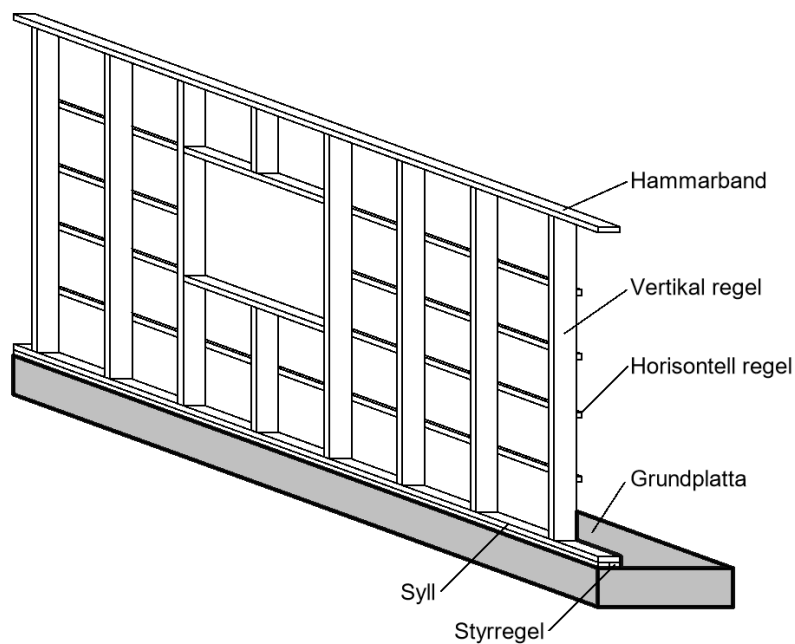


Bjälklaget är upplagt på kortsidorna samt tvärgående limträbalkar och byggnadens tak är tvärledsorienterat. Egentyngden från gavlarna och mellanbjälklaget kan således nyttjas som gynnsamma permanenta laster för att motverka lyft av gavlarna. Figur 3 visar bjälklagets bärriktning.



Figur 3 Bjälklagets upplagsriktning

De prefabricerade träregelväggarna i referensprojektet består av vertikala regler av kvalitet C24 vilka fästs till hammarband och syll. Syllen sitter i anslutning till en styrregel, vilken används för att styra in väggen i korrekt läge. För att möjliggöra installationsskikt fästs horisontella regler på insidan av väggen. En principskiss av en träregelvägg redovisas i Figur 4.



Figur 4 Uppbyggnad av träregelvägg mot grundplatta i betong



## 2 Horisontalstabilisering

För att säkerställa horisontalstabilisering används främst tre grundläggande metoder; diagonalstagning, ramverkan eller skivverkan. Den sistnämnda metoden är vanligast i mindre hus med trästomme och ligger därför till grund för examensarbetet varvid de övriga två metoderna inte berörs vidare.

Vanligtvis finns inget behov att kontrollera horisontalstabilitet för småhus genom beräkning. För byggnader med få och korta stabiliserande väggar bör dock beräkningar utföras för att säkerställa att kapaciteten är tillräcklig. Detta gäller speciellt för hus i vindutsatta områden där fasadlängden är större än 2,5 gånger längden av de tvärgående väggarna, minus öppningar (Carling, 1992).

### 2.1 Skivverkan

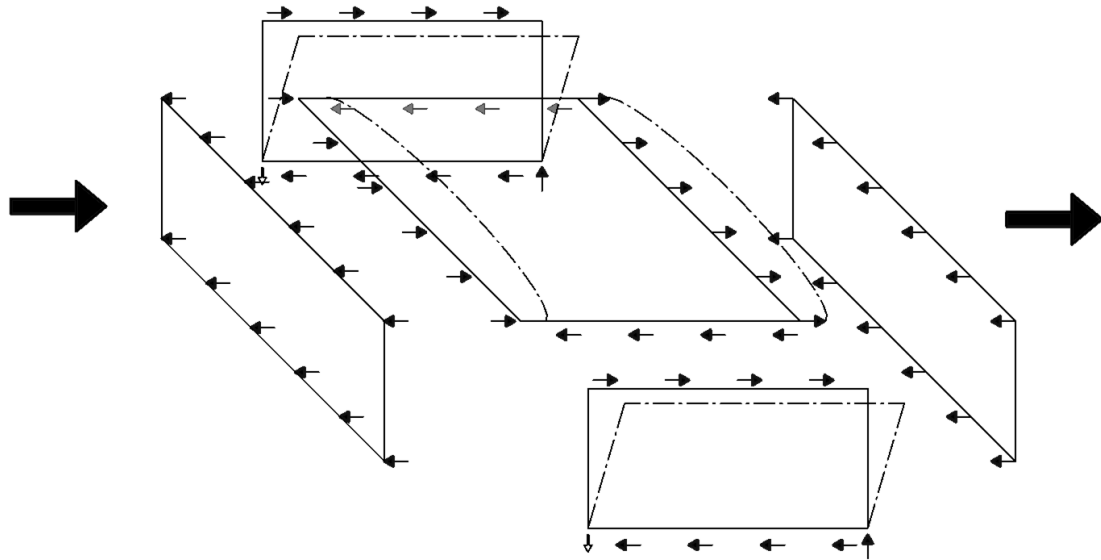
Skivverkan baseras på att skivan är styv i sitt eget plan och kräver att väggskivor monteras på ena eller båda sidor av väggen samt att de fästs in i dess yttre rand. För att förhindra skivbuckling skruvas eller spikas även väggskivan till den vertikala mittregeln, vilket således medför att skivan fästs till tre reglar. Reglarna tillsammans med skivan bildar en skjuvvägg vars skjuvstyvhet är kopplat till infästningen mellan beklädnad och ram (Svenskt trä, 2019a). Genom att variera parametrar så som regelavstånd, antal skivlag och skruvavstånd kan skjuvstyvheten för ett väggelement justeras (Gyproc, 2007).

Att limma skivan till reglarna kan ge upphov till stora spänningskoncentrationer och sedermera lokala brott, vilket medför att infästningen inte är lämpligt i denna typ av konstruktion (Carling, 1992).

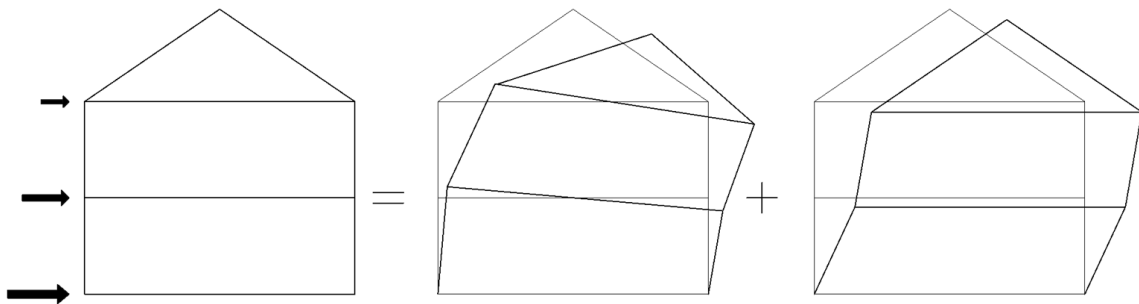
En byggnads stabilitet påverkas av väggarnas placering där minst tre verkningslinjer måste mötas i minst två punkter och sammankopplas av ett bjälklag tillräckligt styvt för att överföra laster (Isaksson, et al., 2017). När stomstabilitet analyseras måste erforderlig kapacitet mot stjälpning och glidning säkerställas. Rotation av en byggnad på grund av horisontalbelastning ger upphov till tryck- och dragkrafter i vertikala reglar. Säkerhet mot rotation kontrolleras genom att fastställa att det mothållande momentet är större än det stjälpande. Förflyttning i sidled kontrolleras mot tillräcklig skjuvkapacitet i förbindarna mellan syll och grundplatta.

Vindlast som verkar på en byggnad överförs till grunden via skjuvning, vilket redovisas för fullt förankrade träregelväggar i Figur 5. Lasten överförs som horisontella skjuvkrafter mellan byggnadsdelar till tvärväggar och längsgående väggar samt som vertikala tryck- och dragkrafter i väggarna parallellt med vindriktningen. Lasten ger även upphov till deformationer vilket redovisas som punktstreckade linjer.

Böj- och skjuvdeformationer för en vindbelastad byggnad redovisas i Figur 6.



Figur 5 Schematisk kraftöverföring mellan bjälklag och väggar då vindlast (vilka markeras som stora pilar) verkar på en fullt förankrad träregelvägg. Punktstreckade linjer avser deformationer på grund av horisontalbelastning



Figur 6 Schematiska böj- och skjuvdeformationer då vindlast verkar på långsidan

## 2.2 Väggskivor

För att uppfylla arbetsmiljökrav är maximal tillåten bredd på skivor på arbetsplatsen begränsad till 900 mm. För prefabricerade element kan bredder upp till 1200 mm användas.

Dimensionerande tvärkraftskapaciteten hos förbindare mellan skiva och stomme beräknas enligt (Isaksson & Mårtensson, 2008)

$$F_{Rd} = k_{mod} \frac{F_{Rk}}{\gamma_M} \quad (1)$$

där

$F_{Rk}$  är karakteristisk bärförmåga för förbandet [N];

$\gamma_M$  är partialkoefficient för material enligt Tabell 2 [-];

$k_{mod,i}$  är hållfasthetsmodifieringsfaktor för materialet som ingår i förbandet enligt Tabell 1 [-].

Effekten av förband mellan olika material regleras genom omräkning av faktorn  $k_{mod}$  (Isaksson & Mårtensson, 2008).

$$k_{mod} = \sqrt{k_{mod,1}k_{mod,2}} \quad (2)$$

där

$k_{mod,i}$  är respektive materials omräkningsfaktor.

$k_{mod}$  för olika material presenteras i Tabell 1. Då ingen omräkningsfaktor för gips presenteras i tillgänglig litteratur antas samma värde som för OSB.

Partialkoefficient för material i brottgränstillståndet presenteras i Tabell 2.

Tabell 1 Omräkningsfaktor  $k_{mod}$  för beräkning av bärförmåga i klimatklasserna 1, 2 och 3 (Isaksson & Mårtensson, 2008)

Material	Klimatklass	Kortvarigaste last				
		P	L	M	S	I
Konstruktionsvirke	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Limträ	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Plywood	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
OSB	1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
	2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Gips	1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
	2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90

Tabell 2 Partielkoefficienter för olika material och förband (Isaksson & Mårtensson, 2008)

Material	$\gamma_M$
Konstruktionsvirke	1,3
Limträ	1,25
Gips	1,2
Träförband*	1,3

\*Avser alla typer av förband i en träkonstruktion

Tvärkraftskapaciteten hos förband mellan träfiberbaserade skivor och träregelstomme beräknas i ett beräkningsprogram som baseras på kapitel 10.2 i Dimensionering av träkonstruktioner del 2 (Svenskt trä, 2019b). Dimensionerande tvärkraftskapacitet för förbindare i träfiberbaserade skivor redovisas i Tabell 3. Spånskiveskruv med elförzinkning (4,2x55 mm) används för samtliga förband.

Tabell 3 Tvärkraftskapacitet för förbindare i plywood och OSB

Skivmaterial	Tjocklek $t$ [mm]	Tvärkraftskapacitet $F_{R,d}$ [N]
Plywood	9	770
	12	810
	15	870
OSB	9	780
	12	820
	15	880

I Tabell 4 presenteras tvärkraftskapaciteten för förband mellan gipsskivor från Gyproc och träreglar samt tillhörande val av förbindare. Dimensionerande värde beräknas enligt ekvation (1). Gipsskivorna nyttjas i klimatklass 1 och vindskyddsskiva i klimatklass 2.

Tabell 4 Tvärkraftskapacitet med olika gipsskivor (Gyproc, 2019)

Skiva			Förbindare	Tvärkraftskapacitet	
Skivtyp	Tjocklek $t$ [mm]	Skivlag	Typ och dimension	$F_k$ [N]	$F_d$ [N]
GN 13*	12,5	Inre lag	QT Quick 3,9 x 32	370	313
		Yttre lag	QT Quick 3,9 x 41	290	245
GR 13**	12,5	Inre lag	QSTR Quick 3,9 x 35	520	440
		Yttre lag	QSTR Quick 3,9 x 41	330	279
GHS 9***	9,5	Inre lag	QSTW Quick 3,9 x 32	240	184

\* GN 13 = Gyproc Normal

\*\* GR 13 = Gyproc Robust (hård gipsskiva)

\*\*\* GHS 9 = Glasroc H GHS 9 Storm (vindskyddsskiva), klimatklass 2

När ett antal fästdon placeras på rad blir spridningen för den totala bärförmågan mindre än för ett enskilt fästdon varvid kapaciteten kan ökas med 20% (Carling, 1992). För värden framtagna genom laborieförsök på fullskaliga träregelväggar med skivor är effekten av flera fästdon på rad vanligtvis redan inkluderad när testen genomförs.

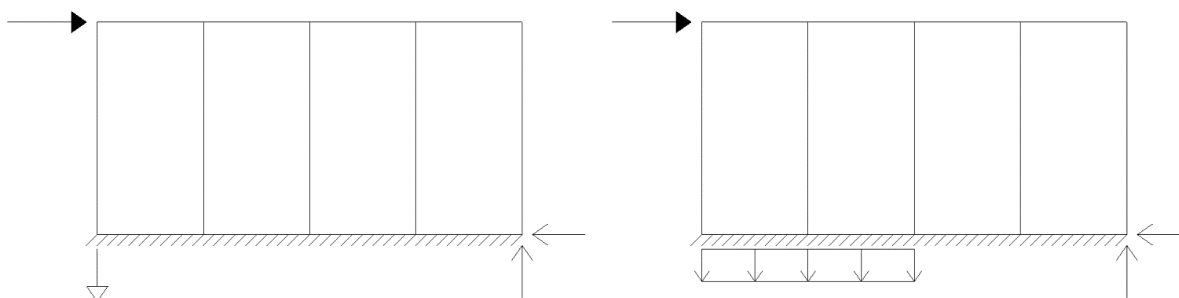
Tvärkraftskapaciteten för Gyprocs gipsskivor hämtas från handböcker. I samtal med Gustav Bodin, teknisk rådgivare på Saint-Gobain Sweden AB Gyproc, framkom att företagets presenterade värden baseras på förbandstest där ett förband testats i taget. När testerna genomfördes förekom avvikande resultat vilka inkluderades då Gyproc räknade om de testade värden till karakteristiska förbandsvärden enligt metoderna för dimensionering genom provning. Dessa värden har kontrollerats genom fullskaleprovning och det finns således grund att anta att kapacitetsvärdena kan ökas med 20% även för Gyprocs gipsskivor<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Gustav Bodin, teknisk rådgivare, Saint-Gobain Sweden AB, Gyproc, telefonsamtal 8 april 2022.

## 2.3 Förankringar

Generellt gäller att syllen förankras längs hela sin längd för att motverka skjuvning. Om de vertikala, permanenta lasterna som verkar på skiv-regelväggen är otillräckliga krävs även förankring mot lyft (Källsner & Girhammar, 2009).

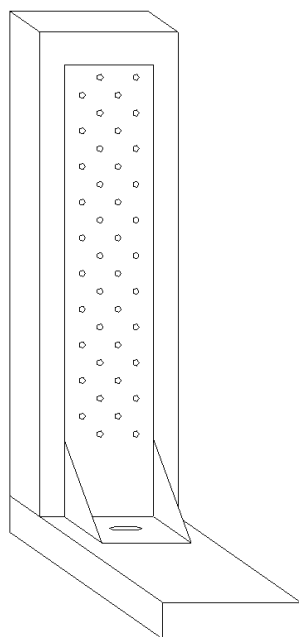
Förankring av vägg till grund kan definieras enligt två ytterligheter; fullständig förankring och ofullständig förankring. Skillnaden mellan förankringssätten beror på hur infästningen och kraftöverföringen till grunden sker. Figur 7 redovisar full förankring till vänster där lyft motverkas av en fullt förankrad frontregel. Den högra bilden visar ofullständig förankring där lyft förhindras av förankrad syll. I praktiken förankras även vertikala regler till hammarband/syll, vilket motverkar lyft och leder till partiell förankring.



Figur 7 Kraftöverföring då en skivregelvägg belastas horisontellt

### 2.3.1 Full förankring

I fullt förankrade väggar är frontregeln samt vertikala regler vid öppningar fullständigt förankrade till grunden. Detta leder ofta till stor koncentrerad last i förankringspunkten och kräver därmed ett kraftigt vinkelbeslag för att förhindra lyft av väggen. Full förankring kan uppnås genom att fästa vinkelbeslag inuti regelväggen vilka förankras genom syll till grund. Förankringssättet är också möjligt på övre våningsplan där infästningen kan utföras genom att exempelvis använda vinkelbeslag och/eller genomgående gängstång mellan våningsplanen (Girhammar, et al., 2010). Principskiss på ett vinkelbeslag visas i Figur 8.



Figur 8 Principskiss på ett kraftigt vinkelbeslag

### 2.3.2 Partiell förankring

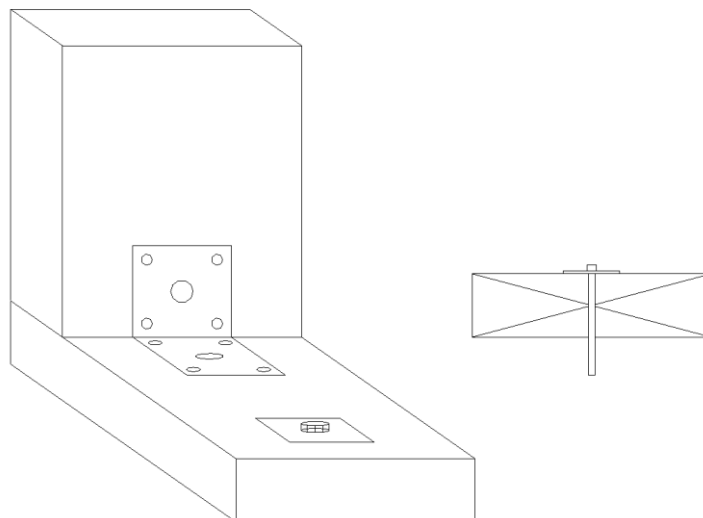
I en partiellt förankrad vägg överförs kraft som ett skjuvflöde via skiv-regelförbandet i syllen. Lyft motverkas genom förankringsbultar mellan syll och grund, vilket ger en utbredd lastupptagande förmåga längs syllen. För att förankringstypen ska vara applicerbar måste ett segt brott av syllen och skiv-regelförbanden säkerställas (Caprolu, 2012). En studie av Caprolu, et al (2015) som undersöker möjliga brott vid partiell förankring visar på tre möjliga brottmoder:

- 1) delning av syllens undersida (sprött brott),
- 2) delning längs sidan av syllen (sprött brott) samt
- 3) plasticering/flytning av skruven och utdragning av förbandet som är fäst genom skiva och syll (segt brott).

Den första brottmoden beror av tvärgående böjning där horisontell dragkraft verkar vinkelrätt fibrerna och brottet uppkommer på undersidan av syllen utmed raden av bultar. Den andra brottmoden beror av att vertikal tvärkraft överförs via träförbanden till syllen som vertikal dragkraft vinkelrätt fibrerna, varvid brottet/sprickan uppkommer längs raden av skruvar. Den tredje brottmoden uppkommer på grund av böjning och utdrag av förbanden mellan skivor och syll.

En slutsats av studien är att typen av brottmod är beroende av bultens placering i syllens tvärriktning samt brickans storlek, det vill säga avståndet från brickans kant till den belastade kanten. Genom att minska detta avstånd reduceras risken för ett sprött brott, och den lastbärande förmågan ökar (Caprolu, et al., 2015). Plastisk dimensioneringsmetod kan endast användas om segt brott kan säkerställas (brottnod 3) och att delning av syllen undviks (brottnod 1 och 2) (Caprolu, 2014).

Principskiss på en förankring mellan syll och grund visas i Figur 9. I kombination med att syllen förankras mot lyft förankras ofta de vertikala reglarna med ett konventionellt vinkelbeslag.



Figur 9 Principskiss på en förankring av syll



### 3 Dimensioneringsmetoder

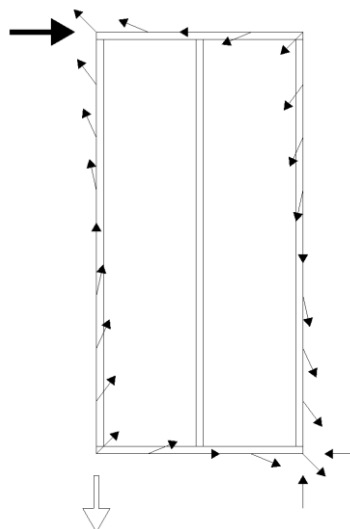
Bjälklag och tak måste vara tillräckligt styva för att möjliggöra kraftöverföring till stabiliserande väggar, och hammarbandet ska vara utformat på sådant vis att resulterande krafter från bjälklaget kan överföras. Vid roterande moment på grund av horisontalbelastning på skivans ovkant förhindras lyft av reglarna genom motverkande vertikala krafter, såsom egentygnd från ovanliggande byggnadsdelar, och/eller genom erforderlig förankring. Drag- och tryckkrafter i skivans kanter överförs via de vertikala reglarna varvid risk för knäckning av regler och tryck vinkelrätt syllen måste kontrolleras. Även erforderlig styvhet hos förankringsdonen måste verifieras. Vid rotation av en skiva överförs tryckkrafter mellan intilliggande skivdelar varvid risk för krossning av skivdelar måste undersökas (Caprolu, et al., 2012).

Nedan beskrivs de olika beräkningsmetoderna Metod A och Metod B i Eurokod 5, nyanserad plastisk dimensionering samt elastisk dimensionering. För respektive metod beskrivs förutsättningar och beräkningsgång. Antaganden och resultat för referensobjektet återfinns i kapitel 8 för Studie 1 och kapitel 9 för Studie 2. Referensobjektets ytterväggar modelleras i FEM Design 21 för att studera vilka förankringskrafter som genereras i programmet samt skjuvspänningar i träregelväggens skivor.

Den elastiska metoden bygger på elasticitetsteori och Metod A, Metod B samt nyanserad plastisk dimensionering grundar sig på plasticitetsteorin.

Elasticitetsteori innebär ett proportionellt förhållande mellan spänning och töjning. Bärförmågan uppnås när det mest belastade förbandet når sin kapacitet vilket betyder att man antar ett sprött brott och att plastisk omlagring i förbindarna inte tillgodoses. I plasticitetsteorin antas ett icke-linjärt förhållande mellan spänning och töjning där momentomlagring kan ske i materialet. Detta betyder att ett förband kan töjas och på så sätt tillåts sprida lasten till andra förband innan den går till brott, vilket ger ett segt brott.

I den elastiska metoden förutsätts full förankring och att kapaciteten är uppnådd när det mest belastade fästdonet når sin maximala kapacitet. De fästdon som först går till brott är de som är belägna i skivans hörn. Med detta resonemang utgör således den elastiska metoden den nedre kapacitetsgränsen jämfört med den plastiska metoden. Kraftfördelningen i förbindarna för den elastiska metoden redovisas i Figur 10.



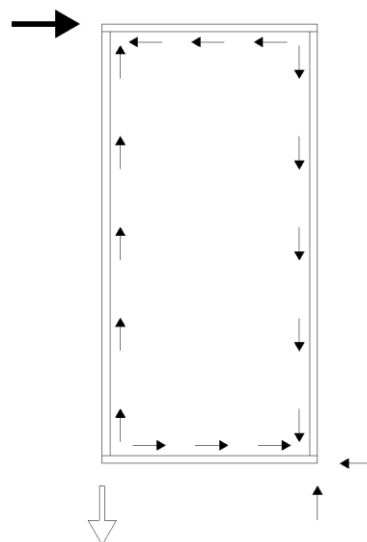
Figur 10 Kraftfördelning på en träregelstomme enligt elasticitetsteori vid full förankring

Enligt den plastiska teorin kan förankring och kraftöverföring ske genom ofullständig eller fullständig förankring. Förankringsätten kan kombineras till en partiell förankring för ett fördelaktigt angreppssätt där förankring av frontregeln tar en viss del av lyftet.

Om front- och slutregeln är fullt förankrade mot lyftning och skivorna är infästa med samma skruvavstånd längs ränderna leder det till att ett konstant skjuvflöde uppkommer längs ränderna på skivan. Enligt den plastiska metoden är samtliga förbindare lika mycket belastade och de utnyttjas således till samma grad. Förankringskraften överförs i skivornas ytterkanter via de vertikala reglarna till grunden. Det förutsätts då att de vertikala reglarna är förhindrade att förskjutas vertikalt i förhållande till grunden.

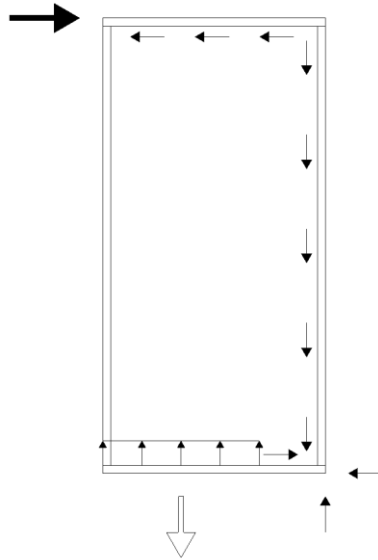
Tryck parallellt fiberriktningen har inledningsvis ett linjärt spännings-töjningsförhållande som senare övergår till ett icke linjärt beteende och träet erhåller ett segt brott. Förklaringen till detta är att spänningen till en början sker parallellt med fibrerna för att vid brott knäckas och då fördelas till andra fibrer och plasticering uppstår (Svenskt trä, 2019b).

Kraftflöde i förbindarna enligt plasticitetsteorin vid full förankring av frontregeln redovisas i Figur 11.



Figur 11 Kraftfördelning på en träregelstomme enligt plasticitetsteori vid full förankring

Vid ofullständig och partiell förankring nyttjas skivornas styvhet för att via skiv-regelförbanden överföra dragkraften till grunden genom att förankra syllen. I detta fall tillåts reglarna att förskjutas vertikalt i förhållande till syllen. När enbart syllen är förankrad mot lyft byggs förankringskraften kontinuerligt upp mellan skiva och syll (Källsner & Girhammar, 2009). Kraftflöde i förbindarna för plastisk metod och ofullständig förankring redovisas i Figur 12.



*Figur 12 Kraftfördelning på en träregelstomme enligt plasticitetsteori vid oförankrad frontregel och förankrad syll (ofullständig förankring)*

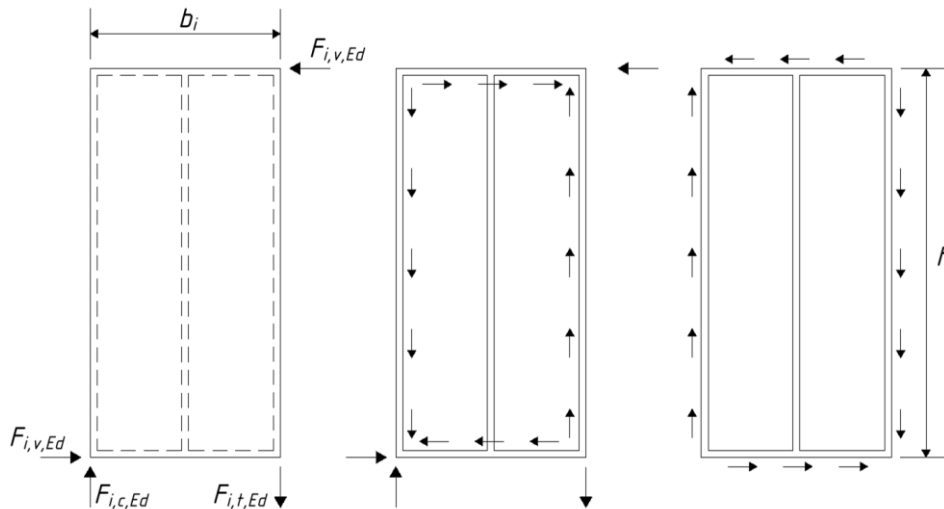
### 3.1 Eurokod 5

I Eurokod 5 presenteras två metoder för att beräkna skivverkan i väggar, Metod A och Metod B. Gemensamt för de båda är att väggen ska vara förankrad mot stjälpning och glidning. Metod A motsvarar en fullt förankrad skjuvvägg och en vägg beräknad enligt Metod B kan både fullständigt och partiellt förankras (Caprolu, 2014).

### 3.1.1 Metod A

#### 3.1.1.1 Förutsättningar

Kraftöverföring i skiva och regler på grund av horisontell belastning redovisas i Figur 13. Till vänster redovisas vertikala och horisontella kraftkomponenter, där det den dragna sidan måste förankras mot lyft. I mitten redovisas det kraftflöde som uppkommer i träregelstommen och till höger flödet längs skivans kanter.



Figur 13 Kraftflöde längs regelverket samt längs skivans kanter

Vid beräkning av dimensionerande bärförmåga enligt Metod A krävs konstant avstånd mellan förbindarna längs skivans kant och att bredden av varje enskild skiva inte understiger  $h/4$ . För att mittregeln ska betraktas som stöttande för skivan krävs att förbindarnas avstånd inte överstiger det dubbla avståndet mellan förbindarna längs skivans kanter.

Dubbelsidiga, identiska skivor med samma förbindare har en skjuvbärförmåga ekvivalent med summan av de två enskilda elements bärförmåga. Om skivorna däremot är av olika material, men med liknande förskjutningsmodul, reduceras den svagare sidans kapacitet med 25%. Om dubbelsidiga, icke-identiska skivor med olika förskjutningsmodul används tillgodoräknas 50% av bärförmågan.

För Metod A inkluderas inte kapaciteten av ytor ovan och under öppningar. Yttre krafter som alstras vid öppningar eller vid en väggdel där den enskilda skivans bredd är mindre än  $h/4$  överförs till över- eller underliggande konstruktion.

#### 3.1.1.2 Beräkningsgång

Den dimensionerande skjuvbärförmågan,  $F_{v,Rd}$ , för angripande kraft horisontellt mot skivans överkant,  $F_{v,Ed}$ , fastställs genom summering av varje delements motstånd

$$F_{v,Rd} = \sum F_{i,v,Rd} \quad (3)$$

där

$F_{i,v,Rd}$  är dimensionerande skjuvbärförmåga för varje delement [N];

Ett delelements motstånd begränsas av förbindarnas kapacitet enligt

$$F_{i,v,Rd} = \frac{F_{f,Rd} b_i c_i}{s} \quad (4)$$

där

$F_{f,Rd}$  är dimensionerande tvärkraftsbärförmåga för en förbindare [N];  
 $b_i$  är delelementets bredd [m];  
 $s$  är förbindarnas inbördes avstånd [m];  
 $c_i$  är reduktionsfaktor avseende skivans bredd i förhållande till dess höjd [-];

$$c_i = \begin{cases} 1 \\ \frac{b_i}{b_0} \end{cases} \quad (5)$$

där

$b_0 = h/2$  [m];  
 $h$  är delelementets höjd [m].

De yttre vertikala krafterna  $F_{i,c,Ed}$  och  $F_{i,t,Ed}$  beräknas enligt

$$F_{i,c,Ed} = F_{i,t,Ed} = \frac{F_{i,v,Ed} h}{b_i} \quad (6)$$

där

$F_{i,v,Ed}$  är dimensionerande horisontallast [N].

Skivbuckling behöver beaktas om  $\frac{b_{net}}{t} \geq 100$

där

$b_{net}$  är det fria avståndet mellan stående reglar [m];  
 $t$  är skivans tjocklek [m].

### 3.1.2 Metod B

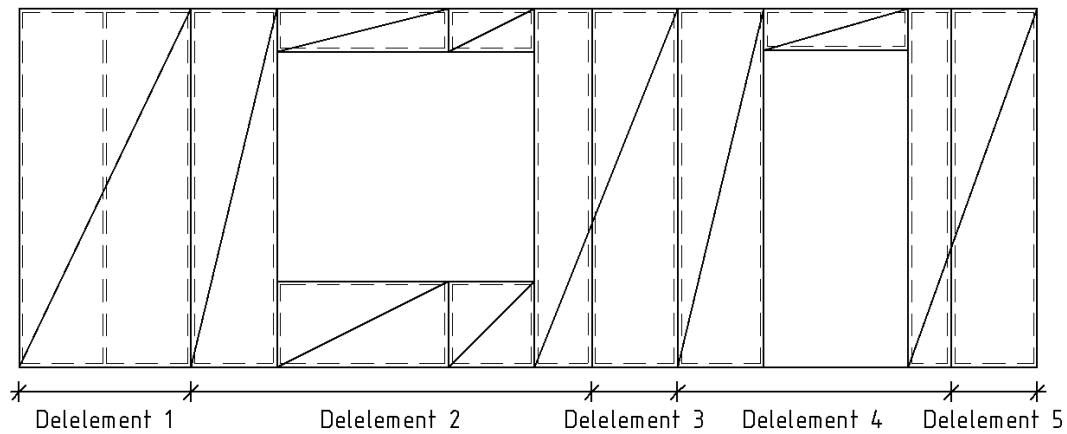
#### 3.1.2.1 Förutsättningar

Metoden förutsätter att träbaserade skivor, som uppvisar ett segt brott, används. Som nämnt i Metod A kräver även Metod B att väggskivans bredd minst är  $h/4$  för att antas bidra till väggens horisontella bärförmåga. Förbindarna mellan mittregeln och skivan bör inte ha ett avstånd som överstiger det dubbla avståndet mellan förbindarna längs skivornas kanter.

Om sammansatta delelement studeras som en väggskiva rekommenderas att delelementens ovansida förbinds med en horisontell virkesdel som löper över elementfogarna. Den vertikala fogen mellan två delelement dimensioneras för rådande kraft, dock minst 2,5 kN/m. I Metod B

nämns inget om huruvida skivor under och ovan öppningar kan inkluderas i beräkning av den totala horisontalstabiliseringen.

Figur 14 visar hur en vägg kan delas upp i delement och vägghelar. Vid en öppning betraktas delarna bredvid öppningen som separata delement.



Figur 14 Exempel på en vägg uppdelad i delement

### 3.1.2.2 Beräkningsgång

Den dimensionerande skjubbärförmågan,  $F_{v,Rd}$ , för angripande kraft horisontellt mot skivans överkant,  $F_{v,Ed}$ , fastställs genom summering av varje delements motstånd.

$$F_{v,Rd} = \sum F_{i,v,Rd} \quad (7)$$

där

$F_{i,v,Rd}$  är den dimensionerande skjubbärförmågan [N].

Delementens dimensionerande skjubbärförmåga bestäms enligt

$$F_{i,v,Rd} = \frac{F_{f,Rd} b_i}{s_0} k_d k_{i,q} k_s k_n \quad (8)$$

där

$F_{f,Rd}$  är den enskilda förbindarens tvärkraftbärförmåga [N];

$b_i$  är delementets bredd [m];

$s_0$  är basavståndet för förbindare [m];

$k_d$  är faktorn för väggens dimension [-];

$k_{i,q}$  är faktorn för utbredd last på väggskivan [-];

$k_s$  är faktor för förbindaravstånd [-];

$k_n$  är faktor för skivmaterial [-].

Basavståndet beräknas enligt

$$s_0 = \frac{9,7d}{\rho_k} \quad (9)$$

där

$s_0$  är basavståndet för förbindare [m];  
 $d$  är förbindarens diameter [mm];  
 $\rho_k$  är karakteristisk densitet för träramen [kg/m<sup>3</sup>].

Faktorn  $k_d$ , som tar hänsyn till väggens dimension, bestäms enligt

$$k_d = \begin{cases} \frac{b_i}{h} \text{ för } \frac{b_i}{h} \leq 1,0 \\ \left(\frac{b_i}{h}\right)^{0,4} \text{ för } \frac{b_i}{h} > 1,0 \text{ och } b_i \leq 4,8 \text{ m} \\ \left(\frac{4,8}{h}\right)^{0,4} \text{ för } \frac{b_i}{h} > 1,0 \text{ och } b_i > 4,8 \text{ m} \end{cases} \quad (10)$$

där

$h$  är delementets höjd [m].

Faktorn  $k_{i,q}$  bestäms utifrån antagandet att delementet är en solid kropp

$$k_{i,q} = 1 + (0,083q_i - 0,0008q_i^2) \left(\frac{2,4}{b_i}\right)^{0,4} \quad (11)$$

där

$q_i$  är den ekvivalenta utbredda vertikala lasten mot delementet,  $q_i \geq 0$  [kN/m].

Faktorn  $k_s$ , som tar hänsyn till förbindaravstånd, bestäms enligt

$$k_s = \frac{1}{0,86 \frac{s}{s_0} + 0,57} \quad (12)$$

där

$s$  är förbindaravståndet utmed skivkanterna [m].

Faktorn  $k_n$ , faktor för skivmaterial, beräknas enligt

$$k_n = \begin{cases} 1,0 \\ \frac{F_{i,v,Rd,max} + 0,5F_{i,v,Rd,min}}{F_{i,v,Rd,max}} \end{cases}$$

( 13 )

där

$F_{i,v,Rd,max}$  är dimensionerande skjuvbärförmåga för det starkare skivmaterialet [N];  
 $F_{i,v,Rd,min}$  är dimensionerande skjuvbärförmåga för det svagare skivmaterialet [N].

Den ekvivalenta lasten,  $q_i$ , rekommenderas att bestämmas utifrån permanenta laster, resulterande vindlast samt inverkan av punklaster.

$$q_i = \frac{2aF_{i,vert,Ed}}{b_i^2}$$

( 14 )

där

$a$  är det horisontella avståndet mellan kraften  $F$  och delementets hörn på läsidan [m];

$b$  är delementets bredd [m].

De yttre vertikala krafterna  $F_{i,c,Ed}$  och  $F_{i,t,Ed}$  beräknas enligt

$$F_{i,c,Ed} = F_{i,t,Ed} = \frac{F_{i,v,Ed}h}{b_i}$$

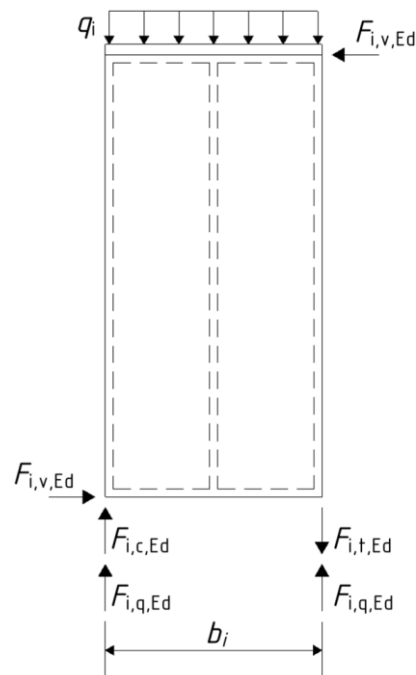
( 15 )

där

$h$  är delementets höjd [m].



Exempel på yttre och inre krafter som verkar på en väggskiva visas i Figur 15.



Figur 15 Exempel på yttre och inre krafter som verkar på en väggskiva

Skivbuckling behöver beaktas om  $\frac{b_{net}}{t} \geq 100$

där

$b_{net}$  är det fria avståndet mellan stående regler [m];  
 $t$  är skivans tjocklek [m].

### 3.2 Nyanserad plastisk dimensionering

Den nyanserade plastiska dimensioneringsmetodiken är baserad på plasticitetsteorin. Metoden är framtagen av Källsner och Girhammar (2009) och är ett mer avancerat och utvecklat angreppssätt än det som presenteras i Eurokod 5. Metoden baseras på Eurokod samt svenska normer och har verifierats genom omfattande analyser och experimentella studier.

Metoden tillåter att kapaciteten från skivor under och ovan öppningar inkluderas i beräkningar av den horisontella bärförmågan.

#### 3.2.1 Förutsättningar

Vid tillämpning av Girhammar och Källsners plastiska dimensioneringsmetod presenteras ett antal krav för tillämpning. Skivregelförbandet måste uppvisa ett segt brottbeteende och det är därför av stor vikt att välja rätt typ av förbindare. Sprött brott, som exempelvis genomstansningsbrott, ska undvikas och förankringsbrott, det vill säga att förbindaren dras ut ur materialet, eftersträvas. Då gips uppvisar ett sprött brottbeteende kan materialet endast användas om plastiska egenskaper kan säkerställas för förbanden.

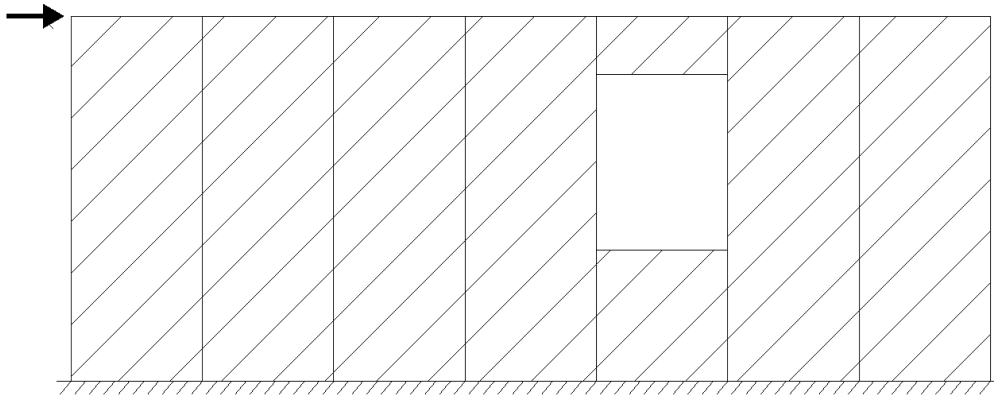
Metoden, som beskrivs i Källsners och Girhammars handbok, förutsätter att skivbredder på 1200 mm. Vid användning av mindre skivbredder kan det uppkomma problem vid beräkning av deformationer, vilket examensarbetet inte behandlar.

I den nyanserade plastiska dimensioneringsmetoden kan byggnadens verkliga beteende och infästningsförhållande beskrivas genom beräkningar. Genom att styra kraftflödet kan materialutnyttjandet effektiviseras och typ och placering av förankringar optimeras.

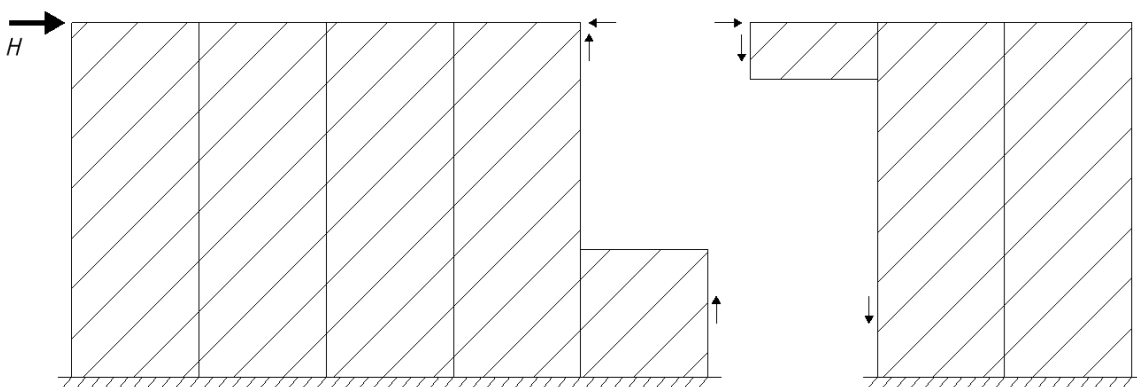
Den plastiska metoden tillåter både full och partiell förankring. Vid partiell förankring nyttjas skivornas styvhet för att via skiv-regelförbanden överföra dragkrafter till grunden genom att förankra syllen. I detta fall tillåts att reglarna förskjuts vertikalt i förhållande mot syllen. Genom att deformationer tillåts i väggarna ges större möjligheter att styra kraftflödet genom konstruktionen, vilket återspeglar byggnadens verkliga beteende. Dessutom kan byggnadens tvärväggar nyttjas för horisontalstabilisering, vilket ger ett tredimensionellt verkningssätt. Detta behandlas inte i examensarbetet.

### 3.2.2 En våning med öppningar

Vid analys av en väggs horisontella bärförmåga separeras en vindbelastad vägg, av typen som presenteras Figur 16, vid öppningen och studeras som två delelement, se Figur 17. Metoden går ut på att uppnå maximal skjuvkraftsöverföring i anslutningen till öppningen. I den principiella skissen nedan angriper vindlasten i väggens vänstra, övre hörn.



Figur 16 En vindbelastad vägg med öppning där vinden angriper i övre, vänstra hörnet



Figur 17 Väggen separeras i två delar där skjuvkraftsöverföringen studeras i snittet mellan delarna

Den horisontella bärförmågan hos en skivvägg med en eller flera öppningar kan beräknas enligt två tillvägagångssätt; huvudfall 1 och huvudfall 2. Huvudfall 1 gäller alltid vid full förankring och huvudfall 1 och 2 gäller vid partiell förankring. Vilket huvudfall som används för partiell förankring beror på om den plastiska tvärkraftskapaciteten uppnås innan eller efter en öppning. Följande generella teori baseras på att lasten angriper i väggens vänstra kant och således verkar

åt höger. Motsvarande angreppssätt gäller då vinden verkar i väggens högra hörn men behandlas ej vidare.

Det plastiska skjuvflödet längs skivans kanter ges av

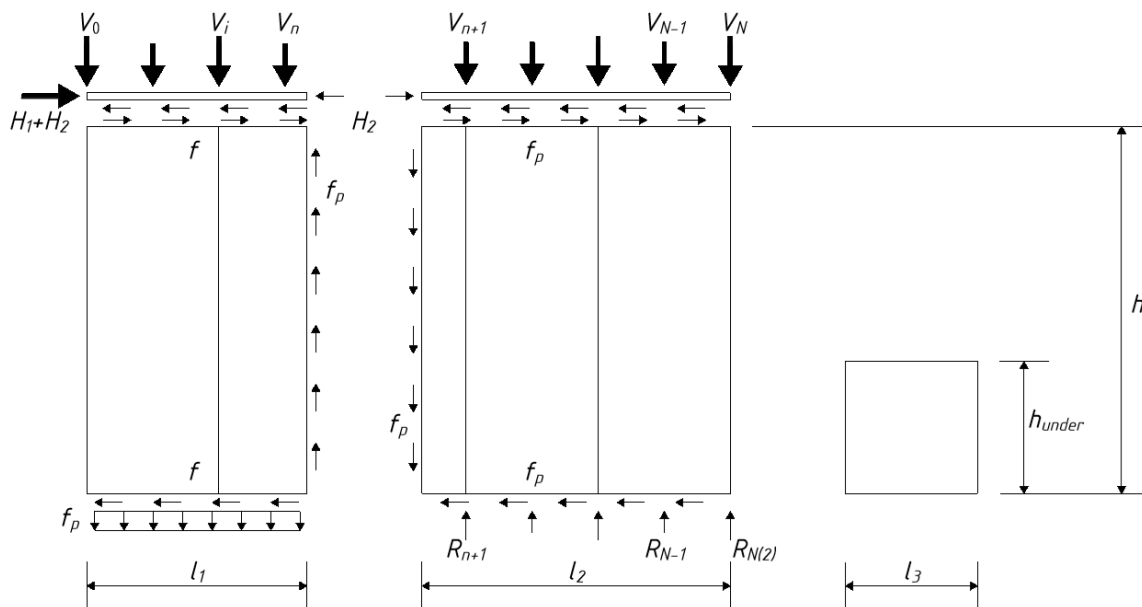
$$f_p = \frac{F_p}{s} \quad (16)$$

där

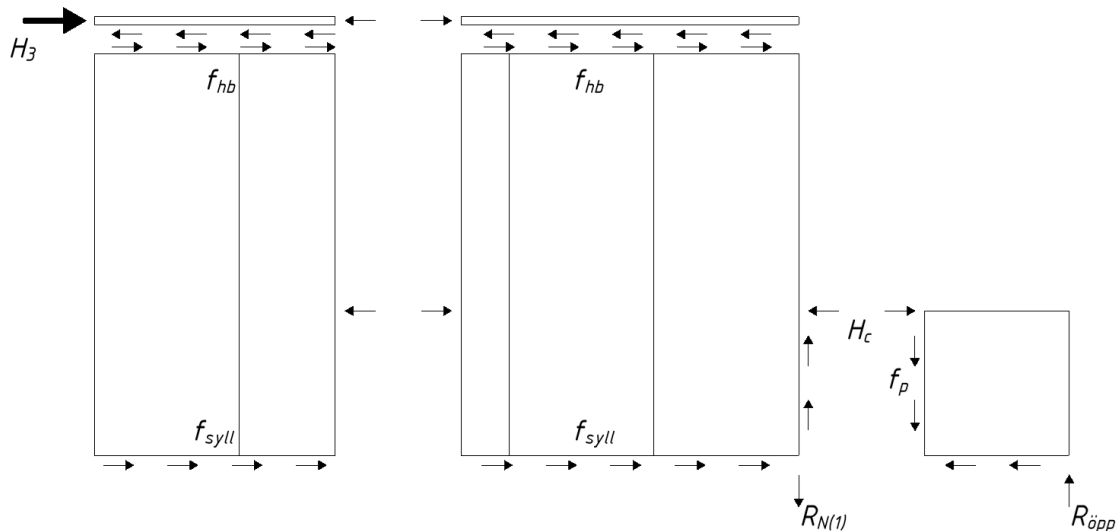
$F_p$  är den plastiska bärförmågan för en förbindare [N];  
 $s$  är förbindarnas inbördes avstånd [m].

### 3.2.2.1 Ett våningsplan - huvudfall 1

Huvudfall 1 appliceras vid full förankring och ibland, beroende på förhållandena, vid partiell förankring. Kraftfördelningen i en vägg med förankrad syll presenteras i Figur 18 och Figur 19. Väggen belastas av yttre krafter  $V_i$  som verkar på samtliga vertikala reglar i konstruktionen. Väggens längd innan öppning representeras av de fiktiva längderna  $l_1$  och  $l_2$ , där  $l_1$  är den längd där väggens fulla plastiska tvärkraftskapacitet  $f_p h$  uppnås.  $l_2$  är väggens resterande längd innan öppning och  $l_3$  är öppningens längd. I Figur 18 och Figur 19 har väggens plastiska skjuvkapacitet uppnåtts i det fiktiva snittet  $l_1$ . I Figur 18 presenteras kraftfördelning orsakad av de fiktiva delarna 1 och 2. Krafter som orsakas av väggskivan under öppningen presenteras i Figur 19. Kontaktkraften  $H_c$  ges av en horisontell jämviktsekvation ( $H_c = f_p l_3$ ) och genererar skjuvkrafter längs syll och hammarband,  $f_{syll}$  och  $f_{hb}$ .



Figur 18 Kraftspridning till följd av de fiktiva delarna  $l_1$  och  $l_2$



Figur 19 Kraftspridning till följd av skivan under väggöppningen

Huvudfall 1 antar full skjuvkraftsöverföring till skivan under öppning, vilket benämns som fullständigt plastiskt skjuvflöde  $f_p$ .

Den effektiva längd som krävs för full överföring av skjuvkrafter, sett från vänster väggdel, beräknas enligt

$$l_{eff} = \left( \frac{l_1}{2h} + \frac{V_{ekv}}{f_p h} \right) l_1 + l_2 + \frac{h_{under}}{h} \lambda l_3 \quad (17)$$

där

- $l_1$  är väggdelens längd där den plastiska skjuvkapaciteten i väggen uppnåtts [m];
- $l_2$  är resterande väggdelens längd innan öppning med plastiskt skjuvflöde [m];
- $l_3$  är längden på skivan under öppningen [m];
- $h$  är väggskivans höjd [m];
- $h_{under}$  är väggskickans höjd under öppningen [m];
- $V_{ekv}$  är den ekvivalenta vertikala kraften som verkar på frontregeln [N];
- $f_p$  är det fullständiga plastiska skjuvflödet [kN/m];
- $\lambda$  är reduktionsfaktorn för skjuvflöde under fönsteröppning [-].

Ekvation ( 17 ) kan förenklat uttryckas

$$l_{eff} = \left( \frac{l_1}{2h} + \frac{V_0}{f_p h} \right) l_1 + l_2 \quad (18)$$

där enbart kraften som verkar på frontregeln,  $V_0$ , tas i beaktning.

Längden på den väggdel där den plastiska skjuvkapaciteten uppnås är

$$l_1 = h \left( 1 - \frac{\sum_{i=0}^n V_i}{f_p h} \right) \quad (19)$$

där  $V_i$  är vertikallast på regel nummer  $i$ .

Ekvation ( 19 ) kan förenklat uttryckas

$$l_1 = h \left( 1 - \frac{V_0}{f_p h} \right) \quad (20)$$

där enbart kraften som verkar på frontregeln,  $V_0$ , tas i beaktning.

Den ekvivalenta vertikala kraft som verkar på den första regeln i delementet bestäms enligt

$$V_{ekv} = \sum_{i=0}^n \left( \frac{l_1 - x_i}{l_1} V_i \right) \quad (21)$$

där  $x_i$  är det horisontella avståndet från regeln nummer  $i$  till frontregeln.

Reduktionsfaktorn  $\lambda$  används då skjuvflödet i skivan under en öppning eventuellt bör reduceras. Tre fall presenteras:

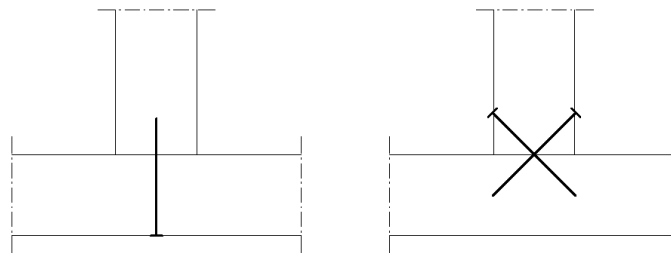
1. Kontaktkraften  $H_c$  överför för stor skjuvkraft till ovanliggande vertikal regel ( $\lambda = \lambda_1$ ).
2. Kontaktkraften  $H_c$  överför för stor skjuvkraft i underliggande vertikal regel ( $\lambda = \lambda_2$ ).
3. Kontaktkraften  $H_c$  är för stor och kan orsaka crossning av skivorna ( $\lambda = \lambda_3$ ).

$$\lambda = \min \begin{cases} \lambda_1 = \frac{h}{l_3 h_{under}} \left[ \left( 1 - \frac{l_1}{2h} - \frac{V_{ekv}}{f_p h} \right) l_1 + \frac{n_{knut} F_{knut}}{f_p} \right] \\ \lambda_2 = \frac{2h}{l_3 (h - h_{under})} \left[ \left( \frac{l_1}{2h} + \frac{V_{ekv}}{f_p h} \right) l_1 + l_2 \right] \\ \lambda_3 = \frac{b_{full}}{l_3} \end{cases} \quad (22)$$

där

$n_{knut}$  är antalet nyttjade knutpunktsförband som överför skjuvkrafter [st];  
 $F_{knut}$  är skjuvkraftskapaciteten hos en knutpunkt [N];  
 $b_{full}$  är den fulla skivbredden [m].

Dimensionerande bärförmåga för skjuvning,  $F_{knut,d}$ , hos ett knutpunktsförband med vertikal spikning presenteras i "Horisontalstabilisering av träregelstommar" (2008) där  $F_{knut,d} = 970$  N för parallell spikning och  $F_{knut,d} = 2000$  N för skråspikning. Skisser för respektive knutpunktsförband visas i Figur 20. Verksamma knutpunktsförband är förbanden i mittreglarna.



Figur 20 Knutpunktsförband vid parallell spikning (vänster) skråspikning (höger)

Reduktionsfaktorn för fall 1 och 2 ovan kopplas ihop med att summan av längderna  $l_1$  och  $l_2$  inte är tillräckligt stor, det vill säga mindre än halva vägghöjden. Vid kraftöverföring i fall 1 utnyttjas vanligtvis enbart de vertikala mittreglarna. Gällande kraftöverföring till underliggande vertikala regel kan stora motriktade skjuvflöden genereras. Detta beaktas genom reducering av den högerriktade kontaktkraften  $H_c$ . Om avståndet mellan förbanden mellan skiva och regel är otillräckligt och/eller om längden  $l_3$  är större än bredden på en skiva bör reduktionsfaktorn  $\lambda_3$  användas. Även vid fall 3 reduceras kontaktkraften  $H_c$  för att undvika för stor kraftkontakt.

Beroende på om väggens plastiska skjuvkapacitet uppnås på höger eller vänster sida om regeln i snittet  $l_2$ , beräknas upplagskraften  $R_N$  enligt nedan

$$R_N = \begin{cases} f_p(l_1 - \lambda h_{\text{under}}) + \sum_{i=0}^N V_i \text{ för } l_2 = 0 \\ f_p(h - \lambda h_{\text{under}}) + V_N \text{ för } l_2 > 0 \end{cases} \quad (23)$$

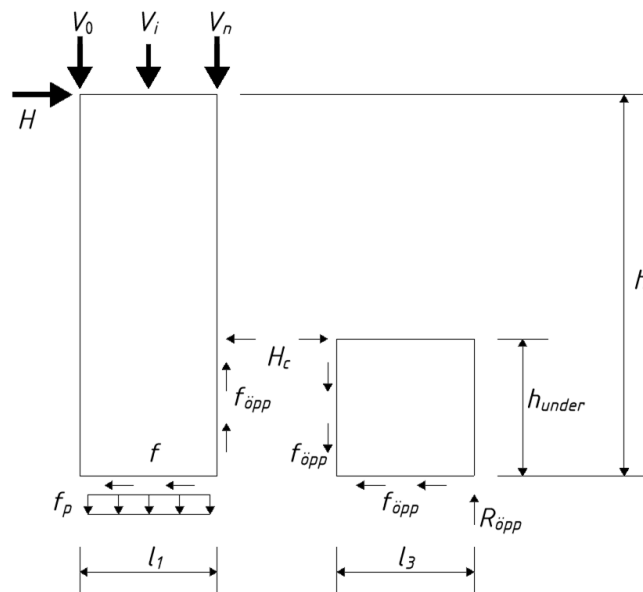
där  $V_N$  är den vertikala kraft som verkar på slutregeln.

Reaktionskraften i regeln höger om öppningen,  $R_{\text{öpp}}$ , bestäms enligt

$$R_{\text{öpp}} = f_p \lambda h_{\text{under}} \quad (24)$$

### 3.2.2.2 Ett våningsplan - huvudfall 2

Huvudfall 2 beaktar fallet då det plastiska skjuvflödet är fullt utvecklat en bit in på skivan under en öppning. Förenklat antas att skjuvflödet  $f_p$  inte verkar under öppningen. Skjuvflödet vid skivan under öppningen betecknas som  $f_{\text{öpp}}$ . Kraftfördelningen i en vägg med förankrad syll presenteras i Figur 21.



Figur 21 Kraftfördelning i väggen då den plastiska skjuvkapaciteten inte uppnåtts i skivan under öppningen

Skjuvflödet  $f_{\text{öpp}}$  längs sträckan  $l_3$ 's vänstra kant är

$$f_{\text{öpp}} = \frac{f_p l_1 + \sum_{i=0}^n V_i}{h_{\text{under}}} \quad (25)$$

Den effektiva längden  $l_{\text{eff}}$  samt reduktionsfaktorn  $\lambda$  beräknas som enligt huvudfall 1, dock inklusive faktorn  $f_{\text{öpp}}/f_p$ .

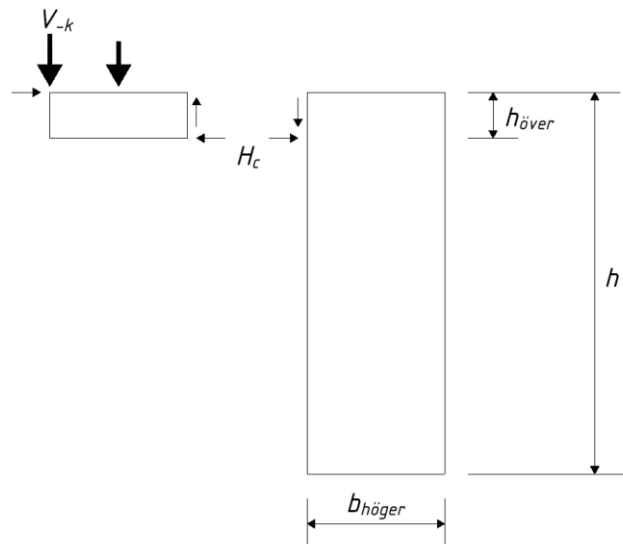
$$l_{\text{eff}} = \left( \frac{l_1}{2h} + \frac{V_{ekv}}{f_p h} \right) l_1 + l_2 + \frac{f_{\text{öpp}}}{f_p} \frac{h_{\text{under}}}{h} \lambda l_3 \quad (26)$$

$$\lambda = \min \begin{cases} \frac{f_{\text{öpp}}}{f_p} \frac{h}{l_3 h_{\text{under}}} \left[ \left( 1 - \frac{l_1}{2h} - \frac{V_{ekv}}{f_p h} \right) l_1 + \frac{n_{knut} F_{knut}}{f_p} \right] \\ \frac{f_{\text{öpp}}}{f_p} \frac{2h}{l_3 (h - h_{\text{under}})} \left[ \left( \frac{l_1}{2h} + \frac{V_{ekv}}{f_p h} \right) l_1 + l_2 \right] \\ \frac{f_{\text{öpp}} b_{\text{full}}}{f_p l_3} \end{cases} \quad (27)$$

Upplagskraften  $R_{\text{öpp}}$  höger om öppningen beräknas enligt nedan. Om det vertikala skjuvflödet  $f_p$  inte fullt uppnåtts vid öppningen är väggdelens vänstra upplagskraft noll.

$$R_{\text{öpp}} = f_{\text{öpp}} \lambda h_{\text{under}} \quad (28)$$

Principskiss på krafter som verkar på en skiva över en öppning visas i Figur 22. Kontaktkraften mellan skivorna,  $H_c$ , bör inte överstiga  $f_p b_{\text{höger}}$ .



Figur 22 Krafter som verkar på skivan över öppningen

Summan av de vertikala lasterna måste vara större än elementets skjuvhållfasthet och kontrolleras enligt villkoret nedan. Till skillnad från huvudfall 1 inkluderas de vertikala laster som verkar på väggdelen ovan öppningen.

$$\sum_{i=-k}^{-1} V_i \leq f_p h_{\text{över}} \quad (29)$$

där  $h_{\text{över}}$  är höjden hos skivan över öppningen [m].

Kontaktkraften  $H_c$  får inte vara för stor och sätts maximalt till det fullständiga plastiska skjuvflödet multiplicerat med bredden på skivan höger om öppningen. Momentet runt höger kant om öppningen ovan skivan kontrolleras.

$$\sum_{i=-k}^{-1} (-x_i V_i) \leq h_{\text{över}} H_c = h_{\text{över}} f_p b_{\text{höger}} \quad (30)$$

Om ekvation ( 29 ) och ( 30 ) inte uppfylls måste en del av den vertikala last som verkar på skivan ovan öppningen tas upp av regeln till vänster om öppningen.

Den effektiva längden  $l_{\text{eff}}$  för skjuvöverföring beräknas enligt

$$l_{\text{eff}} = \min \left\{ \left( \frac{l_1}{2h} + \frac{V_{\text{ekv}}}{f_p h} \right) l_1 + l_2, l_1 + l_2 \right\} \quad (31)$$

Längden  $l_1$  och den ekvivalenta kraften  $V_{\text{ekv}}$  är

$$l_1 = h \left( 1 - \frac{\sum_{i=-k}^n V_i}{f_p h} \right) \quad (32)$$

$$V_{\text{ekv}} = \sum_{i=-k}^n \left( \frac{l_1 - x_i}{l_1} V_i \right) \quad (33)$$

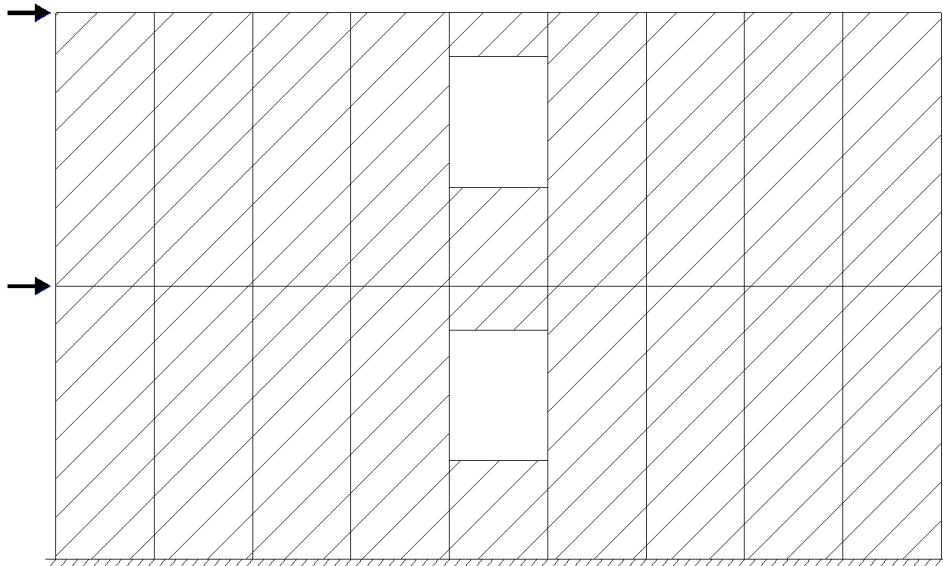
Upplagskraften  $R_N$  beror av huruvida väggens plastiska tvärkraftskapacitet uppnås till vänster eller höger om slutregeln enligt följande villkor

$$R_N = \begin{cases} f_p l_1 + \sum_{i=0}^N V_i \text{ för } l_2 = 0 \\ f_p h + V_N \text{ för } l_2 > 0 \end{cases} \quad (34)$$



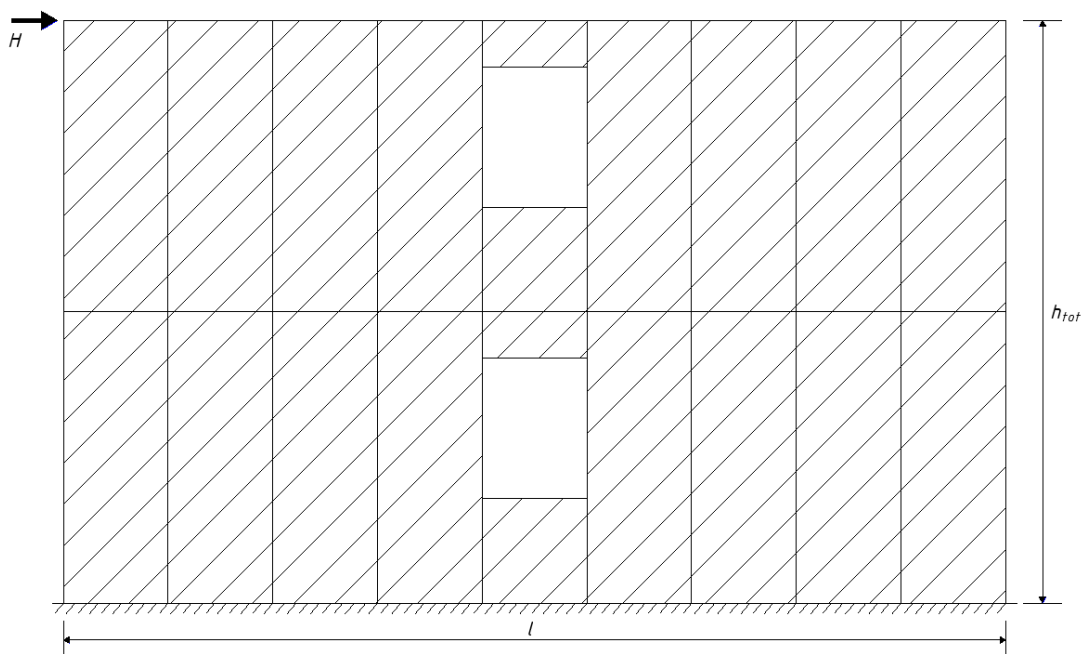
### 3.2.3 Flera våningar med öppningar

Kraftfördelningen i flera väggar placerade ovan varandra beräknas enligt detta avsnitt. För tillämpning av denna metod krävs att samtliga öppningarna är placerade vertikalt ovan varandra samt att våningsplanen är lika höga. En godtycklig vägg redovisas i Figur 23.



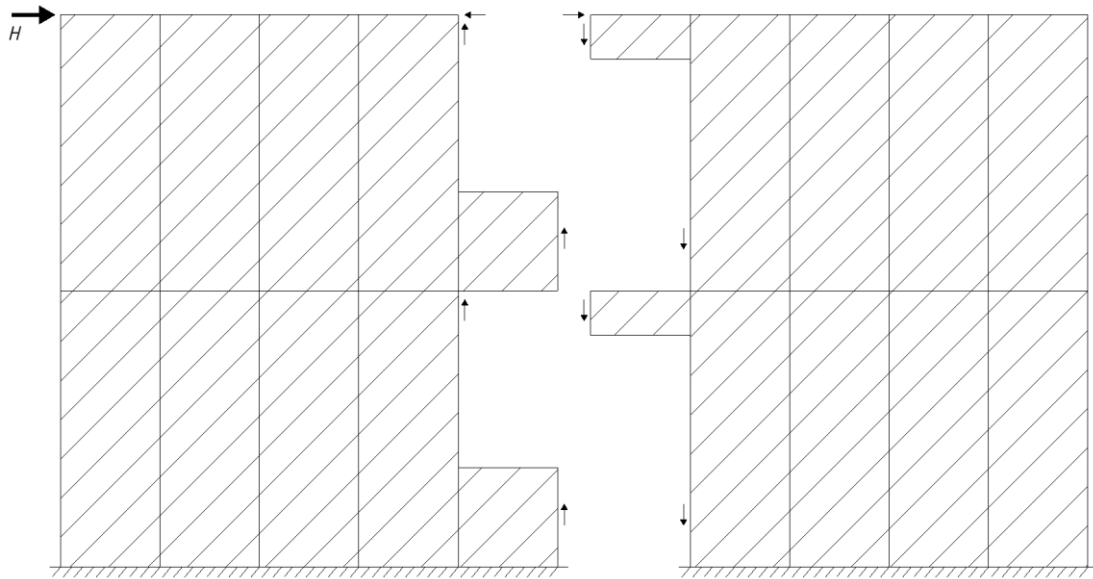
Figur 23 Tvåplansvägg med väggöppning belastad av vindlast på båda plan

Horisontallasterna delas upp i två lastfall där vinden verkar i det vänstra, övre hörnet hos respektive våningsplan. För beräkning av horisontalkapaciteten hos väggen på det nedre våningsplanet hänvisas till kapitel 3.2.2. Horisontallasten som belastar det övre våningsplanet tillämpas enligt kapitel 0 och lastfallet visas i Figur 24.



Figur 24 Lastfall för våning 2

Väggen separeras vid öppningarna. I hammarbandet på våning två överförs horisontella tryckkrafter mellan snitten, se Figur 25.

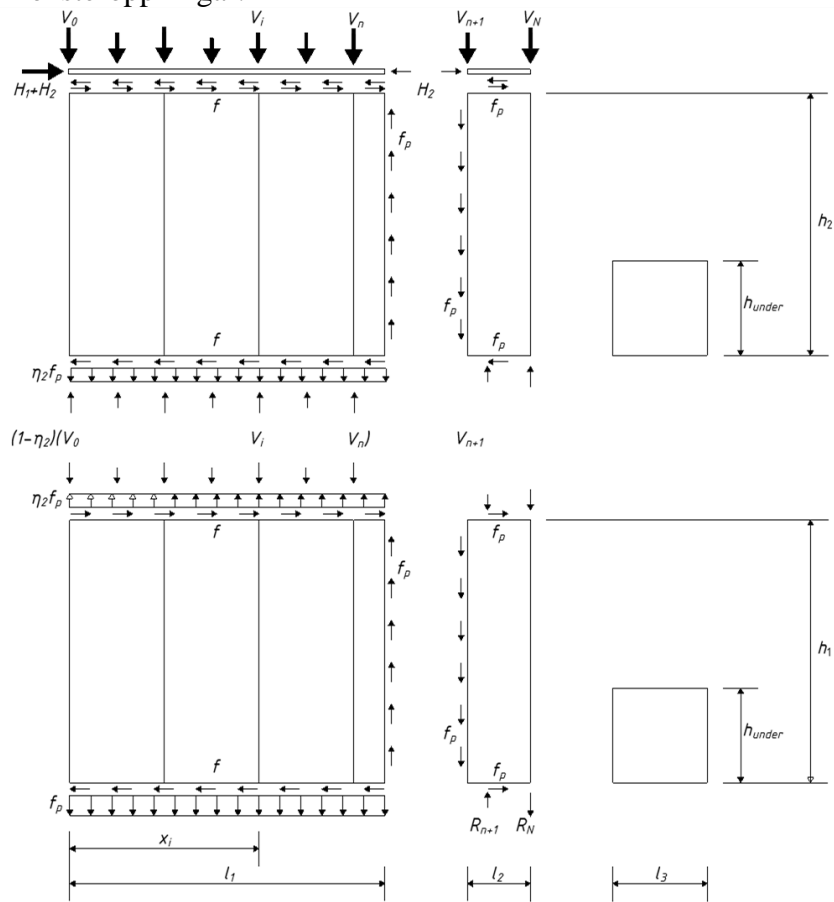


Figur 25 Tvåplansväggen delas upp i två delar

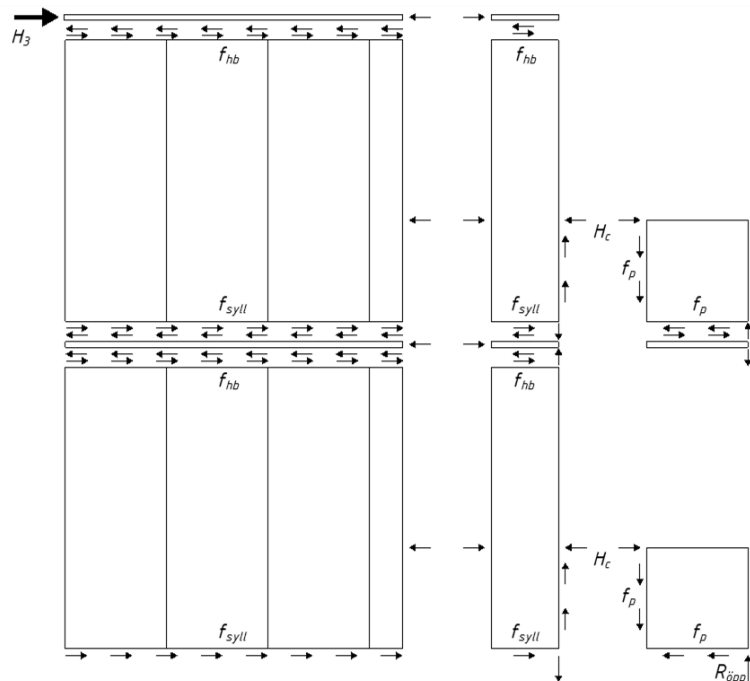
Horizontal bärförmåga hos väggar med öppningar hos flera våningar kan beräknas enligt två tillvägagångssätt; huvudfall 1 och huvudfall 2.

### 3.2.3.1 Två våningsplan - huvudfall 1

Precis som enligt kapitel 3.2.2 delas väggen upp i tre fiktiva delar,  $l_1$ ,  $l_2$  och  $l_3$ . Figur 26 visar kraftfördelningen orsakad av de fiktiva delarna 1 och 2 och Figur 27 visar krafterna som orsakas av skivor under fönsteröppningar.



Figur 26 Kraftfördelning i väggdelen till vänster om öppningarna orsakade av de fiktiva längderna  $l_1$  och  $l_2$



Figur 27 Kraftfördelning i väggen till vänster om öppningarna orsakade av den fiktiva längden  $l_3$

I huvudfall 1 är skivor under fönsteröppningar påverkade av det fulla plastiska skjuvflödet  $f_p$ .

Den effektiva längd som överför skjuvkrafter,  $l_{eff}$ , uttrycks som

$$l_{eff} = \left( \frac{l_1}{2h_{tot}} + \frac{V_{ekv}}{f_p h_{tot}} \right) l_1 + l_2 + \frac{h_{under}}{h} \lambda l_3 \quad (35)$$

där den fiktiva längden  $l_1$  samt den ekvivalenta tvärkraften på frontregeln,  $V_{ekv}$ , beskrivs enligt

$$l_1 = h_{tot} \left( 1 - \frac{\sum_{i=0}^n V_i}{f_p h_{tot}} \right) \quad (36)$$

$$V_{ekv} = \sum_{i=0}^n V_i \frac{l_1 - x_i}{l_1} \quad (37)$$

Reduktionsfaktorn  $\lambda$  används då skjuvflödet i skivan under en öppning eventuellt bör reduceras. Tre fall presenteras:

1. Kontaktkrafterna  $H_c$  överför för stor skjuvkraft till hammarbandet på det nedre våningsplanet ( $\lambda = \lambda_1$ ).
2. Kontaktkrafterna  $H_c$  överför för stor skjuvkraft till syllen på det nedre våningsplanet ( $\lambda = \lambda_2$ ).
3. Kontaktkrafterna  $H_c$  är för stora och kan orsaka krossning av skivorna ( $\lambda = \lambda_3$ ).

$$\lambda = \min \left\{ \begin{array}{l} \lambda_1 = \frac{h}{l_3 h_{under}} \left[ \left( \sqrt{1 - \left( 1 - \frac{1}{n_{vån}} \right)^2} - \frac{l_1}{2h_{tot}} - \frac{V_{ekv}}{f_p h_{tot}} \right) l_1 + \frac{n_{knut} F_{knut}}{f_p} \right] \\ \lambda_2 = \frac{2h}{l_3 (h - h_{under})} \left[ \left( \frac{l_1}{2h_{tot}} + \frac{V_{ekv}}{f_p h_{tot}} \right) l_1 + l_2 \right] \\ \lambda_3 = \frac{b_{full}}{l_3} \end{array} \right. \quad (38)$$

Beroende på om väggens plastiska skjuvkapacitet uppnås till vänster om öppningen eller ej beräknas upplagskraften för regeln på den vänstra sidan av öppningen,  $R_N$ , enligt ekvation (39). Upplagsreaktion beräknas genom summering av de två kraftbidragen.

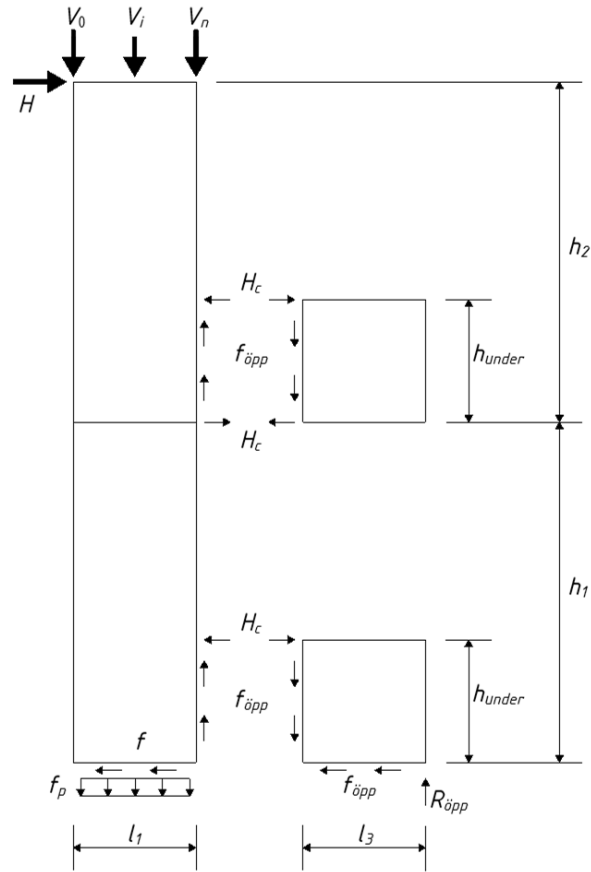
$$R_N = \begin{cases} f_p (l_1 - \lambda n_{vån} h_{under}) + \sum_{i=0}^N V_i & \text{för } l_2 = 0 \\ f_p (h - \lambda n_{vån} h_{under}) + V_N & \text{för } l_2 > 0 \end{cases} \quad (39)$$

Upplagsreaktionen i regel till höger om öppningen beräknas enligt

$$R_{öpp} = f_p \lambda n_{vån} h_{under} \quad (40)$$

### 3.2.3.2 Två våningsplan - huvudfall 2

I huvudfall 2 antas att det plastiska skjuvflödet uppnås först en bit in på skivan under fönsteröppningen. Förenklat ses skjuvflödet under fönsteröppningar,  $f_{\text{öpp}}$ , som konstant. Figur 28 visar en antagen kraftfördelning i väggdelen till vänster om öppning.



Figur 28 Kraftfördelning i en väggdel till vänster om öppningarna

Skjuvflödet under fönsteröppningar,  $f_{\text{öpp}}$ , ges av

$$f_{\text{öpp}} = \frac{f_p l_1 + \sum_{i=0}^n V_i}{n_{\text{vån}} h_{\text{under}}} \quad (41)$$

Den effektiva längden beräknas enligt

$$l_{\text{eff}} = \left( \frac{l_1}{2h_{\text{tot}}} + \frac{V_{\text{ekv}}}{f_p h_{\text{tot}}} \right) l_1 + l_2 + \frac{f_{\text{öpp}} h_{\text{under}}}{f_p h} \lambda l_3 \quad (42)$$

Reduktionsfaktorn  $\lambda$  beräknas enligt tidigare med den tillkommande faktorn  $f_p/f_{\text{öpp}}$ .

$$\lambda = \min \left\{ \begin{array}{l} \lambda_1 = \frac{f_p}{f_{\text{öpp}}} \frac{h}{l_3 h_{\text{under}}} \left[ \left( \sqrt{1 - \left(1 - \frac{1}{n_{\text{vån}}}\right)^2} - \frac{l_1}{2h_{\text{tot}}} - \frac{V_{\text{ekv}}}{f_p h_{\text{tot}}} \right) l_1 + \frac{n_{\text{knut}} F_{\text{knut}}}{f_p} \right] \\ \lambda_2 = \frac{f_p}{f_{\text{öpp}}} \frac{2h}{l_3 (h - h_{\text{under}})} \left[ \left( \frac{l_1}{2h_{\text{tot}}} + \frac{V_{\text{ekv}}}{f_p h_{\text{tot}}} \right) l_1 + l_2 \right] \\ \lambda_3 = \frac{f_p}{f_{\text{öpp}}} \frac{b_{\text{full}}}{l_3} \end{array} \right. \quad (43)$$

Upplagsreaktionen på höger sida öppningen beräknas enligt

$$R_{\text{öpp}} = f_p \lambda n_{\text{vån}} h_{\text{under}} \quad (44)$$

Tvärkrafterna i väggskivan får inte överskrida skjuvkapaciteten enligt

$$\sum_{i=-k}^{-1} V_i \leq f_p h_{\text{över}} \quad (45)$$

Kontaktkrafterna till höger om öppningen får inte bli för stora och kontrolleras

$$\sum_{j=-k}^{-1} (s_j V_j) \leq h_{\text{över}} f_p b_{\text{höger}} \quad (46)$$

Den längd som överför skjuvkrafter,  $l_{\text{eff}}$ , ges av

$$l_{\text{eff}} = \min \left\{ \begin{array}{l} \left( \frac{l_1}{2h_{\text{tot}}} + \frac{V_{\text{ekv}}}{f_p h_{\text{tot}}} \right) l_1 + l_2 \\ l_1 + l_2 \end{array} \right. \quad (47)$$

Längden  $l_1$  och den ekvivalenta kraften  $V_{\text{ekv}}$  bestäms enligt

$$l_1 = h_{\text{tot}} \left( 1 - \frac{\sum_{i=-k}^n V_i}{f_p h_{\text{tot}}} \right) \quad (48)$$

$$V_{\text{ekv}} = \sum_{i=-k}^n V_i \frac{l_1 - x_i}{l_1} \quad (49)$$

Upplagsreaktionen  $R_N$  beror på om den plastiska skjuvkraftskapaciteten uppnått till vänster om öppningen eller ej.

$$R_N = \begin{cases} f_p l_1 + \sum_{i=-k}^N V_i \text{ för } l_2 = 0 \\ f_p h_{tot} + V_N \text{ för } l_2 > 0 \end{cases} \quad (50)$$

Öppningar i väggen gör det inte möjligt att fullständigt överföra skjuvkrafter runt fönster. Därför krävs att reglar till höger om öppningen förankras mot lyft på båda våningsplanen. Kontaktkrafterna vid öppningar måste kontrolleras mot risk för lokal krossning av skivorna och för stora resulterande krafter i syll och hammarband.

### 3.3 Elastisk dimensionering

#### 3.3.1 Förutsättningar

Den elastiska metoden återfinns i Gyprocs handbok (2007). När en elastisk dimensioneringsmetod tillämpas antas skiv-regelförbanden uppvisa linjärt elastiska kraft-förskjutningssamband och kapaciteten anses uppnådd när den mest belastade skivan når sin maximala belastning (Källsner & Girhammar, 2009). Metoden förutsätter att regelstommen består av styva element som är ledat infästa. Skivorna antas inte buckla ur sitt plan och deformationerna är små i förhållande till elementets bredd och höjd (Carling, 1992). För att motverka lyft av elementen krävs att frontregeln är fullt förankrad och belastningen på enskilda beslag blir således stor (Källsner & Girhammar, 2009).

Minsta bredd som kan användas för att nyttja en skivas skjuvkapacitet uppgår till hälften av dess fullständiga bredd, det vill säga minst 450 mm för 900 mm breda skivor, och 600 mm för 1200 mm breda skivor. För skivsegment smalare än en skivas fullständiga bredd försummas således kapaciteten.

#### 3.3.2 Beräkningsgång

Enligt Gyprocs handbok definieras en vägg som ett antal sammansatta väggenheter bestående av våningshöga skivor med tillhörande regelstomme. För fullständiga skivbredder  $b_{full}$  med vertikalt regelavstånd hälften av skivans bredd,  $b_{full}/2$ , och skruvavståndet minst 300 mm i mittregeln, beräknas den dimensionerande horisontalkraften per väggenhet och skivlag,  $H_{d,i}$ , som

$$H_{d,i} = F_d \cdot \frac{b}{s} \quad \text{om } b = b_{full} \quad (51)$$

Om skivan minskas upp till 50% av dess fullständiga bredd beräknas den dimensionerande horisontalkraften per väggenhet och skivlag,  $H_{d,i}$ , enligt

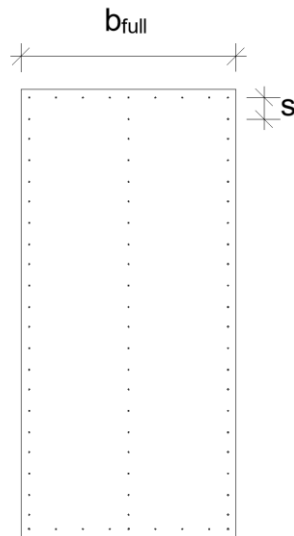
$$H_{d,i} = 0,25 \cdot F_d \cdot \frac{b}{s} \quad \text{om } b_{full}/2 < b < b_{full} \quad (52)$$

Vid minskning av mer än 50% av den fullständiga skivbredden är den dimensionerande horisontalkraften per väggenhet och skivlag,  $H_{d,i}$ , noll.

$$H_{d,i} = 0 \quad \text{om } b < b_{\text{full}}/2 \quad (53)$$

där

$F_d$  är dimensionerande kapacitet för ett fästdon [N];  
 $b$  är den enskilda väggskivans bredd [m];  
 $s$  är avståndet mellan infästningarna enligt Figur 29 [m].



Figur 29 Redovisning av full skivbredd samt skruvavstånd

För stående skivor på horisontella regler beräknas dimensionerande horisontalkraft per väggenhet och skivlag som (Gyproc, 2007)

$$H_{d,i} = 0,34 \cdot F_d \cdot \frac{b}{s} \quad \text{om } b = b_{\text{full}} \quad (54)$$

Genom att montera upp till två skivor på vardera sida av regelstommen kan den horisontella bärförmågan ökas. Den totala bärförmågan beräknas

$$H_{d,\text{tot}} = H_{d,\text{lag1,sid1}} + H_{d,\text{lag2,sid1}} + H_{d,\text{lag1,sid2}} + H_{d,\text{lag2,sid2}} \quad (55)$$

Den totala bärförmågan för väggen är summan av de enskilda bärförmågorna:

$$H_d = \sum H_{d,i} \quad (56)$$

Förankringskrafter i de vertikala reglarna beräknas genom momentjämvikt:

$$F_{i,c,Ed} = F_{i,t,Ed} = \frac{F_{i,v,Ed}h}{b_i} \quad (57)$$



### 3.4 FEM-modellering

Modellering sker i Strusoft FEM Design 21. Då antaganden och förutsättningar är specifika för referensobjektet presenteras modellens uppbyggnad i Bilaga E.4 FEM-modellering.



## 4 Laster

Följande kapitel behandlar vertikala och horisontella laster samt vindlastens fördelning till innerväggar.

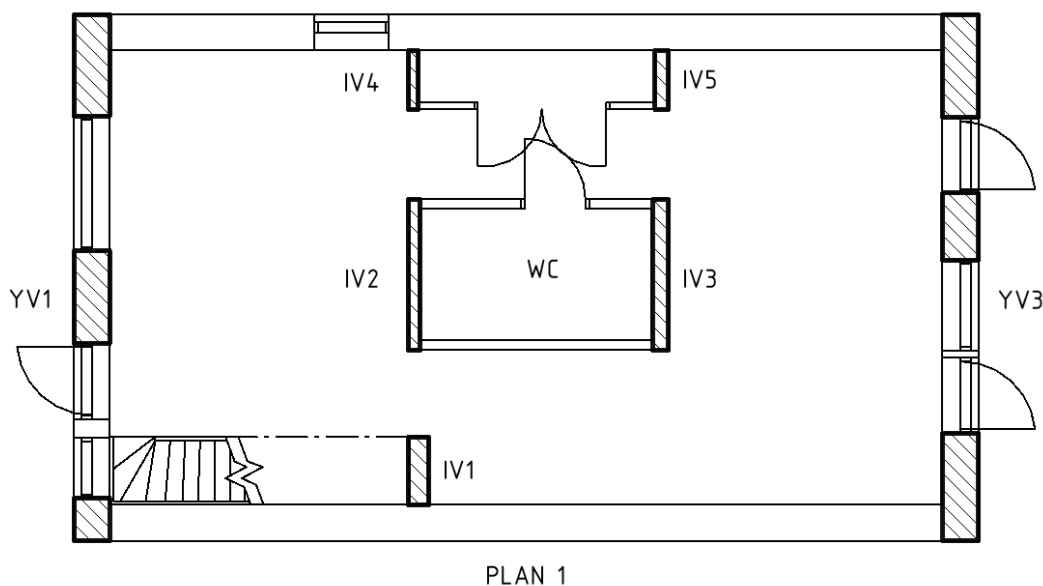
### 4.1 Lastnedräkning

Den enda horisontellt verkande lasten som beaktas i fallstudien är vindlast som bestäms enligt Eurokod 1 (SS-EN-1991-1-4:2005, 2015). Vertikal lastnedräkning samt beräkning av vindlast för referensobjektet presenteras i Bilaga A – Egentyngd och Bilaga B – Vindlast.

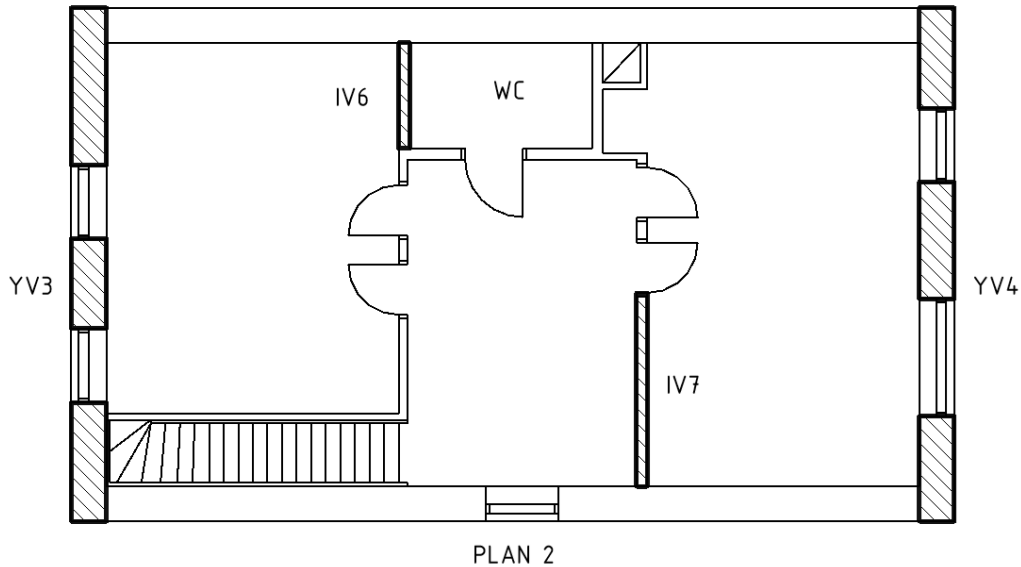
I hus som belastas med horisontella laster fungerar bjälklag som lastöverförande till tvärgående element så som inre och yttre väggar. Detta kan antas då bjälklaget uppvisar stor styvhet vid belastning i sitt eget plan (Carling, 1992). Bjälklaget kan vara uppbyggt av spånskiva i ovankant och gips i underkant vilket leder till skivverkan i bjälklaget. Horisontella lastresultanter på taket och långsidorna ackumuleras nedåt i byggnaden. Plan 2 måste stabilisera och förankra vindlast som verkar mot taket samt halva plan 2. Plan 1 dimensioneras för anblåsning på halva plan 1, plan 2 och taket. Vindlasten som verkar på den nedre halvan av plan 1 antas fördelas direkt till grunden.

För att i fallstudien kunna jämföra ytterväggarnas kapacitet samt förankringskrafter beroende på val av dimensioneringsmetod baseras fördelningen mellan husets stabiliserande väggar på antagandet att innerväggarna nyttjar 100% av sin kapacitet vid samtliga metoder, och att resterande horisontell last fördelas till ytterväggarna. Genom att anta att innerväggarnas kapacitet hålls konstant erhålls en enklare jämförelse mellan dimensioneringsmetoderna. Beräkningarna för att fördela lasten till stabiliserande innerväggar utförs enligt Metod A i Eurokod 5 som presenteras i kapitel 3.1.1. Metod A väljs eftersom det är den rekommenderade metoden i Eurokod 5 samt att gips kan användas som stabiliserande material.

Stabiliserande ytter- samt innerväggar då vindlast verkar vinkelrätt mot långsidan redovisas i Figur 30 och Figur 31.



Figur 30 Skrafferade väggar avser stabiliserande ytter- samt innerväggar på plan 1 då vinden verkar mot långsidan



Figur 31 Skrafferade väggar avser stabiliserande ytter- samt innerväggar på plan 2 då vinden verkar mot långsidan

#### 4.2 Lastkombination

Kombinationer enligt SS-EN 1990 tabell A1.2(B) samt EKS11.

När inre brott eller stor deformation hos bärverk är dimensionerande används det minst gynnsamma av ekvation ( 58 ) eller ( 59 ).

$$q_d = \gamma_d \cdot 1,35 \cdot G_{kj,sup} + 1,0 \cdot G_{kj,inf} \quad ( 58 )$$

$$q_d = \gamma_d \cdot 1,15 \cdot G_{kj,sup} + 1,0 \cdot G_{kj,inf} + \gamma_d \cdot 1,5 \cdot Q_{k,1} + \gamma_d \cdot 1,5 \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad ( 59 )$$

där

- $\gamma_d$  är partialfaktor för säkerhetsklass vid dimensionering i brottsgränstillståndet enligt EKS 11 [-];
- $G_{kj,sup}$  är permanent ogynnsam last [N];
- $G_{kj,inf}$  är permanent gynnsam last [N];
- $\psi_{0,i}$  är reduceringsfaktor för variabla laster (ej huvudlast) [-];
- $Q_{k,1}$  är variabel huvudlast. 0 när lasten är gynnsam [N];
- $Q_{k,i}$  är övriga variabla laster. 0 när lasten är gynnsam [N].

Säkerhetsklass beaktar vilken byggdel som avses samt väger in vad konsekvensen av ett brott blir.

## 5 Enkätstudie

För att erhålla information om hur småhusproducenter bemöter problem med horisontalstabilisering och stora förankringskrafter kontaktas konstruktörer på företag med hus liknande det aktuella referensobjektet. De tillfrågade respondenterna väljs baserat på deras kunskap och erfarenhet inom husbyggnadsteknik.

Enkätstudiens tillvägagångssätt baseras på ”Forskningsmetodikens grunder ” (Davidson & Patel, 2018).

Information inhämtas om respondentens bakgrund och ansvarsområde/tjänst för att säkerställa att de har den kunskap och erfarenhet som önskas för studien. För att ge de tillfrågade en bakgrund till deras medverkan presenteras enkätstudiens syfte, övergripande frågeställningar och långsiktiga mål. Totalt tillfrågades 16 personer från 8 företag varav 7 personer deltog i studien. Deras erfarenhet inom huskonstruktion varierar mellan 1–30 år, där medeltalet är 11 år.

Frågorna formuleras för att ge en överblick över hur respondenterna bemöter eventuell problematik med att beräkningsmässigt fastställa tillräcklig horisontalkapacitet samt stora förankringskrafter. Enkäten utformas med öppna frågor som respondenten kan besvara fritt vilka blandas med mer avgränsade frågor. Genom att ha frågor av varierande karaktär finns en förhoppning att dels erhålla svar där respondenten har möjlighet att tänka öppet och fritt, dels att få mer specifika svar.

Enkätsvaren utvärderas och sammanställs objektivt i kapitel 5.1. När svaren har analyserats görs en bedömning vilka förslag och infallsvinklar som är användbara för examensarbetet och som kan användas vidare i studien.

Enkät med frågor återfinns i Bilaga C – Enkätstudie.

### 5.1 Sammanställning enkätstudie

Samtliga respondenter har någon gång under sitt yrkesliv stött på problem vid horisontalstabilisering av småhus i trä. Bland respondenterna finns en variation på frågan gällande om horisontalstabilisering vanligtvis fastställs beräkningsmässigt eller ej. Om det bedöms att ett hus kan ha stabilitetsproblem (exempelvis vid höga väggar, öppna planlösningar och stora öppningar i bjälklaget) utförs beräkningar för att fastställa att kapaciteten är tillräcklig. Av de som beräkningsmässigt säkerställer den horisontella kapaciteten upplever vissa att det kan bli problem vid beräkning, vanligtvis av anledningen att mängden stabiliserande väggar är för få och att de tillgängliga beräkningsmetoderna inte är lämpligt utformade för problematiken. Bland de tillfrågade som räknar på horisontalstabilisering använder majoriteten Metod A från Eurokod 5. Även elastisk metod från Gyproc samt handledning från EKS och Svenskt trä används. Valet att använda Metod A motiveras med att det är en enkel metod och att den är rekommenderad i Eurokod 5, samt att resultaten av beräkningarna är enkla att översätta till det praktiska arbetet på byggarbetsplatsen. I de fall då kapaciteten inte bedöms genom beräkningar utan antagande görs att stabiliteten är tillräcklig baseras på erfarenhet gällande lastsituation och husets geometri. De som svarade att de inte säkerställer horisontalkapacitet beräkningsmässigt motiverar främst detta genom erfarenhet från tidigare projekt vilket gett kunskap om konstruktioners beteende. Respondenterna styrker sina påståenden med att få hus blåser omkull, eller att hus aldrig blåser ner.

Av de som anser att horisontalkapacitet kan vara problematiskt finns en enighet om att utformningen av husen styrs av arkitekter och säljvdelningar och att stabilitetsproblemen är ett faktum när processen är i konstruktionshandlingsstadiet. Konstruktörerna kommer in för sent i projekteringsprocessen för att kunna påverka utformningen. Om konstruktören varit delaktig tidigare i processen hade designen kunnat påverkas för att minska risken för konstruktioner där horisontalstabiliteten är svår att verifiera beräkningsmässigt.

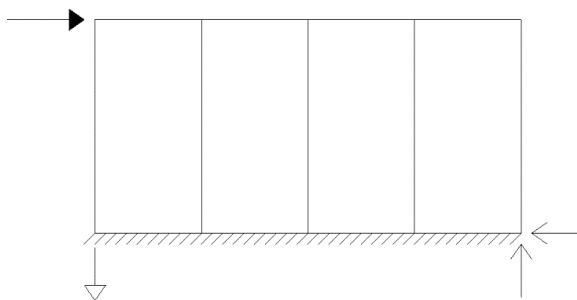
Respondenterna presenterar flera olika förslag på hur de har bemött problematiken när kapaciteten hos en träregelstomme inte är tillräcklig. En vanlig lösning är att undersöka och optimera valet av skivor. Genom att byta från gips till träbaserade skivor, komplettera gipsskivor med träskivor eller öka antalet skivor förbättras kapaciteten. Att fästa ringspik eller annat typ av fästdon med tätt avstånd längs skivornas ränder ökar också den stabiliserande förmågan. Om möjlighet finns rekommenderar de tillfrågade att öka antalet stabiliserande väggar, dels genom att addera till den befintliga planlösningen alternativt genom att försöka påverka arkitekten att undvika öppna planlösningar och stora fönsterpartier. Om förestående lösningar inte är tillräckliga lämnas också förslag att komplettera träregelväggarna med vinddragband i fasaden och att förankra med kraftiga beslag. Respondenterna menar dock att det sistnämnda kan leda till stora förankringskrafter vilket ställer krav på mängden betong i grundplattan och dess mothållande förmåga.

Genom enkätstudien framkommer det att gips är det vanligaste skrivmaterialet på innerväggarna, vilket vid behov kompletteras med OSB eller spånskiva. På ytterväggen används främst OSB eller hårdgips som kompletteras med plywood eller OSB när det krävs.

I enkäten efterfrågas förslag på hur stabiliteten för referensobjektet kan förbättras. På planritningar som bifogades enkäten kunde respondenterna skissa och föreslå förändringar. Ett förslag är att göra samtliga väggar runt WC plan 1 stabiliserande och förankra dem till varandra och säkerställa förankringen till grunden genom förstärkt infästning. Respondenterna anser att samspelet för utformningen mellan plan 1 och plan 2 kan förbättras genom att flytta dörröppningar och väggar på respektive plan med syftet att få genomgående väggar från tak ner till grunden. För att öka andelen stabiliserande väggar föreslås att förlänga den södra väggen vid WC plan 1 till långsidan. Mängden öppningar på gavlarna anses kritiskt varvid det rekommenderas att minska bredden på 1800 mm-fönstret till 1200 mm samt flytta entrédörren till långsidan. En ytterligare lösning som presenteras är att låta öppningarna ha samma bredd (1200 mm) och linjera dem mellan plan 1 och plan 2.

I enkäten tillfrågas respondenterna om hur de hade önskat att öppningarna på gavlarna skulle vara placerade. Genomgående trend i svaren är att placera dessa för att få så långa, obrutna väggdelar som möjligt för att säkerställa hög kapacitet mot vindlast. Hur detta ska genomföras varierar mellan de svarande. Öppningarna kan placeras på en sida av respektive gavelvägg, något som eventuellt inte är estetiskt tilltalande men som uppfyller det som efterfrågas. Några respondenter föreslår att fördela öppningarna i gavlarnas kanter, alternativt samla dem i mitten av respektive gavel. Det sistnämnda motiveras med att ha sammanhängande skivor nära vindens angreppspunkt (det vill säga långsidorna) för att horisontella tryck- och sugkrafter ska kunna föras ner till grund.

För att beräkna kapacitet för skjuvning och lyft använder konstruktörerna beräkningsmodellen enligt Figur 32. Syllen fästs med skruv mot grund och mellanbjälklag.



Figur 32 Beräkningsmodell för skjuvning och lyft

Majoriteten av de tillfrågade fäster skivor till vertikala regler med motiveringen att skivor fästa på horisontella regler ger sämre stabilitet på grund av färre infästningspunkter och att skivan då inte kan nyttjas optimalt.

Samtliga respondenter förankrar väggelement till grund med hänsyn till skjuvning genom att fästa en lös styrregel (hel eller delad) till grund och därefter fästa väggen till styrregeln med skruv. Anslutning mellan styrregel och syll kan genomföras med diagonalskruv eller horisontell skruv. Förankring mot lyft sker enligt de tillfrågade med vinkelbeslag som placeras inne i väggen eller på insidan av väggen. Vid användning av beslag på insidan av väggen kan fästdonet placeras bakom eller framför installationsskiktet.

För att fästa innerväggar på plan 2 till mellanbjälklaget föreslår de tillfrågade lösningen att sammanbinda byggdelarna genom att använda skruv eller stålband som fästs i kortling i bjälklaget.

Ett önskemål när bakgrunden till examensarbetet formulerades var att undersöka möjligheten att leverera fullt beklädda väggar till arbetsplatsen. Vid leverans av fullt beklädda väggar uppkommer svårigheter med förankring mot lyft och skjuvning. Respondenterna instämmer i problematiken men lämnar kreativa förslag på lösningar. Förankring mot skjuvning kan ske genom att skruva styrregel till grunden och därefter skråskruva syll och vägg. Lyft kan motverkas genom att gjuta in beslag eller svetsplåt i grunden som förankras till änden på väggen, alternativt gjuta in hålbånd som fästs på utsidan av väggen mot de vertikala reglarna.

Vid sammanställning av enkätsvaren ses en trend där en del av respondenterna anser att beräkningsmodellerna för horisontalstabilisering är överdrivna för småhus, men även en del som anser att de svenska normerna inte tar stabilitetsproblematiken i småhus i trä på lika stort allvar som i exempelvis Tyskland, Danmark och Norge där stabilitet är en väsentlig del i den statiska beräkningen.



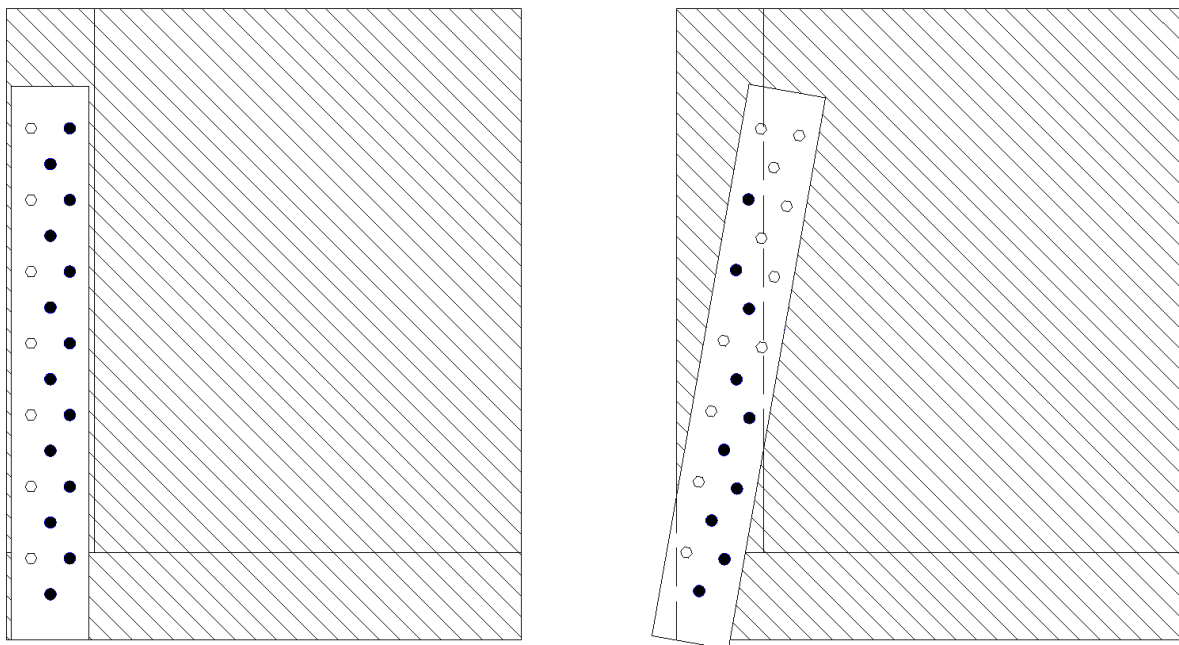


## 6 Produktionens önskemål

En aspekt i fallstudien är att väga in produktionens önskemål. Information har tillhandahållits genom platsbesök, en workshop samt mejlkontakt med produktionsansvarig för ett tidigare, liknande projekt.

För att öka effektiviteten på byggarbetsplatsen levereras de prefabricerade ytterväggarna fördelaktigt helt stängda från fabrik. En fullständigt stängd yttervägg innebär att vindskyddsskiva, syll, hammarband, stomme, plastfolie och horisontella regler prefabriceras och enbart installationsskikt och invändigt ytskikt kompletteras på plats. Vid fullt stängda väggar vid leverans kan det finnas praktiska svårigheter att vertikalt förankra syll till grund. Problematiken ligger i att det är svårt att komma åt de punkter där förankringen mellan syll och grund sker.

Tidigare har dragkrafter i vertikala regler, genererade av vindlast, förankrats till grund genom dragband. Dragbanden har gjutits in runt armering i grundplattan och dragits uppmed husets yttervägg för att skruvas fast i stommens vertikala regler. Produktionen har upplevt detta både tidskrävande och komplicerat. När betongen i grundplattan härdar kan en förflyttning av dragbanden ske vilken försvårar infästningen, som enligt konstruktionsritningar ska skruvas i ett bestämt mönster. För att möjliggöra infästningen krävs en nästintill perfekt precision då dragbanden behöver böjas på plats vilket kan vara komplicerat att genomföra. Dragbanden är grova och måste kapas med vinkelslip. I Figur 33 visas två principskisser på dragband som fästs mot en träregelstomme. Markerade hål symboliserar skruvmönster. På grund av nämnd problematik vid användning av dragband föredrar produktionen beslag snarare än dragband, varvid denna rapport inte beaktar detta infästningsalternativ.



Figur 33 Principskiss på dragband som fästs mot en träregelstomme. Vänster bild visar hur dragband bör fästas enligt ett skruvmönster och i höger bild visas svårigheter med att säkerställa ett korrekt skruvmönster vid förflyttning av dragband. Skrafferad ruta symboliserar vindskyddsskiva.

På plan 2 vill produktionen undvika genomgående förankring av innerväggar, det vill säga gängstång som kräver förankring ömse sidor mellanbjälklag. För att säkerställa väggarnas och gängstångens placering måste infästningens position vara belägen vid exakt samma punkt på

båda plan samt genom mellanbjälklaget. Således är förankringsmetoden tidskrävande och komplicerad att utföra.

Produktionen föredrar så stora skruvavstånd som möjligt när skivor fästs till träregelstommen. Att sätta täta trä-regelförband är upprepande och slitsamt att utföra eftersom infästningarna sker på olika höjder, och kan således bli ett kostsamt arbetsmoment.

## 7 Kostnadsbedömning

Kostnadsbedömningen i analysen grundar sig på tillgängliga produktdatablad och erhållna prislistor. Förbindare och övriga fästdon väljs för att uppfylla erforderlig kapacitet mot lyft för de olika metoderna. Genom att variera skivmaterial och skruvavstånd är målet att optimera de olika dimensioneringsmetoderna och hitta den vägguppbyggnad som genererar lägst kostnad. Enbart pris för skivmaterial och förankringsbeslag med tillbehör behandlas i kostnads kalkylen då kostnad för övriga material antas vara likvärdiga oberoende av val av metod.

Vid kostnadsbedömningen för dimensionering enligt den nyanserade plastiska dimensioneringsmetoden vid partiell förankring inkluderas inte syllens förankring i kostnaden. Detta då bultarna som tar lyftkrafter då syllens förankras är samma beslag som motverkar skjuvning. Dock krävs troligtvis en större bricka för att undvika brott i syllens.

Prislistor för olika skivmaterial och förankringsbeslag inhämtas och är aktuella vid tidpunkten då examensarbetet författas. Kvadratmeterpriset för plywood cirka dubbelt så stort jämfört med för gips. Priset för olika förankringsbeslag skiljer sig marginellt upp till en dragkraft på ungefär 30 kN. Därefter krävs betydligt kraftigare beslag för förankring av dragkrafter och kostnaden nästintill tredubblas.

Kostnadsutfallet för de olika metoderna undersöks och jämförs i Studie 1 där resultatet återfinns i kapitel 8.2.

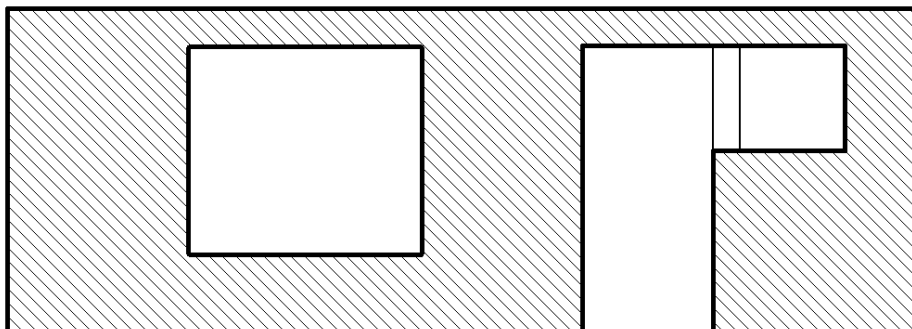


## 8 Studie 1: Ursprungliga dimensioner

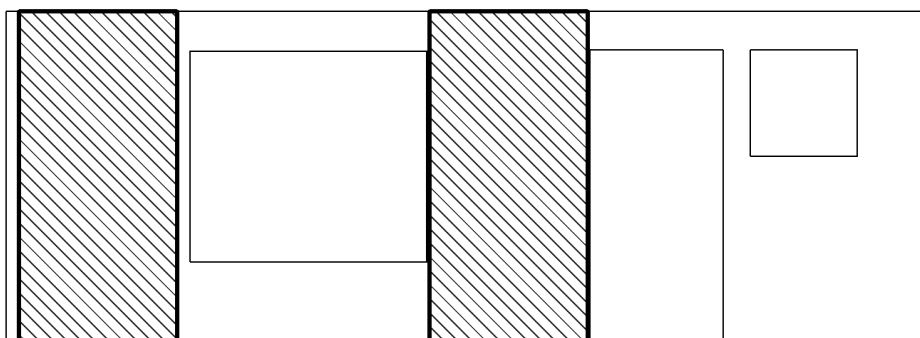
Referensobjektets horisontella bärförmåga och vertikala reglars förankringskraft beräknas enligt tidigare presenterade dimensioneringsmetoder: Metod A, Metod B, nyanserad plastisk dimensioneringsmetod samt elastisk dimensioneringsmetod. FEM-modelleringen används för att diskutera och utvärdera metodens lämplighet genom att undersöka modelleringsprocessen. Dessutom jämförs resulterade förankringskrafter i FEM-modellen med genererade förankringskrafter vid nyanserad plastisk dimensionering med full förankring då skivor under och ovan öppningar nyttjas stabiliserande i de två angreppssätten. Antaganden samt modelleringsprocessen, inklusive modelleringsresultat, hittas i Bilaga E.4 FEM-modellering.

Dimensionering av innerväggar och dess kapacitet redovisas i Bilaga E.1 Lastfördelning av innerväggar Studie 1. I den första delen av Studie 1 optimeras yttreväggarna där skivmaterial, av gips eller plywood, och skruvavstånd varieras för att nå en så hög utnyttjandegrad som möjligt utan att överskrida 100%. Deras kostnadsmässiga utfall jämförs där endast val av material och förankringsbeslag inkluderas.

I den andra delen av Studie 1 genomförs en jämförelse av horisontalstabiliteten mellan de olika dimensioneringsmetoderna. Resultaten ger en uppskattning av hur en väggs horisontella bärförmåga varierar då skivor under och över öppningar kan nyttjas stabiliserande samt vilken metod som ger störst bärförmåga under givna antaganden. I Figur 34 och Figur 35 visas exempel på skivor som kan nyttjas stabiliserande vid nyanserad plastisk metod respektive Metod A, Metod B samt elastisk metod.



Figur 34 Skivor som nyttjas vid beräkning av horisontell bärförmåga för nyanserad plastisk metod



Figur 35 Skivor som nyttjas vid beräkning av horisontell bärförmåga för Metod A, Metod B och elastisk metod

## 8.1 Antaganden och förutsättningar

Då dragband inte är att önska av produktionen utesluts denna förankringsmetod. En maximal förankringskraft på 30 kN ansätts då en större dragkraft antas kunna ge utdrag ur betongplattan.

Förbindarna mellan väggskiva och regler anpassas för att uppnå tillräcklig horisontalkapacitet samt en förankringskraft under 30 kN. Minsta skruvavstånd 100 mm eftersträvas i det fall det är möjligt baserat på produktionens önskemål. Under den iterativa beräkningsgången ändras skruvavståndet stegvis med 50 mm då det inte anses praktiskt tillämpligt att ange ett mer exakt skruvavstånd.

För att hålla nere kostnaden används gipsskivor på referensobjektets innerväggar. Hård gipsskiva nyttjas dubbelsidigt, förutom på insida WC där 15 mm plywoodskivor används i enlighet med branschrekommendation (SP, 2014). Samtliga innerväggar dimensioneras enligt Metod A och antas nyttja 100% av sin kapacitet. Resterande last fördelas till ytterväggarna. Innerväggar monteras på arbetsplatsen och skivbredderna är därför maximalt 900 mm breda. Ytterväggarna antas prefabriceras och skivbredder upp till 1200 mm kan därför användas.

Enligt Metod B kan väggelement troligtvis förankras både fullt och partiellt. I fallstudien undersöks endast full förankring för denna metod.

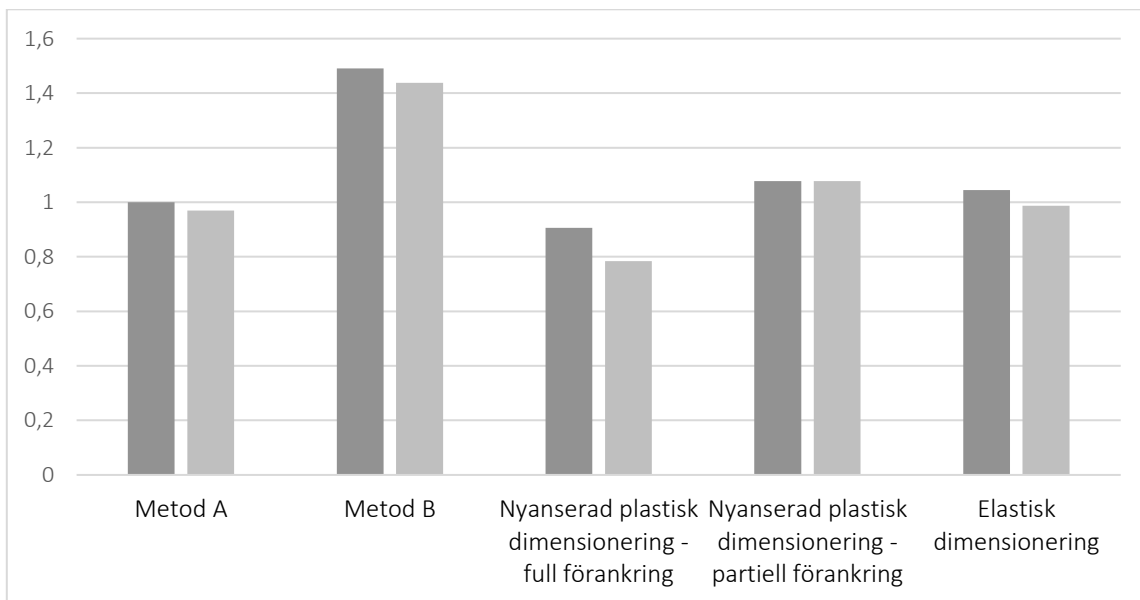
I referensobjektet är öppningarna inte linjerade på de båda våningsplanen, vilket är en förutsättning för att använda nyanserad plastisk dimensionering enligt Girhammar och Källsners handbok (2009). För att kunna nyttja metoden görs förenklingen att öppningarna på plan 2 har samma bredd som motsvarande öppningar på plan 1. Genom detta angreppssätt kan de vertikala tryck- och dragkrafter som uppstår på plan 2 förankras till grunden via de vertikala reglarna på plan 1. Om denna förenkling inte görs måste tillräcklig kapacitet mot tryck och drag säkerställas i hammarbandet. Vid partiell förankring ansätts förankringskraften till 12 kN vid frontreglar samt de vertikala reglarna vid öppningar på plan 1 och till 6 kN på plan 2.

## 8.2 Resultat

För att bedöma kostnadsutfallet optimeras dimensioneringsmetoderna enligt tidigare antaganden och förutsättningar. För val av skivmaterial, skruvavstånd, horisontalkapacitet samt genererad förankringskraft för respektive metod, se Bilaga E.2 Optimering för kostnadsbedömning.

Kostnaden för Metod A sätts till 1,0 och resterande dimensioneringsmetoder presenteras som en andel i förhållande till denna kostnad. Eftersom de optimerade beräkningsresultaten inte har erhållit en utnyttjandegrad på exakt 100% normeras dimensioneringsmetoderna även med avseende på deras horisontalstabilitet för att få ett jämförbart resultat över vilken kostnadsmässig trend som kan utläsas.

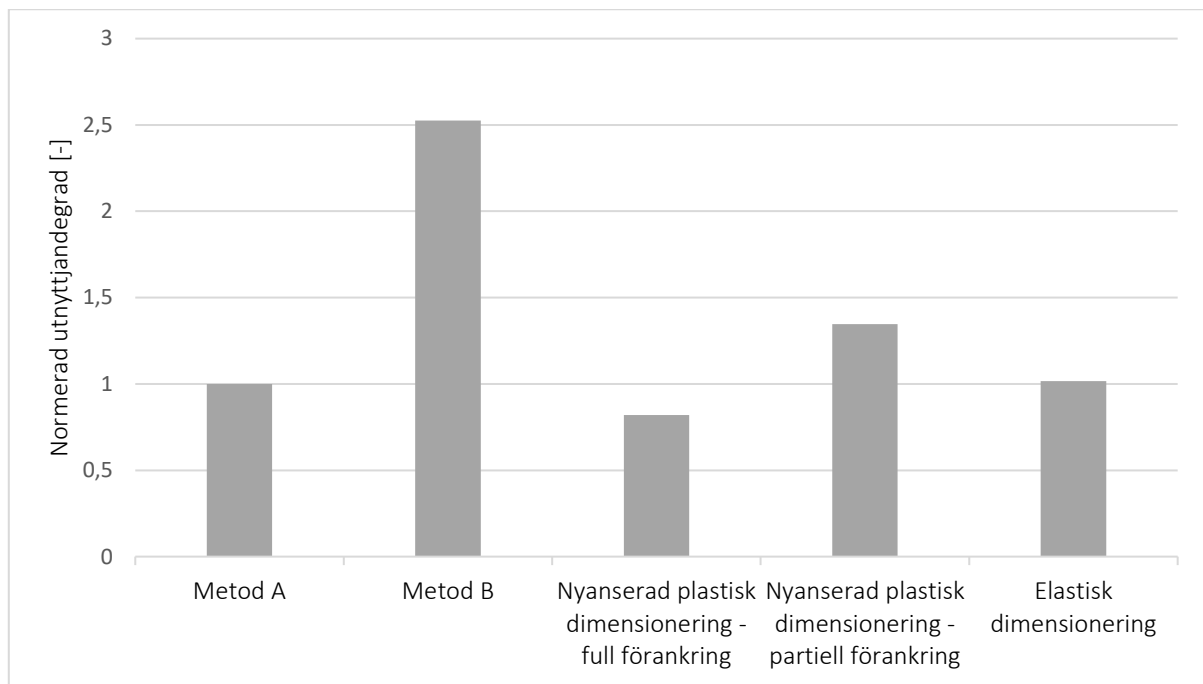
Resultatet redovisas i Figur 36 där mörkgrå stapel visar kostnaden vid en optimerad vägg, där målet har varit att nå en utnyttjandegrad så nära 100% som möjligt genom val av skivmaterial och förbindaravstånd. Ljusgrå stapel är kostnad normerad mot horisontalkapaciteten, vilket motsvarar kostanden om utnyttjandegraden hade varit 100%. En lägre stapel motsvarar lägre pris och en stor skillnad i höjd mellan mörkgrå och ljusgrå stapel för respektive metod visar på svårigheter i att utnyttja väggarnas kapacitet fullständigt. Resultatet visar att full förankring vid nyanserad plastisk metod är den mest kostnadseffektiva dimensioneringsmetoden för fallstudien.



Figur 36 Kostnadsbedömning per metod. Mörkgrå stapel avser kostnad för optimerade väggar och ljusgrå stapel avser kostnad normerad till utnyttjandegraden

För att göra en kvalitativ jämförelse av den horisontella bärförmågan för gavelväggarna i referensobjektet undersöks horisontalkapaciteten för Metod A, Metod B, nyanserad plastisk dimensionering med full respektive partiell förankring samt elastisk dimensionering. Vid beräkningarna ansätts väggar med plywood 12 mm samt skruvavstånd 100 mm. För delresultat, se Bilaga E.3 Jämförelse av horisontell bärförmåga.

Resultatet redovisas i Figur 37 där utnyttjandegraden för Metod A normeras till 1,0. Resultatet visar att den horisontella bärförmågan enligt Metod B är mindre än hälften jämfört med övriga dimensioneringsmetoder.



*Figur 37 Studie 1 - Jämförelse av utnyttjandegrad vid samma vägguppbyggnad för samtliga dimensioneringsmetoder*



## 9 Studie 2: Ändring av geometri

Enligt vad som ligger till grund för rapporten samt tidigare beräkningar finns svårigheter att fastställa tillräcklig horisontalkapacitet utan att erhålla stora förankringskrafter och dyra skivmaterial. Därför undersöks ändringar av referensobjektets geometri där enkätundersökningen ligger till grund för analysen. Geometriförändringarna genomförs så att boarea och öppningsareor är oförändrade jämfört med Studie 1. Vid ändring av geometri analyseras horisontalkapaciteten och förankringskrafterna enligt Metod A och nyanserad plastisk dimensioneringsmetod. Dessa val baseras på resultat i Studie 1 samt att Metod A är rekommenderad metod i Eurokod 5. Nyanserad plastisk metod är intressant då kapaciteten ovan och under öppningar kan inkluderas i beräkningarna.

Följande fall undersöks:

- Fall 1 - Flytt av öppningar till gavelns kanter
- Fall 2 - Flytt av öppningar till gavelns mitt
- Fall 3 - Flytt av groventrédörr till långsida
- Fall 4 - Sänkt tak
- Fall 5 - Addering av stabiliserande innervägg på plan 1 och plan 2
- Fall 6 - Ändrad taklutning

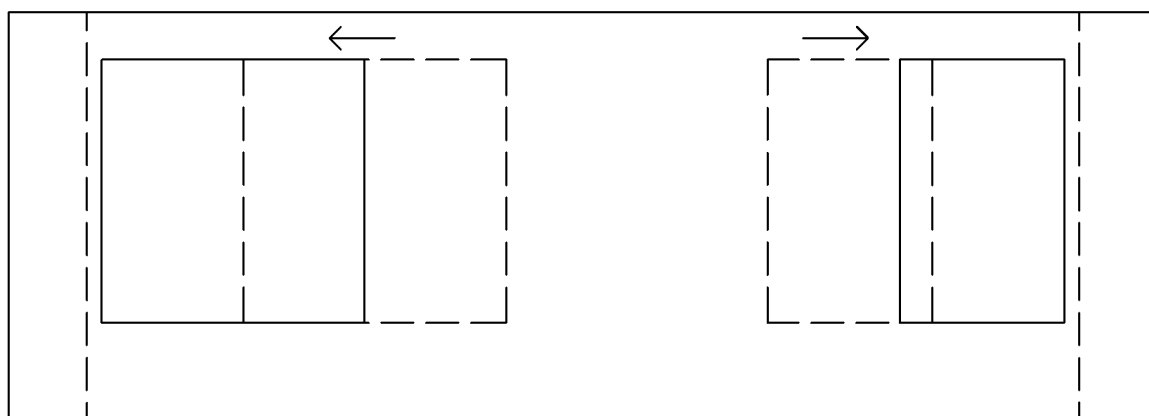
### 9.1 Antaganden och förutsättningar

I Studie 2 gäller samma antaganden och förutsättningar som i Studie 1. För att kunna göra en kvalitativ jämförelse beräknas samtliga fall med plywood 12 mm och förbindaravstånd 100 mm. Specifika antaganden och förutsättningar för respektive fall presenteras i Kapitel 9.1.1-9.1.6.

#### 9.1.1 Fall 1 - Flytt av öppningar till gavelns kanter

Öppningarna placeras med lika avstånd från gavelns centrumlinje. Exempel på förflyttning av öppningar till kortsidans kanter redovisas i Figur 38.

För resulterande horisontalkapacitet samt förankringskrafter enligt Fall 1, se Bilaga F.1 Fall 1 – Flytt av gavelöppningar till kortsidans kant.

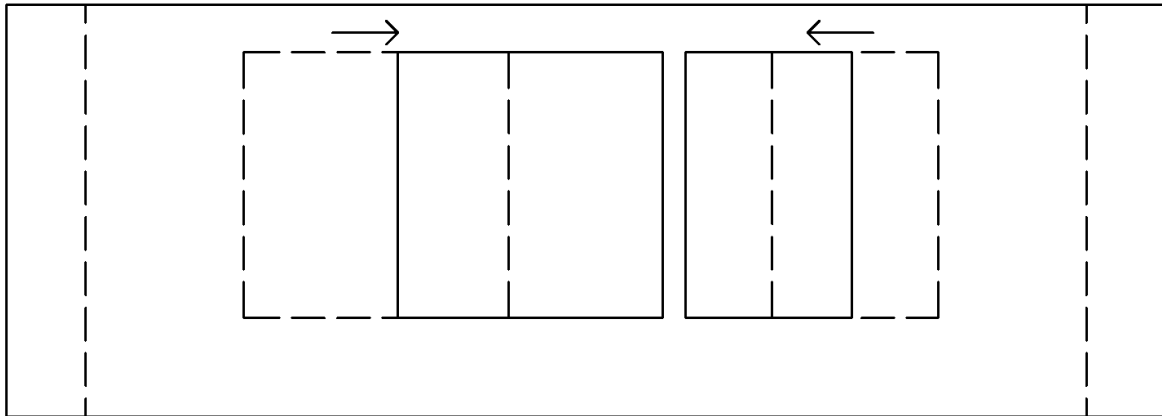


Figur 38 Skiss över flytt av gavelöppningar till kanterna. Avstånd från ytterväggens kant till vertikala streckade linjer vid kanterna avser långsidans väggjocklek

### 9.1.2 Fall 2 - Flytt av öppningar till gavelns mitt

Öppningarna placeras vid gavelns centrumlinje. Exempel på förflyttning av öppningar till gavelns mitt redovisas i Figur 39.

För resulterande horisontalkapacitet samt förankringskrafter enligt Fall 2, se Bilaga F.2 Fall 2 – Flytt av gavelöppningar till kortsidans mitt.

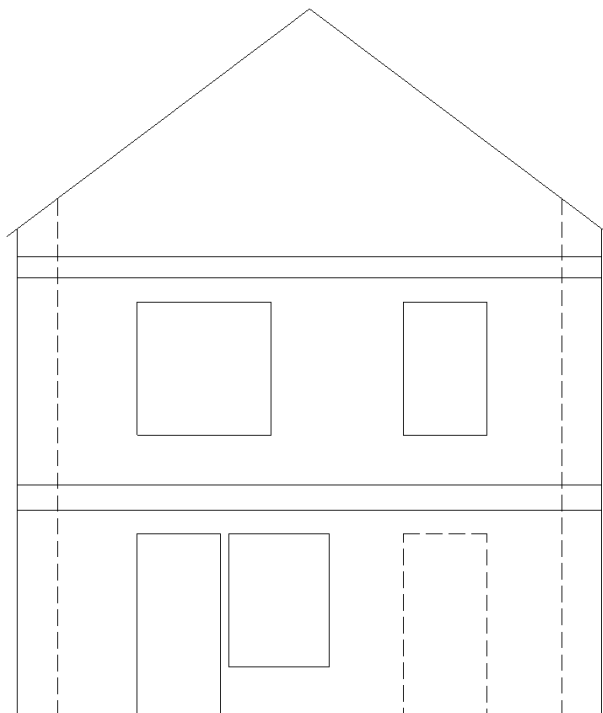


Figur 39 Skiss över flytt av gavelöppningar mot mitten. Avstånd från ytterväggens kant till vertikala streckade linjer vid kanterna avser långsidans väggjocklek

### 9.1.3 Fall 3 - Flytt av groventrédörr till långsida

Groventrédörren flyttas från YV2:s gavel till husets långsida. För skiss av flytt av groventrédörr, se Figur 40.

För resulterande horisontalkapacitet samt förankringskrafter enligt Fall 3, se Bilaga F.3 Fall 3 – Flytt av groventrédörr till långsida.

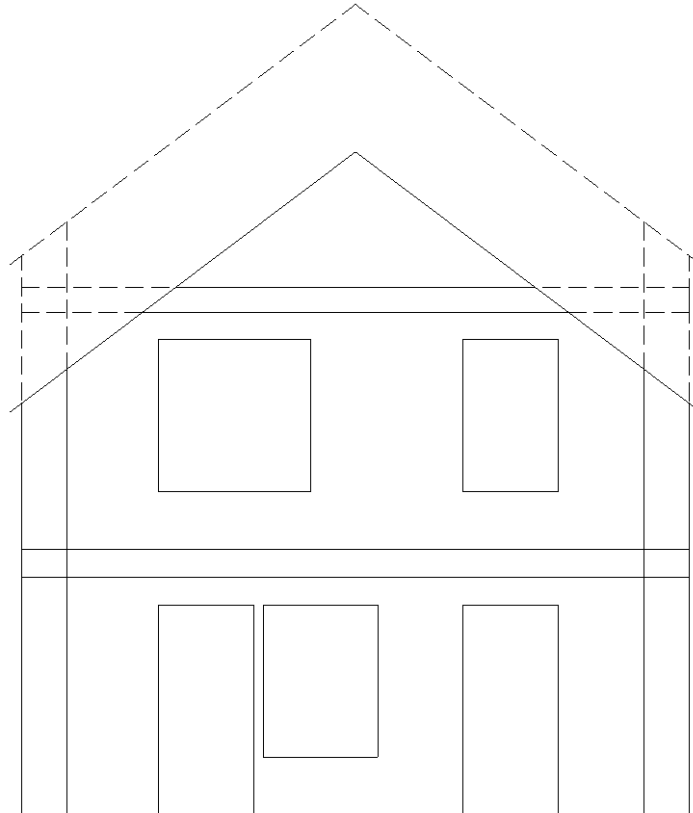


Figur 40 Skiss över flytt av groventrédörr. Avstånd från ytterväggens kant till vertikala streckade linjer vid kanterna avser långsidans väggjocklek

#### 9.1.4 Fall 4 - Sänkt tak

Genom att sänka taket minskar arean som vindlasten verkar på. För att behålla boarean sänks taket så att rumshöjden inte blir lägre än lägsta tillåtna höjd, vilken är 1,90 meter vid snedtak (Boverket, 2011). För skiss av sänkt tak, se Figur 41.

För resulterande horisontalkapacitet samt förankringskrafter enligt Fall 4 se Bilaga F.4 Fall 4 – Sänkt tak.

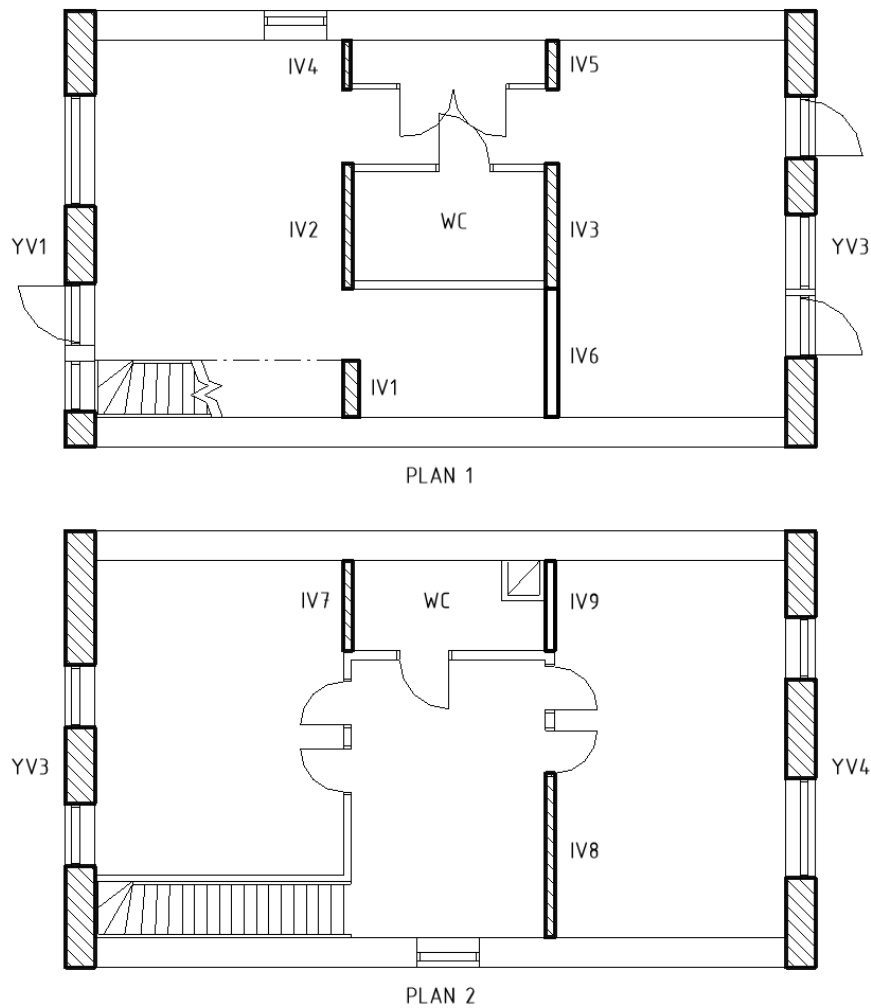


*Figur 41 Skiss över sänkning av tak. Avstånd från ytterväggens kant till vertikala streckade linjer vid kanterna avser långsidans väggjocklek*

### 9.1.5 Fall 5 - Addering av stabiliserande innerväggar på plan 1 och plan 2

Stabiliserande innerväggar adderas enligt Figur 42 där de befintliga stabiliserande väggarna enligt Studie 1 är skrafferade och de tillagda väggarna är markerade med tjocka linjer. Under den tillagda stabiliserande väggen på plan 2 finns en balk vilket gör denna förflyttning möjlig. Schaktet, som visas som en kvadrat med ett diagonalt streck, flyttas till vänster i bild. Detta antas inte vara ett problem då schaktet fortfarande är placerat i teknikrummet på plan 1.

För resulterande horisontalkapacitet samt förankringskrafter enligt Fall 5, se Bilaga F.5 Fall 5 – Addering av stabiliserande innerväggar på plan 1 och plan 2.



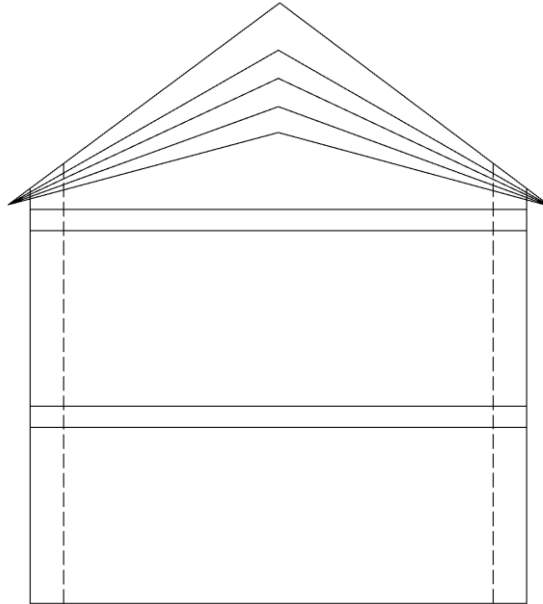
Figur 42 Adderade stabiliserande väggar på plan 1 (IV6) och plan 2 (IV9) markeras med heldragna linjer

### 9.1.6 Fall 6 - Ändrad taklutning

I Studie 1 är taklutningen  $37^\circ$  vilket skapar en hög byggnad samt ett stort vindfång på taket. Genom att sänka vinkeln minskar den lastupptagande arean vilket således ger lägre dimensionerande vindlast. Genererad vindlast undersöks för taklutningar på  $37^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $25^\circ$ ,  $20^\circ$  och  $15^\circ$ .

Taklutningens förändring från  $37^\circ$  till  $15^\circ$  redovisas i Figur 43.

För genererad vindlast när takvinkeln sänks, se Bilaga F.6 Fall 6 – Ändrad taklutning.



Figur 43 Skiss av sänkt taklutning;  $37^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $25^\circ$ ,  $20^\circ$  och  $15^\circ$ . Avstånd från ytterväggens kant till vertikala streckade linjer vid kanterna avser långsidans väggjocklek

## 9.2 Resultat

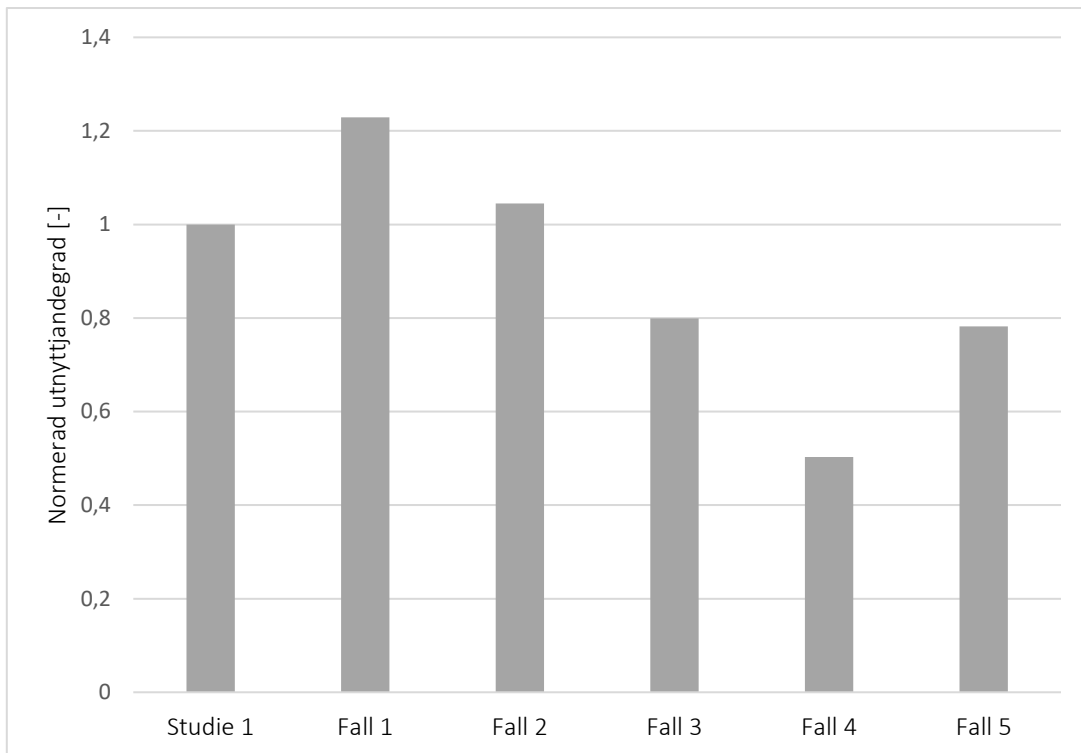
För varje dimensioneringsmetod normeras motsvarande utnyttjandegrad enligt Studie 1 till 1,0, vilket möjliggör en jämförelse mellan resultatet baserat på referensobjektets ursprungliga geometri och resultatet av geometriförändringarna.

I Figur 44 redovisas hur utnyttjandegraden förändras för fall 1 till fall 5 enligt Metod A. Utnyttjandegraden blir lägst för fall 4 där taket är sänkt. Då vägguppbyggnaden är densamma för samtliga fall motsvarar en lägre utnyttjandegrad högre kapacitet och/eller mindre last på grund av sänkt tak.

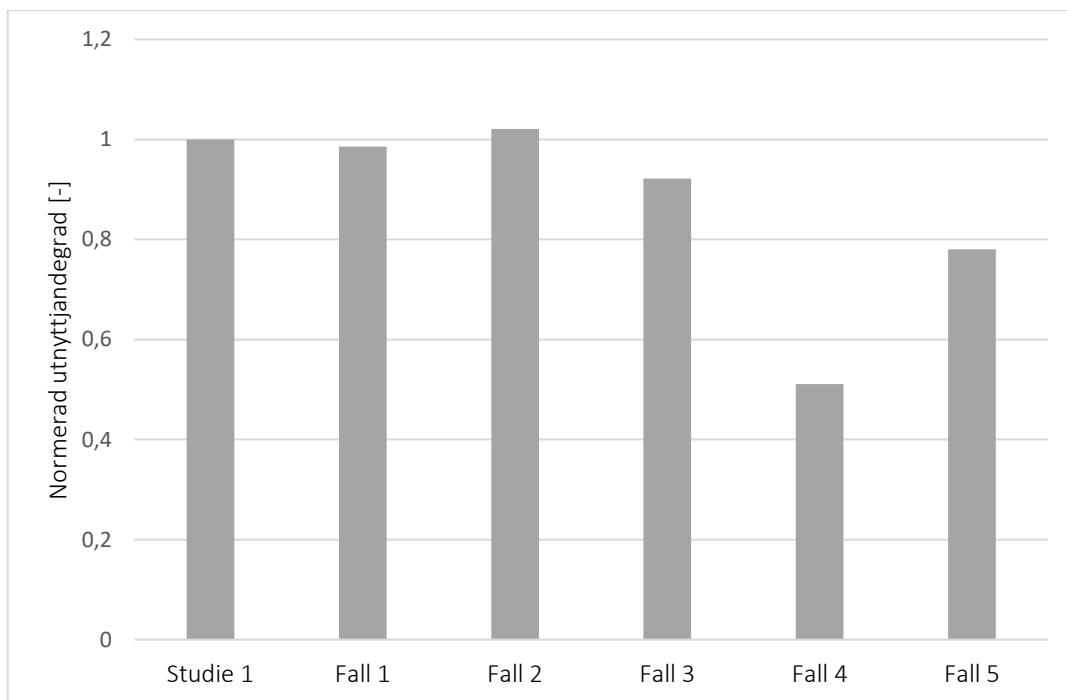
Figur 45 redovisar förändrad utnyttjandegrad för nyanserad plastisk metod med full förankring. Resultatet visar att utnyttjandegraden blir lägst när taket sänks och vilket motsvaras av fall 4.

Förändrad utnyttjandegrad för fall 1 till fall 5 enligt nyanserad plastisk metod med partiell förankring redovisas i Figur 46. Även här ger fallet med sänkt tak lägst utnyttjandegrad.

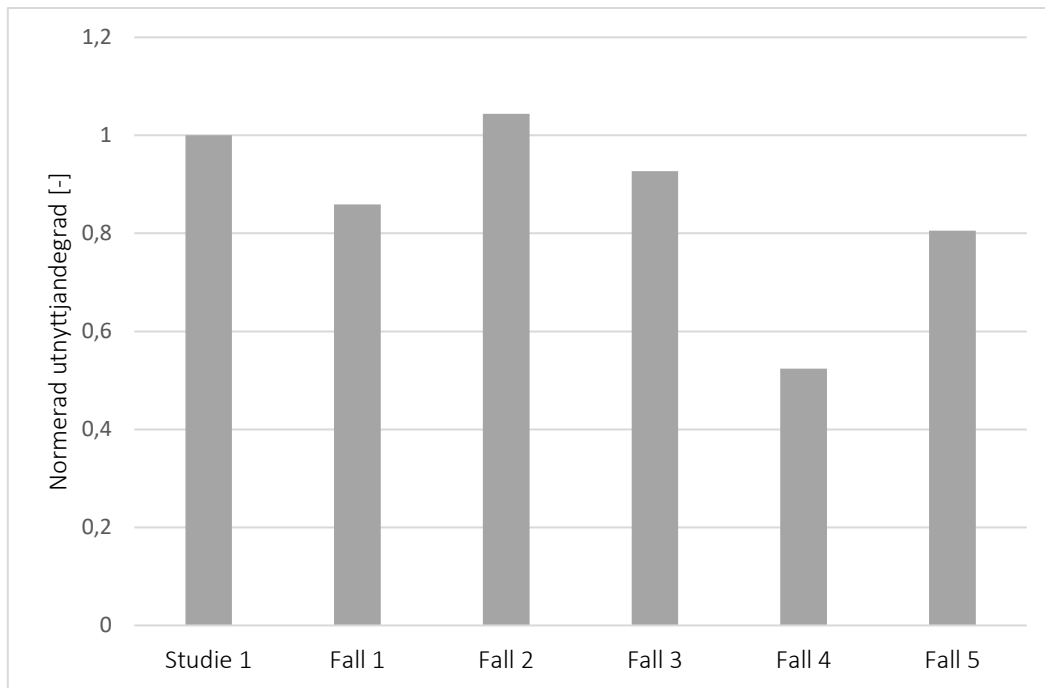
I fall 6 undersöks hur vindlasten förändras med sänkt takvinkel. Vindlastens förändring på plan 1 och plan 2 vid olika takvinklar redovisas i Figur 47.



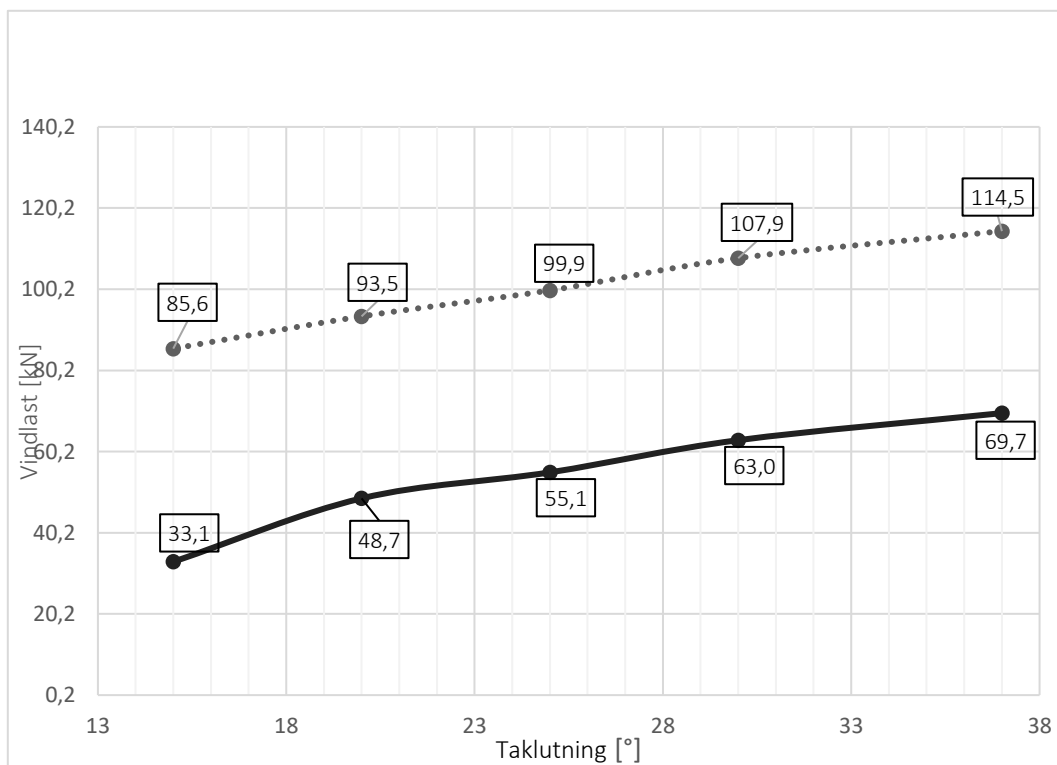
*Figur 44 Studie 2 – Metod A. Förändrad utnyttjandegrad för fall 1-fall 5*



*Figur 45 Studie 2 – nyanserad plastisk metod med full förankring. Förändrad utnyttjandegrad för fall 1-fall 5*



Figur 46 Studie 2 – nyanserad plastisk metod med partiell förankring. Förändrad utnyttjandeград för fall 1-fall 5



Figur 47 Förändrad vindlast vid sänkt taklutning: 37°, 30°, 25°, 20°, 15°. Punktilinje avser last på plan 1 och helt dragen linje avser last på plan 2





## 10 Diskussion

I följande kapitel diskuteras och analyseras resultaten samt erfarenheter som uppkommit under examensarbetets gång. Syftet med arbetet är att undersöka hur olika beräkningsmetoder kan användas för att fastställa tillräcklig skjuvkapacitet vid horisontalstabilisering samt att göra en bedömning av det kostnadsmässiga utfallet genom att besvara frågeställningarna;

- *Vilken dimensioneringsmetod ger den lägsta kostnaden avseende stabiliserande skivmaterial och förankringsbeslag?*
- *Hur kan infästningar förbättras för att erhålla hög kapacitet och produktionsvänliga lösningar?*
- *Hur påverkas utnyttjandegraden vid justering av referensobjektets geometri?*

### 10.1 Studie 1

Resultaten från Studie 1 visar på skillnader i kostnaden då horisontalkapaciteten och genererade förankringskrafter beräknas med de olika dimensioneringsmetoderna. Vid jämförelsen normeras kostnaden för Metod A till 1,0 mot vilken kostnaden från övriga metoder jämförs. Att välja Metod A till grundvärdet baseras på att det är den rekommenderade metoden för skivverkan i Eurokod 5. När metoderna har utvärderats i fallstudien har inte målet om att nå 100% utnyttjandegrad kunnat uppnås i alla fall. För att jämföra och utvärdera metoderna kostnadsmässigt normeras kostnaderna mot horisontalstabiliteten. På så vis genereras ett resultat för kostnaderna om utnyttjandegraden hade varit samma för samtliga metoder, det vill säga 100%.

Kostnadsbedömningen inkluderar endast kostnader för skivmaterial och förankringsbeslag med tillbehör för ytterväggarna. Valet att bortse från övriga kostnader, så som arbetskostnad, leveranskostnad och andra materialkostnader motiveras med att omfattningen av att fastställa marknadsmässiga priser anses tidskrävande kontra fallstudiens syfte. Dessa kostnader antas även vara relativt oberoende av de olika dimensioneringsmetoderna.

Nyanserad plastisk dimensionering med full förankring är den dimensioneringsmetod som ger det mest gynnsamma kostnadsutfallet när metoderna jämförs. I relation till Metod A erhålls ungefär 30% lägre kostnad avseende stabiliserande material och erforderliga förankringsbeslag. Baserat på kostnadsbedömningen i Studie 1 är Metod B den minst fördelaktiga dimensioneringsmetoden med en kostnad cirka 34% högre än för grundvärdet, Metod A. Den högre kostnaden förmodas bero på osäkerheter i hur metoden ska tillämpas. I Eurokod 5 finns ingen tydlig information huruvida kapaciteten i skivor ovan och under öppningar kan räknas med eller ej. Inte heller i litteraturen finns något presenterat tillvägagångssätt hur denna kapacitet eventuellt kan inkluderas. Det beskrivs inte hur delement kan delas upp och om ett delement avser ett, max två eller flera skivor. Dimensioneringsmetoden nyttjas således inte optimalt och antas påverka beräkningarna och i förlängningen kostnadsutfallet. Metod B bör utvärderas närmare för att säkerställa att den används korrekt.

Genom att använda nyanserad plastisk dimensioneringsmetod kan kapaciteten i skivor ovan och under öppningar inkluderas när horisontalkapaciteten beräknas. Eftersom skivor längs hela väggens sträcka kan inkluderas i beräkningarna kan mer skivmaterial nyttjas som lastupptagande i relation till övriga metoder.

Två huvudfall för nyanserad plastisk dimensionering presenteras; huvudfall 1 och huvudfall 2. I fallstudien är huvudfall 2 det dominerande vid partiell förankring, vilket beror på att öppningarna är placerade relativt nära varandra och att det plastiska skjuvflödet uppnås först en

bit in på skivan under en öppning. Om den nyanserade plastiska dimensioneringsmetoden används är det ur denna aspekt således intressant att undersöka öppningars placering så att en högre horisontell bärförmåga kan tillgodoräknas. Vid full förankring appliceras huvudfall 1 där det plastiska skjuvflödet uppnås innan en öppning vilket leder till att den effektiva längden inte behöver reduceras i lika hög grad och den horisontella bärförmågan blir då högre.

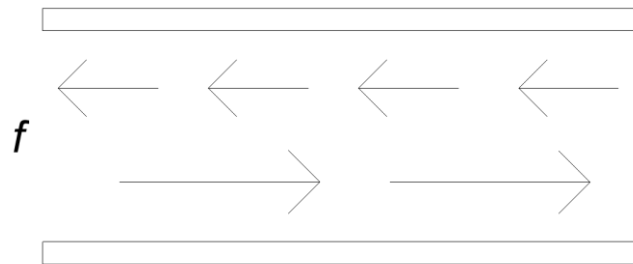
Resultaten i fallstudien visar att full förankring genererar högre horisontell bärförmåga och högre förankringskrafter kontra partiell förankring. I de fall då svårigheter finns att uppnå erforderlig kapacitet vid full förankring kan således partiell förankring helt uteslutas eftersom kapaciteten är lägre för partiell förankring än full förankring.

Vid full förankring förankras väggens fulla plastiska tvärkraftskapacitet vid frontregeln samt vid öppningar. Det plastiska skjuvflödet är således uppnått direkt vid den vertikala regeln vid en öppning eller i gavlarnas ändrar. Att förankra frontreglarna och regler vid öppningar ger en större horisontalkapacitet i väggen men den genererade förankringskraften blir högre. Detta leder till att kraftigare förankringsbeslag måste användas. När examensarbetet författas skiljer sig priset för olika förankringsbeslag marginellt upp till en dragkraft på cirka 30 kN. Därefter krävs betydligt kraftigare beslag för förankring av dragkrafter och kostnaden för beslagen nästintill tredubblas. Fallstudiens kostnadsbedömning visar att val av skivmaterial har stor inverkan på priset där plywood kostar mer än det dubbla jämfört med gips.

Att använda partiell förankring vid nyanserad plastisk dimensionering ter sig vid första anblick som ett gynnsamt angreppssätt. Genom att bygga upp skjuvflödet kan förankringen ske via syllen. Detta visar sig inte vara helt effektivt när referensobjektet studeras. Öppningarnas relativt täta placeringar genererar korta sträckor för att bygga upp det plastiska skjuvflödet. Vid beräkningar fastställs att öppningarna är för tätt placerade för att den partiella förankringsmetodiken ska kunna nyttjas optimalt. Följden blir att den effektiva längden måste reduceras mycket vilket leder till att även horisontalkapaciteten reduceras. För att uppnå tillräcklig kapacitet när referensobjektet studeras måste regler vid öppningar förankras. Att applicera partiell förankring påverkas även av höjden då byggnaden studeras som en enhet enligt denna metod. Den effektiva längden, längs vilken skjuvkraftsöverföring sker och som påverkar horisontalkapaciteten, är förknippad med summan av våningsplanens höjder. Som redovisas i Ekvation ( 60 ) reduceras den effektiva längden med hänsyn till den totala höjden. Detta blir påtagligt vid korta väggdelar innan öppningar eftersom  $l_1$ , sträckan där skjuvflödet byggs upp, behöver reduceras.

$$l_{eff} = \left( \frac{l_1}{2h_{tot}} + \frac{V_{ekv}}{f_p h_{tot}} \right) l_1 + l_2 \quad ( 60 )$$

Vid partiell förankring begränsas beräkningarna av att den plastiska tvärkraftskapaciteten reduceras på plan 1 om de stabiliserande väggarna på plan 2 fullt utnyttjas. För att kompensera för den minskade kapaciteten måste skruvavståndet minskas på plan 1 jämfört med plan 2, alternativt nyttja skivor med bättre kapacitet på plan 1. Detta beror på skjuvkraftsöverföringen mellan syll och hammarband. Om tvärkraftskapaciteten är samma på plan 1 och plan 2 blir det resulterande flödet  $f$  noll och följden blir att ingen kapacitet kan överföras till det nedre planet. På grund av detta är därför partiell förankring snarare att föredra för enplanshus än flervåningshus. För att kompensera för detta ansätts i fallstudien ett dubbelt så stort skjuvflöde på det nedre planet. Resultande flöde vid partiell förankring redovisas i Figur 48.



Figur 48 Flöde  $f$  mellan hammarband och syll vid partiell förankring

I praktiken förankras vanligtvis syll mot skjuvning. Enligt den nyanserade plastiska dimensioneringen med partiell förankring kan denna infästning då nyttjas för att förhindra lyftkrafter. Detta sparar tid för produktionen och även pengar då mindre förankringsbeslag kan användas vid frontreglar och öppningar. I Girhammar och Källsners handbok presenteras en förenklad metod vilken är applicerbar för ett våningsplan. Eftersom fallstudien behandlar ett tvåplanshus bortses den från men kan med fördel nyttjas för byggnad bestående av en våning.

Nyanserad plastisk dimensionering begränsas av att enbart träbaserade skivor kan användas. Gipsbaserade skivor är dock möjligt att använda om ett segt brott kan säkerställas. Beräkningsgången för nyanserad plastisk metod med partiell förankring är komplicerad, upplevs tidskrävande och inkluderar flertalet specifika fall. Detta leder till att det är svårt att utveckla ett standardiserat beräkningsverktyg, exempelvis kalkylark, något som hade varit gynnsamt för att kunna implementera metoden i konstruktörers vardagliga arbete.

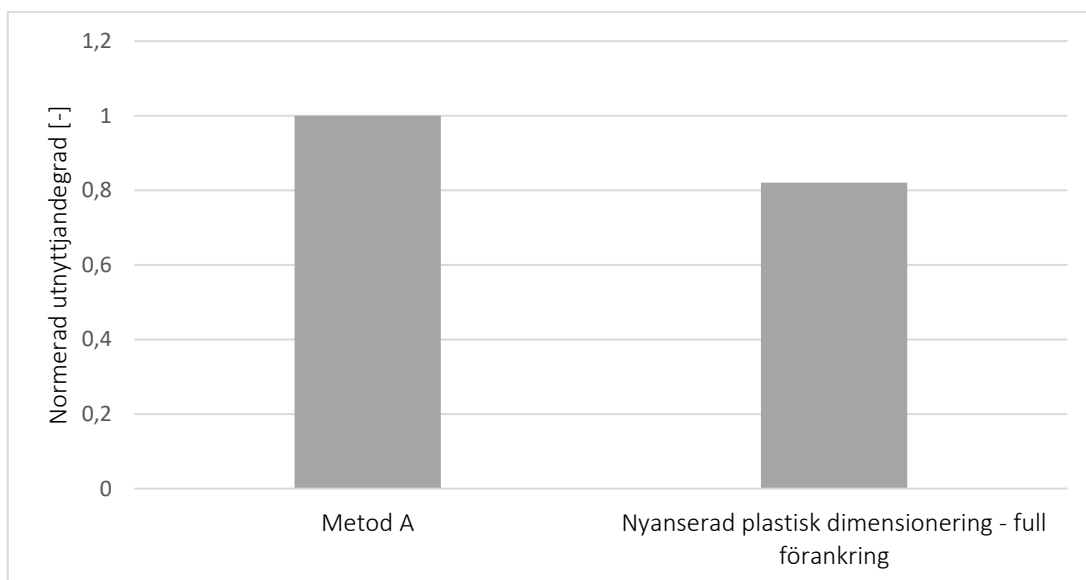
Som brist i metoden kan nämnas att det i litteraturen inte presenteras hur skivbeklädning på två sidor av en vägg ska hanteras. Detta är intressant att fastställa om nyanserad plastisk metod ämnas att användas vid beräkning av innerväggar, eller vid ytterväggar om ett segt brott kan säkerställas för vindskyddsskivan. Dessutom antar metoden att öppningar på våningsplanen är placerade ovanför varandra samt är lika stora, vilket i verkligheten sällan uppnås. I fallstudien görs förenklingen att öppningarnas storlek på våning två anpassas så att de vertikala lasterna direkt kan överföras till plan 1. Fördelen med detta blir att inga vertikala resultanter verkar mitt i en öppning på det nedersta planet. Om inte detta antagande görs kan lasterna fördelas via hammarbandet, men då bör tryck- och dragresultanternas storlek kontrolleras.

Kontentan av Studie 1 blir således att nyanserad plastisk metod med full förankring ger det mest ekonomiskt gynnsamma utfallet. Genom denna metod kan en stor andel skivmaterial och väggens längd användas för att erhålla en hög horisontell bärförmåga, utan att reducera för antalet våningsplan, vilket är ett krav vid partiell förankring.

Att bedöma kostnaden vid olika dimensioneringsmetoder bör inkludera andra typer av kostnader som denna studie inte behandlar. Beräkningsmetodernas varierande komplexitet

bidrar till varierad tidsåtgång i projekteringsstadiet. Således bör en avvägning göras beroende på omfattningen av ett projekt. För fallstudien finns en vision om att referensobjektet ska standardiseras för att kunna produceras i en stor skala. Om denna implementering möjliggörs finns ett incitament till att nyttja en mer komplex dimensioneringsmetod om en mer kostnadseffektiv lösning kan uppnås. Vissa förankringsutförande är mer tekniskt komplicerade vilket ger en ökad produktionstid och därmed en ökad kostnad. Detta är en faktor som bör utvärderas men som inte har inkluderats i fallstudien.

Studie 1 inkluderar även en jämförelse mellan samtliga beräkningsmetoder där referensobjektet, med samma vägguppbyggnad vad avser val av skivmaterial och skruvavstånd, undersöks. Resultatet visar på att dimensionering enligt elastisk metod erhåller liknande horisontella bärförmåga som Metod A. Jämförelse mellan Metod A och nyanserad plastisk metod med full förankring är intressant då de vertikala reglarna förankras likadant i de två metoderna. Resultatet, se Figur 49, visar att cirka 20% högre horisontell bärförmåga uppnås då hela väggen inkluderas, vilket ger en indikation på att skivor ovan och under öppningar har en betydande effekt på stabiliteten.



Figur 49 Jämförelse av horisontell bärförmåga mellan Metod A och nyanserad plastisk dimensionering med fullständig förankring

Det är dock svårt att dra en generell slutsats av hur mycket mer kapacitet som finns att tillgodoräkna då nyanserad plastisk metod används jämfört med Metod A. Metod A begränsas av att skivbredder vars kapacitet som kan inkluderas i beräkning av skjuvbärförmågan minst är  $b > h/4$ . Detta leder till, beroende på hur öppningar är placerade, att skivmaterial bortses från vilket ger ett missvisande resultat i kontrast till en byggnads verkliga kapacitet.

FEM-modellen visar sig vara svår att jämföra mot handberäkningar vilket beror på en rad faktorer som diskuteras nedan. Baserat på fallstudiens resultat jämförs FEM-modellens resulterande förankringskrafter med handberäkningar enligt nyanserad plastisk metod med full förankring. Metoderna jämförs genom att ansätta samma skivmaterial. Resultatet, vilket sammanställs i Tabell 5, visar att förankringskrafterna skiljer sig något mellan handberäkning och FEM-modellen. Detta antas bero på att det i FEM-modellen endast är möjligt att beskriva skivans egenskaper och att hänsyn inte tas till tvärkraftskapaciteten i förbindarna eller dess inbördes avstånd.

Tabell 5 Största förankringskrafter från FEM-modell och handberäkning för nyanserad plastisk metod, full förankring

Största förankringskraft [kN]				
	YV1	YV2	YV3	YV4
Nyanserad plastisk metod – full förankring	22,5	22,5	15,6	15,6
FEM	17,1	19,3	20,9	21,6

I modellen ansätts styva linjeupplag, vilket motsvarar styvheten från mellanbjälklaget och taket. Ett alternativt angreppssätt är att modellera samtliga bärande väggar och bjälklag i huset för att studera hur lasterna mellan dem sprids och hur förankringskrafterna påverkas. Med hjälp av FEM kontrolleras skjuvflöden i skivornas ränder vilket visar att skivornas kapacitet är större än skjuvflödet och att de således inte går till brott vid den aktuella belastningen.

Att modellera hela huset, definiera laster och upplag i FEM är komplicerat och tidsåtgången är stor i relation till genererat resultat. Dessutom kan inte dubbelsidig skivbeklädnad modelleras utan måste följaktligen viktas samman till en skiva och placeras i mitten av stommen, vilket inte motsvarar en konstruktions verkliga uppbyggnad. Det är tidskrävande att modellera varje skruv i FEM och för en mer exakt modell bör skruvarna modelleras som en fjädrar. Således kan inte inverkan av olika skruvavstånd och olika förbindares kapaciteter översättas till FEM. I examensarbetet väljs att ansätta skivorna som fast inspända, detta då det antas att skivans kanter är relativt styva mot reglarna.

Om skruvavståndet i en skiva är stort blir skjuvbärförmågan mindre än för en skiva med ett tätt förbindaravstånd. Eftersom skivorna i FEM får sina egenskaper baserat på exempelvis elasticitetsmodul och densitet går skruvavståndets inverkan för kapaciteten förlorad. Eftersom skjuvbärförmågan är beroende av förbindarnas styvhet och inbördes avstånd är detta en viktig aspekt att beakta. Ett alternativ för att inkludera detta är att vikta samman förbindarnas styvhet med skivans styvhet. Detta är dock inget som har studerats i fallstudien men kan vara intressant för framtida projekt. Om styvheten för förbindare och skivan viktas är fördelen med FEM-modellen att den kan användas för att exempelvis kontrollera deformationer och genomföra olika lastkombinationer. Metoden har således fler användningsområden än att resulterande krafter och skjuvspänningar, vilket är det som nyttjats i fallstudien.

## 10.2 Studie 2

I Studie 2 genomförs sex geometriändringar som baseras på resultat från. I enkätstudien gavs förslagen att flytta öppningarna till gavelns kanter respektive mitt för att öka väggens horisontella bärförmåga. Resultatet i Studie 2 visar dock att dessa utformningar inte alltid är gynnsamma och är beroende av vilken metod som konstruktionen dimensioneras enligt.

Baserat på rekommendation i Eurokod 5 samt resultaten från Studie 1 appliceras förändringarna endast på Metod A och nyanserad plastisk metod med full förankring respektive partiell förankring. För Fall 5 analyseras förhållandet mellan vindlast och taklutningen.

De sex fall som analyseras är:

- Fall 1: Flytt av öppningar till gavelns kanter
- Fall 2: Flytt av öppningar till gavelns mitt
- Fall 3: Flytt av groventré till långsida
- Fall 4: Sänkt tak
- Fall 5: Addering av stabiliserande väggar på plan 1 och plan 2
- Fall 6: Ändrad taklutning

För Metod A erhålls lägst högst utnyttjandegrad för fall 1 jämfört med fallstudiens ursprungliga geometri i Studie 1. Att flytta öppningarna till gavelns kanter leder till att skivbredderna vid väggens ändar är mindre än  $h/4$  och således inte kan betraktas som stabiliserande enligt beräkningsmetoden. Fall 2 är mer gynnsamt än fall 1 då större skivbredder kan nyttjas.

Vid partiell förankring ger fall 1 en större horisontell bärförmåga jämfört med Studie 1. Detta beror på att en sammanhängande väggdel utan avbrott av en öppning leder till att det plastiska skjuvflödet hinner byggas upp. Samtidigt verkar flera vertikala laster på den kontinuerliga sträckan vilket ger en stor ekvivalent kraft  $V_{ekv}$ . Ekvation ( 61 ) visar att en stor ekvivalent kraft leder till att sträckan  $l_1$  reduceras mindre och således ger en längre effektiv sträcka. Ekvationen visar även att det är fördelaktigt att en vägg har en längd där fullt plastisk skjuvflöde har hunnit byggas upp,  $l_2$ , då denna sträcka inte reduceras vid beräkning av den effektiva längden. Sammantaget ger detta en gynnsam effekt för väggens totala horisontella bärförmåga.

$$l_{eff} = \left( \frac{l_1}{2h} + \frac{V_{ekv}}{f_p h} \right) l_1 + l_2 + \frac{h_{under}}{h} \lambda l_3 \quad ( 61 )$$

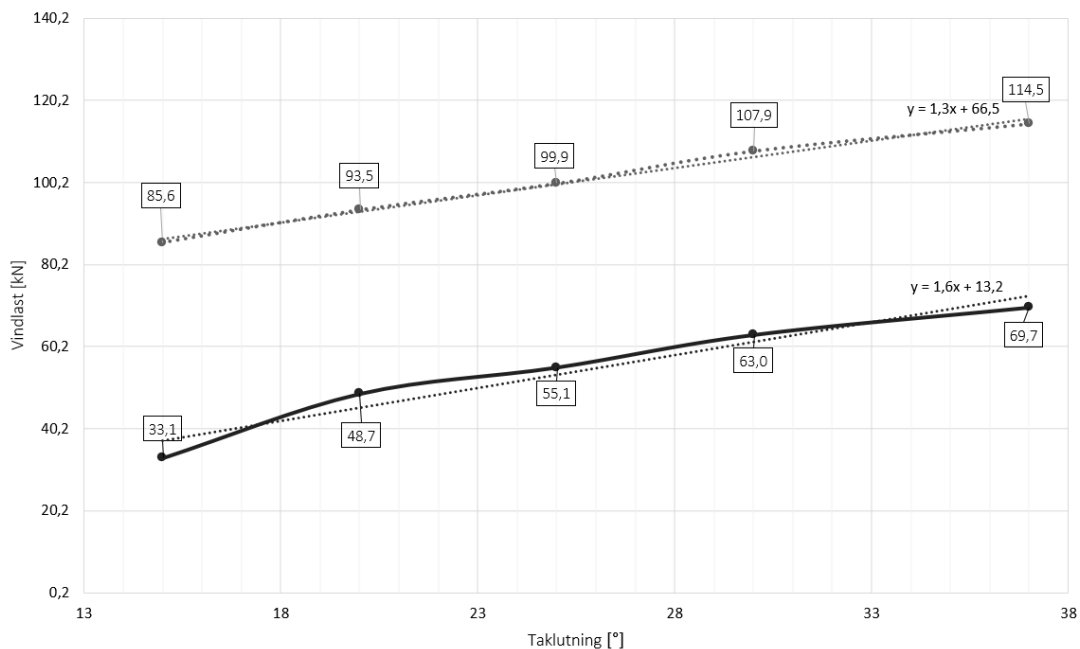
Däremot, om det plastiska skjuvflödet inte hinner byggas upp längsmed den kontinuerliga väggdelen, finns en risk för en stor reaktionskraft  $R_N$  i regeln som gränsar till en öppning efter den oavbrutna vägglängden. Detta medför risk för knäckning av den vertikala regeln samt ett stort skjuvflöde  $f_{öpp}$  längs väggskivan under öppningen.

Fall 2 vid partiell förankring, nyanserat plastiskt dimensionerat, ger en lägre horisontell bärförmåga än partiell förankring i Studie 1. Den breda, sammanhängande öppningen ger en låg reduceringsfaktor ( $\lambda$ ) och liten andel av sträckan under öppningen kan därför bidra till den horisontella stabiliteten.

I Studie 2 är den mest gynnsamma ändringen av referensobjektets geometri för samtliga tre dimensioneringsmetoder att sänka taket enligt fall 4. Detta ger en kraftig reduktion av vindlasten. Eftersom husets höjd blir lägre minskar följaktligen kostnaderna då exempelvis en mindre mängd fasad- och konstruktionsmaterial behöver användas. För fall 1 och fall 2 ger full förankring endast en marginell skillnad jämfört med utfallet i Studie 1 och förankringsmetoden ger således störst inverkan för fall 3, fall 4 och fall 5. Detta beror på att den effektiva längden är nästintill oförändrad i de två första fallen.

Att addera stabiliserande väggar enligt fall 5 är också gynnsamt ur stabilitetssynpunkt, men ger högre kostnader för de tillagda innerväggarna.

Fall 6 visar på en tydlig minskning av vindlasten när takvinkeln sänks. Genom att studera trendlinjen som erhålls för lastens förändring avseende referensobjektet, se Figur 50, framkommer det att lasten minskar 1% per grad för plan 1 och 2% per grad för plan 2.



Figur 50 Lastens förändring när referensobjektets takvinkel förändras enligt fall 6. Punktlinjen avser plan 1 och streckad linje avser plan 2. Tillsammans med linjerna presenteras också trendlinjen vilken används för att bestämma den procentuella minskningen av vindlasten per minskad grad taklutning

Resultatet av Studie 2 visar således att olika placeringar av väggöppningar har varierad lämplighet beroende på val av dimensioneringsmetod. Metod A är en relativt enkel metod som är applicerbar för alla typer av skivor och som lämpar sig väl om skivor med minsta bredd  $h/4$  används. Nyanserad plastisk metod med partiell förankring används fördelaktigt om en tillräckligt lång sträcka för att bygga upp erforderligt skjuvflöde finns. För att erhålla en bra och kostnadseffektiv konstruktion som inte tummar på det arkitektoniska uttrycket bör en god kommunikation mellan arkitekter och konstruktörer implementeras tidigt i projekteringsfasen.

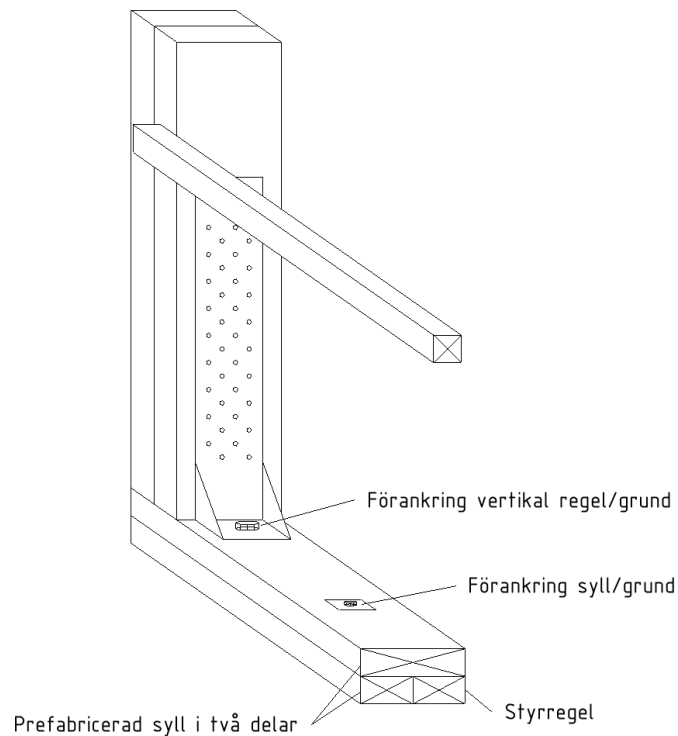
### 10.3 Produktionstekniska aspekter

Vid beräkningarna i Studie 1 och Studie 2 ansätts skruvavstånd i 50 mm-intervall i skivregelförbanden. I vissa dimensioneringsmetoder blir effekten avseende utnyttjandegraden påtaglig när skruvavståndet förändras från exempelvis 100 mm till 150 mm. En träregelväggs skjuvbärförmåga är starkt kopplat till vilket skruvavstånd som ansätts i beräkningarna och rent praktiskt finns en risk för avvikelse mellan projekterat och resulterande skruvavstånd i produktionen. I detta avseende kan något konservativa beräkning vara att föredra.

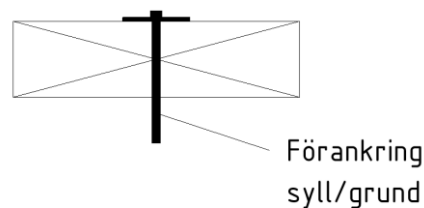
Att ange ett tätt skruvavstånd är för vissa dimensioneringsmetoder som utvärderas i fallstudien nödvändigt för att erhålla en utnyttjandegrad som inte överstiger 100%. Dock kan detta vara komplicerat att förankra hos den produktionspersonal som utför det praktiska arbetet. Att skruva tätt är ett upprepande och slitsamt arbetsmoment och kan således ha en negativ effekt på personalens arbetsmiljö. Även tidsåtgången och följaktligen projektkostnaden påverkas. I projekteringskedet bör således en avvägning göras mellan att välja ett dyrare skivmaterial som beräkningsmässigt tillåter ett större skruvavstånd, och försämrade arbetsmiljö.

För att öka effektiviteten ute på byggarbetsplatsen kan de prefabricerade ytterväggarna levereras helt stängda från fabrik. En fullständigt stängd yttervägg innebär att vindskyddsskiva, syll, hammarband, stomme, plastfolie och horisontella regler prefabriceras och enbart installationsskikt och invändigt ytskikt kompletteras på plats. För att nyttja väggskivors kapacitet optimalt vid horisontalstabilisering bör väggskivor placeras på vertikala regler.

I tidigare, liknande projekt har stommens vertikala regler och syll förankrats inne i träregelstommen. I Figur 51 och Figur 52 presenteras principskisser av detta tillvägagångssätt. Vid användning av gipsskivor för stabilisering kan dessa fästas mellan vindskyddsskivan och stommen och därmed prefabriceras. Träfiberbaserade skivor bör inte placeras på utsida stomme för att undvika eventuella fuktproblem för skivmaterialet. Ett alternativ kan därför vara att fästa träfiberbaserade väggskivor på insida vägg, mellan de vertikala och horisontella reglarna, och komplettera väggen utvändigt på plats för att möjliggöra åtkomst för förankring mellan syll och grund enligt förankringsprincipen som redovisas i Figur 51 och Figur 52. Detta kräver dock att ytterväggen tätas snabbt för att bilda ett klimatskal och undvika att fukt tränger in i väggkonstruktionen. Ett alternativ kan vara att använda väderskydd.



Figur 51 Principskiss av förankring mellan vertikala regler/grund och syll/grund där vinkelbeslaget är placerat inne i stommen

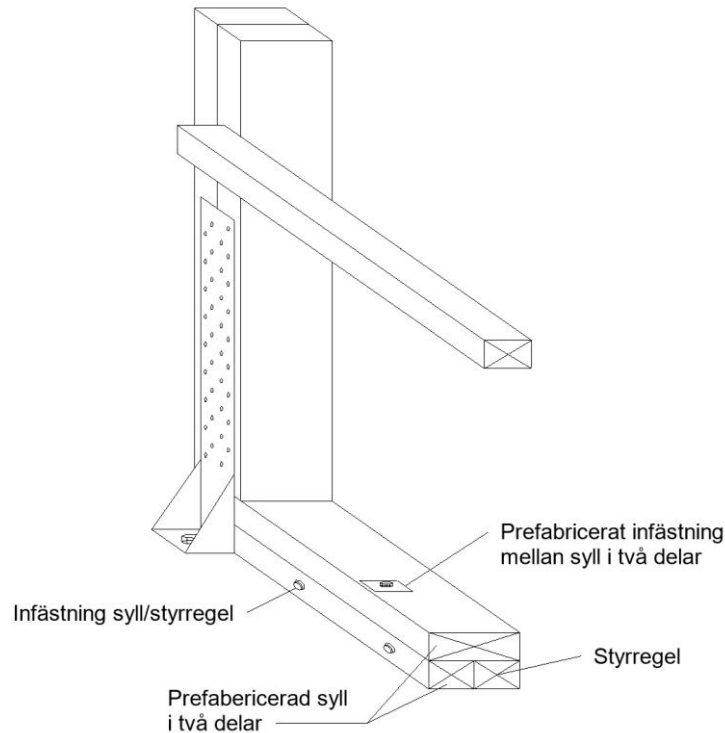


Figur 52 Principskiss av förankring mellan syll/grund

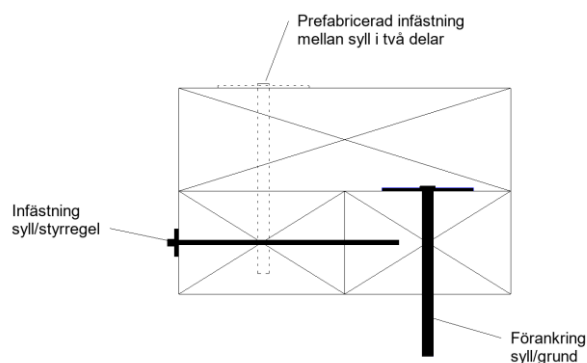
För att undvika en öppen ytterväggskonstruktion under byggskedet om träfiberbaserat skivmaterial används är en lösning som kan vara intressant att undersöka vidare att förankra de



vertikala reglarna och syllen från insida vägg, se Figur 53 och Figur 54. Detta förutsätter dock en större dimension än standard 45 mm på de horisontella reglarna som utgör installationskiktet. Stommen bör dessutom tillåtas att smaldas av och eventuellt att vertikala reglar bredare än 45 mm används. På så sätt kan vinkelbeslaget döljas i installationskiktet och både syllen och de vertikala reglarna förankras från insida vägg. Denna typ av förankring ger dock en viss excentricitet som bör kontrolleras.



Figur 53 Principskiss av förankring mellan vertikala reglar/grund och syll/grund där vinkelbeslaget är placerat på insida vägg



Figur 54 Principskiss av förankring mellan syll och grund då ytterväggen prefabriceras stängd. Streckade linjer avser prefabricerad infästning mellan syll i två delar, vilken är belägen i ett annat snitt

På plan 2 önskar produktionen att undvika genomgående förankring av innerväggar, det vill säga gängstång, som kräver förankring på båda sidor av mellanbjälklaget. För att förankra eventuellt stora dragkrafter på plan 2 är en alternativ lösning att partiellt förankra syll till mellanbjälklaget. Denna lösning kräver fler förankringspunkter men ger mindre belastning på varje enskild förbindare. För att möjliggöra partiell förankring av syll krävs att ett duktigt brott av förbindare mellan reglar och väggskiva garanteras. Denna kontroll behandlas inte i examensarbetet. I stället antas att ett duktigt brottbeteende sker vid användning av träfiberbaserade skivmaterial.

#### 10.4 Generella lärdomar

För fullständig stabilitetsdimensionering krävs att stjälpning och glidning av byggnaden förhindras, något som studien inte fastställer. Inte heller kontrolleras knäckning av vertikala reglar, buckling av väggskivor, tryckspänningar i syll eller kantavstånd vid förband mellan skivor och reglar. Erfarenhetsmässigt är det sistnämnda kravet ofta svårt att uppfylla för standard virkesdimensioner. Spänningar i skivmaterialet undersöks inte heller förutom den kontroll som utförs i FEM-modellen.

Träfiberbaserade skivors kapacitet beräknas enligt Eurokod 5. Resultaten i fallstudien baseras även på val av material från gipstillverkaren Gyproc. Hade gipsskivor från andra tillverkare använts är det troligt att andra tvärkraftskapaciteter hade erhållits. Kapaciteten för gips varierar mycket vilket kan bero på hur tillverkaren har testat sina skivor och utvärderat sina resultat. Genom att inkludera säkerhetsfaktorer och ta höjd för variationer på grund av förändringar i gipsrecept kan presenterade värden variera och vara missvisande mot verklig kapacitet. För att konstruktörer ska kunna motivera sina val hade det således varit intressant om tillverkare presenterade hur tvärkraftskapaciteten erhålls.

Att veta hur tillverkare fastställer sina kapacitetsvärden är intressant för att känna till om kapaciteten kan ökas för att ta hänsyn till gruppeffekt vid flera fästdon i rad. Om erhållna värden är testade för ett fåtal förankringspunkter kan kapaciteten ökas med 20% jämfört med när en full vägg testas där gruppeffekten inkluderas i kapacitetsvärdena. Detta är intressant för att kunna bedöma olika skivors inverkan när skivverkan nyttjas för horisontalstabilisering.

I fallstudien har plywood och/eller gips använts i samtliga beräkningar. För plywood är förbindarnas tvärkraftskapacitet beroende av materialets densitet vilket är komplicerat att hitta ett korrekt värde på. I tillgängliga produktdatablad presenteras densitetsvärden i intervall och varierar dessutom mellan olika tillverkare.

I enkätstudien framkommer det via respondenternas svar att vissa husproducenter och konstruktörer ibland väljer att, när den horisontella bärförmågan inte är tillräcklig, förstärka väggar med OSB. Materialet har marginellt högre tvärkraftskapacitet än plywood (vilket visas i Tabell 3), och vid en kontroll av tillgängliga prislistor framkommer det att OSB är något billigare än plywood. Således kan det vid en första anblick te sig som att OSB är mer fördelaktigt än plywood – både sett ur stabilitets- och ekonomisk synpunkt. Dock finns andra aspekter att ta hänsyn till om OSB används.

OSB är ett material som är mer känsligt för fukt jämfört med plywood. Vid deformationskontroll tas hänsyn till fuktberoendet genom deformationsfaktorn  $k_{def}$  (SS-EN-1995-1-1:2004, 2009). Om en OSB-skiva i anslutning till gips sväller kan det exempelvis medföra problem med deformationer. För att ta höjd för eventuella fuktproblem vid användande av OSB bör skivorna sättas med ett större inbördes avstånd sinsemellan jämfört med plywood. På så vis tillåts skivorna att svälla. För att erforderligt kantavstånd ska vara möjligt att uppfylla och för att stora tryckspänningar inte ska uppkomma mellan skivorna bör träregelstommen antingen vara tillverkad av en bredare dimension, eller genom att sätta två reglar av standarddimension tillsammans.

Examensarbetets dimensionering av referensobjektets ytterväggar utgår från antagandet att innerväggarna nyttjar 100 % av sin kapacitet. Det förutsätter att bjälklaget och taket är helt styvt. Risk för rotation av byggnaden kontrolleras inte, vilket motiveras med att huset är relativt symmetriskt.

I enkätstudien framkommer varierade åsikter huruvida kontroll av horisontalstabilitet enligt svensk byggstandard är överdriven eller ej. Några småhustillverkare menar att tillräcklig horisontalkapacitet är mycket svår att fastställa vid beräkning och att standarder är för konservativa i sina dimensioneringsmetoder. Andra menar att stabilitetsproblematiken bör tas på större allvar och vara en mer etablerad del i konstruktörers arbete. Generellt gäller att stabilitetsdimensionering innehåller många säkerhetsfaktorer och ett fåtal, eller nästintill inga, parametrar som ger möjlighet till reduktion av exempelvis vindlast. Referensobjektets höga höjd och geografiska placering gör att stora vindlaster genereras i det studerade området. Exempelvis kan husens inbördes avstånd i praktiken leda till att vindens hastighet eventuellt minskar och bör då beräkningsmässigt kunna reduceras, vilket i dagens läge inte är tillåtet enligt branschstandarder. Dock kan detta bli komplicerat i framtiden om ett eller flera hus demonteras.



## 11 Slutsats

### 11.1 Slutsatser från fallstudien

I detta avsnitt presenteras några viktiga slutsatser avseende frågeställningarna.

- ***Vilken dimensioneringsmetod ger den lägsta kostnaden avseende stabiliserande skivmaterial och förankringsbeslag?***

Fallstudien visar att nyanserad plastisk dimensioneringsmetod med full förankring ger den lägsta kostnaden för referensobjektet, se Figur 36. Utfallet beror på att skivor ovan och under öppningar bidrar till väggens stabilitet. Resultatet baseras på antaganden där till exempel förankringskraftens storlek begränsas och att metoden kan nyttjas trots att symmetri av öppningars placering inte råder mellan plan 1 och plan 2.

Vidare förutsätts metoden enbart vara tillämpbar för träfiberbaserade skivor vilket beror på att ett duktilt brott i skiv-regelförbanden måste uppfyllas. Således är det intressant att fastställa ett plastiskt brottbeteende vid användning av exempelvis gips för att möjligen kunna sänka kostnaden ytterligare.

Viktigt att ha i åtanke är att kostnadsbedömningen baseras på det studerade referensobjektet och att resultatet således inte är direkt applicerbart för alla typer av småhus. Om husets geometri och lastsituation tillåter gipsskivor enligt Metod A kan kostnaden eventuellt minska då materialet är billigare än träfiberbaserade skivor. Förankringskraften i fallstudien begränsas till 30 kN och nästintill samtliga dimensioneringsmetoder kräver träfiberbaserade skrivmaterial för tillräcklig skjubbärförmåga. Upp till denna dragkraft dikterar främst val av träfiberbaserat skivmaterial kostnadsutfallet. Om gipsskivor i stället används kan eventuellt priset på beslag vara den kostnadsdrivande faktorn.

- ***Hur kan infästningar förbättras för att erhålla hög kapacitet och produktionsvänliga lösningar?***

Vid komplicerade infästningar av vertikala regler kan det vara intressant att utvärdera möjligheten att använda partiell förankring. Förankringssättet är praktiskt enklare att genomföra men genererar lägre horisontell bärförmåga.

Om träfiberbaserade skivor används i en väggkonstruktion genereras störst bärförmåga när dessa placeras på vertikala regler. För att undvika fuktproblem i en yttervägg bör skivorna placeras på insidan av stommen. Ett möjligt alternativ, som bör undersökas vidare, är att tillåta ett större installationsskikt och smalare stomme. Detta leder till att förankringsbeslag kan placeras på insidan av väggen, se Figur 53, och ytterväggarna kan då levereras stängda till byggarbetsplatsen.

- ***Hur påverkas utnyttjandegraden vid justering av referensobjektets geometri?***

Horisontalkapaciteten blir för Metod A lägst då öppningarna placeras vid gavelns kanter, fall 1, vilket beror på att vissa skivbredder är för små för att inkluderas i beräkningarna enligt metoden. För nyanserad plastisk metod med partiell förankring blir den horisontella bärförmågan däremot minst gynnsam när öppningar placeras i mitten, fall 2. Det beror att sträckan  $l_3$  måste reduceras kraftigt vilket påverkar den effektiva längden och således den horisontella bärförmågan. Detta visar på metodernas beräkningsmässiga skillnader och att de lämpar sig olika väl beroende på lastsituation och geometriska förutsättningar. När takvinkeln sänks minskar vindlasten och är således en möjlig förändring som är intressant att beakta när stabiliseringsdimensionering genomförs.

Det mest positiva utfallet avseende utnyttjandegraden genereras vid fall 4, se kapitel 9.2. När taket sänks blir vindlasten väsentligt lägre och utnyttjandegraden minskar således.

## 11.2 Rekommendationer för industrin

Det är inte fullt okomplicerat att generellt rekommendera en typ av beräkningsmetod då flera faktorer och antaganden påverkar utfallet. Även tidsåtgången för beräkningar skiljer sig mellan metoderna. Beroende på om det är enstaka hus eller ett typhus som kan komma att massproduceras i vindutsatta områden är det fördelaktigt att göra en avvägning mellan projekteringsfasens tidsåtgång och genererad horisontell bärförmåga då detta kan påverka det slutliga kostnadsutfallet. Den nyanserade plastiska dimensioneringsmetoden kan, då den tillämpas första gången, upplevas svårbegriplig och därför vara tidskrävande. Dessutom kan inte metoden på ett enkelt vis standardiseras i exempelvis ett kalkylark.

För att undvika husutformningar vars stabiliserande förmåga är svår att fastställa beräkningsmässigt bör nyckelpersoner, till exempel arkitekter och konstruktörer, samarbeta i den inledande projekteringsfasen.

I Tabell 6 presenteras en kortfattad sammanställning av dimensioneringsmetodernas egenskaper. Metod B rekommenderas inte då det finns osäkerheter i hur metoden ska tillämpas. Inte heller rekommenderas elastisk metod då den bygger på framför allt två antaganden som är svåra att uppfylla i verkligheten; att de vertikala reglarna är böjstiva samt att knutpunkterna är ledade (Källsner & Girhammar, 2009).

Tabell 6 Sammanställning av dimensioneringsmetodernas egenskaper. N.p.m = Nyanserad plastisk metod

	Metod A	Metod B	N.p.m full förankring	N.p.m partiell förankring	Elastisk metod
Kapacitet	Medel	Låg	Hög	Medel	Medel
Tid för beräkning	Kort	Medel	Medel	Lång	Kort
Rekommenderas vid	- Ej komplicerad geometri - Då gips kan användas	-	Väggar med mycket öppningar	- Enplanshus - Längre avstånd mellan öppningar*	-
Skivmaterial	Alla typer	Träbaserade	Träbaserade	Träbaserade	Alla typer
Förankring	Stor, koncentrerad punktlast	Stor, koncentrerad punktlast	Stor, koncentrerad punktlast	Utbredd längs syll	Stor, koncentrerad punktlast

\*Med längre avstånd mellan öppningar menas tillräcklig vägglängd för att det plastiska skjuvflödet ska hinna byggas upp. Detta är beroende av vilket skivmaterial som används. En fingervisning ges av ekvation ( 20 ).

### 11.3 Förslag på framtida studier

Baserat på lärdomar och slutsatser har intressanta förslag på framtida studier identifierats.

- För att ytterligare utvärdera dimensioneringsmetodernas rimlighet är det intressant att genom laborietester undersöka fullskaliga väggar med öppningar. På så vis förväntas att en slutsats kan tas av hur mycket kapacitet som finns att hämta i skivor ovan och under öppningar samt om en konstruktions beteende stämmer överens med beräkningar.
- I fallstudien undersöks olika skivmaterial för dimensioneringsmetoderna. För att ta hänsyn till framtida miljöutmaningar bör klimatavtrycket för metoderna utvärderas.
- För att undvika konstruktioner där erforderlig skjubbärförmåga är komplicerad att fastställa bör en kommunikationsplan mellan berörda parter i ett projekt utvecklas. Genom att ha ett tydligt samarbete tidigt i projekteringsfasen är förhoppningen att dyra, avancerade och tidskrävande lösningar kan undvikas.
- Vid användning av Metod B har brister gällande metodens användning identifierats. Det presenteras inget generellt sätt huruvida skivor ovan och under öppningar kan användas eller hur skivor vid sidor av öppningar ska bemötas. Resultaten i studien visar att metoden inte är gynnsam vilket antas grunda sig i brister i hur den presenteras. Av denna anledning hade det varit av intresse att undersöka bakgrunden till metoden samt hur den kan användas optimalt.





## 12 Litteraturförteckning

Boverket (2011). *BFS 2011:6 BBR 18*, Karlskrona: Boverket.

Boverket (2019). *Boverkets konstruktionsregler, BFS 2011:10 med ändringar till och med 2019:1 (EKS 11)*. 1 red. Karlskrona: Boverket.

Caprolu, G. (2012). *Experimental Testing of Anchoring Devices for Bottom Rail in Partially Anchored Timber Frame Shear Walls With Two-Sided Sheathing*, Luleå: Luleå University of Technology Department of Civil, Environmental and Natural resources engineering, Division of Structural and Construction Engineering.

Caprolu, G. (2014). *Evaluation of Splitting Capacity of Bottom Rails in Partially Anchored Timber Frame Shear Walls*. Luleå: Luleå University of Technology.

Caprolu, G., Girhammar, U. A. & Källsner, B. (2015). *Analytical models for splitting capacity of bottom rails in partially anchored timber frame shear walls based on fracture mechanics*. [Online]  
<http://dx.doi.org/10.1080/17480272.2015.1075228>

Caprolu, G., Girhammar, U. A., Källsner, B. & Johnsson, H. (2012). *Tests on the splitting failure capacity of the bottom rail due to uplift in partially anchored shear walls*. Auckland, World conference on Timber Engineering.

Carling, O. (1992). *Dimensionering av träkonstruktioner*. 1 red. Göteborg: AB Svensk Byggtjänst och Träteknik.

Davidson, B. & Patel, R. (2018). *Forskningsmetodikens grunder*. 4:11 red. Lund: Studentlitteratur AB.

Girhammar, U. A., Källsner, B. & Daerga, P.-A. (2010). *Recommendations for design of anchoring devices for bottom rails in partially anchored timber frame shear walls*. u.o., WCTE World Conference On Timber Engineering.

Gyproc Saint Gobain (2012). *Gyproc monteringshandbok*. u.o.:Gyproc Saint Gobain .

Gyproc (2007). Statik. i: *Gyproc handbok 7, System för lättbyggnadsteknik*. Malmö: Elanders Berlings, pp. 480-515.

Gyproc (2019). *Gyproc Handbok System för lättbyggnadsteknik*. Bålsta: Saint-Gobain Sweden AB, Gyproc.

Isaksson, T. & Mårtensson, A. (2008). *Byggkonstruktion, Regel- och formelsamling*. 3:1 red. Lund: Studentlitteratur AB.

Isaksson, T., Mårtensson, A. & Thelandersson, S. (2017). *Byggkonstruktion*. 3:1 red. Lund: Studentlitteratur AB.

Johnsson, H. (2011). *Slutrapport Konstruktionsoptimering, Ett projekt inom TräCentrum Norr*. [Online]

[https://www.ltu.se/cms\\_fs/1.165882!/file/248209%20Konstruktionsoptimering%20%282011%29.pdf](https://www.ltu.se/cms_fs/1.165882!/file/248209%20Konstruktionsoptimering%20%282011%29.pdf)

Källsner, B. & Girhammar, U. A. (2009). Analysis of fully anchored light-frame timber shear walls—elastic model. *Materials and Structures* 42, <https://link.springer.com/article/10.1617/s11527-008-9463-x>, pp. 301-320.

Källsner, B. & Girhammar, U. A. (2009). *Horisontalstabilisering av träregelstommar, Plastisk dimensionering av väggar med träbaserade skivor*. 1 red. Stockholm: SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.

SP (2014). *Del av fuktsäkerhetsprojektering på våtrumsvägg* SP Rapport 4P00562, Stockholm: SP.

SS-EN 1990 (2014). *Eurokod – Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk*. 1 red. Stockholm: Swedish Standard Institute.

SS-EN-1991-1-4:2005 (2015). *Eurokod 1: Laster på bärverk - Del 1-4: Allmänna laster - Vindlast*. 1 red. Stockholm: Swedish Standard Institute.

SS-EN-1995-1-1:2004 (2009). *Eurokod 5: Dimensionering av träkonstruktioner – Del 1-1: Allmänt – Gemensamma regler och regler för byggnader*. 1 red. Stockholm: Swedish Standard Institute.

Svenskt trä (2019a). *Dimensionering av träkonstruktioner Del 1, Projektering av träkonstruktioner*. 3 red. Stockholm: Svenskt trä.

Svenskt trä (2019b). *Dimensionering av träkonstruktioner Del 2, Regler och formelsamling enligt Eurokod 5*. 3 red. Stockholm: Svenskt trä.

## Bilaga A – Egentyngd

Byggnadens tak är tvärläddorienterat och enbart gavlarnas och mellanbjälklagets egentyngd motverkar lyft av vertikala regler på gaveln. Den bundna permanenta lasten verkar gynnsamt. Då fasaden är en temporär konstruktion inkluderas inte fasadens egentyngd i lastnedräkningen.

Ingående materials egentyngder återfinns i Tabell 7.

Tabell 7 Ingående byggnadsmaterials karakteristiska egentyngder

Material	Karakteristisk tyngd [kN/m <sup>3</sup> ]
Plywood	6,0
Gips	7,2
Spånskiva	6,0
Mineralull	0,28
C24	3,5
C14	2,4
GL28cs	3,9

Gynnsam lastnedräkning presenteras i Tabell 8 till Tabell 11.

Tabell 8 Lastnedräkning för gavelns yttervägg

Gavel - Yttervägg							
Byggnadsdel	Material	Bredd [m]	Höjd [m]	Längd [m]	Tjocklek [m]	c/c-avstånd [m]	Utbredd last $q_i$ [kN/m]
Vindskiva	Gips	7,04	2,5		0,009		0,16
Vertikala regler	C24	0,045	0,17	2,5		0,45	0,15
Isolering	Mineralull	7,04		2,5	0,17		0,095
Väggskiva	Plywood	7,04	2,5		0,012		0,18
Horisontella regler	C14	0,045	0,045	7,04		0,45	0,092
							$\Sigma$ 0,68

Tabell 9 Lastnedräkning triangulär gavel vid tak

Gavel - Takvägg							
Byggnadsdel	Material	Bredd [m]	Höjd [m]	Längd [m]	Tjocklek [m]	c/c-avstånd [m]	Utbredd last $q_i$ [kN/m]
Vindskiva	Gips	7,04	1,25		0,009		0,081
Vertikala regler	C24	0,045	0,095	1,25		0,45	0,042
							$\Sigma$ 0,12

Tabell 10 Lastnedräkning mellanbjälklag

Mellanbjälklag							
Byggnadsdel	Material	Bredd [m]	Höjd [m]	Längd [m]	Tjocklek [m]	c/c-avstånd [m]	Utbredd last $q_i$ [kN/m]
Balk	GL28cs	0,045	0,22			0,45	0,16
Isolering	Mineralull	1,9		7,04	0,22		0,094
Golvskiva	Spånskiva	1,9		7,04	0,02		0,23
							$\Sigma$ 0,49

Tabell 11 Lastmedräkning innervägg

Innervägg							
Byggnadsdel	Material	Bredd [m]	Höjd [m]	Längd [m]	Tjocklek [m]	c/c-avstånd [m]	Utbredd last $q_i$ [kN/m]
Vertikala reglar	C24	0,045	0,095	2,5		0,45	0,083
Isolering	Mineralull		2,5		0,095		0,053
Väggskiva	Plywood		2,5		0,012		0,18
							$\Sigma$ 0,53

Karakteristiska och dimensionerande värden på den linjelast som verkar längs med gavlarna på plan 1 och plan 2 redovisas i Tabell 12.

Tabell 12 Permanent linjelast längsmed gavlarna

	Karakteristisk linjelast $q_{k,i}$ [kN/m]	Dimensionerande linjelast $q_{d,i}$ [kN/m]
Plan 1	1,96	1,96
Plan 2	0,80	0,80

Karakteristiska och dimensionerande värden på den linjelast som verkar längs med innerväggarna på redovisas i Tabell 13. Då lasten är gynnsam är den dimensionerande lasten ekvivalent med den karakteristiska lasten.

Tabell 13 Permanent linjelast längsmed innerväggarna

	Karakteristisk linjelast $q_{k,i}$ [kN/m]	Dimensionerande linjelast $q_{d,i}$ [kN/m]
Plan 1	0,53	0,53
Plan 2	0,53	0,53

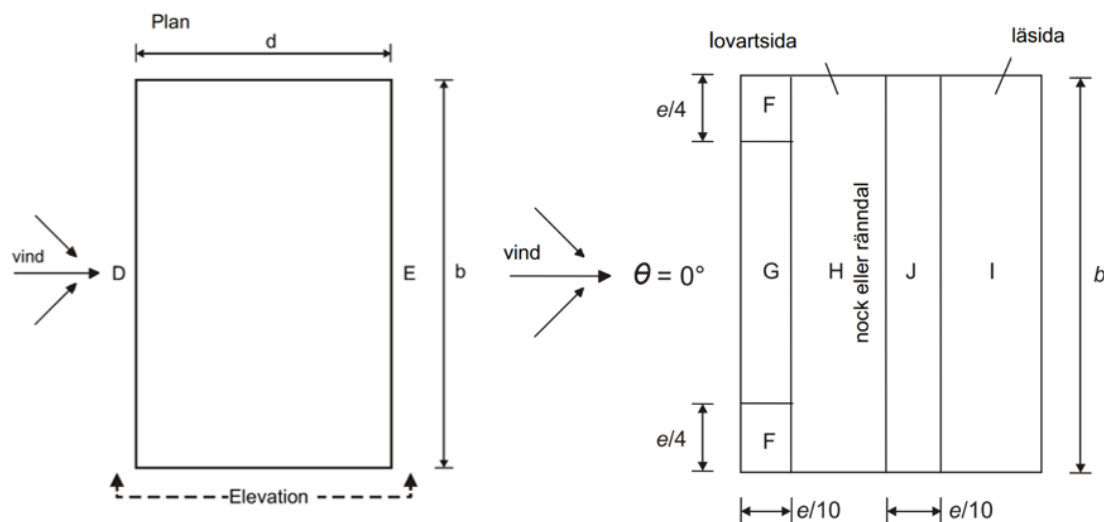
## Bilaga B – Vindlast

Den enda horisontella lasten som inkluderas i beräkningarna är vindlasten som bestäms enligt den förenklade modellen som presenteras i Eurokod 1 (SS-EN 1991-1-4:2005) och EKS 11. Anblåsning på långsidan är mest kritisk varvid anblåsning på kortsidan inte undersöks. Vindlasten är av momentan karaktär då den verkar som variabel huvudlast (Boverket, 2019).

Det karakteristiska vindtrycket bestäms utifrån referenshastigheten i området, referenshöjden samt terrängtyp.

Vindlasten ger upphov till en tryck- och en sugkraft när den angriper byggnaden. Hänsyn tas till lastens inverkan på lov- och läsida genom formfaktorer. Formfaktorn för utvändig vindlast beror av byggnadens höjd i förhållande till dess bredd samt vilken zon av byggnaden som beaktas. Invändigt tryck beror av öppningars storlek där den relativa öppningsaren ges av kvoten mellan samtliga öppningsareor, givet att formfaktorn för utvändig vindlast är mindre eller lika med noll, samt alla öppningsareor. Formfaktorer för invändig vindlast inkluderas inte i beräkningarna då mängden öppningar och läckagevägar inte kan fastställas.

Zonindelning för vertikala väggar samt sadeltak redovisas i Figur 55.



Figur 55 Zonindelning för väggar respektive sadeltak vid anblåsning på långsidan (Isaksson & Mårtensson, 2008)

Den utvändiga vindlasten beräknas enligt

$$w_e = q_p(z_e)c_{pe}$$

där

- $q_p(z_e)$  är karakteristiskt värde på vindens hastighetstryck [ $\text{kN/m}^2$ ];  
 $z_e$  är referenshöjd för utvändig vindlast [m];  
 $c_{pe}$  är formfaktor för utvändig vindlast [-].

För beräkning av resulterande horisontella punktlaster som verkar på varje enskilt plan används nettovindlasten med hänsyn till den minst gynnsamma kombinationen yttre formfaktorer.

## B.1 Beräkningar

För vindlast på väggar och tak beräknas det karakteristiska vindtrycket  $q_p$  genom interpolering av tabellerade värden för aktuell referenshöjd för väggar och tak. I Malmö är referensvindhastigheten  $v_b=26$  m/s och terrängtypen väljs till typ I då referensobjektet är beläget i ett plant och horisontellt område med försumbar vegetation och utan hinder. Vindlasten, med hänsyn till inre och yttre formfaktorer, för vertikala väggar och sadeltak erhålls ut beräkningsprogrammet FIN EC, vilket baseras på Eurokod 1.

Indata då vindlasten beräknas för vertikala väggar i FIN EC presenteras i Tabell 14.

Tabell 14 Indata vid beräkning av dimensionerande vindlast på vertikala väggar

Vindutsatt area [m <sup>2</sup> ]	70,2
Lastfaktor $\gamma_F$ [-]	1,5
Total höjd, $z_e$ [m]	5,4
Bredd, $b$ [m]	12,1
Längd, $d$ [m]	7,0

Det karakteristiska vindtrycket på väggarna beräknas genom interpolering med hjälp av tabellerade värden till  $q_p=0,95$  kPa.

Vindlasten som verkar på sadeltaket ger upphov till tryckande och sugande krafter. I enlighet med Eurokod 1 undersöks i FIN EC fyra olika fall för fördelning av lasten för att fastställa det fall som ger störst påverkan. Referenshöjden sätts till  $z_e=8,5$  m.

Det karakteristiska vindtrycket på sadeltaket beräknas genom interpolering med hjälp av tabellerade värden till  $q_p=1,04$  kPa

Karakteristisk utvändig vindlast för ytterväggarna presenteras i Tabell 15.

Tabell 15 Horisontell karakteristisk vindlast för vertikala väggar

Horisontell karakteristisk last $H_{k,l}$ [kN/m <sup>2</sup> ]				
h [m]	Zon A	Zon B	Zon D	Zon E
5,43	-1,14	-0,76	0,63	-0,37

Eftersom global stabilitet beräknas är det resulterande vindtrycket

$$q_k = 0,63 - (0,37) = 1,0 \text{ kN/m}^2$$

Verkande horisontella laster på båda planen beräknas och sammanställs i Tabell 16.

$$H_{k,vägg} = q_k h_{plan,i} l$$

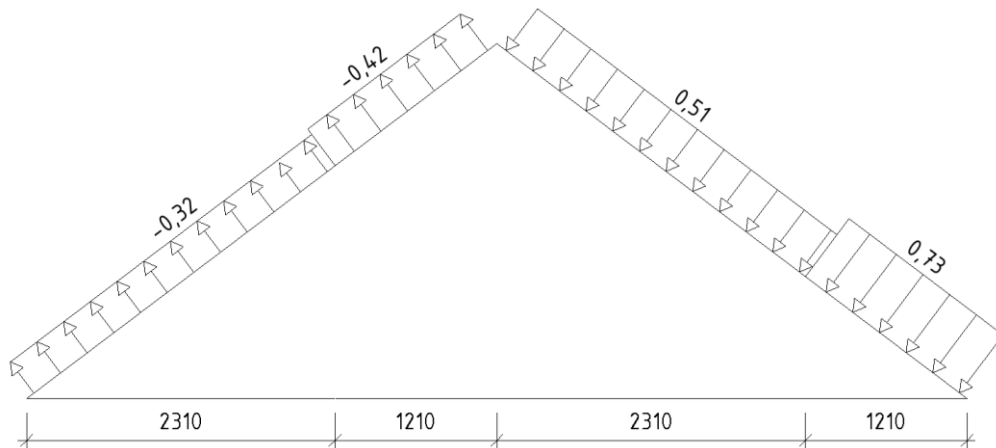
Tabell 16 Resulterande horisontella punktlaster för plan 1 och plan 2

Verkande horisontella laster [kN]		
	Plan 1	Plan 2
$H_{k,vägg}$	55,3	22,5

Motsvarande beräkningar genomförs för sadeltaket där vinkelrät karakteristisk last redovisas i Tabell 17 och Figur 56.

Tabell 17 Vinkelrät karakteristisk last på sadeltak

Vinkelrät karakteristisk last $H_{k,\perp}$ [kN/m <sup>2</sup> ]					
h [m]	Zon F	Zon G	Zon H	Zon J	Zon I
8,548	0,73	0,73	0,51	-0,42	-0,32



Figur 56 Vinkelrät last på sadeltak

Vindlasten räknas om från kN/m<sup>2</sup> till kN med avseende på respektive zons horisontella sträcka samt husets längd och redovisas i Tabell 18.

Tabell 18 Vindlast avseende respektive zons horisontella sträcka

Vinkelrät karakteristisk last $H_{k,\perp}$ [kN]					
h [m]	Zon F	Zon G	Zon H	Zon J	Zon I
8,548	10,77	10,77	17,85	-7,70	-11,12

För att generera laster som kan adderas med lastresultanterna för väggarna beräknas resulterande horisontella lastkomponenter för vinden som verkar på sadeltaket och redovisas i Tabell 19.

Tabell 19 Horisontella lastkomponenter på sadeltaket

Horisontell karakteristisk last $H_{k,\perp}$ [kN]					
h [m]	Zon F	Zon G	Zon H	Zon J	Zon I
8,548	6,48	6,48	10,70	-4,63	-6,74

För att erhålla den totalt verkande lasten beräknas det totala vindtrycket för taket

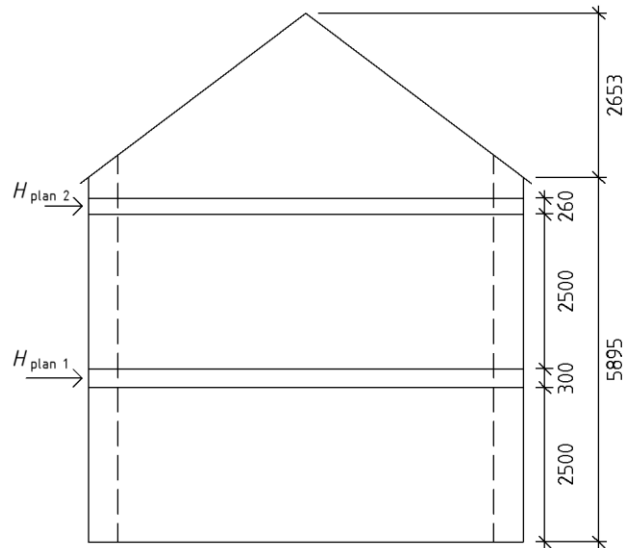
$$H_{k,tak} = (6,48 + 10,7) - (-4,6 - 6,74) = 28,6 \text{ kN}$$

Horisontella lastresultanter för väggar och tak ackumuleras nedåt i byggnaden. Plan 2 måste stabilisera och förankra vindlast som verkar på taket samt halva plan 2. Plan 1 stabiliseras för anblåsning på halva plan 1, plan 2 och taket. Influenshöjden för varje våningsplan redovisas i

Tabell 20. Vindlasten som verkar på den nedre halvan av plan 1 antas fördelas direkt till grunden enligt Figur 57.

Tabell 20 Influenshöjd på vilken vindlasten

Verkningshöjd [m]	
$h_{\text{plan 1}}$	4,6
$h_{\text{plan 2}}$	1,9



Figur 57 Fördelning av vindlast till plan 1 samt plan 2

Den dimensionerande vindlasten per våningsplan beräknas och redovisas i Tabell 21. Då referensobjektet är ett enbostadshus i två våningsplan används vid beräkning av dimensionerande vindlast säkerhetsklass 2,  $\gamma_d=0,91$ ,  $\gamma_{Q1}=1,5$ .

$$H_{d,plan i} = \gamma_d Q_{k,i} \gamma_{Q1}$$

Tabell 21 Total horisontell last för plan 1 och plan 2

	Total last [kN]
$H_{d,plan2}$	69,7
$H_{d,plan1}$	114,5



## Bilaga C – Enkätstudie

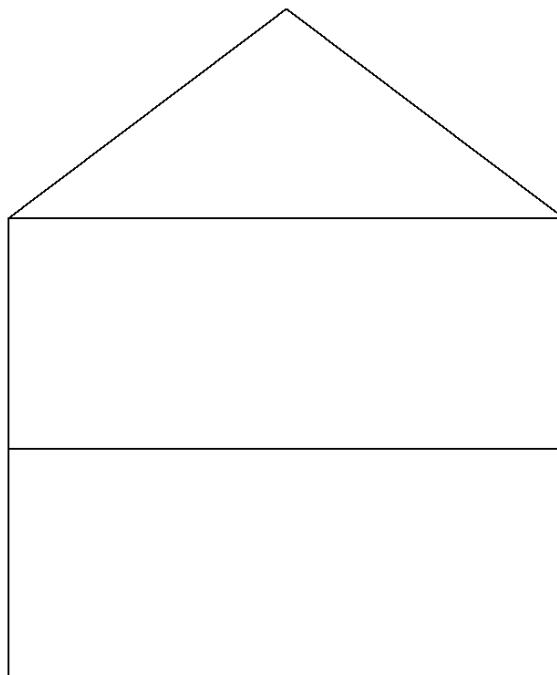
Nedan presenteras de frågor som ställs i enkäten.

### Inledning

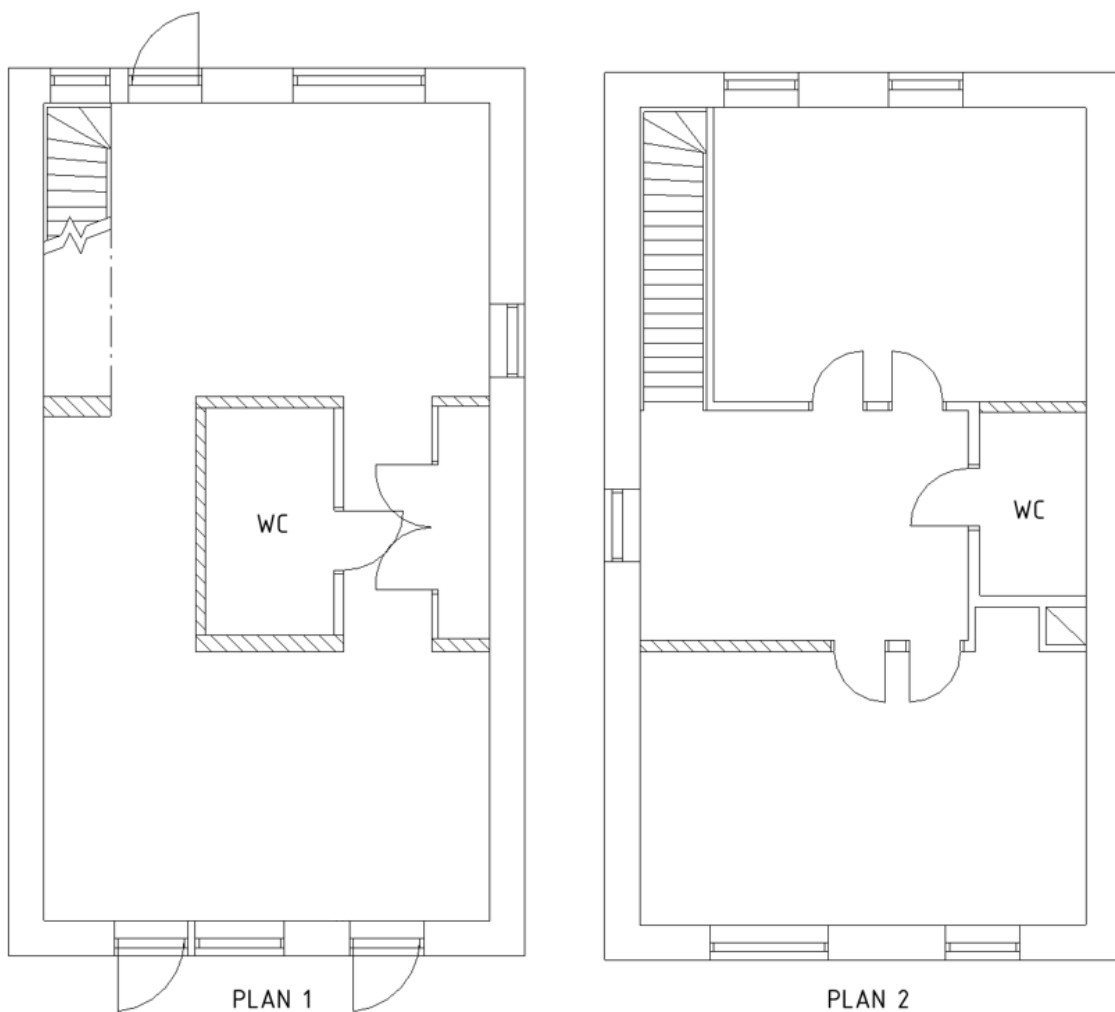
1. *Vem är du och vad är din yrkesroll? Beskriv en vanlig dag på jobbet.*
2. *Hur lång erfarenhet av husdimensionering har du?*

### Horisontalstabilisering

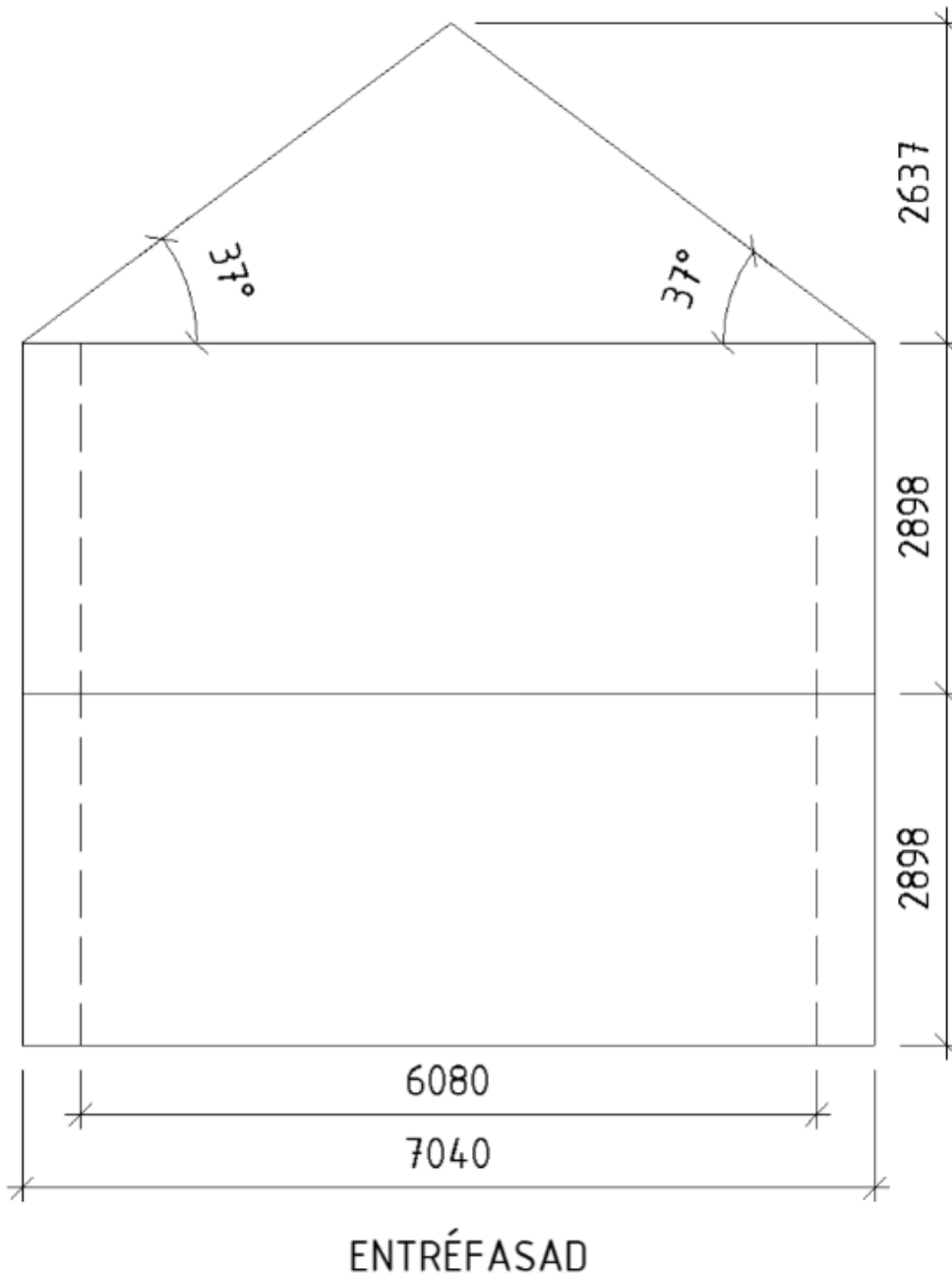
3. *Räknar ni på företaget horisontalstabilitet för småhus i trä?*
  - *Om ja: Vilken metod/metoder använder ni för att beräkna horisontalstabilitet och vad är vanligtvis tidsåtgången för detta? Hur motiverar ni val av beräkningsmetod? (Exempelvis Metod A eller Metod B i Eurokod eller annan metod)*
  - *Om nej: Hur motiverar ni tillräcklig horisontalkapacitet utan beräkningar?*
4. *Har du någon gång i din yrkeskarriär stött på problem vid horisontalstabilisering av småhus i trä?*
  - *Om ja: Vad har du gjort för att lösa problemet? (Exempelvis ändring av material, geometri och/eller dimensioneringsmetod).*
5. *Hur beräknar ni den dimensionerande horisontella vindlasten på varje enskilt plan samt ned till grunden? Beskriv gärna med ord och genom att markera proportionell storlek på punktlasterna på respektive plan i nedan presenterade skiss. Vilka verkningshöjder inkluderas för respektive våningsplan?*

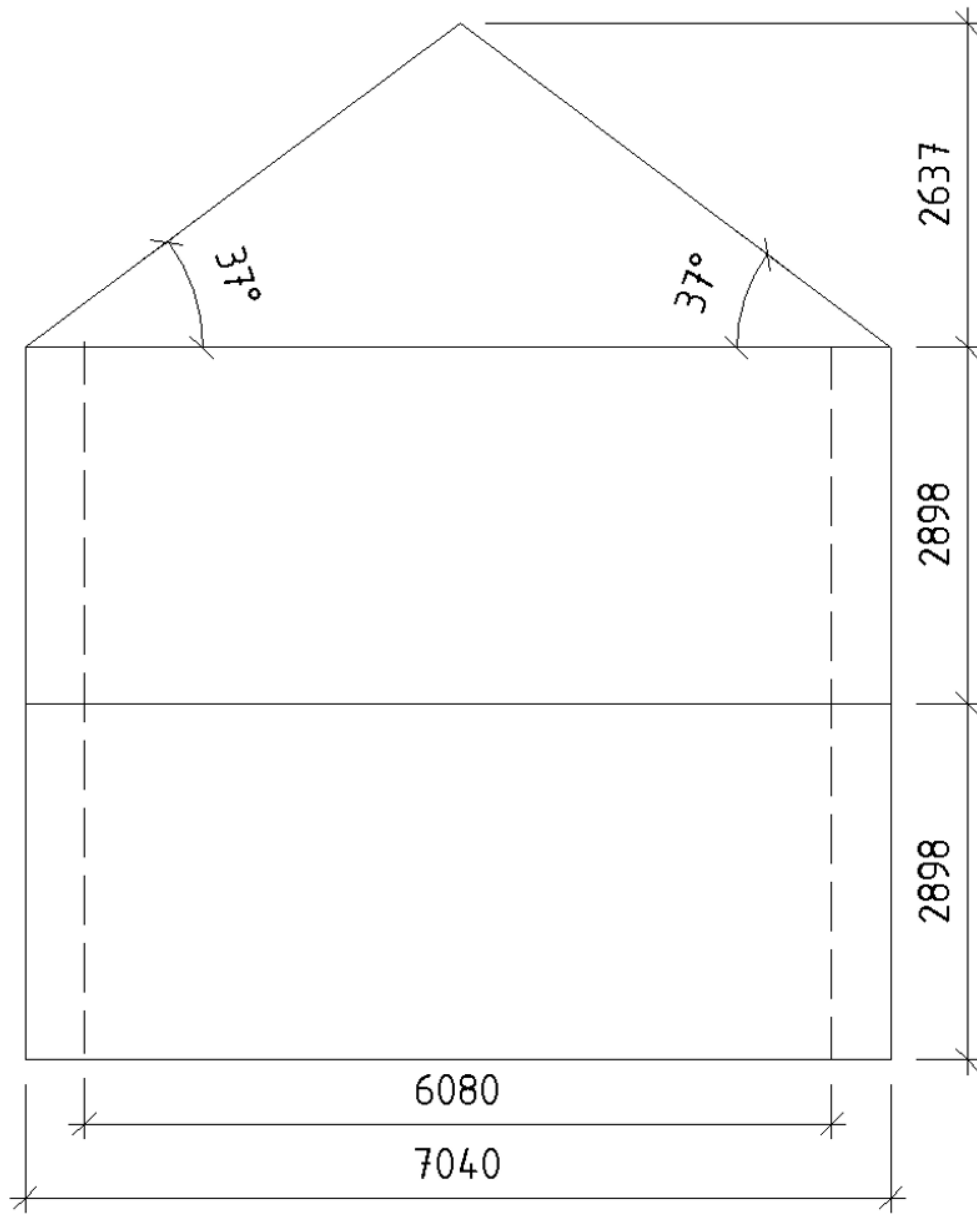


6. *Vilket typ av skivmaterial använder ni vanligtvis? Hur många, och vilken typ av, skivor används på träregelväggens in- och/eller utsida?*
7. *Vilka skivtillverkare använder ni? Vilka kriterier baseras valet på?*
8. *Hur anser du att stabiliseringen för referensobjektet kan optimeras? Se bifogade skisser för preliminär utformning. (Exempelvis ändring av geometri, val av material etc.).*
9. *Studera planskissen nedan där stabiliserande innerväggar är markerade. Var, sett till innerväggarna, hade du placerat ytterligare en stabiliserande vägg? Markera i skisserna och motivera ditt svar.*



10. Studera fasadskisserna för "Entréfasad" och "Trädgårdsfasad". Var placerar du öppningar, med givna dimensioner, för att optimera väggen för horisontalstabilisering? Dra fönster och dörrar till huset och motivera gärna ditt svar i text. Var försiktig så du inte råkar ändra storleken på bilderna.





TRÄDGÅRDSFASAD

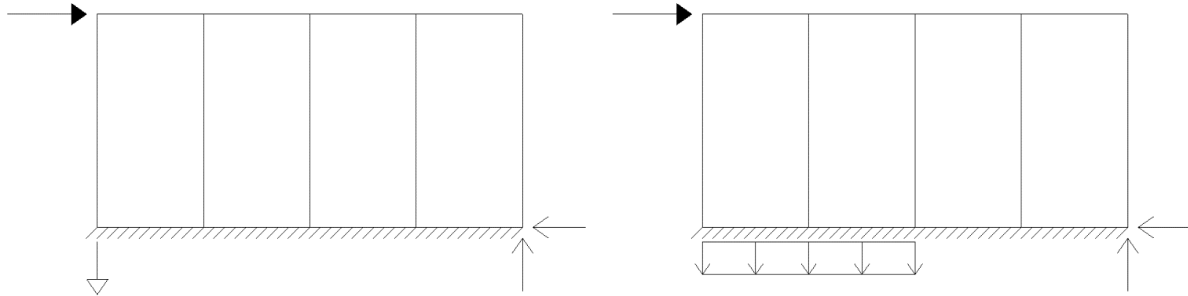
- |                                |                                   |                                 |                                   |                                   |
|--------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Dörr<br>plan 1 TF<br>1010x2210 | Fönster<br>plan 1 TF<br>1800x1600 | Fönster<br>plan 1 TF<br>810x810 | Fönster<br>plan 2 TF<br>1010x1610 | Fönster<br>plan 2 TF<br>1010x1610 |
|--------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|

## Förankring

11. Vilka typer av fästdon anser du bör användas mellan skiva och regler? Motivera gärna.

12. Hur ställer du upp din beräkningsmodell för att beräkna tillräcklig kapacitet för skjuvning och lyft?

(Exempelvis full förankring, partiell förankring, kombination av dessa eller annan modell. Vänster bild illustrerar full förankring och höger bild partiell förankring).



13. I praktiken, hur fäster ni syll och frontregel? Stämmer den teoretiska beräkningsmodellen överens med det praktiska tillvägagångssättet?

14. Nyttjar ni tvärväggar för horisontalstabilitet?

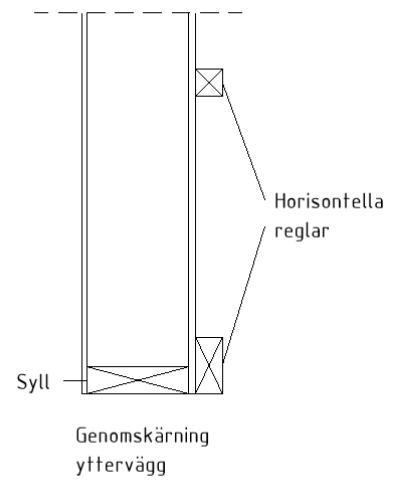
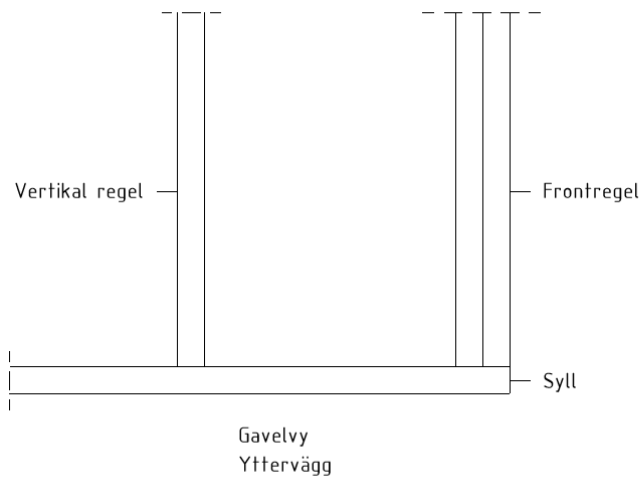
- Om ja: Hur förankras planelementen till varandra i hörnen?

När du går igenom frågorna 15 och 16 nedan uppskattar vi att du har projektets problematik som utgångspunkt och produktionsvänliga, billiga och optimerade lösningarna eftersöks. Dock välkomnas och uppskattas viss kreativitet.

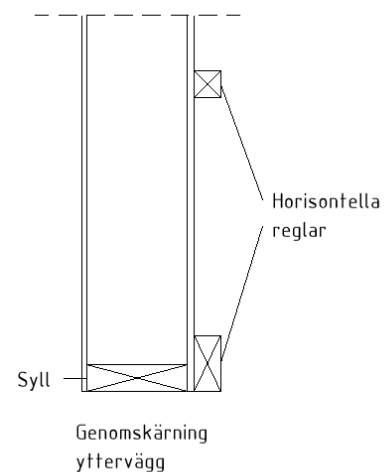
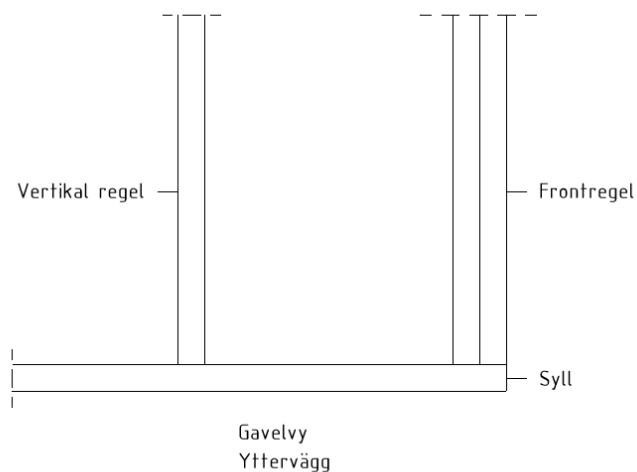
15. En förutsättning för referensobjektet är att installationsskikt finns. Hade du fäst skivan/skivorna till vertikala eller horisontella regler? Hur motiverar du ditt val?

16. Nedan finner du skisser för att själv markera infästningar, extra regler etc. Hur hade du i praktiken förankrat:

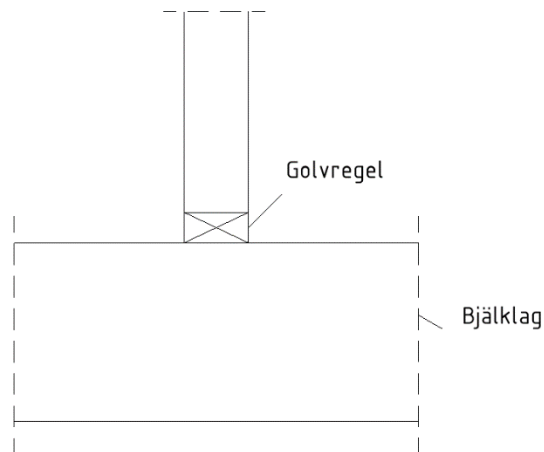
- Planelement mot grund för att motverka skjuvning?



- Planelement mot grund för att motverka lyft?

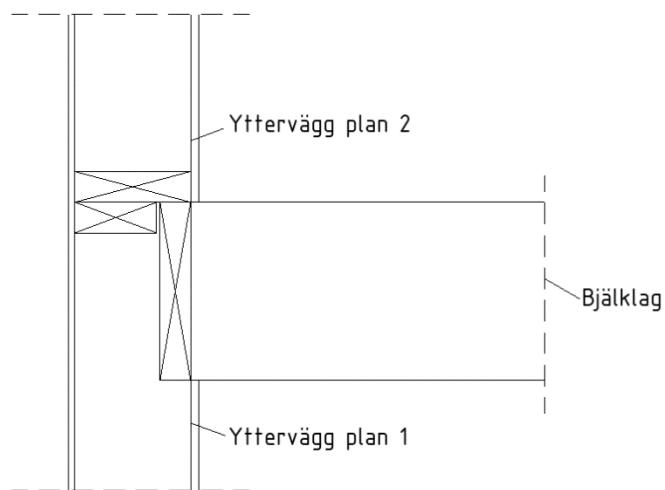


- Väggar på plan 2 till mellanbjälklaget?



Anslutning innervägg Plan 2 - Bjälklag

- Ytterväggen på plan 2 till ytterväggen på plan 1?



Anslutning yttervägg Plan 1 - Plan 2

### **Prefabricerade väggar – leverans**

17. I tidigare, liknande, projekt har planelementen levererats öppna och kompletterats med skivor efter att de har förankrats mot lyft och skjuvning. Ett önskemål från produktionen i referensprojektet är att planelementen är fullt beklädda med skivor vid leverans. Om detta ska vara möjligt, hur föreslår du att förankring mot lyft och skjuvning säkerställs?

### **Avslutning**

18. Är det något ytterligare du tillägga kring horisontalstabilisering av småhus i trä?





## Bilaga D - Exempelberäkningar

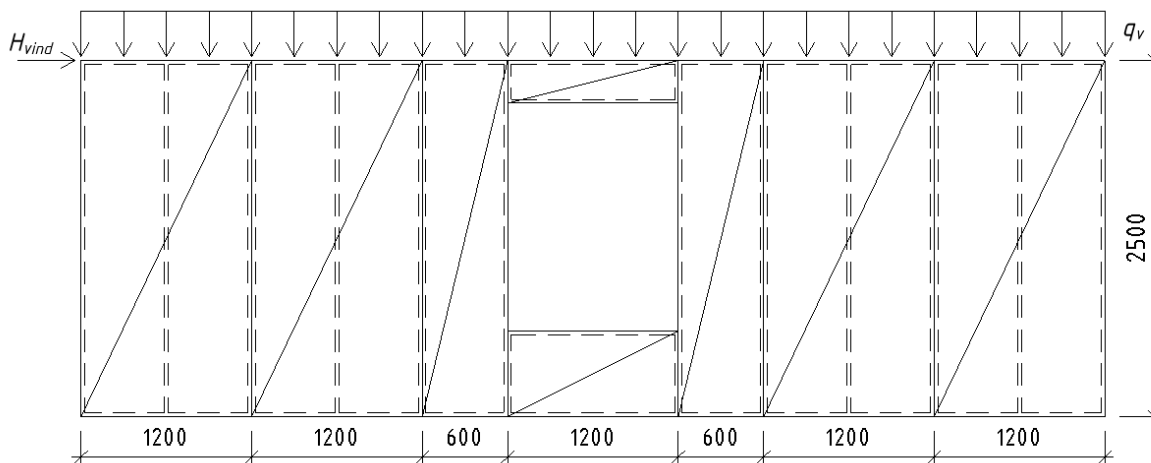
För att redovisa beräkningsgången för dimensioneringsmetoderna genomförs exempelberäkningar med dimensioner enligt Figur 58. I exempelberäkningar ansätts vindlasten,  $H_{vind}$ , till 40 kN och den utbredda vertikala lasten,  $q_v$ , till 1 kN/m. Skruvavstånd är 100 mm och Plywood 12 mm används vid samtliga exempel. Höjden på skivan ovan fönstret är 0,3 m och höjden under fönstret är 0,6 m.

Den jämnt utbredda lasten  $q_v$  räknas om till en punktlast  $V_v$  som verkar på varje vertikal regel

$$V_v = q_v \cdot 0,6 = 1,0 \cdot 0,6 = 0,6 \text{ kN}$$

Den dimensionerande skjuvbärförmågan ökas med 20% för att inkludera inverkan av flera fästdon på rad. En förbindarens tvärkraftskapacitet hämtas från Tabell 3.

$$F_{f,Rd} = 1,2 \cdot 810 = 972 \text{ N}$$



Figur 58 Vägg vid exempelberäkningar

### D.1 Metod A

Metod A beräknas enligt beräkningsgången som presenteras i kapitel 3.1.1.2. Med kravet om att minsta bredd är  $h/4$  redovisas de skivor som inkluderas i beräkningarna i Tabell 22.

Tabell 22 Sammanställning indata exempelberäkning Metod A

	Skiva 1	Skiva 2	Skiva 3	Skiva 4
$b_i$ [m]	1,2	1,2	1,2	1,2
$c_i$ [-]	0,96	0,96	0,96	0,96
$F_{i,v,Ed}$ [kN]	10	10	10	10

De yttre vertikala krafterna  $F_{i,c,Ed}$  och  $F_{i,t,Ed}$  beräknas;

$$F_{i,c,Ed} = F_{i,t,Ed} = \frac{F_{i,v,Ed} h}{b_i} - V_v = \frac{10 \cdot 2,5}{1,2} - 0,6 = 20,2 \text{ kN}$$

$$b_0 = \frac{h}{2} = \frac{2,5}{2} = 1,25$$

Faktorn  $c_i$  beräknas

$$c_i = \min \left\{ \frac{1}{b_i} = \min \left\{ \frac{1}{1,2} = 0,96 \right. \right.$$

$F_{i,v,Rd}$  är dimensionerande skjuvbärförmåga för varje delelement.

$$F_{i,v,Rd} = \frac{F_{f,Rd} b_i c_i}{s} = \frac{0,975 \cdot 1,2 \cdot 0,96}{0,1} = 10,5 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = \sum F_{i,v,Rd} = 4 \cdot 10,5 = 42,1 \text{ kN}$$

## D.2 Metod B

Metod B beräknas enligt beräkningsgången i kapitel 3.1.2.2 och indata sammanställs i Tabell 23.

Tabell 23 Sammanställning indata Metod B

$b_i$ [m]	1,2
$d$ [mm]	4,2
$\rho_k$ [kg/m <sup>3</sup> ]	350
$F_{f,Rd}$ [kN]	830

De yttre vertikala krafterna  $F_{i,c,Ed}$  och  $F_{i,t,Ed}$  beräknas enligt

$$F_{i,c,Ed} = F_{i,t,Ed} = \frac{F_{i,v,Ed} h}{b_i} - V_v = \frac{10 \cdot 2,5}{1,2} - 0,6 = 20,2 \text{ kN}$$

Den ekvivalenta lasten,  $q_i$ , beräknas

$$q_i = q_v = 1,0 \text{ kN/m}$$

Basavståndet med avseende på fästdonets diameter samt träramens densitet enligt

$$s_0 = \frac{9,7d}{\rho_k} = \frac{9,7 \cdot 4,2}{350} = 0,12 \text{ m}$$

Faktor för väggens dimension,  $k_d$ , beräknas för kravet

$$\frac{b_i}{h} = \frac{1,2}{2,5} = 0,48 \leq 1,0 \rightarrow k_d = 0,48$$

Faktorn  $k_{i,q}$  bestäms utifrån antagandet att delelementet är en solid kropp

$$k_{i,q} = 1 + (0,083q_i - 0,0008q_i^2) \left( \frac{2,4}{b_i} \right)^{0,4} = 1 + (0,083 \cdot 1,0 - 0,00081 \cdot 1^2) \left( \frac{2,4}{1,2} \right)^{0,4} = 1,1$$

Faktor för förbindaravstånd,  $k_s$ , beräknas

$$k_s = \frac{1}{0,86 \frac{s}{s_0} + 0,57} = \frac{1}{0,86 \frac{0,1}{0,12} + 0,57} = 0,78$$

Faktor för skivmaterial,  $k_n$ , tar hänsyn till om dubbelsidig eller enkelsidig skivbeklädnad används. I beräkningsexemplet används ensidig beklädnad varvid  $k_n=1,0$ .

Respektive delements dimensionerande skjувbärförmåga bestäms enligt

$$F_{i,v,Rd} = \frac{F_{f,Rd} b_i}{s_0} k_d k_{i,q} k_s k_n = \frac{0,996 \cdot 1,2}{0,12} 0,48 \cdot 1,1 \cdot 0,78 \cdot 1,0 = 4,1 \text{ kN}$$

Den totala bärförmågan för de fyra delementen beräknas

$$F_{v,Rd} = \sum F_{i,v,Rd} = 4 \cdot 4,1 = 16 \text{ kN}$$

### D.3 Plastisk metod

Nyanserad plastisk dimensionering utförs enligt beräkningsgången som beskrivs i kapitel 3.2. Väggen, se Figur 58, delas upp i två delar där den vänstra väggdelen inkluderar väggskivan under fönstret (väggdel 1) och den högra delen skivan över fönstret (väggdel 2).

Skiv-regelförbandets plastiska skjувkapacitet  $f_p$  per längdenhet beräknas

$$f_p = \frac{F_{f,Rd}}{s} = \frac{0,972}{0,1} = 9,72 \text{ kN/m}$$

Fönsteröppningens längd  $l_3$  är 1,2 m.

#### D.3.1 Full förankring

##### **Väggdel 1**

En fullt förankrad frontregel innebär att den påverkas av den vertikala lasten  $V_0$

$$V_0 = f_p h = 9,72 \cdot 2,5 = 24,3 \text{ kN}$$

Förankringskraften blir således

$$V_{ank} = V_0 - V_v = 24,3 - 0,6 = 23,7 \text{ kN}$$

Då väggdelens fulla tvärkraftskapacitet uppnås vid frontregeln är den fiktiva vägglängden  $l_1=0$ . Sträckan med plastiskt skjувflöde är

$$l_2 = 2 \cdot 1,2 + 0,6 = 3,0 \text{ m}$$

Reduktionsfaktorn beräknas

$$\lambda = \min \begin{cases} \lambda_1 = \frac{h}{l_3 h_{\text{under}}} \cdot \frac{n_{\text{knut}} F_{\text{knut}}}{f_p} = \frac{2,5}{1,2 \cdot 0,6} \cdot \frac{2 \cdot 0,97}{9,72} = 0,69 \\ \lambda_2 = \frac{2h}{l_3 (h - h_{\text{under}})} l_2 = \frac{2 \cdot 2,5}{1,2(2,5 - 0,6)} 3,0 = 6,58 = 0,68 \\ \lambda_3 = \frac{b_{\text{full}}}{l_3} = \frac{1,2}{1,2} = 1 \end{cases}$$

Upplagsreaktionen  $R_N$  i den vertikala regeln till vänster om öppningen beräknas

$$R_N = f_p (h - \lambda h_{\text{under}}) + V_N = 9,72(2,5 - 0,68 \cdot 0,6) + 0,6 = 20,9 \text{ kN}$$

Upplagsreaktionen  $R_N$  i den vertikala regeln till höger om öppningen beräknas

$$R_{\text{öpp}} = f_p \lambda h_{\text{under}} = 9,72 \cdot 0,68 \cdot 0,6 = 4,0 \text{ kN}$$

Den effektiva längden för väggdel 1 som överför skjuvkrafter beräknas enligt

$$l_{\text{eff},1} = \left( \frac{l_1}{2h} + \frac{V_{\text{ekv}}}{f_p h} \right) l_1 + l_2 + \frac{h_{\text{under}}}{h} \lambda l_3 = 0 + 3,0 + \frac{0,6}{2,5} \cdot 0,68 \cdot 1,2 = 3,2 \text{ m}$$

## Väggdel 2

En fullt förankrad frontregel innebär att den påverkas av den vertikala lasten  $V_0$

$$V_0 = f_p h = 9,75 \cdot 2,5 = 24,4 \text{ kN}$$

Förankringskraften beräknas

$$V_{\text{ank}} = V_0 - V_v - R_{\text{öpp}} = 24,4 - 0,6 - 4,1 = 19,7 \text{ kN}$$

Då väggdelens fulla tvärkraftskapacitet uppnås vid frontregeln är den fiktiva vägg längden  $l_1=0$ . Sträckan med plastiskt skjuvflöde är

$$l_2 = 2 \cdot 1,2 + 0,6 = 3,0 \text{ m}$$

Den effektiva längden för väggdel 2 som överför skjuvkrafter enligt

$$l_{\text{eff},2} = \left( \frac{l_1}{2h} + \frac{V_{\text{ekv}}}{f_p h} \right) l_1 + l_2 + \frac{h_{\text{under}}}{h} l_3 = 3,0 \text{ m}$$

Den totala effektiva längden

$$l_{\text{eff,tot}} = l_{\text{eff},1} + l_{\text{eff},2} = 3,2 + 3,0 = 6,2 \text{ m}$$

Väggens horisontella bärförmåga kan nu beräknas

$$H = f_p l_{\text{eff,tot}} = 9,72 \cdot 6,2 = 60,3 \text{ kN}$$

### D.3.2 Partiell förankring

Frontregeln och de vertikala reglar kring öppningen förankras med kraften 5 kN.

#### Väggdel 1

Den fiktiva vägglängden  $l_1$  beräknas förenklat

$$l_1 = h \left( 1 - \frac{V_0}{f_p h} \right) = 2,5 \left( 1 - \frac{5}{9,72 \cdot 2,5} \right) = 1,99 \text{ m}$$

Längden  $l_1$  beräknas igen, utan förenkling

$$l_1 = h \left( 1 - \frac{\sum_{i=0}^n V_i}{f_p h} \right) = 2,5 \left( 1 - \frac{0,6 \cdot 4 + 5}{9,96 \cdot 2,5} \right) = 1,8 \text{ m}$$

Den vertikala kraft som verkar på frontregeln är

$$V_{ekv} = \sum_{i=0}^n \left( \frac{l_1 - x_i}{l_1} V_i \right) = \frac{1,8 - 0}{1,8} (5 + 0,6) + \frac{1,8 - 0,6}{1,8} 0,6 + \frac{1,8 - 1,2}{1,8} 0,6 + \frac{1,8 - 1,8}{1,8} 0,6 = 6,2 \text{ kN}$$

Sträckan med plastiskt skjuvflöde är

$$l_2 = 3,0 - 1,8 = 1,2 \text{ m}$$

Reduktionsfaktorn bestäms enligt

$$\lambda = \min \begin{cases} \lambda_1 = \frac{h}{l_3 h_{under}} \left[ \left( 1 - \frac{l_1}{2h} - \frac{V_{ekv}}{f_p h} \right) l_1 + \frac{n_{knut} F_{knut}}{f_p} \right] \\ \lambda_2 = \frac{2h}{l_3 (h - h_{under})} \left[ \left( \frac{l_1}{2h} + \frac{V_{ekv}}{f_p h} \right) l_1 + l_2 \right] \\ \lambda_3 = \frac{b_{full}}{l_3} \end{cases}$$

och beräknas

$$\lambda = \min \begin{cases} \lambda_1 = \frac{2,5}{1,2 \cdot 0,6} \left[ \left( 1 - \frac{1,8}{2 \cdot 2,5} - \frac{6,2}{9,72 \cdot 2,5} \right) 1,8 + \frac{2 \cdot 0,97}{9,72} \right] = 3,12 \\ \lambda_2 = \frac{2 \cdot 2,5}{1,2(2,5 - 0,6)} \left[ \left( \frac{1,8}{2 \cdot 2,5} + \frac{6,2}{9,72 \cdot 2,5} \right) 1,8 + 1,2 \right] = 5,04 \\ \lambda_3 = \frac{1,2}{1,2} = 1 \end{cases}$$

Upplagsreaktionen  $R_N$  i den vertikala regeln till vänster om öppningen beräknas

$$R_N = f_p (h - \lambda h_{under}) + V_N = 9,72(2,5 - 1 \cdot 0,6) + 0,6 = 19,1 \text{ kN}$$

Upplagsreaktionen  $R_N$  i den vertikala regeln till höger om öppningen beräknas

$$R_{öpp} = f_p \lambda h_{under} = 9,72 \cdot 1 \cdot 0,6 = 5,8 \text{ kN}$$

Den effektiva längden för väggdel 1 som överför skjuvkrafter enligt

$$l_{eff,1} = \left( \frac{l_1}{2h} + \frac{V_{ekv}}{f_p h} \right) l_1 + l_2 + \frac{h_{under}}{h} \lambda l_3 = \left( \frac{1,8}{2 \cdot 2,5} + \frac{6,2}{9,72 \cdot 2,5} \right) 1,8 + 1,2 + \frac{0,6}{2,5} 1 \cdot 1,2 = 2,1 \text{ m}$$

### Väggdel 2

Den fiktiva vägg längden  $l_1$  beräknas förenklat

$$l_1 = h \left( 1 - \frac{V_0}{f_p h} \right) = 2,5 \left( 1 - \frac{5,0 + 6,0}{9,72 \cdot 2,5} \right) = 1,4 \text{ m}$$

Den maximala tvärkraft som kan överföras från väggdel 1 till väggdel 2 via skivan ovan fönstret  $V_{-2}$  är

$$V_{-2} = f_p h_{över} = 9,72 \cdot 0,3 = 2,9 \text{ kN}$$

Längden  $l_1$  beräknas igen, utan förenkling

$$l_1 = h \left( 1 - \frac{\sum_{-k}^n V_i}{f_p h} \right) = 2,5 \left( 1 - \frac{0,6 \cdot 3 + 2,9 + 6,0 + 5,0}{9,72 \cdot 2,5} \right) = 0,9 \text{ m}$$

Den vertikala kraft som verkar på frontregeln är

$$\begin{aligned} V_{ekv} &= \sum_{i=0}^n \left( \frac{l_1 - x_i}{l_1} V_i \right) \\ &= \frac{0,9 - (-1,2)}{0,9} 2,9 + \frac{0,9 - (-0,6)}{0,9} 0,6 + \frac{0,9 - 0}{0,9} (5 + 0,6 + 6) + \frac{0,9 - 0,6}{0,9} 0,6 \\ &= 15,1 \text{ kN} \end{aligned}$$

Sträckan med plastiskt skjuvflöde är

$$l_2 = 3,0 - 0,9 = 2,1 \text{ m}$$

Den effektiva längden för väggdel 2 som överför skjuvkrafter bestäms enligt

$$l_{eff,2} = \left( \frac{l_1}{2h} + \frac{V_{ekv}}{f_p h} \right) l_1 + l_2 + \frac{h_{under}}{h} l_3 = \left( \frac{0,9}{2 \cdot 2,5} + \frac{15,1}{9,72 \cdot 2,5} \right) 0,9 + 2,1 = 2,8 \text{ m}$$

Vilket ger den totala effektiva längden

$$l_{eff,tot} = l_{eff,1} + l_{eff,2} = 2,6 + 2,8 = 5,4 \text{ m}$$

Väggens horisontella bärförmåga kan nu beräknas

$$H = f_p l_{eff,tot} = 9,72 \cdot 5,4 = 52,5 \text{ kN}$$

#### D.4 Elastisk metod

De vertikala krafterna motsvarande förankringskraften beräknas

$$F_{i,c,Ed} = F_{i,t,Ed} = \frac{F_{i,v,Ed}h}{b_i} - V_v = \frac{10 \cdot 2,5}{1,2} - 0,6 = 20,2 \text{ kN}$$

Dimensionerande bärförmåga för en väggenhet beräknas

$$H_{d,i} = F_{f,Rd} \cdot \frac{b}{s} = 0,972 \cdot \frac{1,2}{0,1} = 11,7 \text{ kN} \quad \text{då } b = b_{\text{full}}$$

Den totala dimensionerande bärförmågan för väggen beräknas:

$$H_d = \sum H_{d,i} = 4 \cdot 11,7 = 46,7 \text{ kN}$$



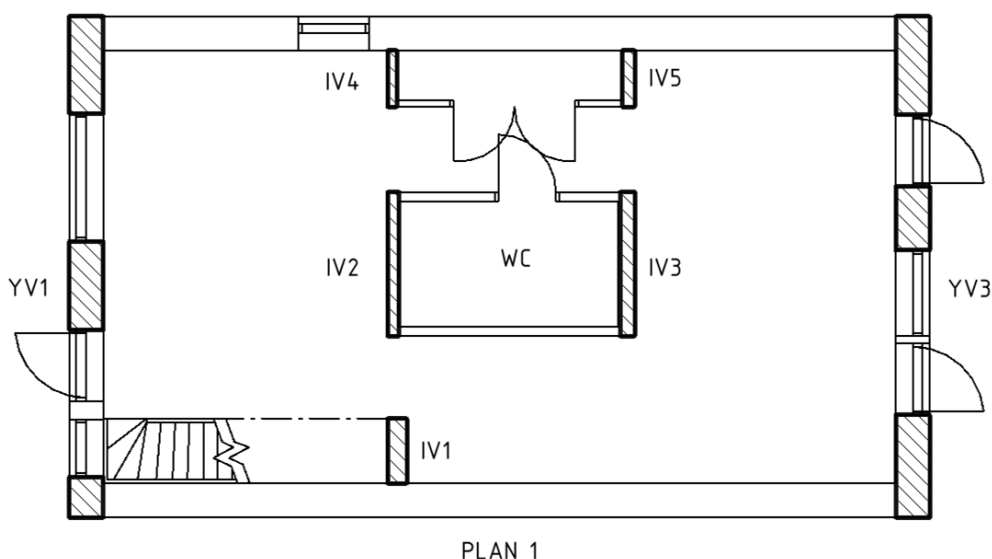


## Bilaga E – Studie 1

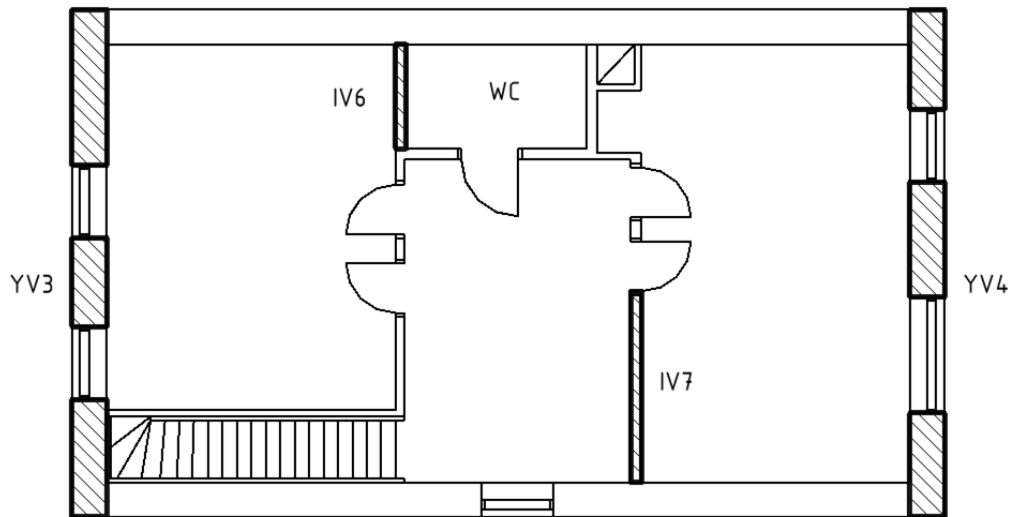
### E.1 Lastfördelning innerväggar Studie 1

Innerväggarnas horisontalkapacitet och förankringskrafter beräknas enligt Metod A då det är den rekommenderade metoden i Eurokod 5 samt att Metod A tillåter stabiliserande väggskivor av gips. Innerväggarna antas nyttja 100% av sin kapacitet och resterande last fördelar sig till ytterväggarna. Detta för att få en enklare jämförelse av ytterväggarnas kapacitet för de olika dimensioneringsmetoderna då innerväggarnas kapacitet hålls konstant. Vidar krävs då ingen iterativ process för att fördela vindlasten med avseende på enskilda väggars styvhet, vilket är tidskrävande då typ av skivmaterial varierar beroende på val av dimensioneringsmetod. Innerväggarna beräknas med Gyproc GR13 (hård gipsskiva) på samtliga väggar förutom insida WC, där plywood 15 mm används enligt branschstandard.

Kravet om maximalt 30 kN förankringskraft kvarstår. Stabiliserande innerväggar samt ytterväggar redovisas som skrafferade i Figur 59 och Figur 60. Respektive innerväggs horisontalkapacitet samt genererad förankringskraft presenteras i Tabell 24. I Tabell 25 redovisas den last som ytterväggarna måste ta upp. Denna last beräknas genom differensen mellan den totala vindlast som verkar på huset och innerväggarnas horisontella kapacitet.



Figur 59 Stabiliserande väggar på plan 1 är skrafferade



PLAN 2

Figur 60 Stabiliserande väggar plan 2 är skrafferade

Tabell 24 Horisontalkapacitet samt genererad förankringskraft för referensobjektets innerväggar i Studie 1

Innervägg	Material	$b_i$ [m]		$s$ [mm]	$F_{t,Ed}$ [kN]	$H_{Rd}$ [kN]
IV1	Innsida	GR 13		100	18,3	6,8
	Utsida					
IV2	Innsida	0,9	0,9		25,3	18,7
	Utsida	GR13				
IV3	Innsida	0,9	0,9		25,3	18,7
	Utsida	GR 13				
IV4	Innsida	GR 13			16,0	5,3
	Utsida					
IV5	Innsida	GR 13			16,0	5,3
	Utsida					
IV6	Innsida	Plywood 15			25,7	9,3
	Utsida	GR 13				
IV7	Innsida	0,9	0,9		18,8	13,7
	Utsida					
						$\Sigma 77,7$

Tabell 25 Dimensionerande horisontella laster som verkar på yttreväggarna

	$H_{Ed}$ [kN]
Plan 1	59,8
Plan 2	46,7

## E.2 Optimering för kostnadsbedömning

I den första delen av Studie 1 undersöks respektive dimensioneringsmetods kostnadsutfall. I Tabell 26 redovisas typ av väggskiva, s-avstånd, förankringskraft och horisontell utnyttjandegrad för samtliga ytterväggar beräknade enligt Metod A, Metod B, nyanserad plastisk dimensionering och elastisk dimensionering för denna del av studien.

Tabell 26 Förbindaravstånd, förankringskraft och utnyttjandegrad för de undersökta metoderna

		Material	s [mm]	$F_{t,Ed}$ [kN / kN/m]	Utnyttjande- grad [-]			
Metod A								
YV1		Plywood 15	100	26,4 / -	1,0			
YV2								
YV3		Plywood 9	150	14,2 / -	0,98			
YV4								
Metod B								
YV1	Lag 1	Plywood 12	50	23,5 / -	0,99			
	Lag 2			24,2 / -				
YV2	Lag 1					Plywood 9	100	15,0 / -
	Lag 2							
YV3	Lag 1	Plywood 9	100	15,8 / -	0,94			
	Lag 2							
YV4	Lag 1			Plywood 9		100	15,8 / -	0,94
	Lag 2							
Nyanserad plastisk dimensionering – full förankring								
YV1		Plywood 9	100		22,2 / -		0,88	
YV2								
YV3		Plywood 9	150	15,0 / -	0,85			
YV4								
Nyanserad plastisk dimensionering – partiell förankring								
YV1		Plywood 15	50	12,0 / 11,16	0,96			
YV2								
YV3		Plywood 12	100	6,0 / 9,72	1,0			
YV4								
Elastisk dimensionering								
YV1	Lag 1	Plywood 9	100	24,0 / -	0,95			
	Lag 2	GN 13						
YV2	Lag 1	Plywood 9	100	22,9 / -		0,94		
	Lag 2	GN 13						
YV3	Lag 1	GN 13	100	13,1 / -	0,94			
	Lag 2	GN 13						
YV4	Lag 1	GN 13	100	15,7 / -		0,94		
	Lag 2	GN 13						

Delresultaten för Metod A redovisas i Tabell 27 och delresultaten för Metod B i Tabell 28.

Tabell 27 Delresultat, kostnadsoptimering Metod A

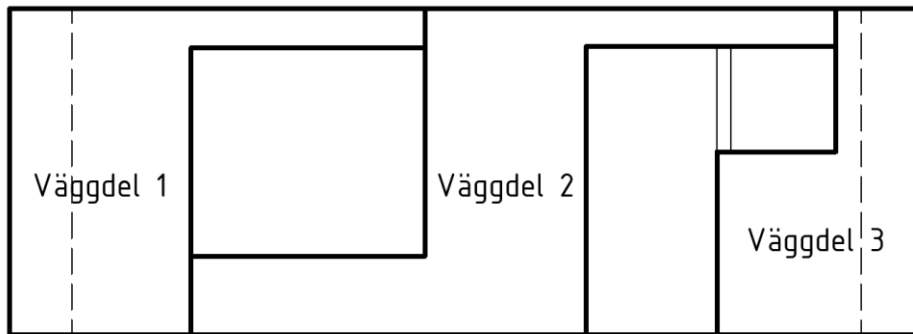
	Skiva	$b_i$ [m]	$q$ [kN/m]	$c_i$ [-]	$H_{Rd}$ [kN]	$H_{Rd,tot}$ [kN]
YV1	1	1,20	1,96	0,96	12,0	24,0
	2	1,20		0,96	12,0	
YV2	1	1,20	1,96	0,96	12,0	30,8
	2	0,90		0,72	6,8	
	3	1,20		0,96	12,0	
YV3	1	1,20	0,80	0,96	6,7	26,2
	2	1,00		0,80	5,6	
	3	1,20		0,96	6,7	
	4	1,20		0,96	6,7	
YV4	1	1,20	0,80	0,72	7,0	21,3
	2	1,20		0,72	7,0	
	3	1,20		0,72	7,0	

Tabell 28 Delresultat, kostnadsoptimering Metod B

	Skiva	$b_i$ [m]	$q_i$ [kN/m]	$k_{d,i}$ [-]	$k_{q,i}$ [-]	$k_s$ [-]	$k_n$ [-]	$H_{Rd}$ [kN]	$H_{Rd,tot}$ [kN]	Utnyttjandegrad [-]
YV1	1	1,20	1,96	0,48	1,21	1,07	2,0	12,4	24,8	0,99
	2	1,20		0,48	1,21			12,4		
YV2	1	1,20	1,96	0,48	1,21	1,07	2,0	12,4	31,9	
	2	0,90		0,36	1,24			7,1		
	3	1,20		0,48	1,21			12,4		
YV3	1	1,20	0,80	0,48	1,09	0,76	2,0	7,6	27,1	
	2	0,90		0,36	1,10			4,3		
	3	1,20		0,48	1,09			7,6		
	4	1,20		0,48	1,09			7,6		
YV4	1	1,20	0,80	0,48	1,09	0,76	2,0	7,6	22,8	
	2	1,20		0,48	1,09			7,6		
	3	1,20		0,48	1,09			7,6		

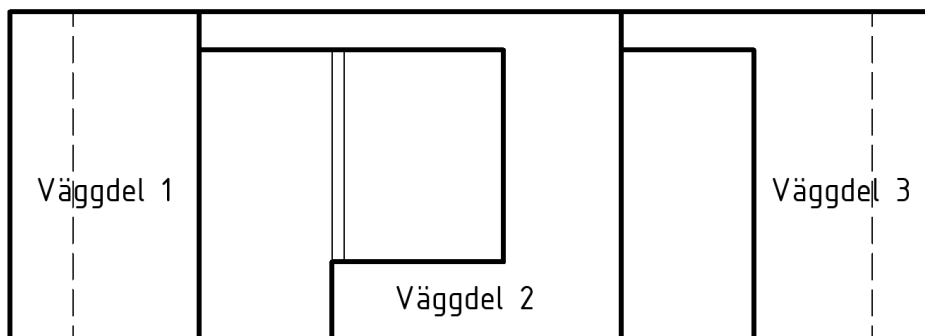
För nyanserad plastisk dimensionering delas ytterväggarna upp i väggdelar enligt Figur 61, Figur 62, Figur 63 och Figur 64. Dimensionerande horisontell bärförmåga och ingående parametrar som används vid beräkning redovisas för full förankring i Tabell 29 och för partiell förankring Tabell 30.

Delresultat för elastisk dimensionering presenteras i Tabell 31.



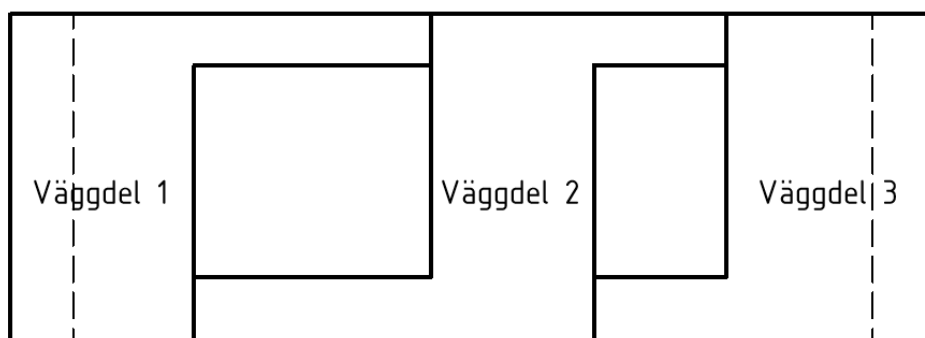
YV1

Figur 61 Vägguppdelaing YV1 plan 1. Avstånd från ytterväggens kant till vertikala streckade linjer vid kanterna avser långsidans vägg tjocklek



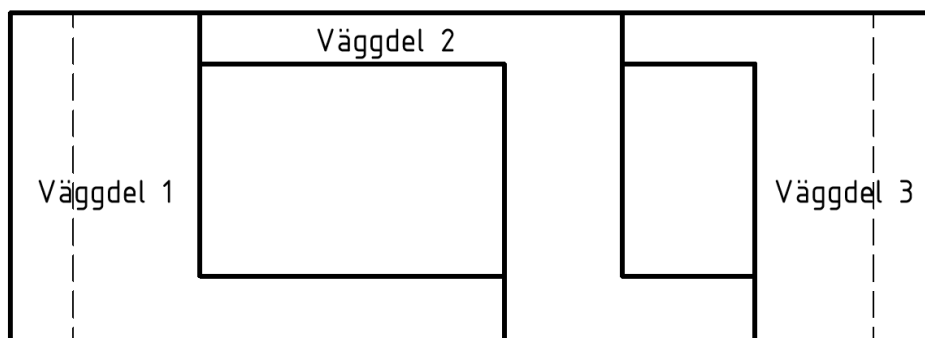
YV2

Figur 62 Vägguppdelaing YV2 plan 1. Avstånd från ytterväggens kant till vertikala streckade linjer vid kanterna avser långsidans vägg tjocklek



YV3

Figur 63 Vägguppdelaing YV3 plan 2. Avstånd från ytterväggens kant till vertikala streckade linjer vid kanterna avser långsidans vägg tjocklek



YV4

Figur 64 Vägghelning YV4 plan 2. Avstånd från yttreväggens kant till vertikala streckade linjer vid kanterna avser långsidans väggjocklek

Tabell 29 Delresultat, kostandsoptimering nyanserad plastisk metod full förankring

	Vägghel	$l_2$ [m]	$l_3$ [m]	$l_{eff}$ [m]	$\lambda$ [-]	$H_{Rd}$ [kN]	$H_{Rd,tot}$ [kN]	Utnyttjande- grad [-]
YV1	1	1,40		1,40		12,9	33,5	0,88
	2	1,24	1,80	1,40	0,49	13,4		
	3	0,57	1,01	0,68	0,19	7,2		
YV2	1	1,44		1,44		13,3	34,3	0,85
	2	0,90		0,90		8,3		
	3	1,38		1,38		12,8		
YV3	1	1,40		1,40		8,6	29,3	0,85
	2	1,24	1,80	1,53	0,67	9,4		
	3	1,59	1,01	1,83	1,00	11,3		
YV4	1	1,44	2,30	1,73	0,52	10,6	25,6	0,85
	2	0,90	1,01	1,05	0,65	6,5		
	3	1,38		1,38		8,5		

Tabell 30 Delresultat, kostandsoptimering nyanserad plastisk metod partiell förankring

	Vägghel	$l_1$ [m]	$l_3$ [m]	$l_{eff}$ [m]	$\lambda$ [-]	$f_{öpp}$ [kN/m]	$V_{ekv}$ [kN]	$H_{Rd}$ [kN]	$H_{Rd,tot}$ [kN]	Utnyttjande- grad [-]
YV1	1	1,40		1,33			18,7	14,9	30,6	0,96
	2	1,24	1,80	0,86	0,32	23,1	5,9	9,6		
	3	0,57	1,02	0,55	0,45	12,6	6,0	6,2		
YV2	1	1,44		0,72			6,0	8,1	27,8	1,0
	2	0,90		0,81			20,3	9,0		
	3	1,38		0,95			11,6	10,7		
YV3	1	1,40		0,87			23,5	8,5	25,6	1,0
	2	1,24	1,80	0,96	0,38	17,3	27,9	9,3		
	3	1,59	1,01	0,80	0,55	20,8	8,0	7,8		
YV4	1	1,44	2,30	0,58	0,25	19,6	7,9	5,6	21,1	1,0
	2	0,90	1,01	0,72	0,63	13,7	22,9	7,0		
	3	1,38		0,88			24,2	8,5		

Tabell 31 Delresultat, kostandsoptimering elastisk dimensionering

	Skiva	$b_i$ [m]	$H_{Rd}$ [kN]	$H_{Rd,tot}$ [kN]
YV1	1	1,20	14,6	31,3
	2	1,20	14,6	
	3	0,57	2,1	
YV2	1	1,20	14,6	32,0
	2	0,90	2,7	
	3	1,20	14,6	
YV3	1	1,20	8,0	25,8
	2	1,00	1,7	
	3	1,20	8,0	
	4	1,20	8,0	
YV4	1	1,20	8,0	24,1
	2	1,20	8,0	
	3	1,20	8,0	

### E.3 Jämförelse av horisontell bärförmåga

För att kunna göra en kvalitativ jämförelse mellan dimensioneringsmetodernas horisontal-kapacitet och förankringskraft undersöks samtliga beräkningsmetoder med samma skivmaterial samt skruvavstånd. Plywood 12 mm med förbindaravstånd 100 mm används.

Delresultaten för Metod A redovisas i Tabell 32 och delresultaten för Metod B redovisas i Tabell 33. För nyanserad plastisk metod med partiell förankring redovisas delresultat Tabell 34 och för nyanserad plastisk metod med full förankring i Tabell 35. Delresultaten för elastisk metod redovisas i Tabell 36.

Tabell 32 Delresultat, jämförelse av horisontell bärförmåga, Metod A

	Skiva	$b_i$ [m]	$q_i$ [kN/m]	$c_i$ [-]	$H_{Rd}$ [kN]	$H_{Rd,tot}$ [kN]	$F_{t,Ed}$ [kN]	Utnyttjandegrad [-]
YV1	1	1,20	1,96	0,96	11,2	22,4	21,2	1,17
	2	1,20		0,96	11,2		21,2	
YV2	1	1,20	1,96	0,96	11,2	28,7	24,6	
	2	0,90		0,72	6,3		24,6	
	3	1,20		0,96	11,2		24,6	
YV3	1	1,20	0,80	0,96	11,2	41,4	13,0	
	2	1,00		0,80	7,8		13,0	
	3	1,20		0,96	11,2		13,0	
	4	1,20		0,96	11,2		13,0	
YV4	1	1,20	0,80	0,96	11,2	33,6	14,2	
	2	1,20		0,96	11,2		14,2	
	3	1,20		0,96	11,2		14,2	

Tabell 33 Delresultat, jämförelse av horisontell bärförmåga, Metod B

	Skiva	$b_i$ [m]	$q_i$ [kN/m]	$k_{d,i}$ [-]	$k_{q,i}$ [-]	$k_s$ [-]	$k_n$ [-]	$H_{Rd}$ [kN]	$H_{Rd,tot}$ [kN]	Utnyttjandegrad [-]
YV1	1	1,20	1,96	0,48	1,21	0,76	1,0	4,5	9,0	2,74
	2	1,20		0,48	1,21			4,5		
YV2	1	1,20	1,96	0,48	1,21	0,76	1,0	4,5	11,5	
	2	0,90		0,36	1,24			2,6		
	3	1,20		0,48	1,21			4,5		
YV3	1	1,20	0,80	0,48	1,09	0,76	1,0	4,0	14,3	
	2	0,90		0,36	1,10			2,3		
	3	1,20		0,48	1,09			4,0		
	4	1,20		0,48	1,09			4,0		
YV4	1	1,20	0,80	0,48	1,09	0,76	1,0	4,0	12,0	
	2	1,20		0,48	1,09			4,0		
	3	1,20		0,48	1,09			4,0		

Tabell 34 Delresultat, jämförelse av horisontell bärförmåga, nyanserad plastisk metod - partiell förankring

	Väggdel	$l_1$ [m]	$l_3$ [m]	$l_{eff}$ [m]	$\lambda$ [-]	$f_{öpp}$ [kN/m]	$V_{ekv}$ [kN]	$H_{Rd}$ [kN]	$H_{Rd,tot}$ [kN]	Utnyttjandegrad [-]
YV1	1	1,40		1,32			17,1	13,4	31,1	1,06
	2	1,24	1,80	0,29	0,32	23,8	6,1	12,6		
	3	0,57	1,02	0,50	0,59	10,9	6,0	5,1		
YV2	1	1,44		0,77			6,0	7,4	25,3	
	2	0,90		0,84			20,7	8,2		
	3	1,38		0,99			11,8	9,7		
YV3	1	1,40		0,87			23,5	8,5	25,6	1,0
	2	1,24	1,80	0,96	0,38	17,3	27,9	9,3		
	3	1,59	1,01	0,80	0,55	20,8	8,0	7,8		
YV4	1	1,44	2,30	0,58	0,25	19,6	7,9	5,6	21,1	
	2	0,90	1,01	0,72	0,63	13,7	22,9	7,0		
	3	1,38		0,88			24,2	8,5		

Tabell 35 Delresultat, jämförelse av horisontell bärförmåga, nyanserad plastisk metod - full förankring

	Väggdel	$l_2$ [m]	$l_3$ [m]	$l_{eff}$ [m]	$\lambda$ [-]	$H_{Rd}$ [kN]	$H_{Rd,tot}$ [kN]	Utnyttjandegrad [-]
YV1	1	1,40		1,40		13,6	34,1	0,85
	2	1,24	1,80	1,44	0,46	14,0		
	3	0,57	1,01	0,69	0,18	6,5		
YV2	1	1,44		1,44		14,0	36,1	
	2	0,90		0,90		8,7		
	3	1,38		1,38		13,4		
YV3	1	1,40		1,40		13,6	45,0	0,56
	2	1,24	1,80	1,44	0,46	14,0		
	3	1,59	1,01	1,79	0,82	17,4		
YV4	1	1,44	2,32	1,64	0,36	15,9	39,0	
	2	0,90	1,01	0,99	0,41	9,7		
	3	1,38		1,38		13,4		



Tabell 36 Delresultat, jämförelse av horisontell bärförmåga, elastisk dimensionering

	Skiva	$b_i$ [m]	$H_{Rd}$ [kN]	$H_{Rd,tot}$ [kN]	$F_{t,Ed}$ [kN]	Utnyttjandegrad [-]
YV1	1	1,20	11,7	25,0	21,3	1,18
	2	1,20	11,7		21,3	
	3	0,57	1,64		21,3	
YV2	1	1,20	11,7	25,5	22,9	
	2	0,90	2,2		22,9	
	3	1,20	11,7		22,9	
YV3	1	1,20	11,7	37,4	13,1	0,64
	2	1,00	2,4		13,1	
	3	1,20	11,7		13,1	
	4	1,20	11,7		13,1	
YV4	1	1,20	11,7	35,0	15,7	
	2	1,20	11,7		15,7	
	3	1,20	11,7		15,7	

#### E.4 FEM-modellering

Modellering sker i Strusoft FEM Design 21. Innerväggarna antas nyttja 100% av sin kapacitet. För att erhålla ett resultat som är möjligt att jämföra mot handberäkningar modelleras ytterväggarna enligt nyanserad plastisk metod, full förankring. Detta angreppssätt väljs eftersom skivor ovan och under öppningar då kan beaktas och resultatet blir resultatet av handberäkningar och FEM-modellen blir således jämförbart.

Vid modellering väljs att enbart gavelväggarna på plan 1 och plan 2. Valet baseras på att det endast kraften i dessa väggelement är av intresse för diskussionen.

#### Reglar

De vertikala och horisontella reglarna i stommen modelleras som balkelement med dimension 45x170 av kvalitet C24. De vertikala reglarna som ansluter till horisontella reglar definieras som ledat infästa. Detta antas eftersom anslutningen sker genom att vinkelrät skruvningen eller spikning mellan virkesdelarna.

#### Skivor

I FEM Design 21 kan endast en skiva modelleras på regelstommen. Om två skivor med olika egenskaper används beskrivs dem genom att vikta samman skivornas elasticitetsmoduler och summera deras tjocklekar.

Skivorna modelleras som skalelement. För samtliga väggar väljs plywood 12 mm,  $E=8000$  MPa,  $\rho_{\text{Plywood}}=500$  kg/m<sup>3</sup>. Poissons tal väljs till  $\nu=0,3$ .

Det finns inget automatiserat sätt att modellera fästdonen mellan skiva och regel. Att modellera varje fästdon för sig anses onödigt tidskrävande och komplicerat i förhållande till genererat resultat, varvid skivornas kanter som motsvarar fästdonen förenklas till att vara fast inspända. Denna förenkling anses rimlig då skivan skruvarnas inbördes avstånd är litet, skivan är fäst till mittregeln och då skivan inte antas kunna rotera runt infästningarna.

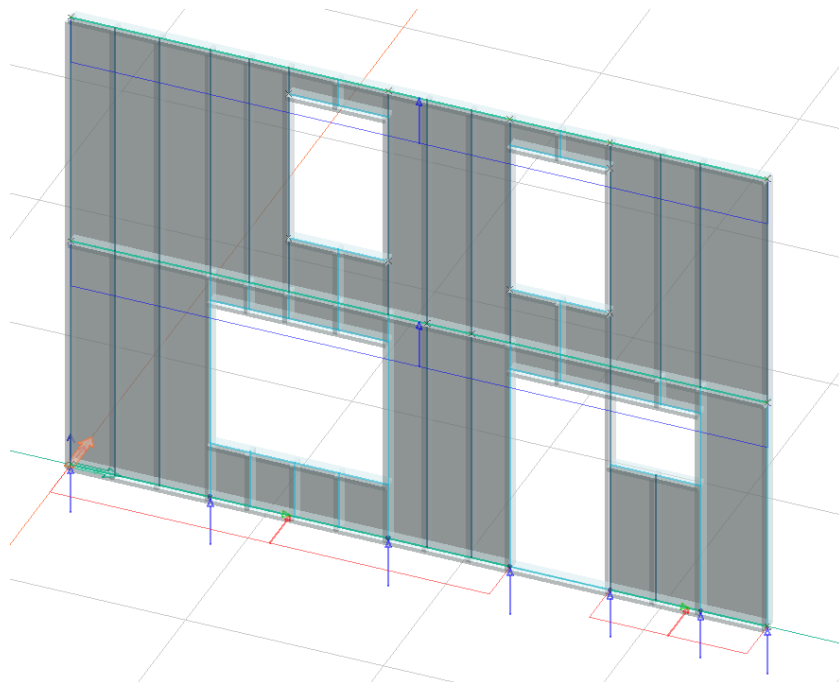
## Upplag

För att stabilisera väggarna i vertikalt läge ansätts ett linjeupplag längs väggarnas ovkant som endast kan ta tryckkrafter ( $K_x'=K_y'=0$ ). Detta motsvarar stabiliteten som genereras av ett styvt bjälklag och tak, vilket krävs för att krafter ska kunna överföras till de stabiliserande väggarna.

För att erhålla förankringskrafter för varje delement ansätts punktupplag vid gavlarnas väggslut samt vid öppningar ( $K_x'=K_y'=0$ ). Dessa redovisar de genererade vertikala krafterna motsvarande full förankring.

Syllen modelleras som ett linjeupplag som kan ta krafter i x- och y-led vilket motsvarar syllens förankring till grunden ( $K_z'=0$ ).

En yttervägg med linje- samt punktupplag redovisas i Figur 65.



*Figur 65 Modell av en yttervägg med punktupplag motsvarande förankringskrafter samt linjeupplag motsvarande syllens förankring till grunden samt stabilitet i horisontalplanet*

## Laster

Vindlasten, som beräknas enligt Bilaga B – Vindlast, ansätts som punktlaster på långsidornas övre hörn på plan 1 respektive plan 2. Egentyngderna för de två planen, vilka beräknas i Bilaga A – Egentyngd, adderas som linjelaster längs gavlarna och lastkombineras med vindlasten.

## Resultat

Resultaterande förankringskraft samt skjuvspänning i skivorna redovisas i Figur 66 till Figur 69.

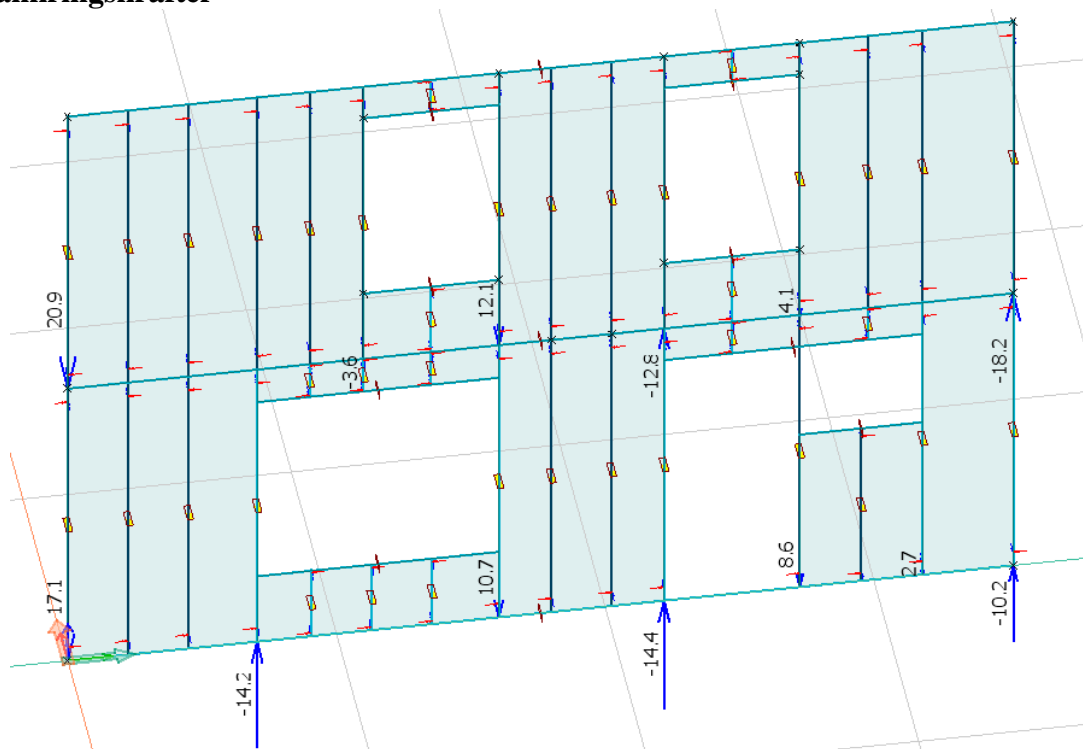
För att utvärdera skivornas kapacitet i resultaten från modellering jämförs skjuvspänningen med tabellerade värden för skjuvhållfasthet för plywood (Svenskt trä, 2019b). Eftersom skruvavstånd, vilket är en parameter för att bestämma skjuvflödet  $f_p$ , inte kan anges i FEM kan inte modelleringen jämföras med beräknade värden i denna aspekt. I de fall då stora men ytterst lokala skjuvspänningar uppkommer i FEM-modellen bortses de från då de antas kunna fördela sig i omgivande material. Största skjuvspänningen i skivornas ränder jämförs med tabellerade

värden i Tabell 37. Resultatet visar att skjuvspänningarna inte överstiger skjuvhållfastheten och skivorna går således inte till brott.

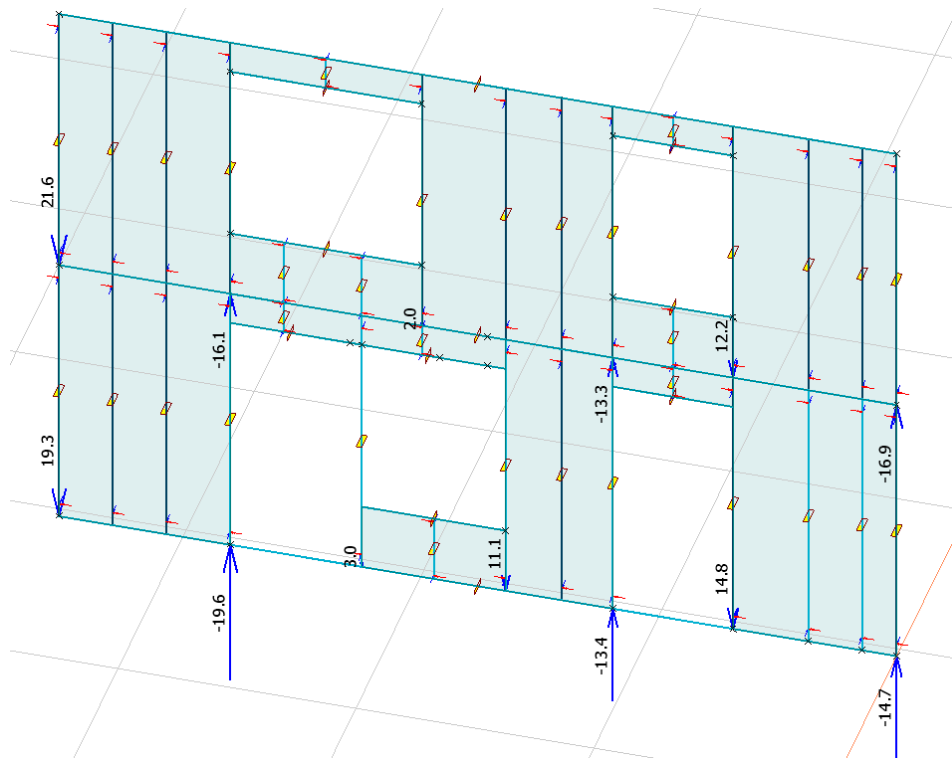
Tabell 37 Jämförelse mellan erhållen skjuvspänning i FEM-modellen och tabellerade värden för skjuvhållfasthet (Svenskt trä, 2019b)

Vägg	Största skjuvspänning $\tau_{xy}$ [MPa]	Tjocklek $t$ [mm]	Skjuvhållfasthet $f_v$ [MPa]
YV1	1,7	12	4,3
YV2	2,3	12	4,3
YV3	1,7	12	4,3
YV4	1,6	12	4,3

## Förankringskrafter

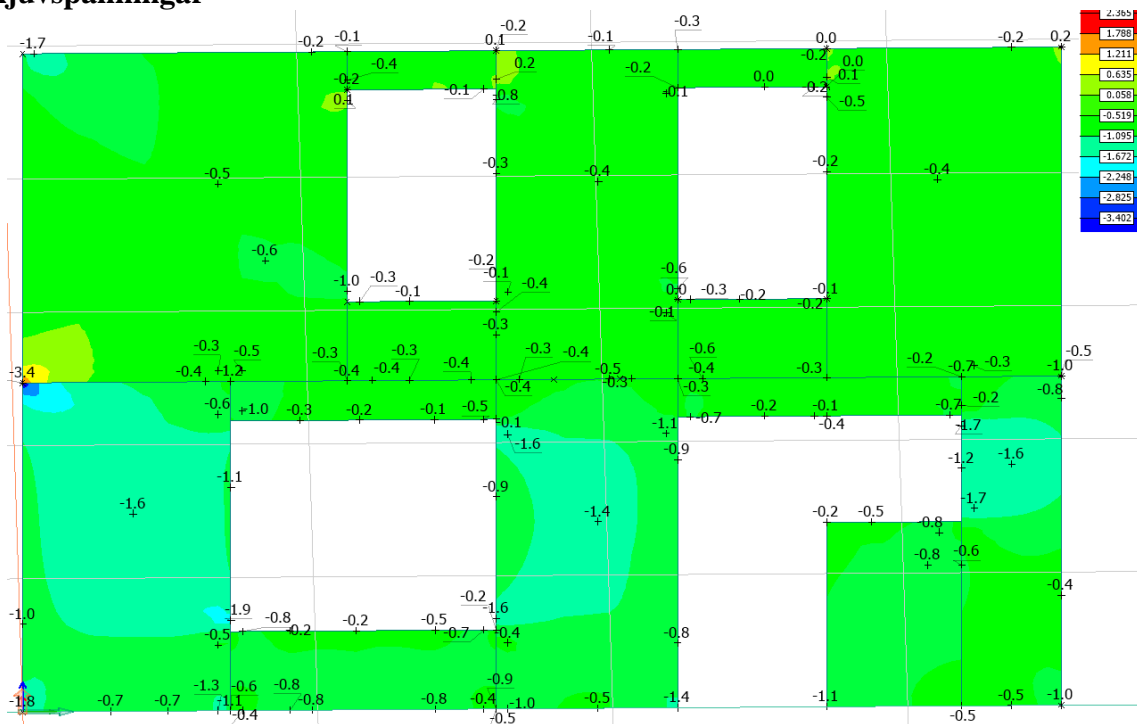


Figur 66 FEM, full förankring, trädgårdsfasad. Genererade drag- samt tryckkrafter

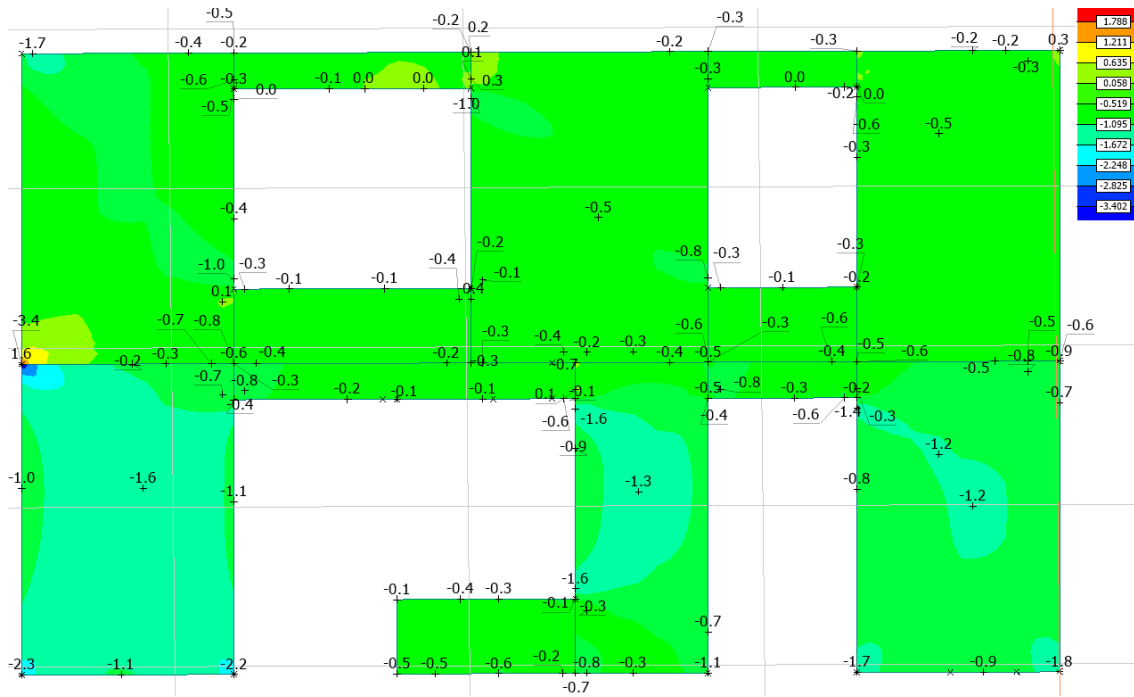


Figur 67 FEM, full förankring, entréfasad. Genererade drag- samt tryckkrafter

## Skjuvspänningar



Figur 68 FEM, full förankring, trädgårdsfasad. Skjuvspänningar längs skivornas kanter



Figur 69 FEM, full förankring, entréfasad, Skjuvspänning längs skivornas kanter



## Bilaga F - Studie 2: Ändring geometri

Samtliga metoder beräknas med plywood 12 och förbindaravstånd 100 mm.

### F.1 Fall 1 - Flytt av gavelöppningar till kortsida kant

#### F.1.1 Metod A

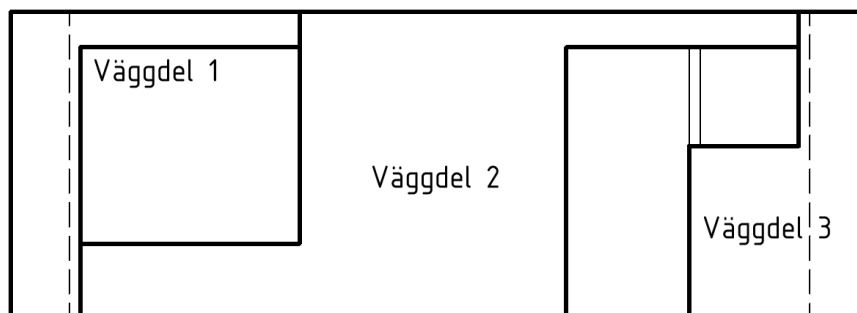
Delresultaten för Metod A redovisas i Tabell 38.

Tabell 38 Delresultat, fall 1 Studie 2, Metod A

	Skiva	$b_i$ [m]	$q_i$ [kN/m]	$c_i$ [-]	$H_{Rd}$ [kN]	$H_{Rd,tot}$ [kN]	$F_{t,Ed}$ [kN]	Utnyttjandegrad [-]
YV1	1	1,20	1,96	0,96	11,2	18,8	26,2	1,45
	2	0,99		0,79	7,6		26,2	
YV2	1	1,20	1,96	0,96	11,2	22,4	33,0	
	2	1,20		0,96	11,2		33,0	
YV3	1	1,20	0,80	0,96	11,2	33,6	15,8	0,75
	2	1,20		0,96	11,2		15,8	
	3	1,20		0,96	11,2		15,8	
YV4	1	1,20	0,80	0,96	11,2	28,4	15,9	
	2	1,20		0,96	11,2		15,9	
	3	0,88		0,70	6,0		15,9	

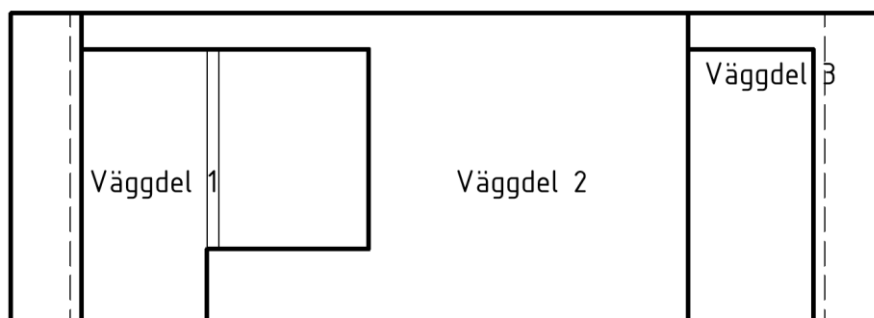
#### F.1.2 Nyanserad plastisk dimensionering

För nyanserad plastisk dimensioneringsmetod delas ytterväggarna upp i väggdelar enligt Figur 70 till Figur 73. Delresultaten för nyanserad plastisk metod redovisas i Tabell 39 och Tabell 40.



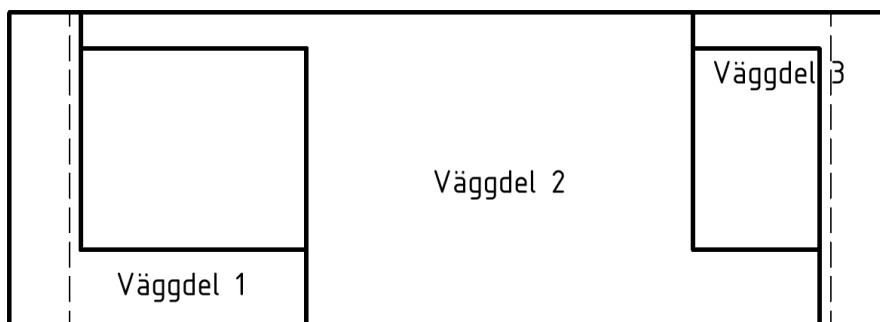
YV1

Figur 70 Vägguppdelning YV1, fall 1. Avstånd från ytterväggens kant till vertikala streckade linjer vid kanterna avser långsidans väggjocklek



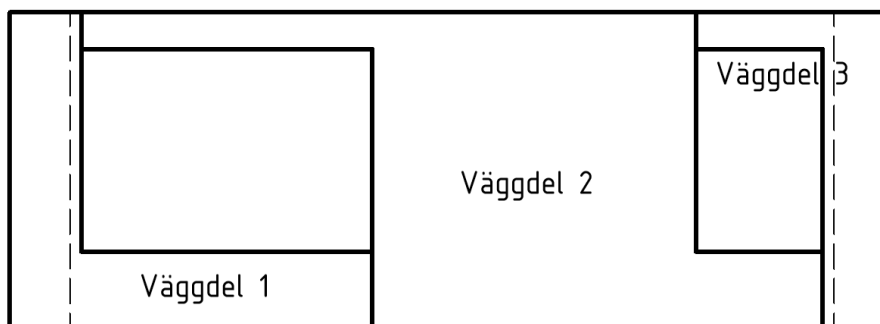
YV2

Figur 71 Vägguppdelning YV2, fall 2. Avstånd från ytterväggens kant till vertikala streckade linjer vid kanterna avser långsidans väggjocklek



YV3

Figur 72 Vagguppdelning YV3, fall 3. Avstånd från ytterväggens kant till vertikala streckade linjer vid kanterna avser längsidans väggjocklek



YV4

Figur 73 Vagguppdelning YV4, fall 4. Avstånd från ytterväggens kant till vertikala streckade linjer vid kanterna avser längsidans väggjocklek

Tabell 39 Delresultat, fall 1 Studie 2, nyanserad plastisk metod - partiell förankring

	Vaggdel	$l_1$ [m]	$l_2$ [m]	$l_3$ [m]	$l_{eff}$ [m]	$\lambda$ [-]	$f_{\text{öpp}}$ [kN/m]	$V_{ekv}$ [kN]	$H_{Rd}$ [kN]	$H_{Rd,tot}$ [kN]	Utnyttjande- grad [-]
YV1	1	0,57			0,55			20,6	5,3	30,9	0,96
	2	1,88	0,31	1,80	2,10	0,16	40,5	10,3	20,5		
	3	0,57		0,90	0,52	0,75	8,2	6,0	5,1		
YV2	1	0,57			0,21			6,0	2,0	30,8	0,81
	2	1,88	0,69		2,58			16,5	25,0		
	3	0,57			0,39			13,8	3,8		
YV3	1	0,57			0,57			53,7	5,5	34,2	0,81
	2	3,09		1,80	2,76	0,92	32,9	16,4	26,8		
	3	0,57		1,01	0,19	0,23	12,6	7,1	18,3		
YV4	1	0,57		2,32	0,19	0,11	11,1	7,1	18,3	23,4	0,81
	2	2,58		1,01	1,84	0,38	30,3	16,7	17,8		
	3	0,57			0,39			30,3	3,8		



Tabell 40 Delresultat, fall 1 Studie 2, nyanserad plastisk metod – full förankring

	Väggdel	$l_2$ [m]	$l_3$ [m]	$l_{\text{eff}}$ [m]	$\lambda$ [-]	$H_{\text{Rd}}$ [kN]	$H_{\text{Rd,tot}}$ [kN]	Utnyttjandegrad [-]
YV1	1	0,57		0,57		5,54	34,3	0,83
	2	2,19	1,80	2,40	0,46	23,2		
	3	0,57	0,90	0,77		7,5		
YV2	1	0,57		0,57		5,5	36,1	
	2	2,58		2,58		25,0		
	3	0,57		0,57		5,5		
YV3	1	0,57		0,57		5,5	45,0	0,56
	2	2,58	1,80	3,29	0,46	32,0		
	3	0,57	1,01	0,77	0,82	7,5		
YV4	1	0,57	2,32	0,77	0,36	7,5	39,0	
	2	2,58	1,01	2,67	0,41	26,0		
	3	0,57		0,57		5,5		

## F.2 Fall 2 - Flytt av gavelöppningar till kortsidans mitt

### F.2.1 Metod A

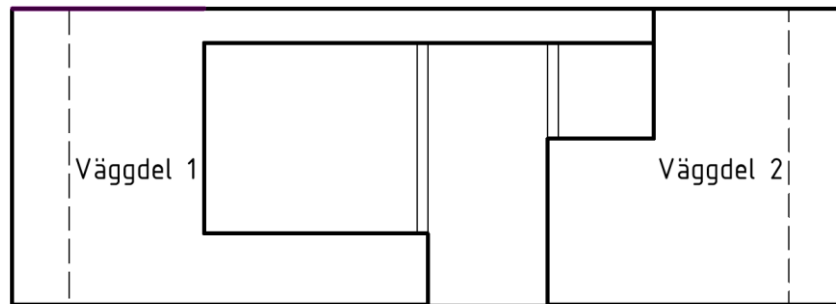
Delresultaten för Metod A redovisas i Tabell 41.

Tabell 41 Delresultat, fall 2 Studie 2, Metod A

	Skiva	$b_i$ [m]	$q_i$ [kN/m]	$c_i$ [-]	$H_{\text{Rd}}$ [kN]	$H_{\text{Rd,tot}}$ [kN]	$F_{t,Ed}$ [kN]	Utnyttjandegrad [-]
YV1	1	0,90	1,96	0,72	6,3	20,7	19,9	1,30
	2	0,72		0,58	4,0		19,9	
	3	0,90		0,72	6,3		19,9	
	4	0,72		0,58	4,0		19,9	
YV2	1	0,90	1,96	0,72	6,3	25,2	21,9	
	2	0,90		0,72	6,3		21,9	
	3	0,90		0,72	6,3		21,9	
	4	0,90		0,72	6,3		21,9	
YV3	1	1,20	0,80	0,96	11,2	44,8	13,0	0,57
	2	1,20		0,96	11,2		13,0	
	3	1,20		0,96	11,2		13,0	
	4	1,20		0,96	11,2		13,0	
YV4	1	1,20	0,80	0,96	11,2	36,9	11,8	
	2	0,97		0,77	7,2		11,8	
	3	1,20		0,96	11,2		11,8	
	4	0,97		0,77	7,2		11,8	

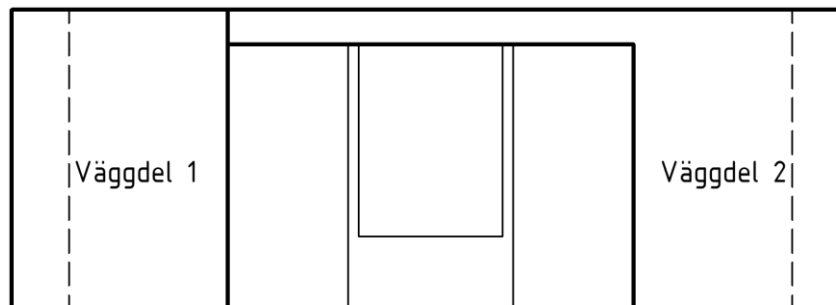
### F.2.2 Nyanserad plastisk dimensionering

För nyanserad plastisk dimensioneringsmetod delas ytterväggarna upp i väggdelar enligt Figur 74 till Figur 77. Delresultaten för nyanserad plastisk metod redovisas i Tabell 42 och Tabell 43.



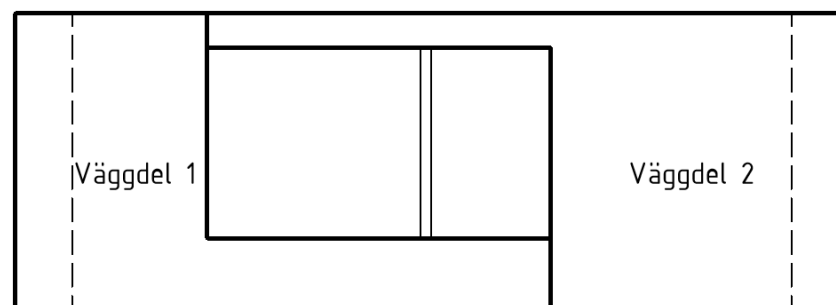
YV1

Figur 74 Vägghoppdelning YV1, fall 2. Avstånd från ytterväggens kant till vertikala streckade linjer vid kanterna avser långsidans vägg tjocklek



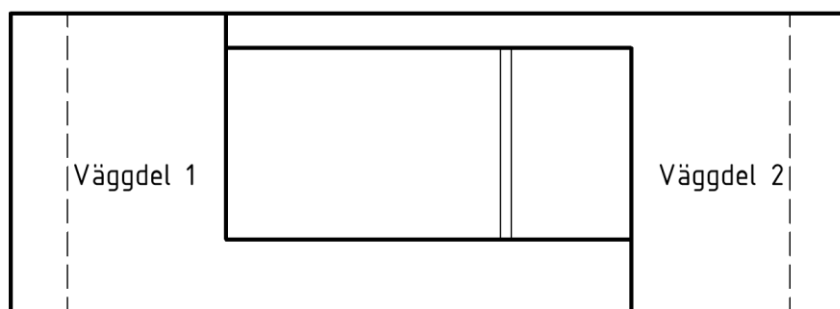
YV2

Figur 75 Vägghoppdelning YV2, fall 2. Avstånd från ytterväggens kant till vertikala streckade linjer vid kanterna avser långsidans vägg tjocklek



YV3

Figur 76 Vägghoppdelning YV3, fall 2. Avstånd från ytterväggens kant till vertikala streckade linjer vid kanterna avser långsidans vägg tjocklek



YV4

Figur 77 Vagguppdelning YV4, fall 2. Avstånd från yttreväggens kant till vertikala streckade linjer vid kanterna avser långsidans väggjocklek

Tabell 42 Delresultat, fall 2 Studie 2, nyanserad plastisk metod - partiell förankring

	Vaggdel	$l_1$ [m]	$l_3$ [m]	$l_{eff}$ [m]	$\lambda$ [-]	$f_{öpp}$ [kN/m]	$V_{ekv}$ [kN]	$H_{Rd}$ [kN]	$H_{Rd,tot}$ [kN]	Utnyttjandegrad [-]	
YV1	1	1,62		1,62			16,7	15,7	31,3	1,0	
	2	1,62	0,90	1,53	0,87	17,6	6,0	17,7			
YV2	1	1,82		1,10			6,0	10,8	24,7		
	2	1,82		1,43			10,4	13,9			
YV3	1	1,62		0,91			19,5	8,9	22,2		1,15
	2	2,52	2,90	1,30	0,15	32,1	8,6	15,0			
YV4	1	1,82	3,41	0,92	0,16	21,9	8,2	9,0	18,4		
	2	1,82		0,97			17,2	9,4			

Tabell 43 Delresultat, fall 2 Studie 2, nyanserad plastisk metod - full förankring

	Vaggdel	$l_2$ [m]	$l_3$ [m]	$l_{eff}$ [m]	$\lambda$ [-]	$H_{Rd}$ [kN]	$H_{Rd,tot}$ [kN]	Utnyttjandegrad [-]	
YV1	1	1,62		1,62		15,7	38,1	0,87	
	2	1,62	0,90	1,82	0,40	17,7			
YV2	1	1,44		1,44		14,0	36,1		
	2	0,90		0,90		8,7			
YV3	1	1,62		1,62		15,7	42,0		0,57
	2	2,52	2,90	2,70	0,41	26,2			
YV4	1	1,82	3,41	2,10	0,35	20,4	38,1		
	2	1,82		1,82		17,6			

### F.3 Fall 3 - Flytt av groventrédörr till långsida

#### F.3.1 Metod A

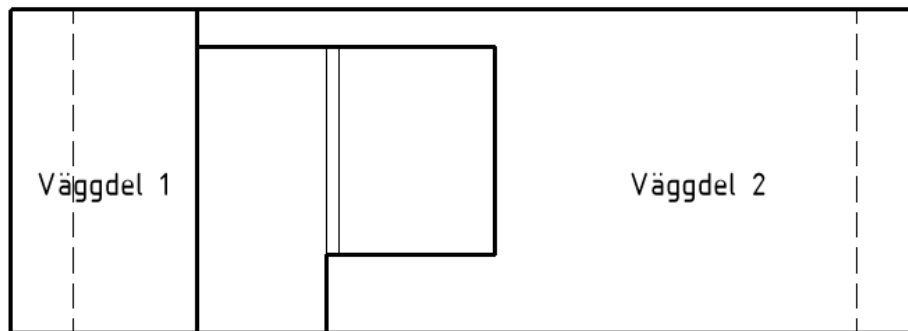
Horisontalkapacitet samt utnyttjandegrad för plan 1 och plan 2 då dörr flyttats från entrésidan till långsidan presenteras i Tabell 44.

Tabell 44 Delresultat, fall 3 Studie 2, Metod A

	Skiva	$b_i$ [m]	$q_i$ [kN/m]	$c_i$ [-]	$H_{Rd}$ [kN]	$H_{Rd,tot}$ [kN]	Förankringskraft $F_{t,Ed}$ [kN]	Utnyttjandegrad [-]	
YV1	1	1,20	1,96	0,96	11,2	33,6	18,1	0,81	
	2	1,20		0,96	11,2		18,1		
	3	1,20		0,96	11,2		18,1		
YV2	1	1,20	1,96	0,96	11,2	39,9	17,2		
	2	1,20		0,96	11,2		17,2		
	3	1,20		0,96	11,2		17,2		
	4	0,90	0,72	6,3	17,2				
YV3	1	1,20	0,80	0,96	11,2	41,4	13,6		0,62
	2	1,00		0,80	7,8		13,6		
	3	1,20		0,96	11,2		13,6		
	4	1,20		0,96	11,2		13,6		
YV4	1	1,20	0,80	0,96	11,2	33,6	14,2		
	2	1,20		0,96	11,2		14,2		
	3	1,20		0,96	11,2		14,2		

#### F.3.2 Nyanserad plastisk dimensionering

När entrédörren flyttas delas YV2 upp i väggdelar Figur 78. Delresultaten för nyanserad plastisk metod redovisas för partiell förankring i Tabell 45 och för full förankring i Tabell 46.



YV2

Figur 78 Vägghelning YV2 – fall 3. Avstånd från ytterväggens kant till vertikala streckade linjer vid kanterna avser långsidans väggdjocklek

Tabell 45 Delresultat, fall 3 Studie 2, nyanserad plastisk metod - partiell förankring

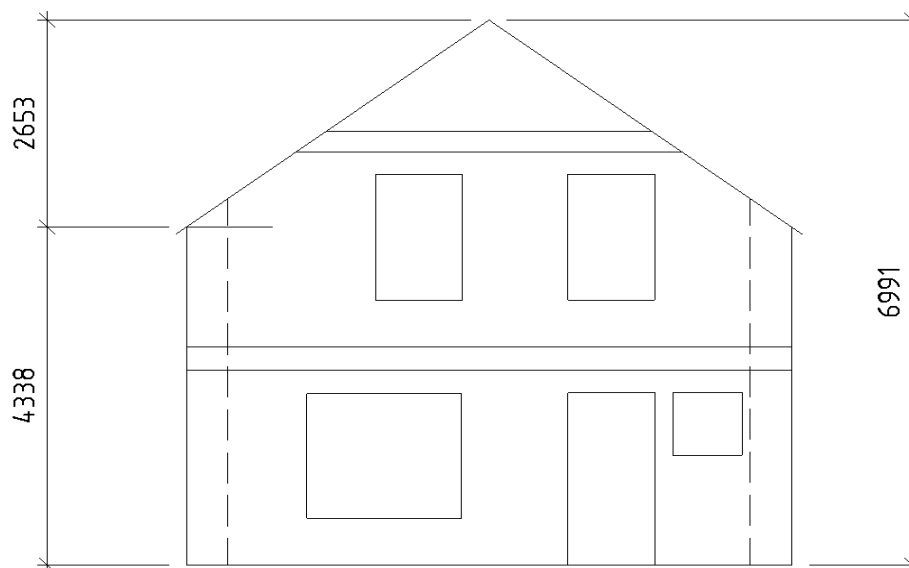
	Väggdel	$l_1$ [m]	$l_2$ [m]	$l_3$ [m]	$l_{eff}$ [m]	$\lambda$	$f_{öpp}$ [kN/m]	$V_{ekv}$ [kN]	$H_{Rd}$ [kN]	$H_{Rd,tot}$ [kN]	Utnyttjandegrad [-]
YV1	1	1,40			1,04			11,2	10,1	26,5	0,91
	2	1,24		1,80	1,16	0,22	30,1	11,1	11,2		
	3	0,57		1,01	0,52	0,61	9,0	6,0	5,1		
YV2	1	1,44			0,77			6,0	7,5	39,5	
	2	1,88	1,40		3,29			16,5	32,0		
YV3	1	1,40			0,82			21,8	8,0	25,0	
	2	1,24		1,80	0,95	0,36	18,0	19,8	9,2		
	3	1,59		1,01	0,76	0,59	23,2	8,0	8,8		
YV4	1	1,44		2,32	0,72	0,25	19,6	7,9	7,0	20,4	
	2	0,90		1,01	0,66	0,63	13,7	19,9	6,4		
	3	1,38			0,72			18,8	7,0		

Tabell 46 Delresultat, fall 3 Studie 2, nyanserad plastisk metod – full förankring

	Väggdel	$l_2$ [m]	$l_3$ [m]	$l_{eff}$ [m]	$\lambda$ [-]	$H_{Rd}$ [kN]	$H_{Rd,tot}$ [kN]	Utnyttjandegrad [-]
YV1	1	1,40		1,40		13,6	34,1	0,75
	2	1,24	1,80	1,44	0,46	14,0		
	3	0,57	1,01	0,52	0,40	6,5		
YV2	1	1,44		1,44		14,0	46,0	
	2	3,29		3,29		32,0		
YV3	1	1,40		1,40		13,6	45,0	
	2	1,24	1,80	1,44	0,46	14,0		
	3	1,59	1,01	1,79	0,82	17,4		
YV4	1	1,44	2,30	1,64	0,36	15,9	39,0	
	2	0,90	1,01	0,99	0,41	9,7		
	3	1,38		1,38		13,4		

#### F.4 Fall 4 – Sänkt tak

När taket sänks för att möta kravet om lägst 1,90 meter takhöjd under snedtak minskar den lastupptagande höjden, se Figur 79.



Figur 79 Skiss med nya dimensioner när taket sänks

Den erhållna vindlasten beräknas enligt samma procedur som beskrivs i Bilaga B – Vindlast. Lastens influenshöjd då taket sänks presenteras i Tabell 47 och dimensionerande last på innerväggar respektive ytterväggar presenteras i Tabell 48.

Tabell 47 Höjd som vinden verkar på när taket sänks

Verkningshöjd [m]	
$h_{\text{plan 1}}$	3,0
$h_{\text{plan 2}}$	0,8

Tabell 48 Dimensionerande last per våningsplan och typ av vägg, fall 3

	Plan 1		Plan 2	
	IV	YV	IV	YV
Dimensionerande last, $H_d$ [kN]	54,7	27,2	23,0	28,1

#### F.4.1 Metod A

Horisontalkapacitet samt utnyttjandegrad för plan 1 och plan 2 då taket sänks presenteras i Tabell 49.

Tabell 49 Delresultat, fall 4, Studie 2, Metod A

	Skiva	$b_i$ [m]	$q_i$ [kN/m]	$c_i$ [-]	$H_{Rd}$ [kN]	$H_{Rd,tot}$ [kN]	$F_{t,Ed}$ [kN]	Utnyttjandegrad [-]
YV1	1	1,20	1,96	0,96	11,2	22,4	11,5	0,53
	2	1,20		0,96	11,2		11,5	
YV2	1	1,20	1,96	0,96	11,2	28,7	10,7	
	2	0,90		0,72	6,3		10,7	
	3	1,20		0,96	11,2		10,7	
YV3	1	1,20	0,80	0,96	11,2	41,4	8,1	
	2	1,00		0,80	7,8		8,1	
	3	1,20		0,96	11,2		8,1	
	4	1,20		0,96	11,2		8,1	
YV4	1	1,20	0,80	0,96	11,2	33,6	8,4	
	2	1,20		0,96	11,2		8,4	
	3	1,20		0,96	11,2		8,4	

#### F.4.2 Nyanserad plastisk dimensionering

För nyanserad plastisk metod delas väggarna upp som enligt Studie 1, se Bilaga E – Studie 1. Delresultaten för nyanserad plastisk metod redovisas i Tabell 50 och Tabell 51.

Tabell 50 Delresultat, fall 4 Studie 2, nyanserad plastisk metod - partiell förankring

	Väggdel	$l_1$ [m]	$l_3$ [m]	$l_{eff}$ [m]	$\lambda$ [-]	$f_{öpp}$ [kN/m]	$V_{ekv}$ [kN]	$H_{Rd}$ [kN]	$H_{Rd,tot}$ [kN]	Utnyttjandegrad [-]
YV1	1	1,40		1,32			17,1	13,4	31,1	0,48
	2	1,24	1,80	0,29	0,32	23,8	6,1	12,6		
	3	0,57	1,02	0,50	0,59	10,9	6,0	5,1		
YV2	1	1,44		0,77			6,0	7,4	25,3	
	2	0,90		0,84			20,7	8,2		
	3	1,38		0,99			11,8	9,7		
YV3	1	1,40		0,87			23,5	8,5	25,6	0,60
	2	1,24	1,80	0,96	0,38	17,3	27,9	9,3		
	3	1,59	1,01	0,80	0,55	20,8	8,0	7,8		
YV4	1	1,44	2,30	0,58	0,25	19,6	7,9	5,6	21,1	
	2	0,90	1,01	0,72	0,63	13,7	22,9	7,0		
	3	1,38		0,88			24,2	8,5		

Tabell 51 Delresultat, fall 4 Studie 2, nyanserad plastisk metod - full förankring

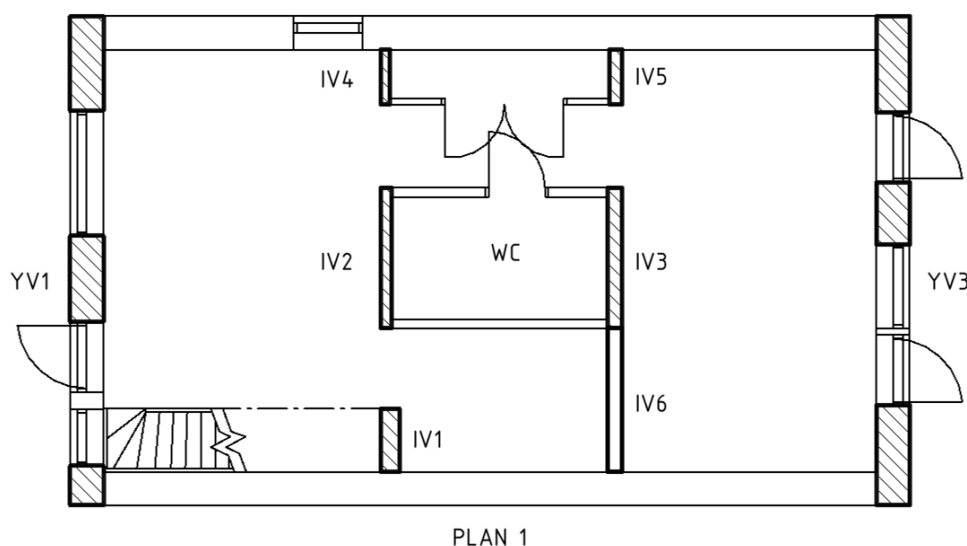
	Väggdel	$l_2$ [m]	$l_3$ [m]	$l_{eff}$ [m]	$\lambda$ [-]	$H_{Rd}$ [kN]	$H_{Rd,tot}$ [kN]	Utnyttjandegrad [-]	
YV1	1	1,40		1,40		13,6	34,1	0,39	
	2	1,24	1,80	1,44	0,46	14,0			
	3	0,57	1,01	0,69	0,18	6,5			
YV2	1	1,44		1,44		14,0	36,1		
	2	0,90		0,90		8,7			
	3	1,38		1,38		13,4			
YV3	1	1,40		1,40		13,6	45,0		0,33
	2	1,24	1,80	1,44	0,46	14,0			
	3	1,59	1,01	1,79	0,82	17,4			
YV4	1	1,44	2,32	1,64	0,36	15,9	39,0		
	2	0,90	1,01	0,99	0,41	9,7			
	3	1,38		1,38		13,4			

### F.5 Fall 5 – Addering av stabiliserande innerväggar plan 1 och plan 2

Stabiliserande innerväggar adderas på plan 1 och plan 2 enligt Figur 80 och Figur 81. Gavelöppningarnas placering och vindlasten ansätts till samma som i Studie 1, dvs  $H_{d,plan1}=126$  kN och  $H_{d,plan2}=77$  kN.

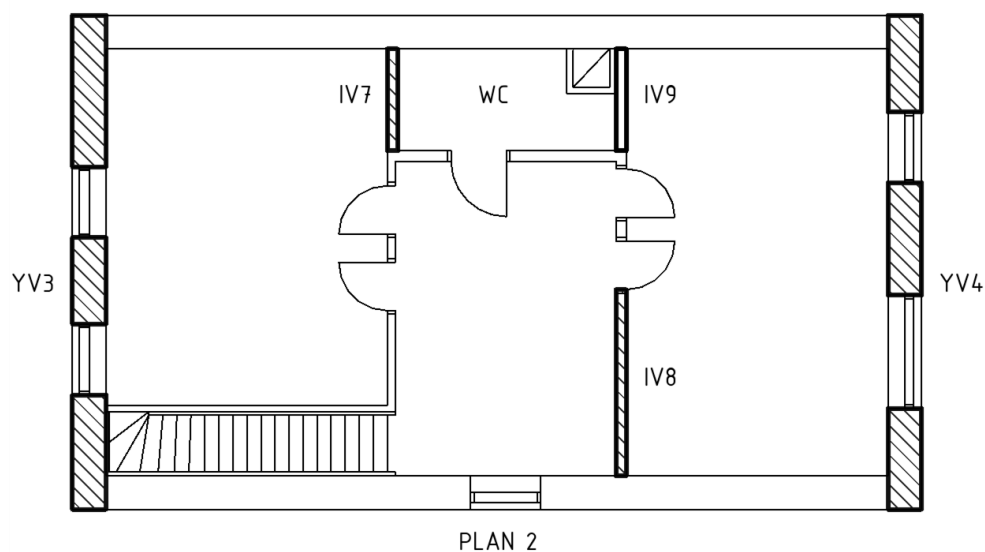
När fler stabiliserande väggar läggs till i huset förändras lastfördelningen. Vid fördelningen antas innerväggarna nyttjas till 100% av sin kapacitet och maximal förankringskraft är 30 kN. Samma vägguppbbyggnad som tidigare antas, det vill säga Gyproc hård gips, GR 13, på samtliga väggar förutom insida WC, där plywood 15 mm används i enlighet med branschrekommendation (SP, 2014).

Sammanställning av innerväggarnas kapacitet för fall 5 redovisas i Tabell 52.



Figur 80 Adderad stabiliserad innervägg (IV6) markeras med heldragna linjer





Figur 81 Adderad stabiliserad innervägg (IV9) markeras med heldragna linjer

Tabell 52 Vägghoppbyggnad, förankringskraft samt horisontalkapacitet när stabiliserande väggar adderas på plan 1 och plan 2, fall 5

		Material	$s$ [mm]	$F_{t,Ed}$ [kN]	$H_{Rd}$ [kN]
IV1	Inside	GR 13	100	18,3	6,8
	Utsida	GR 13			
IV2	Inside	Plywood 15	100	25,3	18,7
	Utsida	GR 13			
IV3	Inside	Plywood 15	100	25,3	18,7
	Utsida	GR 13			
IV4	Inside	GR 13	100	16,0	5,3
	Utsida	GR 13			
IV5	Inside	GR 13	100	16,0	5,3
	Utsida	GR 13			
IV6	Inside	GR 13	100	18,3	13,7
	Utsida	GR 13			
IV7	Inside	Plywood 15	100	25,7	9,3
	Utsida	GR 13			
IV8	Inside	GR 13	100	18,8	13,7
	Utsida	GR 13			
IV9	Inside	Plywood 15	100	25,7	9,3
	Utsida	GR 13			
					$\Sigma$ 100,7

### F.5.1 Metod A

Delresultaten för Metod A redovisas i Tabell 53.

Tabell 53 Delresultat, fall 5 Studie 2, Metod A

	Skiva	$b_i$ [m]	$q_i$ [kN/m]	$c_i$ [-]	$H_{Rd}$ [kN]	$H_{Rd,tot}$ [kN]	$F_{t,Ed}$ [kN]	Utnyttjandegrad [-]
YV1	1	1,20	1,96	0,96	11,2	22,4	16,9	0,90
	2	1,20		0,96	11,2		16,9	
YV2	1	1,20	1,96	0,96	11,2	28,7	18,7	
	2	0,90		0,72	6,3		18,7	
	3	1,20		0,96	11,2		18,7	
YV3	1	1,20	0,80	0,96	11,2	41,4	10,8	
	2	1,20		0,96	11,2		10,8	
	3	1,00		0,80	7,8		10,8	
	4	1,20		0,96	11,2		10,8	
YV4	1	1,20	0,80	0,96	11,2	33,6	11,3	
	2	1,20		0,96	11,2		11,3	
	3	1,20		0,96	11,2		11,3	

### F.5.2 Nyanserad plastisk dimensionering

För nyanserad plastisk metod delas väggarna upp som enligt Studie 1, se Bilaga E – Studie 1. Delresultaten för nyanserad plastisk metod redovisas i Tabell 54 och Tabell 55.

Tabell 54 Delresultat, fall 5 Studie 2, nyanserad plastisk metod - partiell förankring

	Vägg-del	$l_1$ [m]	$l_3$ [m]	$l_{eff}$ [m]	$\lambda$ [-]	$f_{öpp}$ [kN/m]	$V_{ekv}$ [kN]	$H_{Rd}$ [kN]	$H_{Rd,tot}$ [kN]	Utnyttjandegrad [-]
YV1	1	1,40		1,38			17,1	13,4	29,8	0,84
	2	1,24	1,8	1,16	0,50	12,9	11,1	11,3		
	3	0,57	1,01	0,52	0,67	8,97	6,0	5,1		
YV2	1	1,44		0,77			6,0	7,5	25,4	
	2	0,90		0,84			18,4	8,2		
	3	1,38		1,00			10,9	9,7		
YV3	1	1,40		0,90			24,5	8,7	25,8	0,82
	2	1,24	1,8	0,95	0,36	18,0	19,8	9,2		
	3	1,59	1,01	0,80	0,55	20,8	8,0	7,8		
YV4	1	1,44	2,32	0,72	0,25	19,6	7,9	7,0	19,3	
	2	0,90	1,01	0,54	0,25	15,2	20,0	5,3		
	3	1,38		0,72			18,8	7,0		

Tabell 55 Delresultat, fall 5 Studie 2, nyanserad plastisk metod - full förankring

	Väggdel	$l_2$ [m]	$l_3$ [m]	$l_{eff}$ [m]	$\lambda$ [-]	$H_{Rd}$ [kN]	$H_{Rd,tot}$ [kN]	Utnyttjandegrad [-]
YV1	1	1,40		1,40		13,6	34,1	0,66
	2	1,24	1,80	1,44	0,46	14,0		
	3	0,57	1,01	0,67	0,41	6,5		
YV2	1	1,44		1,44		14,0	36,1	
	2	0,90		0,90		8,7		
	3	1,38		1,38		13,4		
YV3	1	1,40		1,40		13,6	45,0	0,44
	2	1,24	1,80	1,44	0,46	14,0		
	3	1,59	1,01	1,79	0,82	17,4		
YV4	1	1,44	2,32	1,64	0,36	15,9	39,0	
	2	0,90	1,01	0,99	0,41	9,7		
	3	1,38		1,38		13,4		

#### F.6 Fall 6 – Ändrad taklutning

När taklutningen ändras genereras nya vindlaster vilket beräknas proceduren som beskrivs i Bilaga B – Vindlast. Karakteristiskt vindtryck  $q_p$  interpoleras med tabellerade värden. Dimensionerande vindlaster på plan 1 och plan 2 samt utnyttjandegrad presenteras i Tabell 56.

Tabell 56 Sammanställning av vindlast när takets lutning ändras

Taklutning	$h$ [m]	$v_b$ [m/s]	$q_p$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$H_{d,plan1}$ [kN]	$H_{d,plan2}$ [kN]
37°	8,5	26	1,04	114,5	69,7
30°	7,9	26	1,03	107,9	63,0
25°	7,5	26	1,01	99,9	55,1
20°	7,2	26	1,00	93,5	48,7
15°	6,8	26	0,98	85,6	33,1